



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

THIAGO DE FARIA FALCÃO

**Proposta de um artefato na projeção em *BIM* sistematizando conceitos e
ferramentas *Lean* usando as Redes Neurais**

Brasília

2023

THIAGO DE FARIA FALCÃO

Proposta de um artefato na projeção em *BIM* sistematizando conceitos e ferramentas *Lean* usando as Redes Neurais

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília (Unb), como requisito para obtenção do título de Doutor em Construção Civil.

Área de concentração: Construção Civil

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Michele Tereza Marques Carvalho (Coorientadora: Prof^ª Dr^ª Maria Carolina G. O. Brandstetter)

Brasília

2023

*“Para se manter firme na caminhada do doutorado,
carregue sempre consigo os 3F’s (Foco, Força e Fé).”*

(Thiago de Faria Falcão)

Agradecimentos

Em primeiro lugar a minha esposa Lorryne, que esteve presente em todas as ocasiões, principalmente nos momentos de maior dificuldade em que pensei inúmeras vezes em desistir de tudo e recentemente me deu o maior presente de todos, o nosso filho Kaleo.

Aos meus pais, principalmente à minha mãe Vantejur, que sempre me incentivaram à estudar e me deram suporte emocional e econômico no momento em que decidi iniciar minha nova carreira, desta vez como docente.

Ao meu avô Diógenes, que durante meu período de graduação, me ajudou financeiramente na compra de material para desenho e posteriormente me chamou para uma conversa em sua casa proferindo as seguintes palavras: "meu filho, tudo que você precisar em livros e outros materiais durante seu curso pode contar comigo que te ajudarei". Sei que onde ele estiver está assistindo eu me tornar doutor.

A professora Michele, que ao longo de todo este tempo foi paciente e soube entender minhas dificuldades pessoais para andamento da pesquisa.

A professora Maria Carolina, um anjo que entrou em minha vida em 2008, que se tornou mais que uma professora, uma amiga e parceira, que não se absteve em nenhum momento em me ajudar diante de todas as dificuldades impostas tanto na pesquisa quanto na vida pessoal.

Aos meus familiares, irmão, cunhadas, sogra, que assim como meus amigos me deram suporte emocional para permanecer firme e focado na caminhada.

A todos os professores e colaboradores do PECC/Unb que disseminam conhecimento e contribuem para à formação de vários profissionais ajudando à construir um país melhor.

Enfim, à Jesus Cristo, que sempre esteve comigo na tomada de decisões e colocou pessoas certas, nas horas certas e nos lugares certos para me ajudarem.

Resumo

As pesquisas relacionadas ao *BIM* não se limitam apenas ao uso da modelagem onde se aplicam outras ferramentas em sinergia. O *Lean*, por exemplo, tem sido inserido com a perspectiva de aperfeiçoar os processos tanto qualitativamente quanto quantitativamente e superam aspectos tecnológicos abrangendo também questões comportamentais e culturais. Os estudos relacionados às aplicações simultâneas do *Lean* e *BIM* apontam diversos benefícios mas também várias adversidades dentro do ciclo *BIM* na fase de projeção. Levantada esta lacuna, este trabalho teve como objetivo propor um método que auxilie o gerenciamento do *BIM* na fase de *design*, visando melhorar a integração dos processos, tecnologias, pessoas e principalmente o fluxo de informações. Inicialmente foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura para levantar as adversidades existentes na projeção em *BIM*. Posteriormente foi viabilizado um método para direcionar os principais fatores causais nesta etapa, com a construção de um sistema estruturado por ferramentas *Lean*, utilizando as Redes Neurais Artificiais. Foi construído um artefato composto por ferramentas *Lean* visando a promoção de alternativas enxutas a serem aplicadas nas empresas. Os resultados obtidos apontaram que os obstáculos evidenciados na fase de projeção estão relacionados à tecnologia, custo, gestão, escassez de profissionais, interoperabilidade de dados e modificações nos processos de fluxo de trabalho. Uma análise incluindo padrões e diretrizes poderiam ser úteis para entender os processos da empresa e aplicar a filosofia *Lean* visando identificar particularidades e aspectos a serem implementados. O artefato construído foi testado em três empresas e ferramentas *Lean* foram apontadas para possíveis correções dos problemas evidenciados, sendo isto um fator que pode ter uma contribuição importante tanto no campo científico quanto no mercado da construção civil.

Palavras-chave: *BIM*. *Projeção*. *Lean*. *Redes Neurais*. *Artefato*.

Abstract

Researches related to BIM are not limited to the use of modeling where other tools are applied in synergy. The Lean, for example, has been inserted with the perspective of improving processes both qualitatively and quantitatively and exceeds technological aspects covering also behavioral and cultural issues. The studies related to the simultaneous applications of Lean and BIM indicates several benefits but also several adversities within the BIM cycle in the project design phase. Given this gap, this study aimed to propose a method that helps the management of BIM in the design phase, in order to improve the integration of processes, technologies, people, and especially the flow of information. Subsequently, a method was developed to guide the main causal factors at this stage, with the elaboration of a system structured by Lean tools, using Artificial Neural Networks. It was built an artifact composed by Lean tools aiming to promote enxute alternatives to be applied in the companies. The results obtained pointed that obstacles evidenced in the design phase are related to technology, cost, management, shortage of professionals, data interoperability, and modifications in the workflow process. An analysis including patterns and directives could be useful to understand the company's processes and apply Lean philosophy to identify particularities and aspects to be implemented. The built artifact was tested in three companies and Lean tools were pointed out to possible corrections of the problems evidenced, and this is a factor that can have an important contribution both in the scientific field and in the construction industry.

Keywords: BIM. Lean. Neural Networks. Artefact.

Lista de ilustrações

Figura 2.1 – Desenvolvimento dos conceitos <i>Lean</i>	22
Figura 2.2 – Rede de integração conceitual	32
Figura 2.3 – Projetos enxutos baseados em <i>BIM</i>	41
Figura 2.4 – Porcentagens gerais para os fatores	43
Figura 2.5 – Objetivos e técnicas enxutas	44
Figura 2.6 – Barreiras comuns para construção <i>Lean</i> e <i>BIM</i>	45
Figura 2.7 – Princípios <i>Lean Implemia</i>	47
Figura 2.8 – Modelo do neurônio biológico	51
Figura 2.9 – Neurônio artificial	52
Figura 2.10–Redes alimentadas adiante	54
Figura 2.11–Redes Recorrentes	55
Figura 2.12–Arquitetura da Rede <i>Multilayer Perceptron</i>	56
Figura 2.13–Rede de <i>Kohonen</i>	57
Figura 2.14–Memória Associativa recorrente de <i>Hopfield</i>	58
Figura 3.1 – Revisão Sistemática	62
Figura 3.2 – Passos do método de revisão sistemática	62
Figura 3.3 – Estrutura organizacional do trabalho	64
Figura 3.4 – <i>Strings</i> de busca utilizadas	66
Figura 3.5 – Metodologia utilizada nas plataformas <i>Web of Science®</i> e <i>Scopus®</i>	67
Figura 3.6 – Categorização dos artigos	69
Figura 3.7 – Sistematização da matriz de loops	71
Figura 3.8 – Estrutura do sistema <i>web</i>	73
Figura 3.9 – Representação de uma Rede Neural dentro do sistema	75
Figura 3.10–Modelo de predição	76
Figura 3.11–Modelo do processo de predição	76
Figura 4.1 – Número de citações por autor ao longo do período	81
Figura 4.2 – Frequência de publicações por ano referentes ao tema	82
Figura 4.3 – Revistas com maior número de publicações aderentes	83
Figura 4.4 – Quantidade de publicações para um intervalo de seis anos	84

Figura 4.5 – Frequência de distribuição pelos continentes	85
Figura 4.6 – Número de publicações por países	86
Figura 4.7 – Densidade de palavras	87
Figura 4.8 – Número de repetições de palavras	88
Figura 4.9 – Correlação entre palavras	89
Figura 4.10–Ciclo <i>BIM</i> para fase de projeção e suas partes interessadas	97
Figura 4.11–Modelo <i>BIM</i> para interação entre os <i>stakeholders</i> na fase de projeção	103
Figura 4.12–Estrutura do método	104
Figura 4.13–Seleção das adversidades da empresa A	106
Figura 4.14–Matriz de <i>loop</i> causal da empresa A	107
Figura 4.15–Seleção de variáveis da empresa B	109
Figura 4.16–Matriz de <i>loop</i> causal da empresa B	110
Figura 4.17–Número de <i>loops</i> totais das variáveis da empresa B	111
Figura 4.18–Empresa B: exemplificação de uma das ferramentas geradas	112
Figura 4.19–Seleção de variáveis da empresa C	113
Figura 4.20–Matriz de <i>loop</i> causal da empresa C	114
Figura 4.21–Número de <i>loops</i> totais das variáveis da empresa C	115
Figura 4.22–Empresa C: exemplificação de uma das ferramentas geradas	115

Lista de quadros

Quadro 2.1 – Entrega de Projeto Integrada	33
Quadro 2.2 – Interação entre os princípios <i>Lean</i> e o <i>BIM</i>	35
Quadro 2.3 – Interação entre as características do <i>BIM</i> - estações e os princípios <i>Lean</i>	36
Quadro 2.4 – Interação do <i>BIM</i> e <i>Lean</i>	40

Lista de tabelas

Tabela 2.1 – Matriz de interações entre características do <i>BIM</i> -estações e os princípios <i>Lean</i>	37
Tabela 3.1 – Exemplo de mapa causal	72

Lista de símbolos

AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
BIM	Building Information Modeling
CSA	Context Sensitivity Analysis
DAP	Directory Access Protocol
DfS	Design for Safety
DNA	Analysis Network Design
DOR	Digital Obeya Room
DSR	Design Science Research
FTPS	Fire Transfer Protocol
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure
ICC	Indústria da Construção Civil
IGA	Istanbul Grand Airpot
IGLC	International Group for Lean Construction
IIC	Índice de Influência Líquido
IPD	Integrated Project Delivery
LC	Lean Construction
LDAP	Lightweight Directory Access Protocol
LDM	Lean Design Management
LM	Lean Manufacturing

LPS	Last Planner System
LSCM	Lean Supply Chain Strategies
MM's	Modelos de Maturidade
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PDCA	Plan-Do-Check-Act
PLS	Partial Least Square
QC	Quality Control
QTO	Quantify Take-off
RNA's	Redes Neurais Artificiais
RSL	Revisão Sistemática da Literatura
RTSP	Red Time Streaming Protocol
SCP	Secure Copy
SFTP	Secure Fire Transfer Protocol
SJR	Scientific Journal Rankings
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SOD	Solid Organization Design
SQL	Structured Query Language
STP	Sistema Toyota de Produção
TFTP	Trivial File Transfer Protocol
TPM	Total Productive Maintenance
VDC	Virtual Design Construction
VSM	Value Stream Mapping

Sumário

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Justificativa	14
1.2	OBJETIVOS	17
1.2.1	Objetivo principal	17
1.2.2	Objetivos secundários	17
1.2.3	Limitações do trabalho	18
1.2.4	Originalidade do trabalho	19
1.2.5	Estrutura do trabalho	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1	<i>Lean</i>	21
2.2	<i>BIM</i>	27
2.3	<i>Lean e BIM</i>	29
2.4	<i>Lean design</i>	46
2.5	Redes Neurais Artificiais	50
2.6	Topologias das Redes Neurais	53
2.6.1	Redes Alimentadas Adiante	53
2.6.2	Redes Recorrentes	54
2.6.3	Redes Competitivas	54
2.6.4	Redes <i>Multilayer Perceptron</i>	55
2.6.5	Redes de Função de Base Radial	56
2.6.6	Mapas Auto-Organizáveis	57
2.6.7	Rede de <i>Hopfield</i>	58
3	MÉTODO	60
3.1	Fase 1 - Identificação do problema	65
3.2	Fase 2 - Conscientização do problema	69
3.3	Fase 3 - Estruturação do sistema	71
3.4	Fase 4 - Aplicação das Redes Neurais	75

3.5	Fase 5 - Avaliação do artefato	77
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	80
4.1	Análise bibliométrica dos estudos aderentes	80
4.2	Revisão Sistemática da Literatura	90
4.2.1	<i>Lean e BIM e design</i>	91
4.3	Empresa A	105
4.4	Empresa B	108
4.5	Empresa C	112
5	CONCLUSÕES	117
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	118
	REFERÊNCIAS	120
	APÊNDICES	133
	APÊNDICE A – INTERAÇÃO DO <i>BIM</i> E <i>LEAN</i> E <i>DESIGN</i>	134
	APÊNDICE B – PARÂMETROS CAUSAIS QUE INFLUENCIAM A PROJETAÇÃO EM BIM MAPEADOS NA LITERATURA	136
	APÊNDICE C – PARÂMETROS CAUSAIS REDUZIDOS	138
	APÊNDICE D – PARÂMETROS CAUSAIS QUE INFLUENCIAM A PROJETAÇÃO EM <i>BIM</i> MAPEADOS NA LITERATURA	139

1 Introdução

1.1 Justificativa

O processo de planejamento da construção vive um momento de transformações onde as atuais técnicas têm-se mostrado insuficientes e a comunicação entre as partes interessadas ao longo do ciclo de vida de um projeto mostra-se fragmentada.

As práticas de construção mudaram consideravelmente incluindo tecnologias e ferramentas de digitalização como o *Building Information Modeling (BIM)*, automação, pré-fabricação, inteligência artificial, impressão 3D, etc, para maior eficiência (ELIWA; JELODAR; POSHDAR, 2018; HARRISON et al., 2017).

A inclusão dessas tecnologias é consequência da necessidade de se identificar as fontes de desperdícios e de atrasos no início da fase de projeto e implementar medidas mais antecedentes para eliminar as ocorrências.

Dentro deste contexto, a aplicação de técnicas, ferramentas e sistemas nas empresas que visam integrar processos com objetivo de minimizar custos, diminuir os tempos, aumentando a produtividade e o desempenho em um nível global, faz-se cada vez mais necessário em um mercado tão competitivo.

Esta fragmentação depende das formas de comunicação em que os erros e omissões nos documentos resultam em custos imprevistos, atrasos, litígios judiciais e atritos entre as partes envolvidas. Destaca-se ainda que um dos problemas mais comuns associados à comunicação durante a fase de projeto é o tempo considerável e o gasto requerido para gerar informações críticas para a avaliação de uma proposta de projeto, incluindo estimativas de custo, detalhes estruturais etc. Estas análises costumam ser feitas quando já é muito tarde para fazer modificações significativas (SACKS et al., 2021).

Além desses aspectos negativos evidenciados no parágrafo anterior, ressalta-se também que todos os *stakeholders* envolvidos em um projeto (proprietário, cliente, gerente de contrato, operador e outros), usam o seu próprio processo interno de fluxo

de trabalho, baseado em suas culturas organizacionais que acabam dificultando e as vezes até impedindo a interoperabilidade entre estes (FAKHIMI et al., 2017).

Assim, a indústria da construção civil vem tentando implementar parcialmente, ou em sua totalidade, conceitos que viabilizem o gerenciamento do fluxo de processos e informações, entre os quais destacam-se o *Lean* e o *BIM*. O *BIM* como um conjunto de ferramentas, processos e informações interligados por um sistema, e o *Lean*, como uma conexão de práticas derivadas de uma filosofia em que ambos tem por objetivo uma incisiva diminuição de perdas. Cabe investigar como a filosofia *Lean*, desde os seus conceitos até as ferramentas aplicadas, se mostram suficientes na redução de perdas (custos e tempo) em todas as fases da projeção dentro do ciclo *BIM* de produção (composto ainda por uma fase construtiva e uma fase de manutenção de desempenho).

Portanto, o uso sinérgico do *Lean* e *BIM* parece válido para a implementação na fase de *design* dentro do ciclo *BIM*, porém precisa ser personalizado de acordo com o contexto do projeto e com a finalidade de alcançar o valor desejado para todas as partes interessadas.

Além do uso sinérgico do *Lean* e do *BIM*, questões como a aplicação das práticas enxutas mostram-se eficientes no processo. Entretanto, estas práticas podem ser viabilizadas dentro do processo com uma metodologia específica que pode ser empregada utilizando algum método gerencial ou ferramenta com este viés. Mangaroo-Pillay e Coetzee (2021) questionaram o fato de que apesar do *Lean* estar em constante crescimento e sendo adotado por várias organizações, mais de 90% das implementações falham. Eles levantaram a hipótese de que pesquisadores e profissionais estejam perdendo uma pauta fundamental do *Lean* durante a sua execução.

O *Lean*, seus conceitos e suas aplicações são explorados por profissionais e praticantes. Aponta-se que seus desdobramentos produzem um ciclo virtuoso de melhoria contínua, gerando redução de tempos de ciclos, aumento da padronização, entre outros (SACKS; RADOSAVLJEVIC; BARAK, 2010).

O *Lean* também caracteriza-se como uma filosofia de administração que fornece métodos para identificar perdas e utiliza uma série de princípios para minimizá-los ou eliminá-los. Constata-se a partir da revisão da literatura cinco tipos de perdas: movi-

mento, excesso, superprodução, espera e conhecimento dos funcionários representem 80% dos problemas onde se utilizam os métodos *Lean* a fim de eliminá-los (MANDUJANO et al., 2016).

Não divergente conceitualmente o *Lean* é apresentado como um princípio básico que envolve “identificar e eliminar a perda em todas as atividades” consistindo em um conjunto de conceitos e habilidades. Seu significado vem da necessidade de reduzir custos e melhorar o desempenho e deve representar um modo compartilhado de pensamento e abordagem de gerenciamento em todos os fluxos operacionais (YIN et al., 2014).

A medida que os conceitos anteriormente apresentados evoluem, constata-se paralelamente na indústria Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), uma crescente busca pela implementação de um modelo de informação de construção nas diversas fases ao longo do ciclo de vida de um projeto. O *BIM* é um modelo virtual preciso de uma edificação para simular o seu ciclo de vida, sendo capaz de integrar os processos e melhorar os fluxos de informações (EASTMAN et al., 2014). Outro conceito apresentado é que este modelo organiza e apresenta a construção ou parte dela via objeto de dados por meio do seu compartilhamento, transmissão e colaboração (MEI et al., 2017).

Entende-se que os benefícios do *BIM* vão desde a melhoria da segurança, sustentabilidade, produtividade, eficiência e agilidade na execução do projeto, até uma redução no custo, tempo, recursos humanos e melhor gerenciamento de riscos (FAKHIMI et al., 2017).

Assim, a crescente popularidade da tecnologia *BIM* baseia-se fortemente na percepção de que o compartilhamento e a reutilização de informações podem ser facilitados durante o ciclo de vida de um projeto (CHO; LEE; BAE, 2014).

Desta forma, práticas enxutas vem sendo implementadas na adoção do *BIM* e podem permitir que tanto a filosofia *Lean* quanto a ferramenta *BIM* se reforcem mutuamente, reduzindo as interferências dentro da organização do projeto (MAHALINGAM; YADAV; VARAPRASAD, 2015).

Ao se introduzir a filosofia *Lean* dentro da ferramenta *BIM*, evidencia-se melhorias nas taxas de eficiência na construção devido as suas semelhanças e benefícios sobrepostos. Desta forma, pensa-se que estes sendo aplicados em conjunto melhoram a eficiência nos

processos de uma forma mais abrangente do que aplicados individualmente (ONYANGO, 2016).

A pesquisa de construção *Lean* e *BIM* tem sido focada em grande parte nos aspectos teóricos relacionados a sua integração e sinergia, porém não se empregam com a devida atenção métodos práticos *Lean/BIM* para gerenciar projetos e fornecer evidências das oportunidades de aprimoramento de desempenho (TOLEDO; OLIVARES; GONZÁLEZ, 2016).

Contudo, o que se tem destacado das aplicações simultâneas do *Lean* e *BIM* dentro do ciclo de vida de um projeto, relacionam-se em sua maioria a fase de construção. Observa-se uma insuficiência de estudos mais aprofundados sobre o tema na fase de projeto (*design*), e que a filosofia *Lean* aplicada de forma sinérgica ao *BIM* nesta etapa, aponta na maioria dos casos apenas para diretrizes conceituais. Cabe investigar mais profundamente como as ferramentas enxutas derivadas da filosofia *Lean* podem promover alternativas a serem aplicadas dentro deste contexto.

1.2 Objetivos do trabalho

1.2.1 Objetivo principal

Propor um método que auxilie o gerenciamento do *BIM* em sua fase de *design*, melhorando a integração dos processos, tecnologias, pessoas e principalmente o fluxo de informações existentes nesta etapa.

1.2.2 Objetivos secundários

- Realizar uma Revisão Sistemática da Literatura para levantar as adversidades existentes na projeção em *BIM*;
- Viabilizar um método que direcione os principais fatores causais na fase de projeção para empresas que trabalhem com o *BIM*;
- Utilizando as Redes Neurais, construir um sistema composto por ferramentas *Lean* que promova alternativas enxutas a serem aplicadas nas empresas que utilizam o

BIM.

1.2.3 Limitações do trabalho

O presente trabalho buscou evidenciar a partir de uma Revisão Sistemática da Literatura aspectos relevantes com relação à projeção em *BIM* enfatizando os fatores causais mais recorrentes desde o ano de 2015 até o presente momento. Acredita-se que as variáveis levantadas continuam sendo discutidas estando refletidas no recorte escolhido para este estudo.

A intenção do trabalho não é buscar uma solução definitiva para os problemas ocorrentes dentro do ciclo *BIM* na fase de projeção e sim apresentar possíveis soluções enxutas para minimização de perdas decorrentes do fluxo de informações geradas neste contexto com maximização do tempo despendido dentro das etapas.

Outra restrição que deve ser apontada é o fato dos índices de importância das variáveis levantadas não serem atualizados de acordo com a evolução dos estudos pertinentes a este tema através das Redes Neurais.

Outra limitação de total importância é o fato das principais partes interessadas no processo de projeção, neste caso os projetistas, não terem conhecimento sobre a filosofia *Lean* e os benefícios que suas práticas podem trazer em seus processos. Este fato foi observado com a aplicação do artefato nas três empresas das quais apenas uma, possuía um de seus membros com algum conhecimento sobre a filosofia *Lean*. Quando questionado, este membro relatou que havia estudado um pouco das práticas enxutas quando cursou sua pós-graduação.

Finalmente, a partir dos levantamentos confirmados pela literatura, os apontamentos realizados pelo artefato das ferramentas enxutas selecionadas para as adversidades destacadas, escolher quais seriam as mais eficazes para diminuir os problemas da empresa, uma vez que apenas um único fator de causalidade pode estar ligado a mais de uma ferramenta.

Uma vez definidas as ferramentas enxutas utilizadas numa determinada empresa a partir do artefato, deve-se realizar um estudo quantitativo ou qualitativo, a fim de descrever as melhorias ocorrentes. Para isso, necessitaria de um tempo hábil relevante e

de uma parceria afeiçoada com a empresa pois necessitaria de informações relevantes e até restritas para confirmar a eficácia do artefato.

1.2.4 Originalidade do trabalho

A originalidade do trabalho baseia-se na criação de um artefato apoiado em Redes Neurais que propõe ferramentas enxutas para empresas que trabalham com o *BIM*, especificamente na fase de *design*, de acordo com a importância dos fatores causais escolhidos e correlacionados dentro do sistema.

1.2.5 Estrutura do trabalho

Capítulo 1 - INTRODUÇÃO: breve contextualização da problemática do trabalho com as hipóteses e a justificativa de pesquisa associadas, objetivos gerais e específicos da abordagem escolhida para solucionar a questão seguida das limitações do trabalho.

Capítulo 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: comenta as opiniões dos diversos autores relativo a literatura pertinente estando dividida em cinco tópicos: *Lean*, *BIM*, *Lean e BIM*, *Lean Design* e Redes Neurais Artificiais.

Capítulo 3 - METODOLOGIA: descrição dos passos metodológicos utilizados em concordância com o *Design Science Research*, com a finalidade de alcançar os objetivos específicos já citados. Este capítulo foi dividido em cinco fases: Identificação do problema, Conscientização do problema, Estruturação do sistema, Aplicação das Redes Neurais e Avaliação do artefato.

Capítulo 4 - ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS: explicação e discussão dos resultados obtidos referentes à identificação dos fatores causais levantados. Este capítulo foi composto por uma robusta análise bibliométrica e uma Revisão Sistemática da Literatura complementada no capítulo 3 e finalizado com os resultados obtidos da aplicação do artefato nas três empresas testadas.

Capítulo 5 - CONCLUSÕES: Foi realizado uma retomada dos objetivos específicos e como estes foram alcançados, as contribuições da pesquisa seguido de algumas sugestões para trabalhos futuros para aperfeiçoar estes estudos realizados.

Finalmente, após o capítulo 5, são registradas as Referências citadas ao longo desta tese e seus apêndices.

2 Fundamentação Teórica

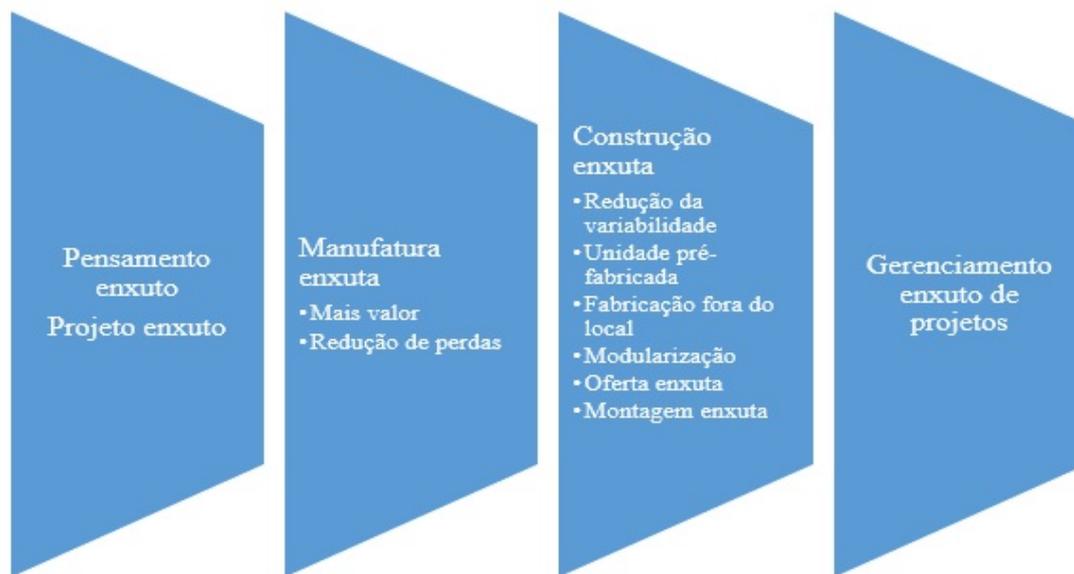
As pesquisas relacionadas ao uso da Modelagem de Informação da Construção *BIM* não têm se limitado apenas a este propósito. Outra prática, sendo esta o *Lean*, que vai além de aspectos tecnológicos abrange também questões comportamentais e culturais, que tem sido inseridas no *BIM* com a perspectiva de aperfeiçoar os processos tanto qualitativa quanto quantitativamente.

Dentro deste contexto, alguns estudos foram realizados com objetivo de ampliar o embasamento sobre a sinergia existente entre essas duas concepções. A ideia principal é formar uma análise conceitual da interação da filosofia *Lean* aplicada ao ciclo *BIM* em todas as suas fases.

Para isso, os próximos itens apresentarão uma análise de conceitos a partir da revisão da literatura, a fim de evidenciar a produção/construção enxuta e o processo *BIM* isoladamente, posteriormente a aplicação sinérgica do *Lean/BIM* e, em seguida, o *Lean design* com uma breve contextualização das Redes Neurais Artificiais.

2.1 *Lean*

Em 1990, a ideia e a aplicação do gerenciamento *Lean* e seu sucesso surpreendente no setor de manufatura motivaram a administração e os profissionais a adotarem também práticas de gestão enxuta no setor da construção civil (KOSKELA et al., 2019; NWAKI; EZE; AWODELE, 2021; HOWELL; BALLARD, 1997). A construção enxuta progrediu, expandiu e Koskela apresentou uma teoria completa e inovadora que incluía ideias e procedimentos do *Toyota Production System (TPS)* (BALLARD; TOMMELEIN, 2012). Este modelo e seus conceitos podem ser visualizados na Figura 2.1 a seguir:

Figura 2.1 – Desenvolvimento dos conceitos *Lean*

Fonte: Karim; Nekoufar(2011)

Atualmente, os problemas no setor da construção são resultado de um gerenciamento de projetos tradicional sem uma teoria de sustentação abrangente em três áreas: a construção enxuta *LC*, que é uma invenção que surgiu como resultado da falha dos métodos estabelecidos para abordar vários problemas recorrentes e generalizados em projetos (BITON; HOWELL, 2013).

Modelos conceituais são propostos explicitando as relações entre os processos e o desenvolvimento de produtos enxutos, servindo como guia para o desdobramento de estratégias e ferramentas para o gerenciamento e monitoramento do projeto (AIKHUELE; ANSAH; SOROOSHIAN, 2017).

Segundo Das (2018), quando as organizações estão sob crescente pressão para tratar de aspectos econômicos, ambientais, sociais e de sustentabilidade, a integração de práticas baseadas no *Lean* age como um facilitador para esse objetivo.

Portanto, atender desafios locais e globais relativos às práticas de gerenciamento se torna um exercício extremamente complicado, uma vez que detectar motivos estruturais característicos, fornecendo aos líderes organizacionais soluções *Lean*, é uma tarefa complexa.

Dentro desta conjuntura, Villalba-Diez e Ordieres-Meré (2016) propuseram

um modo *Lean* denominado *Solid Organization Design (SOD)* para que os gestores aplicassem os princípios de gerenciamento enxuto permitindo que as organizações alinhassem atividades de criação para o fluxo de valor.

Outro modelo, o *Lean Supply Chain Strategies (LSCM)*, propôs o desenvolvimento da cadeia de suprimentos visando um plano de excelência operacional e apoio as estratégias de negócios. Práticas de gestão da cadeia de suprimentos *Lean* (redução de custos, flexibilidade, redução ou eliminação de perdas e minimização de estoques) são alinhadas com prioridades competitivas (gestão da demanda, gestão de atendimento ao cliente, desenvolvimento do produto e gerenciamento de fluxo) sugerindo um modelo de projeto (KAZMANE, 2018).

As práticas enxutas além de assumirem uma função de cunho gerencial, abrangendo organizações, fluxo de processos e a gestão em sua totalidade, reúnem outros atributos que se estendem a diversos setores ou segmentos industriais.

De acordo com Jing, Tang e Yan (2018), existem teorias e práticas que verificam que o gerenciamento enxuto pode trabalhar em vários setores para melhorar a eficiência da produção reduzindo o seu custo, trazendo para a empresa considerável renda econômica e promovendo a inovação gerencial. Dentro desta vertente, Villalba-Diez et al. (2018) destacaram que o principal benefício da adoção do *Lean* é a redução da complexidade oferecida ao líder organizacional e ao tomador de decisão.

Os conceitos e práticas enxutas são adotados a diversas categorias da indústria como por exemplo a automobilística, de equipamentos elétricos, computadores, produção de peças plásticas e metálicas, manufatura de redes de pesca, processamento de madeira, tratamento de água e até mesmo ao gerenciamento de pessoas e processos nos hospitais.

O *ASAICHI* que é um princípio enxuto de melhoria contínua para ser aplicado na abordagem de resolução de problemas dentro do chão de fábrica, foi somado a uma ferramenta visual para o subdivisão de informações em uma empresa de manufatura que projetava equipamentos elétricos. O compartilhamento de informações em papéis A3 que definiram o *status* de cada departamento utilizando as cores permitiu que os diferentes departamentos (engenharia, produção e montagem), fossem envolvidos em todas as atividades, identificando os problemas, encontrando mais rapidamente

as soluções, gerenciando prioridades de forma mais eficaz da empresa desse estudo. (CANNAS et al., 2018).

Em uma linha de montagem de unidades de computador de controle para um motor de automóvel, a junção de dois métodos (Análise de *Cluster* e Análise de Agrupamento) proporcionaram um sistema de produção mais eficaz, fundindo o trabalho humano e máquina, mantendo o nível de eficiência elevada (YAMAZAKI et al., 2017).

A aplicação dos métodos *Total Productive Maintenance (TPM)* e *Context Sensitivity Analysis (CSA)*, em uma indústria de fabricação de moldes para produção de peças plásticas e metálicas, criou uma responsabilidade compartilhada por parte dos trabalhadores em relação aos equipamentos eliminando seus defeitos e reduzindo seus tempos de ciclo, propiciando maior produtividade nos processos e empenho dos funcionários (MOURTZIS; FOTIA; VLACHOU, 2017; MOURTZIS et al., 2018).

Numa indústria de manufatura de redes de pesca, o *Value Stream Mapping (VSM)* combinado a simulações experimentais de *design* foram aplicados como ferramentas e ajudaram os gerentes a visualizarem atividades que agregavam e que não agregavam valor. Os fatores importantes foram identificados e otimizados proporcionando uma produção mais enxuta em todos os processos (YANG et al., 2015).

Em oito estudos de caso realizados em indústrias de processamento de madeira, Soetara et al. (2018) concluíram que o sucesso da execução do *Lean Manufacturing* só foi possível com o apoio da gerência média e superior, que forneceu infraestrutura suficiente e preparou os recursos humanos progressivamente com a seleção da técnica enxuta apropriada.

Conforme demonstrado, práticas e ferramentas enxutas como *Kaizen*, *Just-in-time*, *Kanban*, *5S*, *Lean Manufacturing (LM)*, *Partial Least Square*, *Total Productive Maintenance (TPM)*, *Lean 3P* entre outras são bem variadas e se restringem ao objetivo em que a instituição pretende alcançar, podendo ser criadas ou replicadas com o propósito de difundir o pensamento enxuto nas corporações (BABALOLA; IBEM; EZEMA, 2019).

O *Lean 3P* (Preparação, Produção e Processo), foi utilizado como estudo piloto pra projetar uma nova unidade de endoscopia no Reino Unido. O estudo de caso

demonstrou que o 3P forneceu um processo eficaz para unir uma vasta gama de partes interessadas melhorando a qualidade do projeto. A análise dos fluxos, considerando os princípios *Lean*, foi configurada em operações mais eficazes (HICKS et al., 2015).

Porém, um método *Lean* que deve ser destacado por ser bastante disseminado e aplicado em diferentes áreas é o *VSM*. Esta técnica, quando combinada com outras ferramentas beneficia uma corporação tanto nos aspectos gerenciais quanto operacionais (SALGIN; ARROYO; BALLARD, 2016).

Rosso e Saurin (2018) conciliaram o *VSM* com um *software* denominado *FRAM* e proporcionaram uma estrutura inovadora para apoiar o *design* de trabalho instanciado em um sistema de saúde. As duas ferramentas combinadas ofereceram perspectivas complementares para o redesenho do sistema.

Dentro desta mesma perspectiva, o *VSM* foi aplicado ao departamento de emergência de um hospital, visando melhorar o tempo de espera relativo aos pacientes e o nível de serviço prestado pelos profissionais. Após os estudos realizados, foi efetivada uma simulação em dois *layouts* distintos constatando qual o modelo de projeto (*design*) seria o mais eficaz para aquela finalidade (WANG et al., 2015).

A multiplicidade de problemas logísticos e a sua relevância para o sucesso da construção requerem um estudo aprofundado, para os quais o *Lean*, com os seus procedimentos e princípios de pensamento se torna ideal (FENTZLOFF et al., 2021). É necessário entender como o contexto, o gerenciamento e a tecnologia afetam as interações entre os membros em uma equipe de um projeto (HERRERA et al., 2020).

Sendo assim, a construção enxuta refere-se à aplicação e adaptação dos conceitos e princípios do Sistema Toyota de Produção (STP) à construção. A utilização do termo construção enxuta, cunhado por um grupo de pesquisadores em 1993, fundamentou-se no *International Group for Lean Construction (IGLC)* (KOSKELA et al., 1997).

Esses conceitos originados da indústria automobilística vem evoluindo a partir de um trabalho inicial de Koskela "*Lean production in construction*", que propôs uma teoria coerente aplicando conceitos e práticas do Sistema Toyota de Produção para a construção civil denominado construção enxuta ou *Lean Construction (LC)* (BITON; HOWELL, 2013).

O *Lean* aplicado na construção é comumente denominado *Lean Construction* (*LC*) e concentra-se em três aspectos principais da produção: transformação, fluxo e valor. As atividades de transformação alteram a forma dos recursos e são as que tradicionalmente os gerentes de construção consideram (por exemplo, os cronogramas e as estimativas que enfocam a transformação: concreto, pintura de paredes, etc). As atividades de fluxo (transporte, espera / estoque, inspeção) são necessárias para produção e podem ou não agregar valor ao produto do ponto de vista do cliente porém, estas tem sido tradicionalmente negligenciados pelos gestores, resultando no desperdício de recursos da produção (KOSKELA, 2000).

O objetivo crítico dos princípios *Lean* na construção inclui o estabelecimento de um conjunto claro de objetivos para o processo de entrega, visando maximizar o desempenho do cliente no nível de projeto, bem como o *design* simultâneo de produtos e processos (ALBALKHY; SWEIS, 2020; SARHAN et al., 2019). Quando os princípios enxutos são aplicados à construção, ela assume uma nova dimensão, pois os participantes consideram todo o ciclo de vida do projeto ao decidir o que construir e como construir (EVANS et al., 2020).

As atividades de transformação alteram a forma dos recursos e são as que tradicionalmente os gerentes de construção consideram (por exemplo, os cronogramas e as estimativas que enfocam a transformação: concreto, pintura de paredes etc). As atividades de fluxo (transporte, espera / estoque, inspeção) são necessárias para a produção e podem ou não agregar valor ao produto do ponto de vista do cliente, porém, estas têm sido tradicionalmente negligenciadas pelos gestores, resultando nas perdas de recursos da produção (KOSKELA, 2000).

Li et al. (2017), em estudos sobre a evolução da *LC*, apontaram que um índice de avaliação para entender o *status* e a extensão da implementação da construção enxuta, composto por seis ferramentas e vinte e seis itens da construção enxuta, foi utilizada popularmente e implementado na indústria da construção de outros países como a Inglaterra. Dentro dos critérios considerados na investigação, observou-se, de acordo com o índice de avaliação, que este pode ser usado, revisado ou estendido por outras empresas em todo o mundo que visam implementar à construção enxuta, porém, o seu desenvolvimento ignora as diferenças culturais, políticas e econômicas entre os países.

Ainda dentro de uma perspectiva evolucionária, o *Lean Construction* está sob os holofotes para melhorar o desempenho geral dos projetos de construção civil na Inglaterra. Uma meta estratégica dos clientes públicos é ampliar efetivamente os atuais esforços na disseminação desta prática para as pequenas e médias empresas já que estes têm sido liderados principalmente pelas grandes empresas até o momento. Os achados iniciais quanto à ausência do *LC* nas pequenas e médias empresas corroboram com a literatura: falta de recursos para implantações, sistemas de entrega de projetos convencionais não incentivando a inovação, fragmentação e relações contratuais de curto prazo, falta de apoio e foco. Entretanto, para pontos de ações futuros com objetivo de contrapor estes dados foi proposto o envolvimento e apoio as pequenas e médias empresas disponibilizando recursos necessários, incentivando um mecanismo de entrega de projetos e elaborando um plano de treinamento contínuo (TEZEL; KOSKELA; AZIZ, 2017).

Em relação à proposta apresentada neste trabalho, como a difusão de práticas *Lean* apresentadas neste tópico pode ser inserida em um modelo de informação da construção *BIM*.

2.2 BIM

A ideia da modelagem de produto surgiu no início dos anos de 1960, porém, vários conceitos fundamentais de sua aplicação no desenvolvimento da construção foram apresentados ainda durante os anos de 1970, ganhando força ao final deste período, mediante as constantes mudanças econômicas, a globalização mercante e o aumento das pressões sobre as empresas.

Buscando a melhoria de processos, tornou-se fundamental uma abordagem integrada dos diferentes aspectos relacionados ao produto, a fim de atingir um mercado cada vez mais exigente em relação a prazos, qualidade e custos. Surgiu então, a modelagem do produto como uma importante ferramenta para a concepção, validação e construção, garantindo o aumento da produtividade e a sobrevivência dos negócios (FILHO, 2009).

Oliveira (2014) destacou que “muitos trabalhos sobre a modelagem na indústria foram desenvolvidos durante as décadas de 70 e 80, basicamente nos EUA e Europa.

Nos EUA o conceito inicial era conhecido como *Building Product Models* e na Europa era apresentado como *Product Information Model*”.

Filho (2009) ainda ressaltou que “o termo *BIM* foi criado pela empresa americana *Autodesk* em meados dos anos de 1990 para promover o seu novo *CAD*, o *Revit*. A ideia era reunir em um único conceito (de *marketing* inclusive) o conjunto de funcionalidades integradas oferecidas pelo novo produto”.

O aumento da complexidade dos processos resultou na necessidade de absorção de conceitos industriais, buscando a aplicação de soluções utilizadas na indústria da manufatura. Neste ponto, a noção de modelagem de produto idealizada por outras indústrias deu origem ao conceito *BIM*, como um modelo que busca integrar todos os processos relacionados à construção do produto edificação (OLIVEIRA, 2014).

Sacks et al. (2021), denominaram o termo *BIM* como um conjunto de ferramentas, processos e tecnologias que são facilitadas por uma máquina digital de leitura de documentação sobre um edifício, sua performance, seu planejamento, sua construção e o seu funcionamento.

Andrich et al. (2022) desenvolveram um guia completo para as atividades de checagem aplicáveis a quaisquer tipos de projeto, testado em um modelo real, utilizando ferramentas de verificação disponíveis comercialmente como o *BIM*. Os resultados ofereceram um bom suporte tanto para os clientes e administrações públicas durante a fase de validação e autorização, quanto para os projetistas durante o desenvolvimento do projeto como um processo interativo de verificação.

Quando implementado de forma adequada, facilita a integração do processo de concepção e de construção, o que resulta na melhoria da qualidade dos edifícios, na otimização dos custos e na confiabilidade da duração de um empreendimento de construção (DANTAS FILHO; CÂNDIDO; BARROS NETO, 2016).

Ainda dentro desta perspectiva, Campestrini et al. (2015) caracterizaram o *BIM* como um facilitador de metas mais rígidas de custo. Por exemplo, as informações que fluem durante as fases de projeto (arquitetônico por exemplo) e de obras precisam estar mais organizadas, sendo esta a base para que os resultados entregues por cada um dos envolvidos sejam melhores (mais eficientes, de menor risco, de melhor eficiência, eficácia e facilitada para aplicação na obra etc). Além disso, muitas dessas soluções

afetam outras disciplinas do projeto, impactando em outros profissionais da equipe, exigindo discussões e comprometimento de todos os envolvidos, surgindo a necessidade da colaboração.

Com a chegada de novas soluções, métodos, ferramentas, processos, entre outros, o *BIM* aparece como uma ferramenta para analisar e facilitar o acesso a essas inovações (CAMPESTRINI et al., 2015) e quando combinado com outras abordagens gerenciais, pode ajudar equipes de projetos a aumentar a produtividade do trabalho e a reduzir a necessidade de mão de obra (SACKS et al., 2021).

Eldeep, Farag e El-hafez (2022) ressaltam que a construção enxuta busca eliminar a perda nos processos de construção, enquanto o *BIM* busca melhorar a colaboração entre os membros da equipe do projeto.

Diante dos benefícios supracitados em relação ao *BIM*, muitos estudos têm questionado o fato de como este sistema de informações interligadas por ferramentas, aliado aos conceitos e técnicas *Lean* são aplicados na construção civil e suas respectivas fases.

2.3 *Lean e BIM*

O *BIM* tem sido relacionado ao desenvolvimento de abordagens enxutas para a gestão de projetos porque a colaboração aprimorada e a troca de informações podem contribuir para o objetivo do gerenciamento enxuto e redução da perda (OLATUNJI, 2011). Pesquisas vêm sendo incorporadas a fim de integrar uma abordagem da modelagem de informações da construção e os princípios enxutos com o objetivo de garantir o envolvimento precoce dos principais participantes no processo de tomada de decisões (MARZOUK; ELMARAGHY, 2021).

Diante disso, a Indústria da Construção Civil (ICC) vem tentando compreender a relação dos conceitos advindos do *Lean* e suas aplicações num modelo de informação da construção, uma vez que ainda existe uma lacuna do conhecimento na formalização do processo de detecção e resolução de conflitos, pois a maioria das investigações se concentra em ferramentas de *software* em vez dos elementos do processo, fluxos de atividades, recursos necessários e propósitos subjacentes (PEDO et al., 2021). Dentro desta

perspectiva, alguns estudos foram realizados com objetivo de ampliar o embasamento sobre a sinergia existente entre essas duas concepções e as barreiras à sua integração e implementação conjunta.

Muitos profissionais têm procurado desenvolver e implementar uma variedade de intervenções com o intuito de aperfeiçoar a qualidade do fluxo na construção, incluindo métodos focados em melhorar a qualidade das informações principalmente com o *BIM*, como técnicas de construção enxuta como *Last Planner System (LPS)*, seis sigma, além de métodos integrados como *Virtual Design Construction (VDC)* (MARAQA; SACKS; SPATARI, 2021).

Rossini, Novembri e Fioravanti (2017) realizaram uma simulação dentro de um modelo de informação da construção para definir a área em que uma equipe de trabalho precisava para desempenhar uma tarefa atribuída. Ao final das observações e identificadas as áreas de trabalho desperdiçadas, verificaram a falta de ferramentas para prever a ocupação otimizada no canteiro de obras, concluindo que essas áreas necessitavam da aplicação da gestão enxuta, visando garantir a maior taxa de ocupação e a maximização da produtividade do empreiteiro.

Assim, a revisão sistematizada da literatura e análise do conteúdo de alguns artigos, Corrêa e Fernandes (2017) constataram que 35% destes relacionavam às aplicações do 4D *BIM* com conceitos advindos da *LC*. Desse modo, Gestão visual, *LPS*, gerenciamento dos fluxos físicos do canteiro e melhoria do fluxo de informações são benefícios e ferramentas que estabeleceram conexões entre os dois conceitos.

Diante destes aspectos, um estudo construiu um sistema *Quality Control (QC)* ou controle de qualidade de construção, *KanBIM*, baseado na teoria *LPS*. O sistema é iniciado através da implementação de um plano em que o *feedback* das informações de controle de qualidade são combinados com o suporte dinâmico da base de dados *BIM* para melhorar continuamente a qualidade da construção. Os resultados da simulação mostraram que para potencializar o efeito da tecnologia *BIM* em sinergia com o *Lean Construction*, no gerenciamento de projetos, os participantes envolvidos no processo precisavam mudar sua atitude em relação ao corpo do projeto e fazer esforços para melhorar o valor final do produto, trocando informações, conhecimentos e ampliando a consciência da qualidade total de cada aspecto ligado ao processo de construção (LIU;

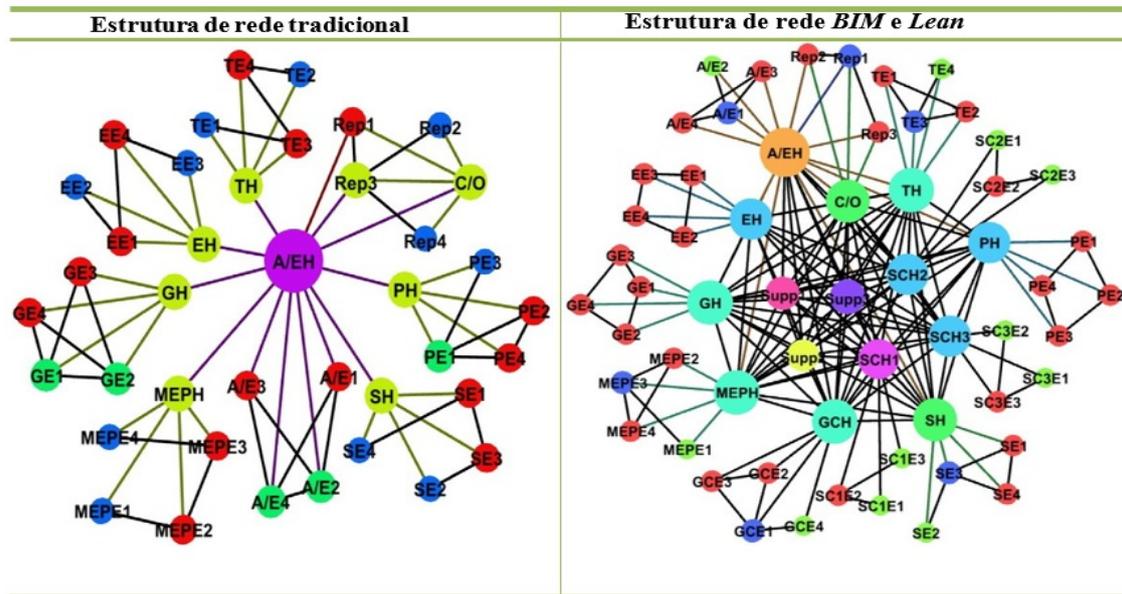
SHI, 2017).

Ainda com o viés da combinação *LPS+BIM*, num outro estudo realizado entre dois edifícios com projetos parecidos, foram utilizados fluxogramas para documentar os processos de planejamento. Os resultados demonstraram que o uso combinado do *LPS/BIM* gerou uma melhoria no Planejamento e Controle da Produção (PCP), diminuiu os motivos de não conformidade tanto nos processos quanto no projeto e encurtou as reuniões de planejamento, pois facilitou uma interação maior e mais diversificada das partes interessadas do projeto (TOLEDO; OLIVARES; GONZÁLEZ, 2016).

Com o objetivo de se conhecer as práticas de gerenciamento de projetos e os principais desafios e questões envolvidas no processo, um outro estudo propôs definir métodos de construção *Lean* e ferramentas adequadas, visando a melhoria das práticas de gestão em um nível operacional de projetos. Foram empregados dados empíricos coletados a partir de entrevistas semiestruturadas incidentes sobre três projetos de construção. Também foram levantadas questões relativas à gestão, práticas de comunicação, os desafios e problemas que afetavam os projetos, nos quais, ficaram constatados os seguintes fatores: falta de familiaridade dos gerentes de projetos com o *BIM*; dos projetistas uns com os outros, dificultando a avaliação do escopo do contrato, a magnitude e o tempo dos processos de modelagem; ausência de partilha de informações entre os projetistas e os gestores dos projetos, tornando a aquisição da entrada de dados insuficiente pelo fato das disciplinas estarem desconectadas umas das outras (TAURIANEN et al., 2016).

Hattab e Hamzeh (2015) observaram o potencial para o melhor gerenciamento de projetos, comparando duas combinações: a estrutura da rede num ambiente tradicional *versus* a estrutura da rede num ambiente *Lean/BIM*, conforme Figura 2.2.

Figura 2.2 – Rede de integração conceitual



Fonte: Hattab; Hamzeh(2015)

Ao utilizar um *software* para análise das redes integrando e mapeando as informações com o cálculo de suas respectivas métricas sob as duas configurações apresentadas, verificou-se que a probabilidade para que um indivíduo não cometesse um erro no projeto ou que o corrigisse antes ou depois de sua difusão era maior para a estrutura *Lean/BIM*. O número de conexões existentes entre indivíduos que interagiram e trocaram informações foi mais elevado, pois existiu um maior nível de colaboração e trabalho em equipe, já que estes, estavam mais igualmente conectados uns aos outros em sua rede (HATTAB; HAMZEH, 2015).

Neste mesmo estudo foi realizada uma análise em relação a alguns aspectos constatados nesta simulação. Os especialistas consideraram que na estrutura de um projeto tradicional, em que não foram adotados os princípios *Lean/BIM*, somente o arquiteto e os engenheiros estavam presentes durante a fase do projeto, enquanto que, dentro do ambiente enxuto e do *BIM* esta relação se estendia à rede de *stakeholders* (empreiteiros, fornecedores e outros engenheiros especializados). Permitiu também que as equipes se conectassem a participantes mais externos à sua disciplina, descentralizando a troca de informações e tomada de decisões (HATTAB; HAMZEH, 2015), além de reduzir a variabilidade na construção e o retrabalho (MAHMOOD; ABRISHAMI, 2020).

Modelos comparativos associando *BIM/Lean* têm sido buscados na literatura e estabelecidos critérios para sua análise. [Rashidian, Drogemuller e Omrani \(2022\)](#) usaram a compatibilidade do *BIM* com *Integrated Project Delivery (IPD)* e *Lean Construction* no contexto de Modelos de Maturidade (MM's) para identificarem como estes três podiam ser sincronizados.

Esta sincronização revelou que os conceitos *LC* identificados e os principais atributos não estão alinhados na maioria dos MM's *BIM* existentes, tanto da perspectiva cultural quanto operacional. O Quadro 2.1 mostra que o *(VDC) Scorecard* e *BIM2PR* são os MM's *BIM* mais compatíveis com *LC* e tanto a matriz de maturidade *BIM* quanto o *(VDC) Scorecard* se correlacionam intimamente com as características *IPD* ([RASHIDIAN; DROGEMULLER; OMRANI, 2022](#)).

Quadro 2.1 – Entrega de Projeto Integrada

Modelos de Maturidade <i>BIM</i>	Principais IPD's									Equipe do IPD			Fases do IPD		
	Respeito Mútuo e Confiança	Benefícios e Recompensas	Tomada de Decisão Colaborativa	Envolvimento Precoce	Definição de Meta Inicial	Planejamento Intensificado	Comunicação Aberta	Tecnologia Adequada	Organização e Liderança	Identificação Precoce do Participante Competente	Pré-qualificação	Engajamento das Partes Interessadas		Metas, Valores e Objetivos Comuns	Estrutura Organizacional
Matriz de Proficiência BIM			•					•	•	•					
Tabela de Desempenho VDC	•		•	•	•			•	•		•	•			
NBIM-CMM								•	•						
Golpe rápido BIM	•							•							
Perfil de Avaliação Organizacional						•	•								
ARUP			•						•						
Matriz de Maturidade BIM		•	•			•	•	•				•	•		
Matriz Multi-Funcional MM	•							•	•						
Estrutura de Caracterização BIM								•	•						
BIM CAT do Proprietário	•					•	•	•							
BIM-CAREM									•	•	•				
BIM2PR	•	•										•			

Para Nascimento et al. (2018), o gerenciamento da construção precisa cada vez mais integrar processos, tecnologias e pessoas com objetivo o de eliminar perdas e alcançar resultados mais eficientes. O uso sinérgico dos princípios de modelagem (*BIM*) e construção enxuta (*LC*) podem trazer melhoria contínua para o setor da construção, aperfeiçoando a produtividade e minimizando a perda (AFOLABI et al., 2019; GEORGIADOU, 2019; TENNAKOON; KULATUNGA; JAYASENA, 2021; DANIEL; PASQUIRE, 2019).

Enfatizar a importância da integração entre as abordagens *BIM* e *Lean* impacta em fatores organizacionais como a coordenação. O tempo de coordenação pode ser reduzido consideravelmente e problemas de projeto e engenharia podem ser resolvidos durante a fase de *design* (JANG; LEE, 2018), com uma estrutura de projeto que promova de forma clara uma colaboração e comunicação por meio de um processo simbiótico *BIM/Lean* (FENTZLOFF et al., 2021). Mas, apesar da cooperação da equipe ser mais significativa, a capacidade de aprendizado dos colaboradores e o conforto do ambiente de trabalho mais acentuado, a implementação do *BIM* tende a prolongar o período do projeto (WANG et al., 2021).

Onyango (2016) realizou estudos com objetivo o de verificar as diferentes interações existentes entre o *LC* e o *BIM* e se os mesmos eram explorados de forma sinérgica ou independente. Ao identificar o que podia ser alcançada se fossem usados simultaneamente averiguou várias relações possíveis, exemplificadas no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Interação entre os princípios *Lean* e o *BIM*

<i>Lean Construction</i>	Intersecção com <i>BIM</i>
Eliminação de perdas	Testes de colisão estrutural
	Alternativas de projeto para selecionar o projeto mais adequado
	Simulações de desempenho para solução mais eficiente
Valor do cliente (atingir requisitos)	Visualização da solução que garanta uma compreensão clara do modelo
	Análise do melhor resultado
	Compreensão entre cliente e fornecedor pelo uso de modelos 3D
Redução do tempo de ciclo	Geração automatizada de mudanças e quantidades de material
	Fornecer informações precisas para pré-fabricação
	Visualização do fluxo de trabalho para verificar conflitos de processos (equipes e tarefas)
Fluxo de trabalho	Através da criação de cronogramas detalhados de tarefas e prazos de entrega de materiais
Colaboração	Capacidade de trabalhar simultaneamente na mesma solução de projeto por equipes diferentes

Fonte: Adaptado de Onyango (2016)

Em uma análise incidente sobre o *BIM* durante a fase de construção e como ele estava relacionado com os princípios *Lean*, [Vestermo et al. \(2016\)](#) revelaram que houve diferentes interações entre a construção enxuta e o *BIM*-estações. Inicialmente foram levantadas todas as características do *BIM*-estações descritas no Quadro 2.3.

Quadro 2.3 – Interação entre as características do *BIM* - estações e os princípios *Lean*

(1) Uma estação <i>BIM</i> possibilita que os trabalhadores visitem o canteiro de obras através de uma realidade virtual com o uso do <i>BIM</i> .
(2) Uma estação <i>BIM</i> permite que os trabalhadores visualizem as mudanças mais rapidamente, acessando a desenhos atualizados em um modelo 3D no local.
(3) Usar um modelo <i>BIM</i> em uma estação <i>BIM</i> permite que os trabalhadores no local entendam melhor como o produto final vai ser. A estação <i>BIM</i> pode ser usada para esclarecimentos em situações em que faltam informações em desenhos 2D.
(4) A entrega direta de informações a uma estação <i>BIM</i> reduz os tempos de espera e melhora o fluxo.
(5) Por ter uma estação <i>BIM</i> online, o processo de obtenção de desenhos atualizados para a construção pode ser simplificado. Isso também pode evitar muitos resíduos de papel, pois os funcionários não precisam imprimir novos desenhos para verificar se há atualizações.
(6) Ter acesso on-line a informações sobre na estação <i>BIM</i> padroniza a maneira de obter a informação. Os trabalhadores podem recuperar desenhos diretamente do modelo <i>BIM</i> , em vez de tê-los todos pré-impresos.
(7) A visualização de processos e a comunicação on-line possibilitam o uso de estações <i>BIM</i> para atualizações de status. Um carpinteiro pode, por exemplo, enviar uma atualização de status quando ele colocar uma parede, então o eletricitista é notificado quando estiver pronto pra ele.
(8) Ao atualizar o status do processo disponível na estação <i>BIM</i> , é possível usar o <i>BIM</i> -estação para ver onde ela está pronta para começar a trabalhar, ou quanto uma pessoa deve esperar até que fique clara. Isso reduz a latência e o tempo de ciclo das atividades.
(9) Ao gerar automaticamente listas de materiais necessários do modelo <i>BIM</i> , é possível economizar tempo e obter mais precisão. Um carpinteiro pode, por exemplo, gerar lista para um quarto, ver exatamente quanto material é necessário. Isso leva ao aumento da produtividade e reduz a variabilidade.
(10) Utilizando a estação <i>BIM</i> como um ponto de encontro para os trabalhadores de uma ou mais disciplinas, todos podem dar suas opiniões e a base de conhecimento para tomar a decisão aumenta. A probabilidade de que a melhor decisão seja tomada, portanto, aumenta. Ao usar o <i>BIM</i> , você aumenta as informações disponíveis para apoiar as decisões. Nessa situação, a estação <i>BIM</i> facilita um maior nível de colaboração face a face entre os funcionários do local.
(11) As estações <i>BIM</i> fornecem a capacidade de reportar diretamente da estação <i>BIM</i> para o gerenciamento. Exemplos de tais necessidades de relatórios podem ser feedback instantâneo sobre erros, conflitos, desvios ou outras coisas. Esses canais de informação direta podem ajudar a garantir que mais tempo seja usado para a produção e reduza o tempo de ciclo.
(12) Com hiper ligações para desenhos e documentos, a forma de obter informações é padronizado. A viabilidade é reduzida quando você tem links diretos para os documentos necessários.

Ficou demonstrado uma redução no volume de atividades não agregadoras de valor, de modo que elas poderiam ser usadas como guia para as empresas que pretendiam implementar *BIM*-estações e *Lean* na fase de produção de projetos de construção. Essas interações entre *BIM*-estações e os princípios *Lean* são demonstradas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Matriz de interações entre características do *BIM*-estações e os princípios *Lean*

Características Estação de <i>BIM</i>	Princípios do <i>Lean</i>						
	Vá e veja por você mesmo	Padronizar	Gerenciamento visual	Reduzir a variabilidade	Reduzir o tempo de ciclo	Cultivar uma rede alargada de parceiros	Decidir por consenso. Considere todas as opções
Visualização de forma	1		3				
Visualização do status do processo			7				
Geração automática de listas				9			
Acesso <i>on-line</i> aos documentos		12		12			
Manutenção e atualização da informação			2	4			
Atualização de desenhos e documentos			2	4			
Comunicação de duas vias							10
Comunicação eletrônica/ <i>on-line</i>		6		4	8		
<i>Feedback</i> para a gestão							11

Fonte: Adaptado de Vestermo et al.(2016)

Outro estudo examinou os efeitos de um sistema de controle de produção *KanBIM* nas seleções de tarefas de subcontratados em trabalhos internos. As informações contidas dentro do modelo *BIM*, influenciaram as decisões tomadas pelas equipes de construção ao determinar a sequência de trabalho (GUREVICH; SACKS, 2014).

Arayici, Koseoglu e Sakin (2018) identificaram os ganhos de eficiência alcançados em um projeto *Istanbul Grand Airport (IGA)*, destacando as sinergias mútuas entre o *BIM* e as práticas enxutas. O uso do *KanBIM* afetou positivamente o comportamento de seleção de tarefas dos líderes da equipe comercial, resultando em melhores processos de fluxo de trabalho e eliminação de resíduos.

Koseoglu e Nurtan-Gunes (2018), por sua vez analisaram as interações enxutas resultantes de processos *BIM* móveis e suas transformações. Perceberam que através da implementação de processos de gerenciamento de projetos por práticas *BIM* no canteiro de obras, os princípios *Lean* foram alcançados e os gargalos identificados.

A introdução da teoria da construção enxuta e tecnologia *BIM* conjuntamente podem melhorar efetivamente a eficiência do projeto de construção, reduzindo as atividades com controle de seus custos, maximizando o valor do projeto e atendendo às necessidades do cliente (WEN, 2014). Eldeep, Farag e El-hafez (2022) concluíram que 11% do aumento do preço total do contrato e 25% do aumento do tempo total do contrato poderiam ser evitados usando o *BIM* como uma ferramenta de processo de construção enxuta.

O uso combinado de princípios da filosofia de produção enxuta e modelagem de informação da construção (*BIM*) é um mecanismo eficiente para lidar com a complexidade de projetos de sistemas construtivos pré-fabricados. Embora estes possam ser considerados como duas abordagens separadas para melhorar o desempenho dos sistemas de produção na indústria da construção, há evidências que existe muita sinergia entre eles (BORTOLINI; FORMOSO; VIANA, 2019).

O *Lean* integrado ao *BIM* proporcionou um desempenho crucial no sequenciamento dos processos construtivos nos módulos de *rack* de uma tubulação em uma instalação industrial. A partir da implementação de uma *Digital Obeya Room (DOR)* aliada à aplicação dos estágios *Plan-Do-Check-Act (PDCA)*, uma matriz de compatibilidades entre os princípios *Lean* e as funcionalidades *BIM* orientaram gestores, líderes e tomadores de decisões a priorizarem o uso correto, eficiente e efetivo de recursos humanos, materiais e tecnologias nivelando melhor os recursos, reduzindo o trabalho e a perda durante a construção (NASCIMENTO et al., 2017; NASCIMENTO et al., 2018).

Ainda na fase construtiva, [McArthur e Bortoluzzi \(2018\)](#) promoveram a combinação do *Lean* e do *Agile* dentro do ambiente *BIM* em um projeto de instalações. As práticas *Lean* implementadas buscavam promover a expansão contínua e incrementar melhorias nos processos minimizando ou eliminando as atividades que não agregavam valor. Já a filosofia *Agile* com interações curtas, *feedback* regular, adaptabilidade a mudança e foco, forneceu aos usuários finais produtos de trabalho em um prazo mínimo. Os resultados demonstraram que a abordagem conceitual proposta para o *BIM*, forneceu um meio de implementar e avaliar rapidamente o projeto de instalações com o mínimo de modelagem necessário para atingir a funcionalidade adequada.

Uma outra matriz de interações foi elaborada a partir da revisão da literatura dos princípios *Lean* e das funcionalidades *BIM*. Fatores como gerenciamento de informações, problemas de projeto de construção são correlacionados como mostra o Quadro 2.4. Os estudos concluíram que a interação entre *Lean* e o *BIM* beneficiou a matriz de interações em termos de redução de problemas de projeto ([MOLLASALEHI et al., 2017](#)).

Quadro 2.4 – Interação do BIM e Lean

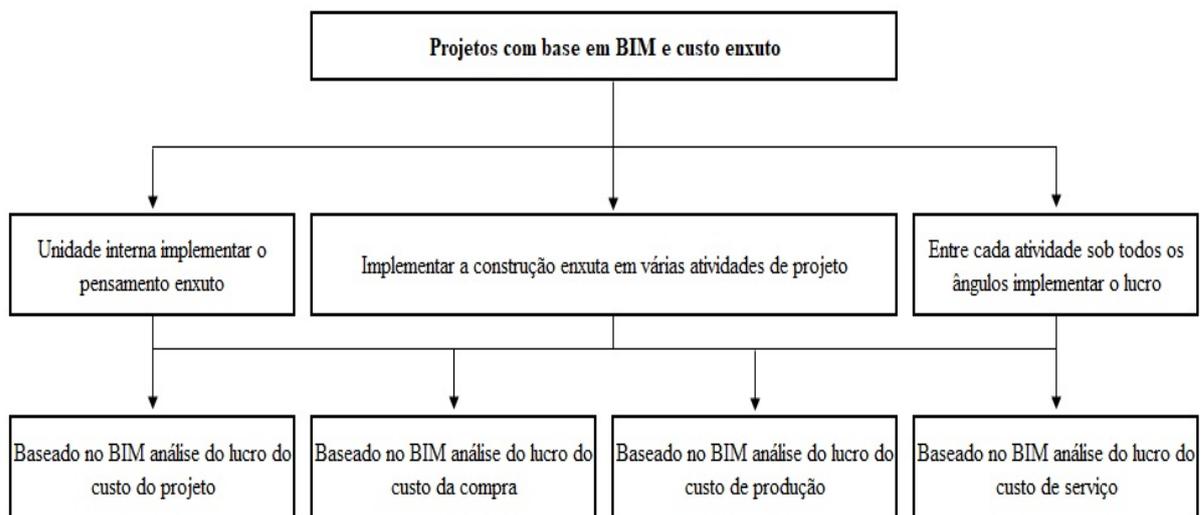
Interação do BIM e Lean		Desafios do gerenciamento de informações / Problemas de projeto de construção																							
Princípios Lean	Funcionalidades BIM	1. Sistemas ou ferramentas						2. Informação						3. Pessoas						4. Política e estratégia					
		a	b	c	d	e	f	a	b	c	d	e	f	a	b	c	d	e	f	a	b	c	d	e	f
Redução da variabilidade Redução do tempo de ciclo Aumento da flexibilidade Uso da gestão visual Verificar e validar	Visualização	Indireto	Indireto	N/A	N/A	Direto	N/A	Indireto	Direto	Direto	Direto	Direto	Direto	Direto	Direto	Direto	Direto	Direto	Direto	Direto	Indireto	Indireto	N/A	Direto	N/A
Redução da variabilidade Redução do tempo de ciclo Aumento da flexibilidade Uso da gestão visual Padronizar	Planejamento 4D e planejamento sequencial da construção	Direto	Direto	N/A	N/A	Direto	N/A	Indireto	Direto	Direto	Direto	Direto	Direto	Direto	Indireto	Indireto	N/A	Direto	N/A	Direto	Indireto	Indireto	N/A	Indireto	N/A
Redução da variabilidade Redução do tempo de ciclo Aumento da flexibilidade Uso da gestão visual Verificar e validar Padronizar	Colaboração e comunicação	Direto	Indireto	N/A	N/A	Direto	N/A	Direto	Indireto	Direto	Direto	Direto	Direto	Direto	Indireto	Indireto	N/A	Direto	N/A	Direto	Indireto	Indireto	N/A	Direto	N/A
Redução da variabilidade Redução do tempo de ciclo Verificar e validar	Deteccão de choque	Direto	Indireto	N/A	N/A	Direto	N/A	Direto	Direto	Indireto	Direto	Direto	Direto	Direto	Indireto	Indireto	N/A	Direto	N/A	Indireto	Indireto	Indireto	N/A	Indireto	N/A
a) Falta de comunicação e coordenação d) Ausência ou deficiência de informações		b) Documentação insuficiente						c) Compartilhamento desequilibrado de recursos						f) Alterações de projeto											
		e) Tomada de decisão não confiável																							

Fonte: Adaptado de Vestermo et al.(2016)

Nath et al. (2015) propuseram um segmento de trabalho aprimorado com base em *BIM* e o mapeamento do fluxo de valor a fim de simplificar o processo e alcançar a construção enxuta. Os resultados mostraram que se o fluxo de trabalho proposto fosse seguido, haveria uma melhora geral de produtividade de aproximadamente 36% para o tempo de processamento e 38% para o tempo total. O aumento na viabilidade dos processos e a redução dos tempos de espera foram resultados do cultivo de uma coordenação e colaboração aprimorados entre os diferentes participantes do projeto, aumento da flexibilidade e transparência nos processos que simplificaram e sincronizaram mais adequadamente o fluxo de trabalho.

A combinação *Lean* e *BIM* abrange também uma aplicação no gerenciamento de custos. O pensamento enxuto é a essência da busca do custo mínimo da cadeia de suprimentos e sua implementação precisa de uma plataforma de informação *BIM* (YONGGE; CHENG, 2013). Os projetos enxutos baseados em *BIM*, propostos pelos autores consistem em quatro partes que podem ser visualizadas na Figura 2.3.

Figura 2.3 – Projetos enxutos baseados em *BIM*



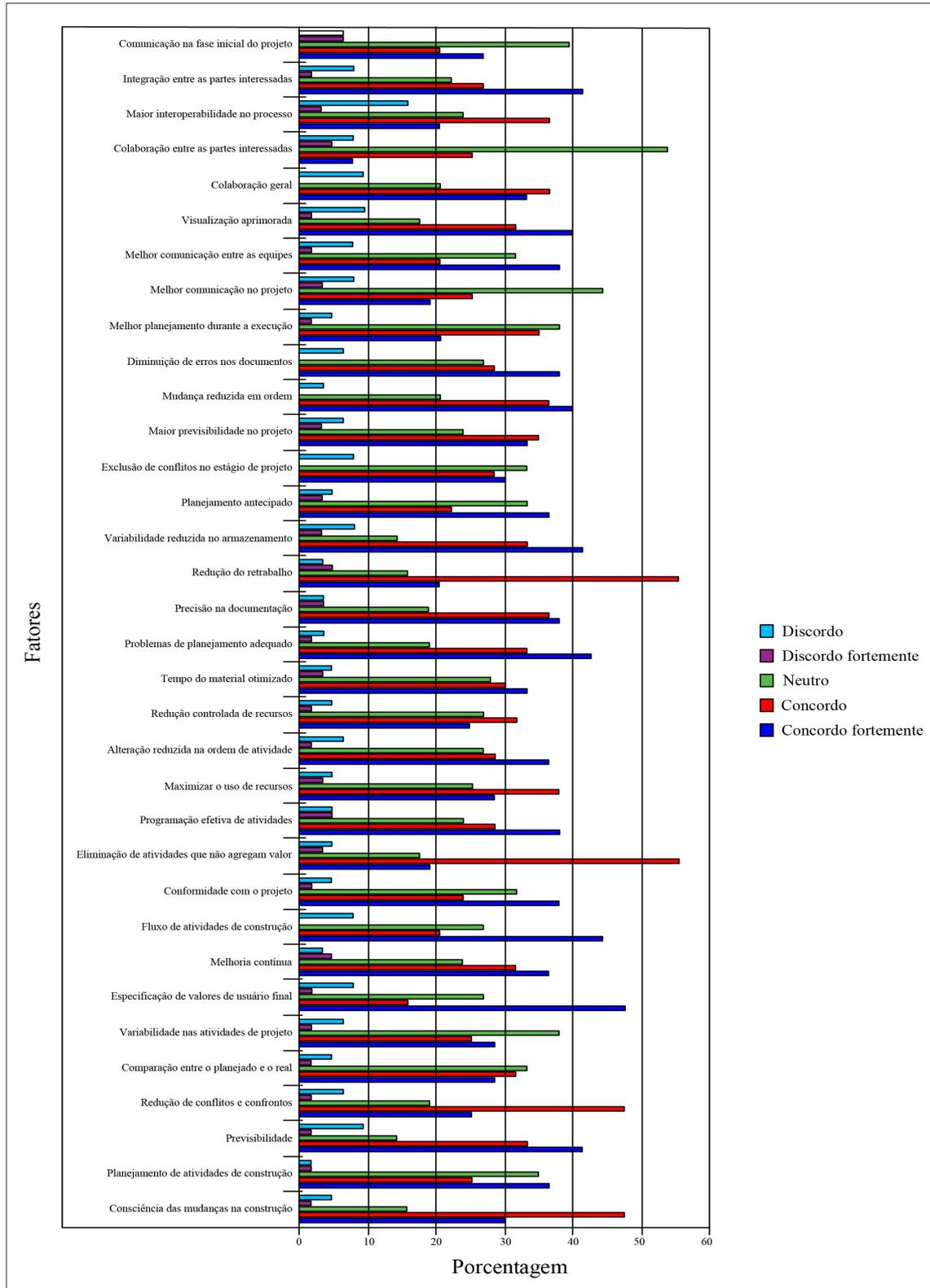
Fonte: Adaptado de Yongge; Cheng (2013)

Dessa forma, o gerenciamento de custos enxutos devem se concentrar no estágio de desenvolvimento do produto, sendo este um fator chave para o sucesso competitivo. Yongge e Cheng (2013) demonstraram que 80% do produto é formado no estágio de projeto, portanto, o custo do planejamento deve passar por todo o processo de

desenvolvimento do produto.

Ainda avaliando a interação conceitual, ao realizar uma pesquisa por meio de uma revisão bibliográfica e um questionário distribuído em diferentes empresas das quais participaram 63 indivíduos, [Arokiaprakash, Kannan e Manikanda Prabhu \(2017\)](#) constataram um percentual de fatores *Lean* aplicáveis a uma plataforma *BIM* conforme Figura 2.4. Os resultados, segundo os participantes, mostraram uma redução de alterações nos pedidos por clientes, otimização do projeto evitando o seu retrabalho, variabilidade reduzida e previsibilidade do tempo e do processo de construção.

Figura 2.4 – Porcentagens gerais para os fatores

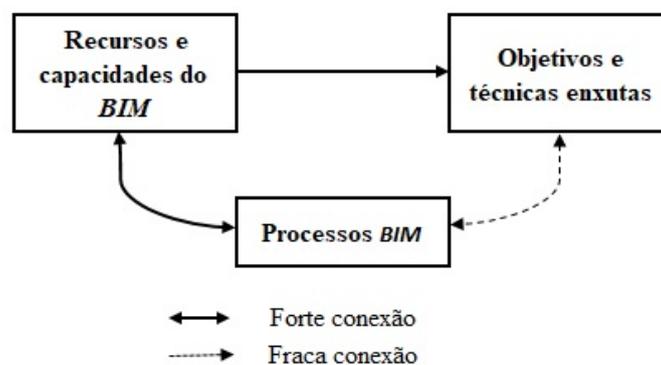


Fonte: Adaptado de Arokiaprakash;Kannan; Prabhu (2017)

Neste contexto, os dois conceitos combinados *Lean/BIM*, desde as fases iniciais ao processo integrado, podem levar a um aumento na eficiência, incluindo uma economia de tempo e financeira, tendo como consequência uma redução da ocorrência de problemas futuros (LIKITA et al., 2022), demonstrando que este é um novo tópico de investigação sendo necessária a realização e a disponibilidade de mais atividades de pesquisa (ONYANGO, 2016). Dessa forma, a maioria dos profissionais e empresas estão na fase de exploração e experimentação para interação de *BIM* e construção enxuta (ZHAN et al., 2022) e na AEC ainda não existe nenhuma estrutura de avaliação especializada para as tecnologias em associação ao *Lean* baseadas em *BIM* (KIM et al., 2021).

Pedo et al. (2021) destacam que, para a comunidade *Lean* alcançar um lugar mais incidente nas discussões *BIM*, reivindicando uma sinergia mútua, uma ampla gama de oportunidades de intervenções em processos *BIM* sob uma perspectiva *Lean* deve ser investigada mais profundamente como uma abordagem sistemática, como mostra a figura 2.5.

Figura 2.5 – Objetivos e técnicas enxutas



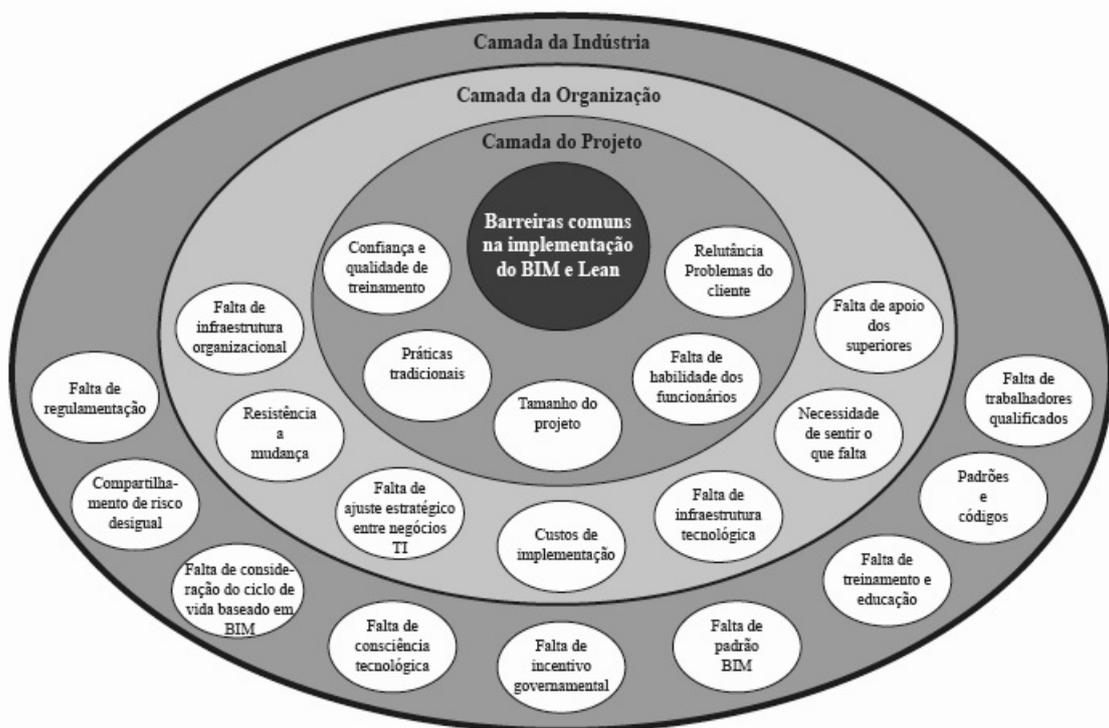
Fonte: Adaptado de Pedo et al. (2021)

Sendo assim, para Herrera et al. (2021), não há evidência de causalidade entre *Lean* e *BIM*, ou seja, não se sabe se as empresas com altos níveis de implementação *Lean* estão usando o *BIM* extensivamente ou se projetos que usam *BIM* estão aplicando práticas *Lean*. Apesar dos benefícios obtidos com a implementação de *Lean* e *BIM*, as limitações e lacunas nas práticas de construções atuais e nas estratégias de implementação criam barreiras para uma aplicação bem sucedida (JELODAR; YIU; WILKINSON, 2022; SANTOS; FORMOSO; TOOKEY, 2002).

Essas barreiras ou obstáculos para aplicação do *BIM* e *Lean* na indústria da construção estão relacionados a tecnologia, custo, gestão, escassez de profissionais, interoperabilidade de dados e modificações nos processos de fluxo de trabalho (ZHAN et al., 2022).

Likita et al. (2022) demonstram as barreiras comuns para o *BIM* e as soluções de construção enxuta conforme exemplifica a figura 2.6. Porém, destacaram que a abordagem *BIM* levou à várias inovações revolucionárias que poderiam proporcionar melhorias significativas de produtividade na rede ferroviária da Nova Zelândia. A equipe do projeto reconheceu que essas melhorias não poderiam ter sido realizadas com os métodos tradicionais de entrega em que todos os casos envolveram aplicações *BIM* e processos *Lean*, mesmo que não tenham sido utilizados direto ou deliberadamente.

Figura 2.6 – Barreiras comuns para construção *Lean* e *BIM*



Fonte: Adaptado de Likita et al. (2022)

Portanto, os referenciais selecionados permitem observar que o uso sinérgico do *Lean* e *BIM* na indústria AEC são recorrentes na fase de construção dentro do ciclo de vida da edificação. Observou-se que a aplicação combinada dos conceitos se direcionam em duas vertentes: a primeira se restringindo à otimização de processos construtivos,

especificamente ao *Lean Construction*, e a segunda, conceitualmente, em que verificou-se a ideia de que estas práticas podem sair do contexto executivo e serem inseridas no processo *BIM* em sua fase inicial *design*.

Paik, Leviakangas e Choi (2022), em uma revisão da literatura observaram que poucos estudos anteriores consideravam a simulação de projeto incorporando quantitativamente segmentos de serviços. Os agentes conceituaram todos os segmentos de *design*, focando nas questões que surgiram na fase inicial do projeto para identificar problemas críticos de gerenciamento de *design*.

Herrera et al. (2021), por outro lado utilizaram 19 práticas de *Lean Design Management (LDM)*, classificadas em três categorias: gestão das partes interessadas, planejamento e controle, solução de problemas e tomada de decisões em cinco níveis, medindo a proporção da aplicação do uso do *BIM*.

O *Lean Design* introduz vários elementos que fazem parte da filosofia *Lean* e que são fundamentais na parte de *design*, por exemplo, o envolvimento ativo e sistemático dos clientes nas fases iniciais, maximização do valor, identificação das necessidades e objetivos de todas as partes interessadas, realização simultânea do projeto, do processo, adiantamento da etapa de tomada de decisão até o último momento com o objetivo de reduzir trabalhos e tarefas desnecessárias (GAMBATESE; PESTANA; LEE, 2017).

Sreeram e Thondiyath (2015), em seu trabalho, combinaram o *Lean* com o *Six Sigma* e reuniram ingredientes necessários para o mapeamento do processos, remoção de redundâncias, incorporação de flexibilidade no desenvolvimento de uma estrutura básica para o *design*, resultando em um processo mais eficiente, incorporando melhorias e inovações.

2.4 *Lean design*

A fase de projeto (*design*), teve um aumento de sua complexidade aliada ao surgimento de inúmeras especialidades inter-relacionadas que implicaram numa expansão de erros, sendo esse uma das fontes de perdas na indústria da construção.

Pezzotta et al. (2018) salientam que faltam metodologias capazes de suportar a

integração dos componentes do produto e do serviço desde a fase inicial de projeto. Assim, ele evidenciou uma lacuna na literatura *Lean* com foco no aumento da eficiência de todo o projeto arquitetônico, em que a aplicação dos conceitos e práticas enxutas podem ser úteis para melhorarem a eficiência de todo o processo de construção (MAZLUM; PEKERİÇLİ, 2016).

Para Herrera et al. (2021), as práticas de *Lean Design Management* são processos ou métodos relacionados à filosofia *Lean*, que geralmente são aplicados à fase de um projeto de construção.

Um dos principais problemas na indústria da construção é a perda e suas possíveis prevenções. Há esforços contínuos em outros setores para a redução de perdas. No entanto, a indústria da construção tem uma maneira tradicional de trabalhar e novas ideias de produção têm dificuldades em penetrar nos processos de trabalho existentes devido à natureza distinta das relações de *design* e produção em comparação com outras indústrias. Princípios *Lean* podem desempenhar um papel importante na construção da base para atividades de minimização de perdas na construção (MAZLUM; PEKERİÇLİ, 2016).

No entanto, diversos pensamentos e ferramentas *Lean* são utilizados, como por exemplo, o *Lean Way Implenía*, como ilustra a Figura 2.7, em que o canteiro de obras utiliza a abordagem desenvolvida inteiramente para implementar o *Lean* nos projetos. O *Lean Way Implenía*, segue fases individuais que começam com o processo de licitação e ajudam a equipe de projeto com *coaching* e treinamento para desenvolver gradualmente as abordagens do projeto (FENTZLOFF et al., 2021).

Figura 2.7 – Princípios *Lean Implenía*



Fonte: Adaptado de Fentzloff et al. (2021)

Visando a melhoria e a diminuição de perdas nesta fase, [Ko e Chung \(2014\)](#) adaptaram conceitos da produção enxuta com o objetivo de melhorar a precisão do projeto. Constataram que, aplicando a filosofia *Lean* ao projeto, o processo para o desenvolvimento do mesmo tornou-se mais maleável atendendo às necessidades do proprietário e agregando valor para o cliente, além de estabelecer um ambiente de aprendizagem organizacional dentro do fluxo de trabalho.

[Bygballe, Endresen e Flun \(2018\)](#) examinaram a implementação de princípios *Lean* em mecanismos formais (arranjos contratuais) e informais (relações sociais) em uma obra pública. Concluíram que os mecanismos informais (relações laterais, confiança) influenciaram a implementação dos princípios *Lean*, ajudando a se criar um comprometimento com os seus respectivos conceitos.

Ainda dentro desta perspectiva de melhoria e visando implementar o processo *Lean design*, esta filosofia sugeriu dividir o projeto num conjunto de três fatores: conversão, fluxo e valor. Dentro deste universo foi proposto a aplicação de sete ferramentas que vão de acordo com as necessidades dos clientes, onde foram identificadas cinco áreas com potencias de melhoria: cliente, administração, projeto, recursos e informações. Os resultados implicaram num significativo aumento na participação de atividades de valor agregado, redução dos erros dos tempos de espera dos processos, aumentando a eficiência e eficácia no projeto (*design*) ([FREIRE; ALARCÓN, 2002](#)).

Em outra análise, visando a aplicação da filosofia *Lean* no gerenciamento de projetos (*design*), [Reifi e Emmitt \(2013\)](#) concluíram que a inserção destes conceitos deve ser personalizada de acordo com o contexto do projeto, a fim de alcançar o valor desejado para todas as partes interessadas. Foi verificado que apenas 15% de uma amostra de entrevistados afirmaram estar usando uma abordagem enxuta integrada com o processo de gerenciamento de projetos através de procedimentos sistemáticos.

Estes procedimentos sistemáticos compreendiam: garantia do envolvimento antecipado de todas as partes envolvidas; revisão colaborativa de acordos sobre estágios críticos para gerar um plano de ação e monitorar conjuntamente o uso do *briefing* para obter a certeza da entrega; utilização de oficinas abertas onde cada processo é verificado em relação a outros projetos semelhantes e novas ideias e conceitos são introduzidos; tornar os serviços eficientes por meio do uso de tecnologias inovadoras e técnicas de

gestão; educar as equipes de projeto na filosofia enxuta e incentivá-los a adotá-las em suas comissões (REIFI; EMMITT, 2013).

O pensamento *Lean* aplicado à gestão do projeto deve produzir requisitos a partir de uma cuidadosa identificação das necessidades do cliente e meticulosa tradução dessas necessidades em especificações de engenharia (BALLARD; HOWELL, 2003). Para Pasquire e Salvatierra-Garrido (2011), o cliente, muitas vezes, é representado por vários *stakeholders* (usuários, investidores, proprietários entre outros), assim, o gerenciamento do projeto enxuto claramente inclui a interação oportuna das partes interessadas.

O valor para o cliente através de processos de produção eficientes é um princípio fundamental do pensamento enxuto. Contudo, o valor tem sido associado objetivamente a parâmetros como redução de perdas, custo, tempo e aumento da qualidade das atividades realizadas no projeto destinada a satisfazer os requisitos do cliente (PASQUIRE; SALVATIERRA-GARRIDO, 2011).

Entretanto, práticas *Lean* aplicadas ao gerenciamento de projetos (*design*) têm sido ligadas à melhoria da comunicação e ao processo decisório. Desta forma, oficinas interativas com a participação das partes interessadas tornaram-se uma atividade central para criar consenso nos diferentes juízos de valor. Estas atividades foram entendidas como uma oportunidade para redução da incerteza futura e minimização das perdas (REIFI; EMMITT, 2013).

Visando diminuir as perdas nas práticas utilizadas no gerenciamento de projetos em *BIM*, além dos conceitos e ferramentas *Lean* apresentados neste item, outro método tem sido muito difundido na tentativa de se criar soluções mais rápidas e inovadoras em todos os espectros do conhecimento, sendo este as Redes Neurais Artificiais (RNA's).

Para Erpen et al. (2021), as RNA's surgem como uma alternativa vantajosa baseada em conceitos estatísticos, de reconhecimento de padrões, aprendizado e realização de previsões de séries temporais (BORELLA; BORELLA; CORSO, 2022), uma vez que a hipótese prévia sobre a distribuição dos dados é classificado de acordo com suas entradas que podem ter diferentes escalas (real, inteiro, logarítmico etc).

2.5 Redes Neurais Artificiais

As Redes Neurais Artificiais (RNA's) foram fundamentadas no ano de 1950 e ganharam atenção significativa na última década devido ao desenvolvimento de *hardwares* mais poderosos e a criação de algoritmos para rastreamento de neurônios (APANAIVIČIENĖ; JUODIS, 2003).

Baseadas no funcionamento dos neurônios do cérebro humano, as RNA's são responsáveis pelo processamento de informações e caracterizadas como modelos computacionais que possuem adaptação, aprendizado, habilidades de reconhecimento e organização de dados (RABUNAL; DORADO, 2006; KROSE; SMAGT, 2011). Estão relacionadas à inteligência computacional melhorando processos multivariados e não lineares (HAN; QIAO, 2013; LIU; CHUNG, 2014) que não são bem compreendidos ou detalhados (NA et al., 2012; ZENOOZ et al., 2017) assim como o dos seres humanos.

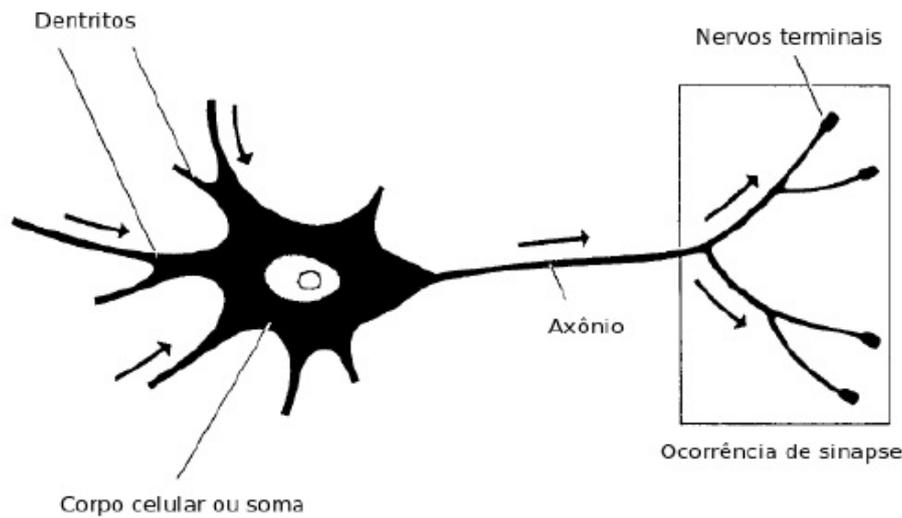
O sistema nervoso dos seres humanos é composto por um órgão (cérebro) bastante poderoso e complexo capaz de processar uma enorme quantidade de informações em um tempo bastante restrito o que é uma metodologia de cálculo bastante utilizada em Inteligência Artificial.

Sendo assim, o cérebro é apto a realizar tarefas muito complexas como por exemplo o reconhecimento de um indivíduo em uma foto coletiva em milésimos de segundos. Baseado nestes fatos, várias pesquisas têm sido coordenadas na tentativa de simular o funcionamento do cérebro, pelo processo de aprendizagem por experiência, com o objetivo de criar sistemas inteligentes capazes de realizar tarefas como classificação, reconhecimento de padrões, processamento de imagens entre outras. Surgiu então o modelo do neurônio artificial e posteriormente um sistema com vários neurônios interconectados chamados de Redes Neurais que serão melhor exemplificados no próximo item.

Para Arbib (2003), o neurônio é constituído por três partes principais: a soma ou corpo celular, do qual derivam algumas ramificações denominadas de dendritos e, por fim, outra ramificação descendente da soma, porém mais extensa, chamada de axônio. Nas extremidades dos axônios estão os nervos terminais pelos quais são realizadas as transmissões das informações para outros neurônios. Essa transmissão é conhecida como

sinapse conforme ilustra a figura 2.8.

Figura 2.8 – Modelo do neurônio biológico



Fonte: Adaptado de Arbib (2002)

A informação transmitida pelos neurônios são os impulsos elétricos, sendo esta a mensagem que os neurônios transmitem uns aos outros, ou seja, a propagação de um estímulo ao longo dos neurônios que pode ser qualquer sinal captado pelos receptores nervosos (LUNDY-EKMAN, 2008).

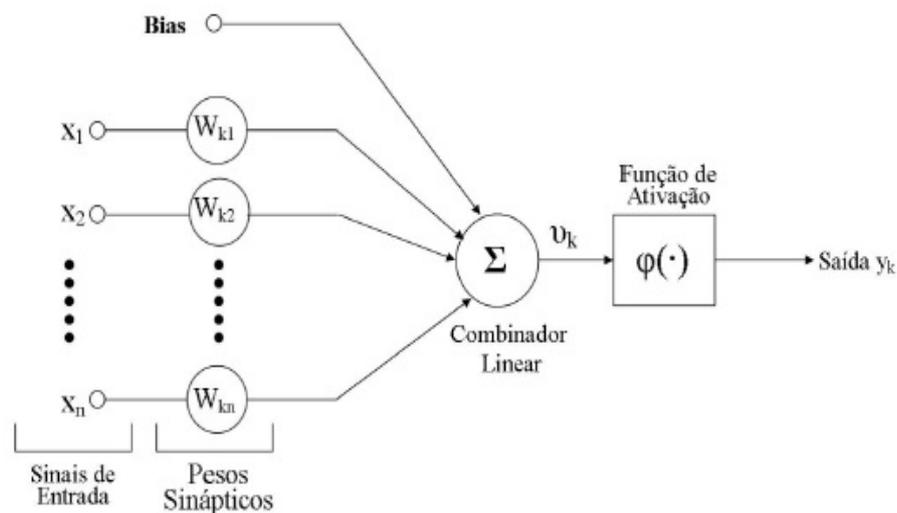
Partindo desse modelo de funcionamento do neurônio biológico, os pesquisadores iniciaram tentativas de simular este sistema computacionalmente. O primeiro modelo foi proposto por McCulloch e Pitts (1943), conhecido como *Perceptron* que implementa de maneira simplificada os componentes e o funcionamento do neurônio biológico.

Neste modelo, os impulsos elétricos provenientes de outros neurônios são representados pelos chamados sinais de entrada (x_j) dentre os vários estímulos recebidos em que alguns neurônios se excitarão mais e outros menos. Essa medida de quão excitatório é o estímulo, é representado através dos pesos sinápticos, onde quanto maior o peso, mais excitatório é o estímulo. Os pesos sinápticos são representados por W_{kj} , onde K representa o índice do neurônio em questão e j se refere ao terminal de entrada da sinapse à qual o peso sináptico se refere.

A soma é representada por uma composição de dois módulos. O primeiro é uma junção aditiva, somatório dos estímulos (sinais de entrada) multiplicado pelo seu fator excitatório (pesos sinápticos) e posteriormente uma função de ativação, que

definirá com base nas entradas e pesos sinápticos, qual será a saída do neurônio. O axônio é representado por Y_k para este modelo, obtido pela aplicação da função de ativação. A figura 2.9 apresenta o modelo de neurônio artificial proposto como descrito anteriormente.

Figura 2.9 – Neurônio artificial



Fonte: Adaptado de McCulloch e Pitts (1943)

Em termos matemáticos o neurônio artificial i pode ser representado como (Equação 2.5.1):

$$u_k = \sum_{j=1}^m w_{kj} \cdot x_j \quad (2.5.1)$$

onde m é o número de sinais de entrada incidentes no neurônio k e posteriormente a aplicação da função de ativação é (Equação 2.5.2):

$$y_k = \varphi(u_k) \quad (2.5.2)$$

Sucintamente, Haykin (2001) propôs como "campo local induzido" a função de ativação provida pela junção aditiva, atribuindo 1 se o campo local de um neurônio for não negativo e 0 o oposto. Portanto, a função de ativação de grau do modelo é definida como (Equação 2.5.3):

$$\varphi(u) = \begin{cases} 1, & \text{se } u \geq 0 \\ 0, & \text{se } u < 0 \end{cases} \quad (2.5.3)$$

Outras funções de ativação foram apresentados na literatura e [Acharya et al. \(2003\)](#) identificaram três decisões importantes no processo de construção da rede neural: *(i)* a topologia da rede; *(ii)* o algoritmo de aprendizagem e *(iii)* a função de ativação.

A disposição dos neurônios e como estes são estruturados está diretamente ligado a topologia, ao tipo de algoritmo de aprendizado utilizado, e em geral, está ligado a três classes de rede que serão melhor exemplificadas no próximo item.

2.6 Topologias das Redes Neurais

A topologia da rede neural está ligada à disposição dos neurônios na rede, como eles estão estruturados e como a rede está ligada ao tipo de algoritmo de aprendizagem utilizado. Geralmente, são classificadas em sete classes: Redes Alimentadas Adiante, Redes Recorrentes, Redes Competitivas, Redes *Multilayer Perceptron*, Redes de Função de Base Radial, Mapas Auto-Organizáveis e Rede de *Hopfield*.

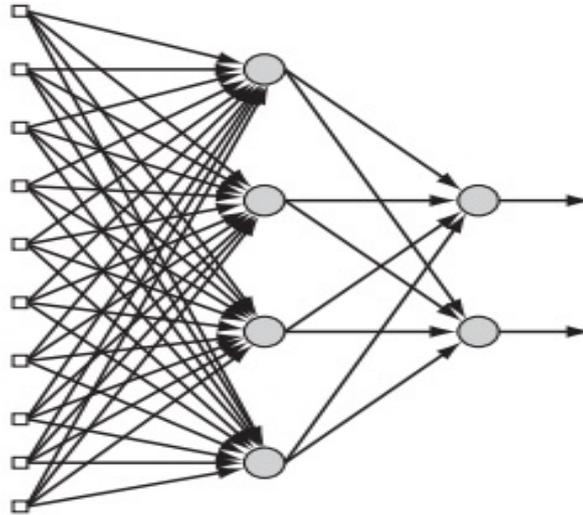
2.6.1 Redes Alimentadas Adiante

Este tipo de rede é estruturada em camadas e os neurônios são dispostos em conjuntos distintos e ordenados sequencialmente. O fluxo de informações é sempre da camada de entrada para a camada de saída. [Haykin \(2001\)](#) diferencia as redes em Redes de Camada Única e Redes de Múltiplas Camadas apenas pelo número de camadas, porém o conceito de alimentação é o mesmo. A figura 2.10 apresenta um modelo.

A informação da rede provém da camada de entrada ou neurônios (nós) e posteriormente é transmitida para as camadas seguintes até a camada de saída. Esta rede também é conhecida como rede acíclica, pois em sua representação de grafos não possui ciclos além de conter algumas particularidades importantes entre elas:

- Os neurônios são arranjados em camadas, com camada de entrada (receptoras dos sinais) e a camada de saída. As camadas intermediárias são denominadas ocultas;

Figura 2.10 – Redes alimentadas adiante



Fonte: Haykin (2001)

- Cada neurônio de uma camada é conectado com todos os neurônios da camada seguinte;
- Não há conexões entre neurônios de uma mesma camada.

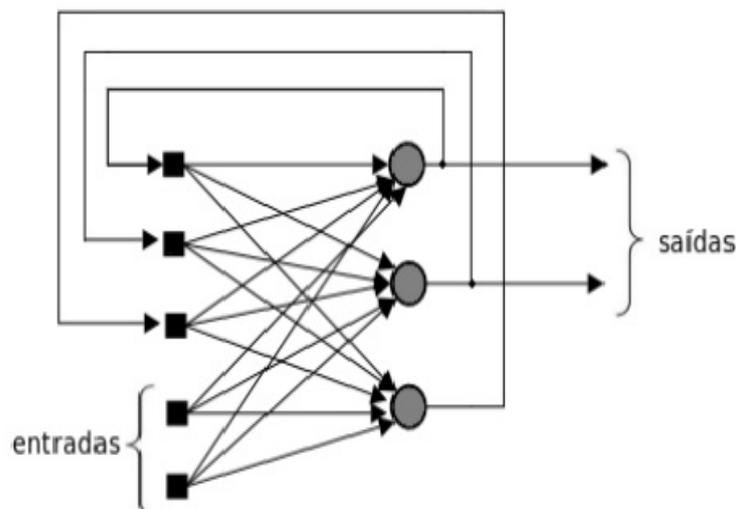
2.6.2 Redes Recorrentes

Nas redes recorrentes há a ocorrência de realimentação na qual a saída de um neurônio é aplicada como entrada no próprio neurônio ou em outros neurônios de camadas anteriores. Ela se distingue de uma rede (*feedforward*) por ter pelo menos um *loop* de *feedback* em que há ocorrência de ciclo grafo. A Figura 2.11 exemplifica melhor esta ideia, demonstrando que uma rede recorrente pode consistir em uma única camada de neurônios com cada neurônio alimentando seu sinal de saída de volta para as entradas de todos os outros neurônios.

2.6.3 Redes Competitivas

Segundo [Basheer e Hajmeer \(2000\)](#), nesta categoria, utiliza-se um algoritmo de aprendizagem competitivo resolvendo por exemplo um problema de agrupamento. Os neurônios são divididos em duas camadas sendo estas: a de entrada dos nós e a de saída conhecida como "grade". Os neurônios da grade são forçados a competir entre si

Figura 2.11 – Redes Recorrentes



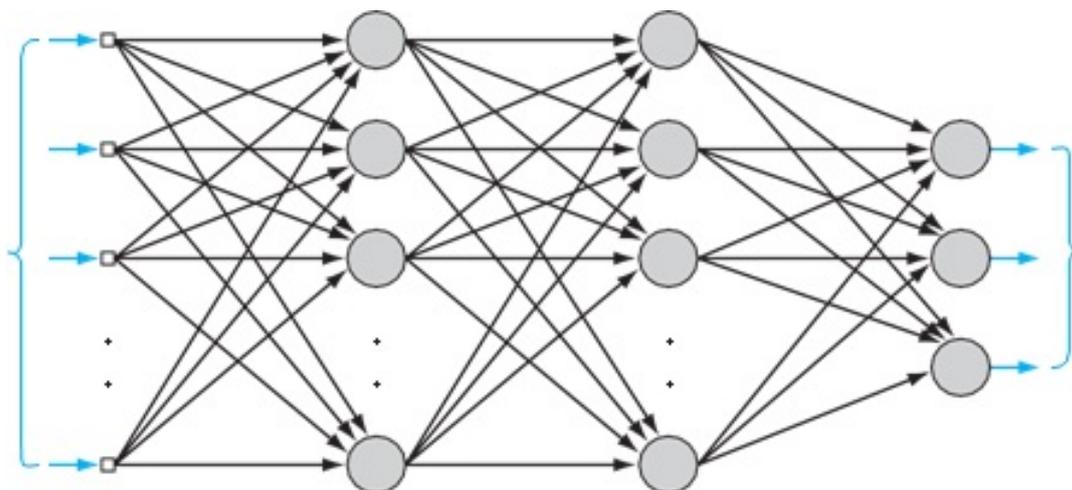
Fonte: Haykin (2001)

baseado no nível de similaridade entre o padrão de entrada e a grade de neurônios, em que somente o neurônio vencedor será ativado a cada interação. A rede mais conhecida desta classe é a rede de *Kohonen*, também conhecida como Mapa Auto-Organizável.

2.6.4 Redes *Multilayer Perceptron*

Neste modelo, a arquitetura da rede é totalmente conectada. Isso significa que um neurônio em qualquer camada da rede está conectado a todos os neurônios (nós) da camada anterior. O sinal através da rede progride em uma direção direta, da esquerda para a direita, não estabelece ligação com os neurônios laterais (da mesma camada) e o fluxo se dá camada por camada (HAYKIN, 2001). A figura 2.12 demonstra melhor esta ideia.

O principal algoritmo de treinamento é o algoritmo de retropropagação de erro baseado na regra de aprendizagem por correção de erro que consiste basicamente em dois passos. O passo para frente chamado de propagação, com valores originários dos neurônios de entrada (nós fontes) aplicados aos neurônios ocultos e posteriormente suas saídas aplicadas como entradas aos neurônios da camada final. O passo para trás é responsável por ajustar os pesos sinápticos, por intermédio do cálculo do erro realizado na camada de saída; os pesos sinápticos entre as camadas antecessoras são ajustados de acordo com uma regra de correção de erro (HAYKIN, 2001).

Figura 2.12 – Arquitetura da Rede *Multilayer Perceptron*

Fonte: Haykin (2001)

2.6.5 Redes de Função de Base Radial

As Redes de Função de Base Radial (RBF!), trabalham o projeto de uma rede neural como um problema de ajuste de curvas (aproximação) em um espaço de alta dimensionalidade (HAYKIN, 2001).

As redes RBF são classificadas em padrões cuja estrutura consiste em três camadas com as principais características (HAYKIN, 2001; ZUBEN; ATTUX, 2001):

- A camada de entrada é composta por nós de origem (unidades sensoriais) que conectam a rede ao seu ambiente;
- A segunda camada, que consiste em unidades ocultas, aplica uma transformação não linear do espaço de entrada para o espaço oculto (característica). Para a maioria das aplicações, a dimensionalidade da única camada oculta da rede é alta. Essa camada é treinada de maneira não supervisionada usando o estágio 1 do procedimento de aprendizado híbrido;
- A camada de saída é linear, projetada para fornecer a resposta da rede ao padrão de ativação aplicado à camada de entrada. Esta camada é treinada de forma supervisionada usando a etapa 2 do procedimento híbrido.

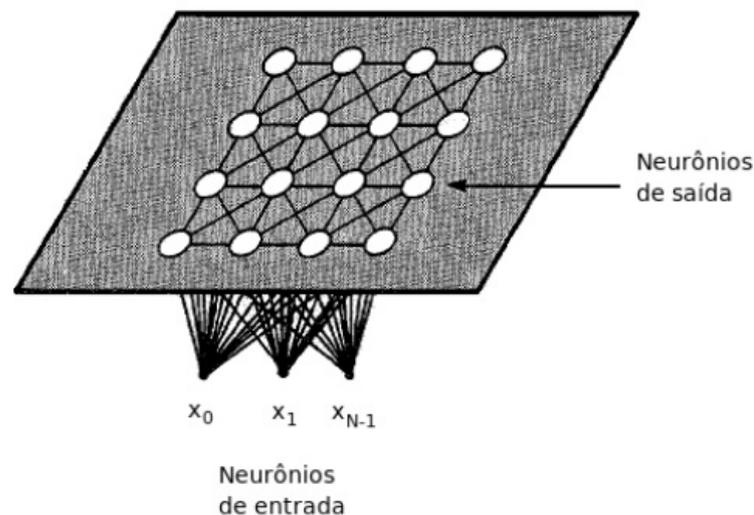
Gupta, Jin e Homma (2004) evidenciam que as Redes de Função de Base Radial podem ser aplicadas principalmente em classificação de padrões e aproximação de função.

2.6.6 Mapas Auto-Organizáveis

É caracterizada pela formação de um mapa topográfico dos padrões de entrada, no qual as localizações espaciais (coordenadas) dos neurônios na rede são indicativas de características estatísticas intrínsecas contidas na entrada (HAYKIN, 2001).

Constituem outra classe de redes neurais, sendo esta com aprendizagem não-supervisionada. Foi proposta por Kohonen (1982) e utiliza-se de duas camadas, a camada de entrada e a grade pós-sináptica ou mapa de características, sendo a última um arranjo bi-dimensional de neurônios, como mostra a Figura 2.13.

Figura 2.13 – Rede de Kohonen



Fonte: Adaptado de Lippmann, (1987)

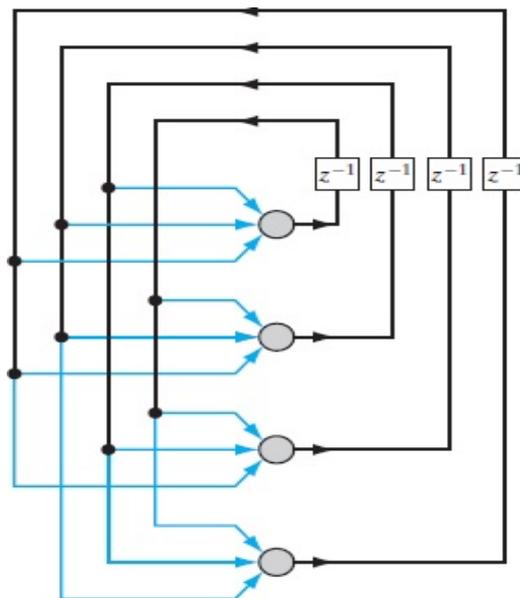
Lippmann (1987) descreve que um mapa auto-organizável é treinado utilizando uma aprendizagem híbrida composta por aprendizagem *Hebbina* e competitiva, onde os neurônios da grade pós-sináptica competem entre si, com base em uma medida de similaridade com o sinal de entrada, em que o neurônio mais similar é dito ser o vencedor. Assim, o neurônio vencedor, por sua vez, excita os neurônios próximos a ele. A distância euclidiana é geralmente utilizada como medida de similaridade.

2.6.7 Rede de *Hopfield*

A rede de *Hopfield* pode ser vista como uma rede totalmente conectada, agindo como uma memória associativa, capaz de armazenar padrões. Para Kovács (2002), uma memória associativa serve para armazenar um conjunto de vetores de tal forma que se for endereçada com um vetor arbitrário y , retornará como saída aquele vetor mais próximo em algum sentido pré-definido. Uma memória associativa pode ser interpretada como um classificador de padrões, onde as classes são representadas pelos vetores armazenados.

Portanto, o modelo proposto por Hopfield (1982) é a implementação de uma memória associativa por uma rede recorrente em que não há auto-realimentação, como mostra a Figura 2.14.

Figura 2.14 – Memória Associativa recorrente de *Hopfield*



Fonte: Haykin, 2001

Com diversificados tipos de topologias presentes na literatura, as Redes Neurais de um modo geral são aplicadas em grande parte das áreas do conhecimento. De forma mais específica, um problema complexo é decomposto em várias tarefas relativamente simples e as redes neurais recebem um subconjunto das tarefas que correspondem às suas capacidades inerentes (HAYKIN, 2001).

Desta forma, no próximo item será proposto uma metodologia com inclusão de

uma rede neural, que suprima várias abordagens de variáveis levantadas na literatura dentro do processo de gestão de projetos, especificamente no ciclo *BIM* na fase de *design*.

3 Método de pesquisa

O procedimento utilizado neste trabalho foi baseado na *Design Science Research (DSR)*. Esse é um método de pesquisa orientado a solução de problemas. Busca, a partir do entendimento do problema, construir e avaliar artefatos que permitam transformar situações, alterando suas condições para estados melhores ou desejáveis (MARCH; STOREY, 2008).

Dresch (2013) afirma que a *Design Science Research* deve considerar a relevância da pesquisa para as organizações. Afinal, são os profissionais das organizações que farão uso dos resultados dessas investigações e do conhecimento gerado, para solucionar seus problemas práticos.

A *DSR* é o método que operacionaliza e fundamenta a condução da pesquisa quando o objetivo a ser alcançado é um artefato, ou ainda, uma prescrição. A pesquisa fundamentada na Design Science pode ocorrer tanto no âmbito acadêmico quanto dentro das organizações (BAYAZIT, 2004).

Para amparar estas atividades de desenvolvimento, construção, justificativa e avaliação, a base de conhecimento existente precisa ser consultada e utilizada. Esta base de conhecimento é constituída de fundamentos e de métodos consolidados e reconhecidos pela academia. Estes métodos apoiam principalmente as atividades de justificativa e avaliação dos artefatos construídos ou da teoria aprimorada (HEVNER et al., 2004). Além disso, a preocupação com o rigor é fator fundamental para uma pesquisa ser validada e confiável, podendo, dessa forma, contribuir para o aumento da base de conhecimento existente em determinada área (DRESCH, 2013).

Portanto, “diferentemente de outros métodos de pesquisa, este busca produzir conhecimento na forma de uma prescrição para apoiar a solução de um determinado problema real, ou um projeto, para construir um novo artefato” (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015).

Um dos fundamentos utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa foi a Revisão Sistemática da Literatura com o objetivo de rastrear estudos primários acerca

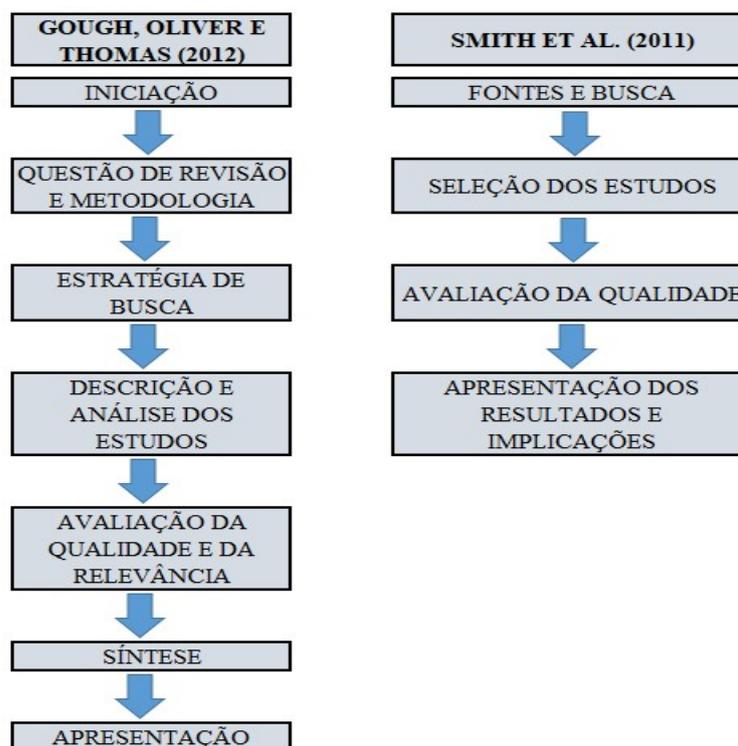
do tema, fundamentar teoricamente a questão e buscar soluções para lacunas a serem preenchidas.

Uma revisão sistemática da literatura oferece importantes benefícios aos pesquisadores. Primeiramente, qualquer estudo individual pode apresentar falhas relacionadas ao modo como foi concebido, executado ou reportado, e mesmo um estudo que tenha sido corretamente realizado pode apresentar resultados atípicos ou de relevância limitada. Por essa razão, é apropriado que as decisões sejam baseadas em um conjunto amplo, idealmente contendo todos os estudos relevantes, do que em estudos individuais ou em um grupo limitado de estudos (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015).

Ainda sobre os benefícios da Revisão Sistemática da Literatura, [Dresch, Lacerda e Antunes \(2015\)](#) descrevem que elas proporcionam uma visão abrangente e robusta, permitindo que os pesquisadores mantenham-se a par do que tem sido estudado em suas áreas de interesse. Os resultados de novas pesquisas podem ser mais bem interpretados tendo o arcabouço da literatura como base, podendo confirmar, rejeitar, contrastar ou complementar conclusões de pesquisas anteriores. Novas pesquisas, que não levem em consideração os resultados de estudos anteriores, podem resultar em trabalhos desnecessários, inapropriados, irrelevantes ou até mesmo antiéticos.

Vários passos do método de revisão sistemática são apresentados e algumas etapas são descritas por dois autores especificamente, conforme mostra a Figura 3.1.

Figura 3.1 – Revisão Sistemática



Fonte: Dresch; Lacerda e Antunes (2015)

Porém, para o desenvolvimento desta pesquisa, a Revisão Sistemática da Literatura foi representada por quatro etapas: Fontes de busca, Estratégia de busca, Seleção dos estudos e Apresentação dos resultados e implicações, conforme mostra a Figura 3.2.

Figura 3.2 – Passos do método de revisão sistemática



Fonte: Próprio autor (adaptado)

A definição das fontes de busca é uma etapa essencial para a formulação de uma estratégia adequada. De acordo com a disponibilidade de recursos, as fontes devem ser as mais abrangentes possíveis, aumentando a chance de que todos os estudos relevantes sejam localizados e contribuam para minimizar o viés (SINHA; MONTORI, 2006).

As Revisões Sistemáticas envolvem uma elevada quantidade de informação a ser gerenciada. Antes de se lançar no processo de busca, é fundamental investir na preparação da estratégia de busca dos estudos primários. A estratégia de busca parte da questão de revisão e do *framework* conceitual e se propõe a responder as seguintes perguntas (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015):

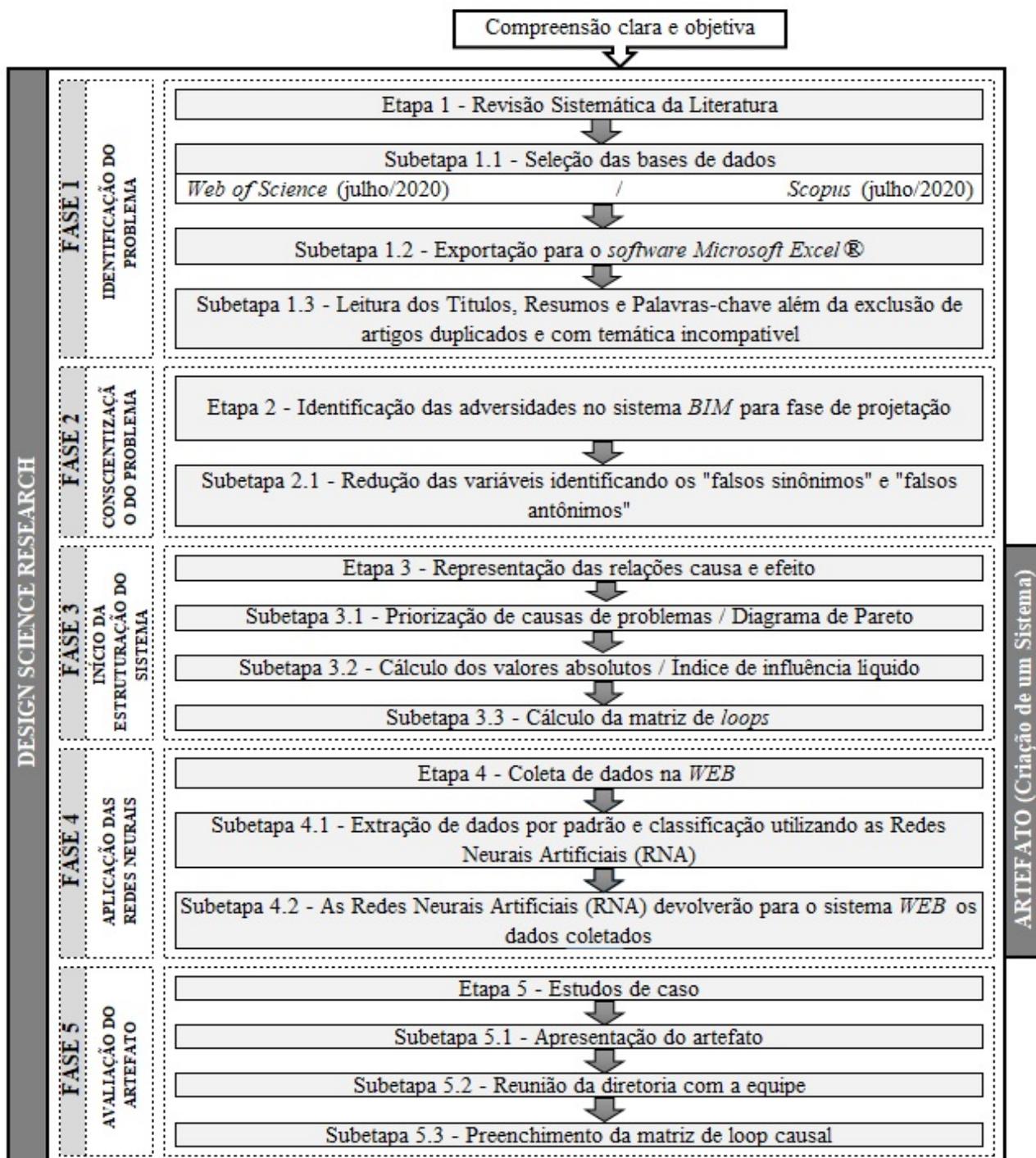
- O que buscar?
- Onde buscar?
- Como minimizar o viés?
- Quais estudos considerar?
- Qual será a extensão da busca?

O terceiro passo está relacionado à seleção dos estudos sendo estes de inclusão e exclusão. Dresch, Lacerda e Antunes (2015) destacam nesta etapa que uma Revisão Sistemática também pode ficar sujeita a viés em função do processo de seleção de estudos (o que é ou não relevante). Portanto, é importante que os critérios de inclusão e exclusão sejam definidos com base no escopo da revisão, claramente explicitados e rigorosamente seguidos durante o processo de busca.

Finalmente, a apresentação dos resultados e implicações pressupõe a combinação dos resultados interconectada, a fim de gerar um novo conhecimento que inexistia nos estudos primários originais. Nessa etapa, os estudos selecionados devem ser alvo de uma leitura sintópica, buscando estabelecer relações entre os textos (ADLER, 1972). Isso pressupõe, além de uma listagem ou resumo dos resultados encontrados, a transformação dos dados, a fim de responder a questão inicial que motivou a revisão (THOMAS; HARDEN; NEWMAN, 2012).

Visando exemplificar de forma mais clara a metodologia, a Figura 3.3 ilustra de forma macro a estrutura organizacional que irá compor este trabalho.

Figura 3.3 – Estrutura organizacional do trabalho



Fonte: Próprio autor

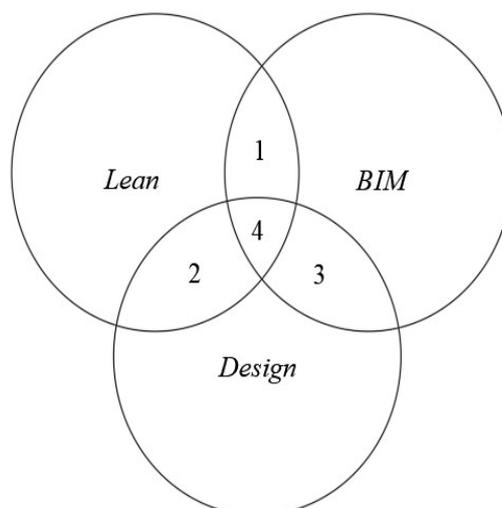
Para o delineamento do processo desta pesquisa, o método foi dividido em cinco distintas. A Fase 1 é composta por uma etapa em que se buscou identificar e compreender o problema de forma clara e objetiva. A fase 2 foi onde analisaram-se as principais causas do problema, a fim de delimitar as condições de contorno para proposição de uma solução da problemática levantada. As fases 3 e 4, de forma concomitante, visaram construir um artefato que viabilizasse os problemas evidenciados de forma sistematizada. Finalmente, a fase 5 compreende a implementação de três estudos de caso em empresas experientes que trabalham com projeção.

3.1 Fase 1 - Identificação do problema

Com o objetivo de se desenvolver teorias, estabelecer evidências e resolver problemas, é essencial que o pesquisador esteja informado sobre o que foi pesquisado, como foi pesquisado, que resultados foram encontrados e o mais importante, o que ainda não foi pesquisado. Neste sentido, um dos passos para a realização de uma pesquisa se inicia na Revisão Sistemática da Literatura (RSL) que tem como definição:

São estudos secundários utilizados para mapear, encontrar, avaliar criticamente, consolidar e agregar os resultados de estudos primários relevantes acerca de uma questão ou tópico de pesquisa específico, bem como identificar lacunas a serem preenchidas, resultando em um relatório coerente ou em uma síntese. A expressão sistemática significa que a revisão deve seguir um método explícito, planejado, responsável e justificável, assim como nos estudos primários. Esse método deve ser planejado para garantir que a revisão seja isenta de viés (tendência a apresentar uma perspectiva parcial em detrimento de outras possivelmente também válidas), rigorosa, auditável, replicável e atualizável (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015).

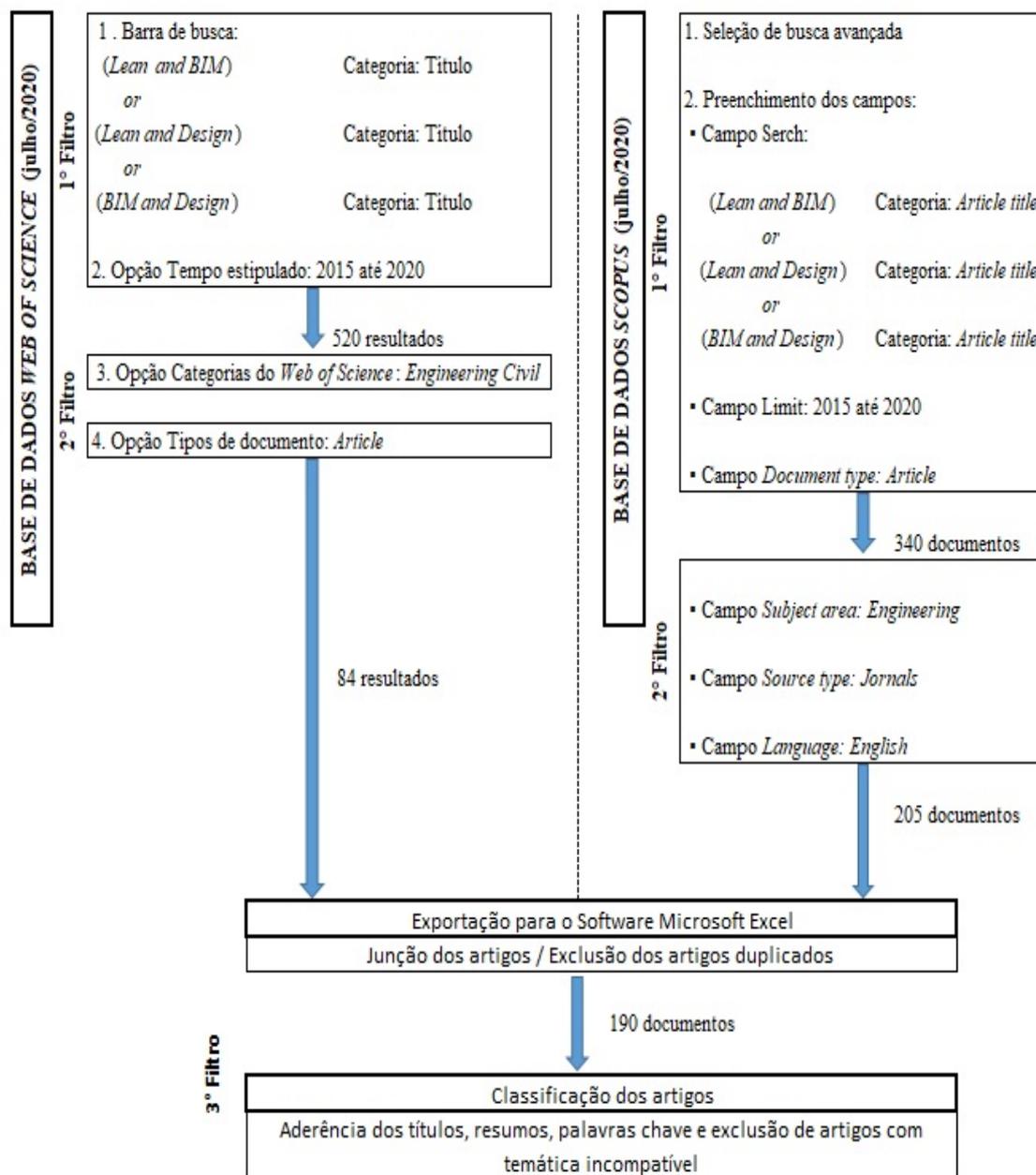
Para a RSL da presente pesquisa, foram escolhidas as bases de dados *Web of Science*® e *Scopus*®. Ambas possuem sistemas de busca avançada um pouco distintas, porém, utilizou-se os mesmos termos para delinear o assunto. As “*STRINGS*” de busca escolhidas estão exemplificadas na Figura 3.4.

Figura 3.4 – *Strings* de busca utilizadas

Fonte: Adaptado do Diagrama de Venn (2020)

Foram utilizados os operadores "*OR*" e "*AND*" com objetivo de relacionar os termos de busca *Lean*, *BIM* e *design*. Em 1 *Lean* está relacionado ao *BIM*, em 2 *Lean* está relacionado ao *design* e em 3 *BIM* está relacionado ao *design*. Estas relações são realizadas pelo operador "*OR*" que significa "ou" em português e indica a união dos termos. Já em 4, *Lean*, *BIM* e *design* estão inter-relacionados e representados pelo operador "*AND*" que significa "e" em português.

Com a definição do tema em questão, a aplicação sinérgica dos conceitos e ferramentas *Lean* no ciclo *BIM* para a fase de projetos (*design*), o próximo passo foi determinar a estratégia de busca e sintetizar os resultados. Este passo baseou-se em procedimentos esquematizados na Figura 3.5.

Figura 3.5 – Metodologia utilizada nas plataformas *Web of Science*® e *Scopus*®

Fonte: Próprio autor

Para a plataforma *Web of Science*®, foi aplicado um primeiro filtro de busca com os operadores *Booleanos* descritos anteriormente, caracterizados por título e com tempo estipulado de 2015 à 2020. Em seguida, foi aplicado mais um filtro de busca categorizando a plataforma e o tipo de documento sendo estes: *Engineering Civil* e *Article*.

Para plataforma *Scopus*®, foi aplicado um primeiro filtro com os mesmos operado-

res *Booleanos* utilizados na *Web of Science*[®], preenchido no campo *Search*, categorizados como *Article tittle*. Em seguida, foi aplicado um segundo filtro definindo a área, o tipo de documento e o idioma em que se optou pelos seguintes campos: *Engineering*, *Journals* (apenas revistas científicas e não livros ou parte deles) e *English*.

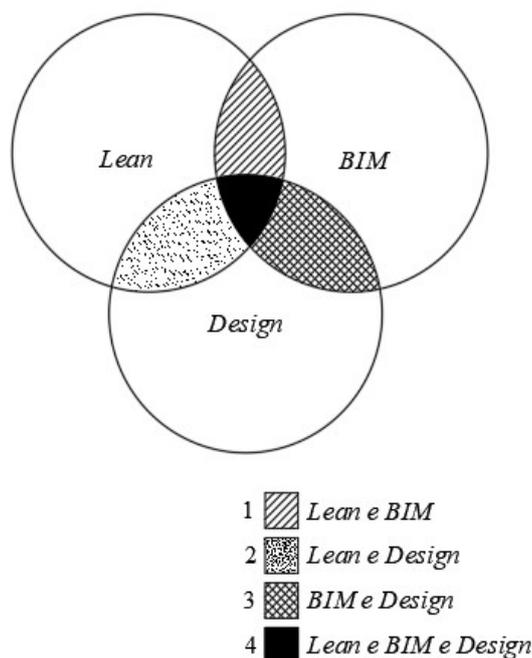
Ambas as plataformas foram pesquisadas em julho de 2020 e tiveram os seus resultados exportados para uma planilha no *software Microsoft Excel*[®] onde os documentos foram compatibilizados com o objetivo de se excluir os textos duplicados, totalizando assim 190 artigos.

Por fim, foi realizada um terceiro filtro com a leitura dos títulos, resumos e palavras-chave dos artigos para certificar-se de que estes se enquadravam na temática do estudo. Esta etapa foi dividida em duas partes: análise bibliométrica e análise de conteúdo. O registro bibliométrico foi composto por nome do artigo, nome dos autores, ano de publicação, número de citações, nome da revista onde o estudo foi publicado, *Scientific Journal Rankings (SJR)* e seu respectivo valor para classificação da revista e o país de publicação. Já a análise de conteúdo foi categorizada em quatro itens: objetivo, método, palavras-chave e o país onde a pesquisa foi desenvolvida.

Ao analisar o conteúdo dos artigos de acordo com suas respectivas categorizações, os mesmos foram classificados em: *Lean* e *BIM*, *Lean* e *design*, *BIM* e *design*, bem como *Lean* e *BIM* e *design*. Para melhor demonstrar essa ideia, a Figura 3.6 ilustra a classificação dos artigos dentro de sua amostra total.

Esta classificação se deu em função da correlação entre os objetivos, métodos e palavras-chave existentes quando realizada a leitura dos resumos de cada artigo.

Figura 3.6 – Categorização dos artigos



Fonte: Adaptado do Diagrama de Venn (2020)

A técnica aplicada possibilitou obter uma maior perspectiva sobre o tema, bem como identificar lacunas nas quais são necessárias mais pesquisas (OLAWUMI; CHAN; WONG, 2017).

3.2 Fase 2 - Conscientização do problema

Com o objetivo de se descobrir a lacuna existente em relação ao tema em questão, partindo dos estudos selecionados através das análises bibliométrica e de conteúdo, foi criado uma tabela com o nome dos autores e classificação dos artigos seguindo os critérios exemplificados na figura 3.6. Foram demonstrados também o método de estudo aplicado, além da catalogação dos conceitos e práticas utilizados dentro do *Lean* e as ferramentas existentes no sistema *BIM*, conforme demonstrado no Apêndice A.

O próximo capítulo faz um recorte sobre as opiniões dos diversos autores em relação ao assunto. Este parâmetro, concomitantemente com o Apêndice A, permitiu sintetizar segundo a literatura, quais as principais adversidades foram levantadas dentro do ciclo *BIM* para fase de projeção e suas relações com as principais partes interessadas, na visão *Lean*, sendo este o ponto de partida para o desenvolvimento da pesquisa.

Desta forma, foram levantados pontos relevantes sobre os entraves da projeção em *BIM*, baseado na leitura de artigos descritos em uma planilha, totalizando 44 parâmetros causais, conforme mostra o Apêndice B.

Entre esses parâmetros causais é importante assegurar que não haja duplicação de nomes semanticamente similares (falsos antônimos). Por exemplo, uma pessoa pode mencionar velocidade e outra pode falar em prazo para terminar. Indagando com cuidado, pode-se descobrir tratar-se do mesmo fenômeno. De forma contrária, podem ocorrer causas que parecem ser idênticas, porém, são distintas na essência (falsos sinônimos) e devem ser registradas de forma a externalizar aspectos singulares de cada uma, exemplo: atraso do cliente e atraso do funcionário são causas similares, mas não idênticas (OSBORN, 1993).

Transpondo este raciocínio para o trabalho observou-se por exemplo como (falsos antônimos): “Ferramentas de projeto muito heterogêneas” / “Variedade de softwares”, e, como (falsos sinônimos): “Tomada de decisões errôneas”, sendo este um aspecto similar, contudo, relacionado a partes interessadas distintas, ou seja, projetistas e clientes. Ao aplicar este método houve uma redução de variáveis de 44 para 29 conforme mostrado no Apêndice C.

Após unificação dos falsos antônimos e duplicação dos falsos sinônimos, constatou-se um número muito grande de variáveis, o que ocasionou uma excessiva quantidade de *loops*, dificultando a visualização da inter-relação de variáveis em cada um. Para De Sordi, Nelson e Galindo (2014) e Sanches et al. (2014), quanto maior a quantidade de variáveis e a densidade da matriz causal, maior a dificuldade do gestor identificar os *loops*. Assim, visando reduzir o número de variáveis e priorizar as causas e problemas, verificando os fatores mais importantes e onde deve haver maior concentração de esforço, foi utilizado o Diagrama de Pareto inserido em um sistema como descreve o item a seguir.

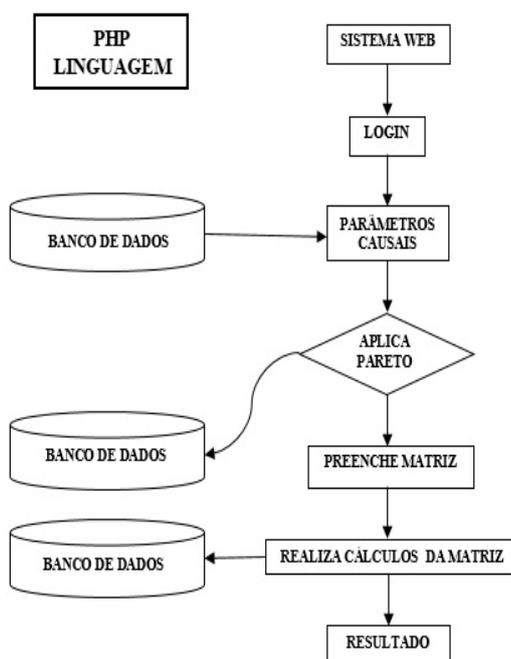
Os mecanismos descritos nas fases 1 e 2 (levantamento das variáveis, aplicação dos falsos sinônimos/falsos antônimos e Diagrama de Pareto) foram todos inseridos e estruturados em um sistema, que será mais bem exemplificado no próximo item.

3.3 Fase 3 - Estruturação do sistema

A abordagem do mapa causal demanda a representação matemática dos relacionamentos causais percebidos, sendo estruturados e analisados como *network analysis* (Montibeller e Belton, 2006). Na abordagem apresentada neste artigo, foram utilizados indicadores básicos da *network analysis* como o grau de saída (*outdegree*), para indicar a influência de uma causa nas demais, e o grau de entrada (*indegree*), para indicar o quanto uma causa é influenciada pelas demais (WASSERMAN; FAUST, 1994). Além dos cálculos de indicadores de redes, as análises são complementadas com algumas operações com matrizes (multiplicação e transposição).

Desta forma, foi iniciada a estruturação da Matriz de *Loops* de forma sistematizada, utilizando a linguagem de programação PHP, conforme mostra a Figura 3.7.

Figura 3.7 – Sistematização da matriz de loops



Fonte: Próprio autor

O Diagrama de Pareto foi utilizado para visualizar e classificar os processos das empresas por ordem e importância, identificando os erros, diminuindo seus custos, riscos e problemas no produto ou serviço. Isso significa que, as vezes, o maior número de problemas resalta em pouco prejuízo, pois são irrelevantes, triviais, e, o menor número

de problemas acumulados podem gerar perdas maiores.

É importante ressaltar que os parâmetros causais estão relacionados ao número de vezes em que eles foram levantados e citados nos estudos para aplicação do Diagrama de Pareto, conforme mostra o Apêndice D.

Ao finalizar esta etapa, foram realizadas a análise das relações intercausas (mapa causal) com geração e análise da matriz de *loops*. O mapa causal é uma representação matemática de relações do tipo causa e efeito percebidas entre as variáveis de um problema. Por exemplo, a afirmação “trabalho gera riqueza, mas riqueza não gera trabalho” satisfaz os critérios básicos para um mapa causal. Nesta afirmação não há nenhum *loop*, já que é postulado uma relação causal de trabalho para riqueza, porém não há relação entre riqueza e trabalho.

Pra fins de exemplificação, utilizou-se uma matriz dois por dois com base no exemplo descrito anteriormente sendo “trabalho” descrito na primeira linha e “riqueza” na segunda linha. Para expressar que “trabalho” gera “riqueza”, colocou-se “1” na segunda coluna da primeira linha. Não percebendo nenhuma outra relação causal, as demais células foram preenchidas com “0”, o que resulta no mapa causal onde as linhas descrevem as causas e as colunas descrevem os efeitos conforme mostra a Tabela 3.1.

	Trabalho	Riqueza
Trabalho	0	1
Riqueza	0	0

Tabela 3.1 – Exemplo de mapa causal

Para esta pesquisa, a matriz de *loop* causal foi preenchida, obedecendo as seguintes especificações: a influência pode ser positiva, no sentido de motivar e agravar a causa descrita na coluna, indicada pelo número “1”; pode ser negativa, no sentido de desmotivar, de reduzir a causa descrita na coluna, indicada pelo número “-1”; ou pode ser neutra, indicada pelo número “0”.

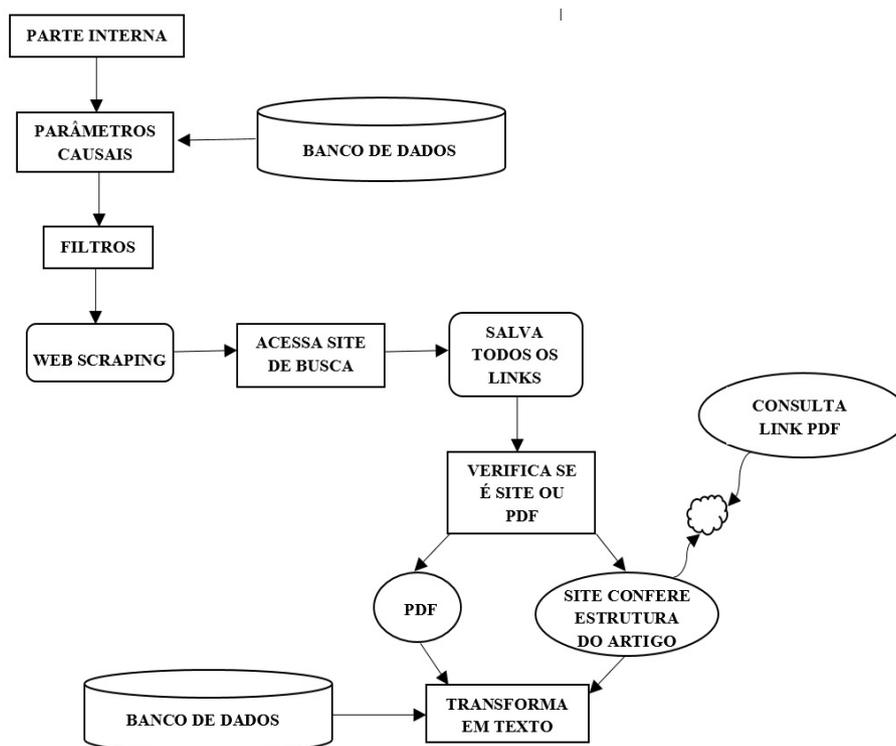
O somatório dos valores absolutos dispostos nas linhas da matriz causal informa para cada causa o quanto ela interfere em outras causas e. O quanto ela é influenciada pelas outras causas, é o somatório dos valores dispostos na coluna. A influência de uma causa em outras causas é denominada pelas técnicas de análise de redes de *outdegree* ou grau de saída (Σ linha = *outdegree*), já a soma dos valores ao longo das colunas é

denominada de *indegree* ou grau de entrada (Σ coluna = *indegree*) (WASSERMAN; FAUST, 1994).

Subtraindo os graus de entrada (*indegree*) dos graus de saída (*outdegree*), foi obtido o índice de influência líquida (IIL), ou seja, quais variáveis têm maior influência nas causas descritas na matriz, descontando a medida que estas são influenciadas por outras variáveis (NELSON; MATHEWS, 1991).

Na programação essa primeira parte do sistema é classificada em duas etapas, *Front-end* (parte visual) e *Back-end* (parte oculta, onde ocorre os cálculos). *Front-end* e *Back-end* trabalham em conjunto no projeto (MEHRBOD et al., 2019). A Figura 3.8 ilustra melhor essa ideia.

Figura 3.8 – Estrutura do sistema *web*



Fonte: Próprio autor

Para a criação da linguagem visual do sistema, foram utilizadas as tecnologias HTML, CSS e *Javascript*. No *Back-end*, o primeiro passo foi criar todas as informações que são transitadas dentro do sistema como os parâmetros causais e seus respectivos pesos, a aplicação do Diagrama de Pareto, os artigos entre outros. Para armazenar as informações foi utilizado o banco de dados *Mysql* em sua versão 8.0.21 em uma

linguagem de programação SQL, tendo como ponte a linguagem de programação PHP em sua versão 8.0, para realização dos cálculos.

Para garantia de agilidade e segurança do sistema, foi adotado o *Framework Laravel* na versão 7.4. Um *Framework* é uma arquitetura de programação que reúne uma variedade de códigos genéricos com o objetivo de simplificar, estruturar e facilitar o processo de desenvolvimento *web*. *Laravel* é um *Framework* PHP livre e *open-source* para o desenvolvimento de sistemas *web*. Algumas características proeminentes do *Laravel* são sua sintaxe simples e concisa, um sistema modular com gerenciador de dependências dedicado, várias formas de acesso a banco de dados relacionais e vários utilitários indispensáveis no auxílio ao desenvolvimento e manutenção de sistemas (ABADI et al., 2015).

Após realizar o cálculo Diagrama de Pareto, da matriz transposta, o sistema armazena no banco de dados os parâmetros causais em ordem, tendo como base o número de *loops*. Após isso, o sistema tem que buscar os artigos relacionados a cada variável no *Google Scholar* e plataformas afins. Para procurar esses artigos e salvar no sistema escolhido, foi utilizada a técnica conhecida como *Web Scraping*.

Web Scraping (raspagem de rede) é uma técnica de coleta de dados de plataformas online, como sites, redes sociais etc. Os dados são capturados a partir dos *scripts* gerados pelas páginas e programas “raspando” as informações que serão utilizadas em análises posteriores (KOTSIANTIS, 2007).

Neste sistema, o *Web Scraping* funciona buscando no banco de dados o nome da variável em inglês e os respectivos filtros associados a ela. O parâmetro causal e o filtro utilizando o *Web Scraping* envia essas informações no site desejado (*Google Scholar*, *Web of Science*, *Scopus* e *IGLC*).

Esses sites devolvem diversos *links* relacionados aos artigos publicados, examina a estrutura dos artigos, transforma todas informações em texto e salva no banco de dados. Caso não encontre o artigo, o sistema verifica se possui algum *link* de PDF, transforma o PDF em texto e salva no banco de dados.

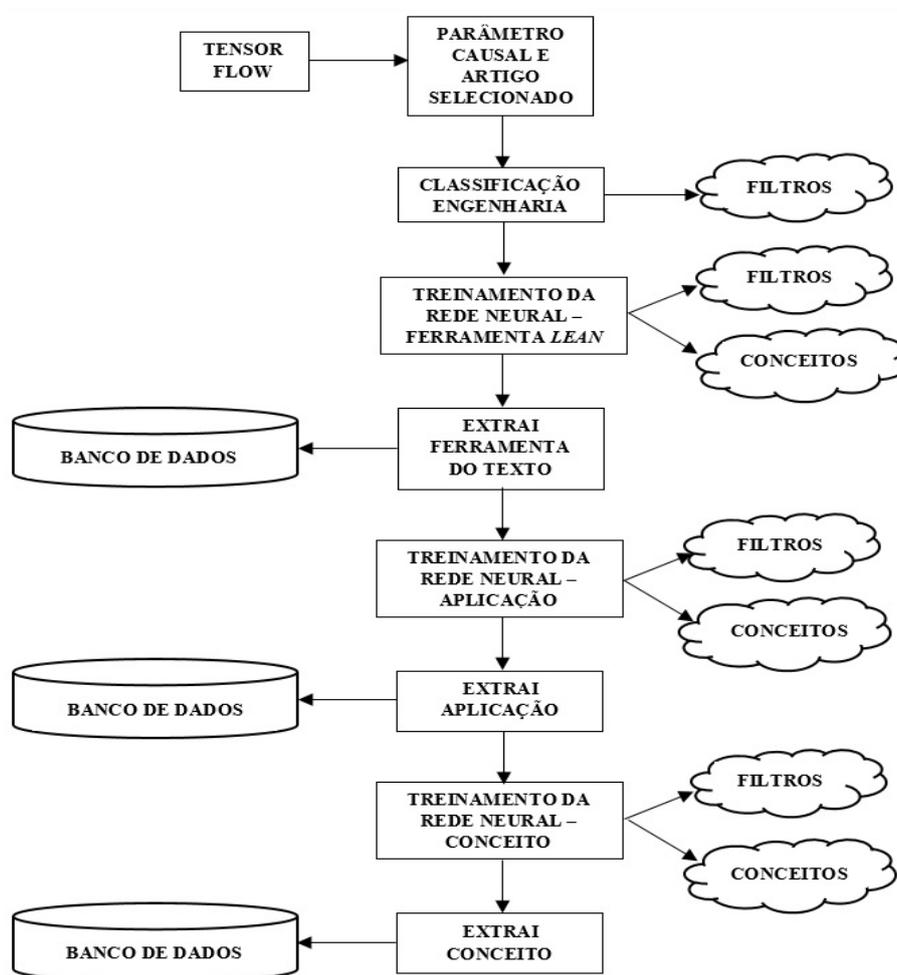
A técnica de *Web Scraping* aplicada na coleta de todos os artigos utilizou a linguagem de programação PHP em conjunto com a biblioteca *cURL*. **cURL* é uma

ferramenta de linha de comando utilizada para obter ou enviar dados, incluindo arquivos, usando a sintaxe URL. Por utilizar a biblioteca *libcurl*, *cURL* suporta vários protocolos de rede comuns, incluindo HTTP, HTTPS, FTP, FTPS, SCP, SFTP, TFTP, LDAP, DAP, DICT, TELNET, ARQUIVO, IMAP, POP3, SMTP e RTSP.

3.4 Fase 4 - Aplicação das Redes Neurais

Todos os passos descritos na fase 3 foram sistematizados e unificados com as Redes Neurais Artificiais (RNA's), conforme ilustra a Figura 3.9.

Figura 3.9 – Representação de uma Rede Neural dentro do sistema



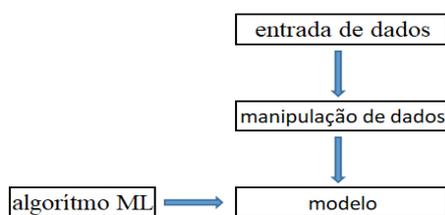
Fonte: Próprio autor

Para a construção desta Rede Neural, foi utilizada a biblioteca *TensorFlow*, sendo este um código aberto para aprendizado de máquina aplicável a uma ampla variedade de tarefas. É um sistema para a criação e o treinamento de redes neurais

com objetivo de detectar e decifrar padrões e correlações análogas (mas não igual) à forma como humanos aprendem e raciocinam. Ele é usado tanto para a pesquisa quanto produção no *Google* (ABADI et al., 2015).

De maneira resumida, nesta pesquisa, o sistema busca no banco de dados a variável, depois o artigo relacionado com o modelo de predição para aquela variável (filtros definidos) e aplica a rede neural no artigo, conforme ilustra a Figura 3.10. Utilizando esse modelo de predição, é feita a classificação do texto entre ferramentas, aplicações e conceitos e o resultado é armazenado no banco de dados associado à variável.

Figura 3.10 – Modelo de predição



Fonte: Próprio autor

Nota-se que o modelo na Figura 3.11 é composto do algoritmo de aprendizagem de máquina “treinado” com os dados que foram fornecidos, neste caso, seria os filtros criados para a presente pesquisa. Ao criar o modelo, usa-se os dados na entrada, para obter os resultados.

Figura 3.11 – Modelo do processo de predição



Fonte: Próprio autor

O objetivo do modelo foi construir e categorizar textos onde obtêm-se na entrada o artigo e na saída as ferramentas, conceitos e aplicações. Um conjunto de treinamento com todos os textos e as *labels* (ferramentas, aplicações e conceitos) é categorizado. Em Aprendizagem de Máquina, esse tipo de tarefa é chamada de

Aprendizagem Supervisionada sendo ensinado ao algoritmo a correção de seus erros (KOTSIANTIS, 2007).

Terminada esta etapa da criação do artefato, foi realizada uma avaliação analítica do mesmo, buscando analisar sua arquitetura interna, bem como sua maneira de interagir com o ambiente externo (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015). O desenvolvimento de métodos analíticos para modelos apropriados leva em conta uma ampla gama de fatores externos e internos sendo este um problema complexo (ANDRUKHIV et al., 2020).

A avaliação do artefato foi realizada seguindo um mesmo método. Em um primeiro momento, o artefato seria apresentado aos proprietários que repassariam as informações do seu funcionamento aos seus colaboradores. Em um segundo momento, seriam realizadas as reuniões entre todos os integrantes das empresas escolhidas para o preenchimento das informações contidas no sistema.

3.5 Fase 5 - Avaliação do artefato

Foram escolhidas três empresas que trabalham com projeção em *BIM* e os critérios de escolha das empresas foram baseados em dois fatores. O primeiro, que a empresa trabalhasse com projeção em *BIM* por um período mínimo de cinco anos e o segundo, com o fato de seus sócio-diretores aderirem à ideia e aos critérios metodológicos estabelecidos para realização do teste do artefato.

A empresa A desenvolve projetos complementares em *BIM* a oito anos, é composta por 2 sócio-diretores, 1 coordenador da área de projetos estruturais e geotecnia, 1 coordenador dos projetos hidrossanitários e elétricos, 2 projetistas estruturais, 1 projetista de instalações hidrossanitárias, 1 projetista de instalações elétricas e 3 estagiários.

A avaliação do artefato foi realizada inicialmente em uma reunião para apresentação da ferramenta aos 2 sócio-diretores e para explicar aos mesmos sobre quais diretrizes deveriam ser seguidas na escolha das adversidades.

Num segundo momento, os sócio-diretores se reuniram com toda a equipe da empresa para escolha e definição de quais parâmetros causais eram mais incisivos dentro

daquela organização.

Terminada esta etapa, foi realizada outra reunião com todos os integrantes da empresa para explicação e orientação da matriz de *loop* causal. Ficou definido entre todos os participantes que o preenchimento da matriz de *loop* seria realizado com a colaboração de todos, sem excessão.

Finalmente, com toda a equipe reunida, a matriz de *loop* foi preenchida, destacando-se o fato de que todos os integrantes opinaram sobre as relações estabelecidas entre os parâmetros causais dentro daquele contexto.

A empresa B, foi fundada em 2011, iniciou seus trabalhos com projeção em *BIM* em 2013, é composta por 3 sócios diretores, 10 engenheiros associados (sócios não administradores) e 16 colaboradores (engenheiros/terceiros/estagiários). Esta empresa trabalha com projeção em *BIM* apenas com a parte de projetos complementares (instalações elétricas, hidrossanitárias e ar-condicionado).

A avaliação do artefato foi realizada em uma reunião inicialmente para apresentar e explicar a ferramenta a 1 sócio-diretor. Posteriormente, foi realizada uma nova reunião entre todos os sócios-diretores e engenheiros associados para escolha dos fatores causais e preenchimento da matriz de *loop*.

Já na empresa C, o artefato foi apresentado aos seus sócios-diretores, sendo estes apenas dois. Uma particularidade desta empresa é que todos os seus componentes eram formados unicamente por arquitetos e estudantes de arquitetura, num total de nove, contabilizando seus sócios-diretores e dois estagiários. A empresa foi fundada a pouco tempo, três anos, porém, seus integrantes possuem uma boa vivência de projeção em *BIM*, todos com 8 anos ou mais de experiência exceto os dois estagiários.

Após a apresentação do artefato aos seus sócio-diretores, foram reunidos todos os integrantes da empresa para preenchimento das informações necessárias seguindo os mesmos critérios metodológicos estabelecidos e realizados nas empresas A e B.

Com relação ao número de empresas escolhidas para a análise do artefato criado, vale ressaltar que o método *DSR* utilizado para a presente pesquisa, não especifica um número mínimo ou máximo de avaliações a serem realizadas. Na pesquisa sustentada pela *DSR* existem cinco formas de avaliar um artefato: observacional, analítica, experimental,

teste e descritiva (TREMBLAY; HEVNER; BERNDT, 2010).

Para esta pesquisa, a forma utilizada foi a caracterizada como teste. Esta forma de avaliação pode ser funcional (*black box*) ou estrutural (*white box*), ambos comumente utilizados quando se trata do desenvolvimento de artefatos na área de sistemas da informação, mas que podem ser adaptados para artefatos de outras áreas. O *white box* é um teste estrutural e se baseia na análise interna do *software*, isto é, ele avalia como o sistema processa internamente as entradas para gerar as saídas desejadas (KHAN et al., 2011).

Já o *black box*, que é o caso da presente pesquisa, é um teste funcional que se ocupa de verificar se o sistema atende aos parâmetros desejados do ponto de vista do usuário. O usuário não precisa entender da estrutura interna do sistema e sim da sua funcionalidade e utilidade (KHAN et al., 2011).

O capítulo seguinte, Análise e Discussões de Resultados, detalha os resultados encontrados para todos os testes e análises apresentados anteriormente. Este capítulo resume as implicações desses resultados, tanto do ponto de vista da *DSR* quanto dos resultados acadêmicos e práticos proporcionados pelo artefato.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Neste capítulo foram discutidos os resultados obtidos para cada uma das etapas descritas no método. Inicialmente foi realizada a análise bibliométrica dos estudos aderentes e posteriormente foram apresentados vários benefícios que o *BIM* oferece na indústria AEC. Porém, sobre as adversidades existentes dentro do ciclo *BIM* na fase de projeção, poucos estudos foram desenvolvidos com objetivo de investigar esses fatores causais e buscar soluções para o problema.

Desta forma, a primeira parte dos resultados dessa análise fundamenta a opinião de alguns autores sobre quais os fatores causais são mais explícitos e citados na literatura, com posterior apresentação do artefato criado e testado como uma possível ferramenta de minimização destes problemas.

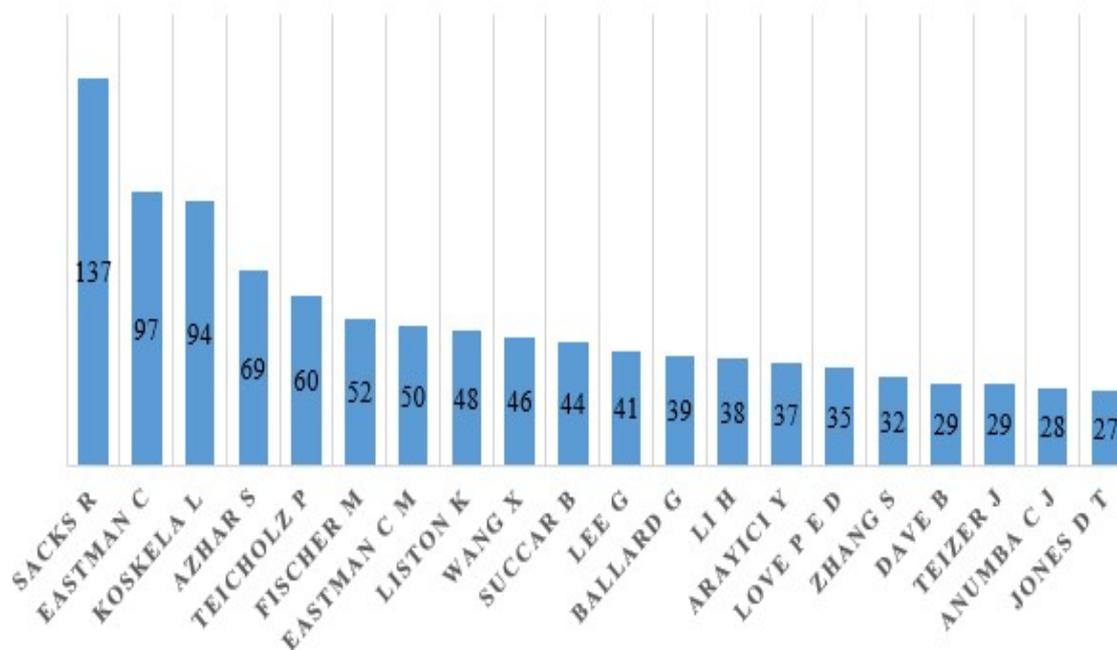
4.1 Análise bibliométrica dos estudos aderentes

Em relação aos estudos disponibilizados em cada base e suas aderências, percebeu-se que 84 artigos pertenciam à plataforma *Web of Science*® enquanto 205 a *Scopus*®. Destacou-se também o fato de que um número relevante de publicações presentes na base de dados da *Web of Science*® se repetiram na *Scopus*®.

Após a junção/exclusão dos artigos que se repetiam em ambas bases de dados, o total de aderência foi reduzido para 190 documentos. Suas respectivas categorizações foram classificadas em função da correlação existente entre os objetivos, métodos e palavras-chave existentes quando foi realizada a leitura dos resumos de cada artigo.

Iniciando a análise, a Figura 4.1 mostra a relação de autores mais citados relativo ao tema dentro do tempo delimitado.

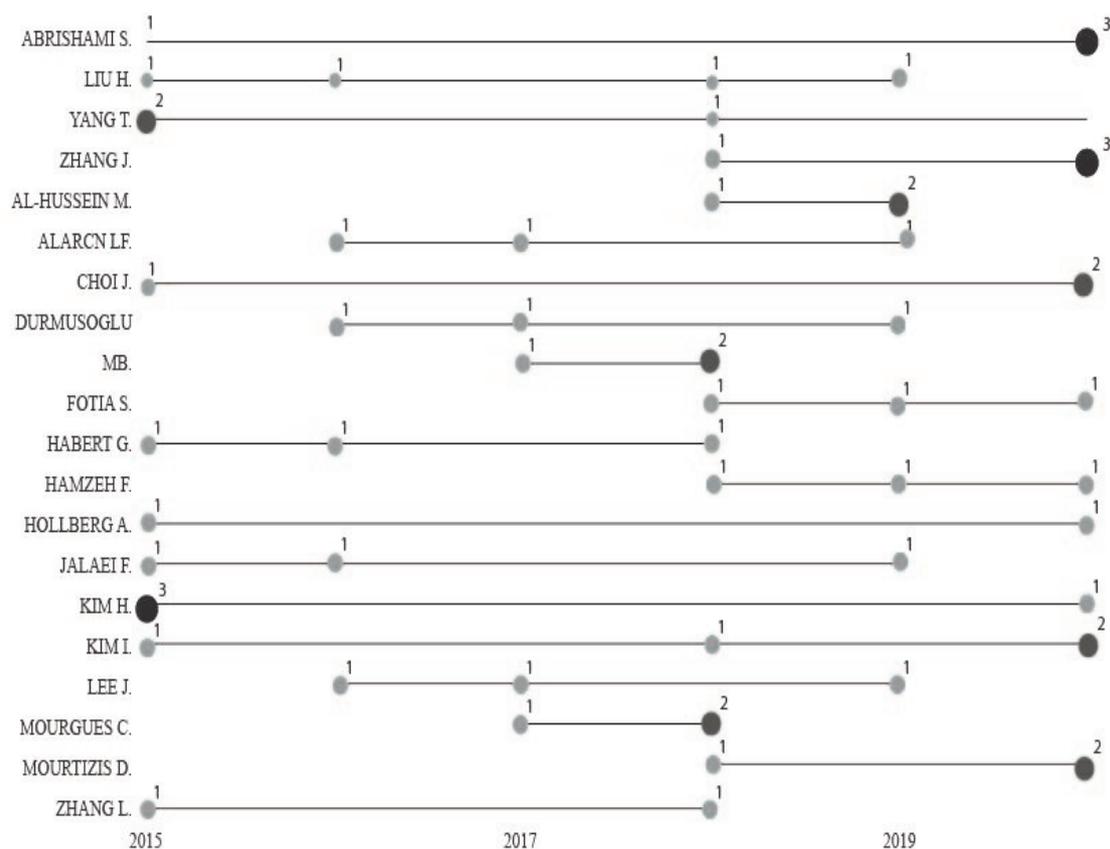
Figura 4.1 – Número de citações por autor ao longo do período



Fonte: Próprio autor

Os seis autores mais citados foram: SACKS R; EASTMAN C; KOSKELA L; AZHAR S; TEICHOLZ P; FISCHER M. Porém, apesar desses autores serem referenciados em muitos artigos, quando o requisito diz respeito à frequência de publicações referentes ao tema, dentro do período estabelecido, nenhum deles se destaca ou aparece entre os mais incidentes, conforme ilustra a Figura 4.2.

Figura 4.2 – Frequência de publicações por ano referentes ao tema

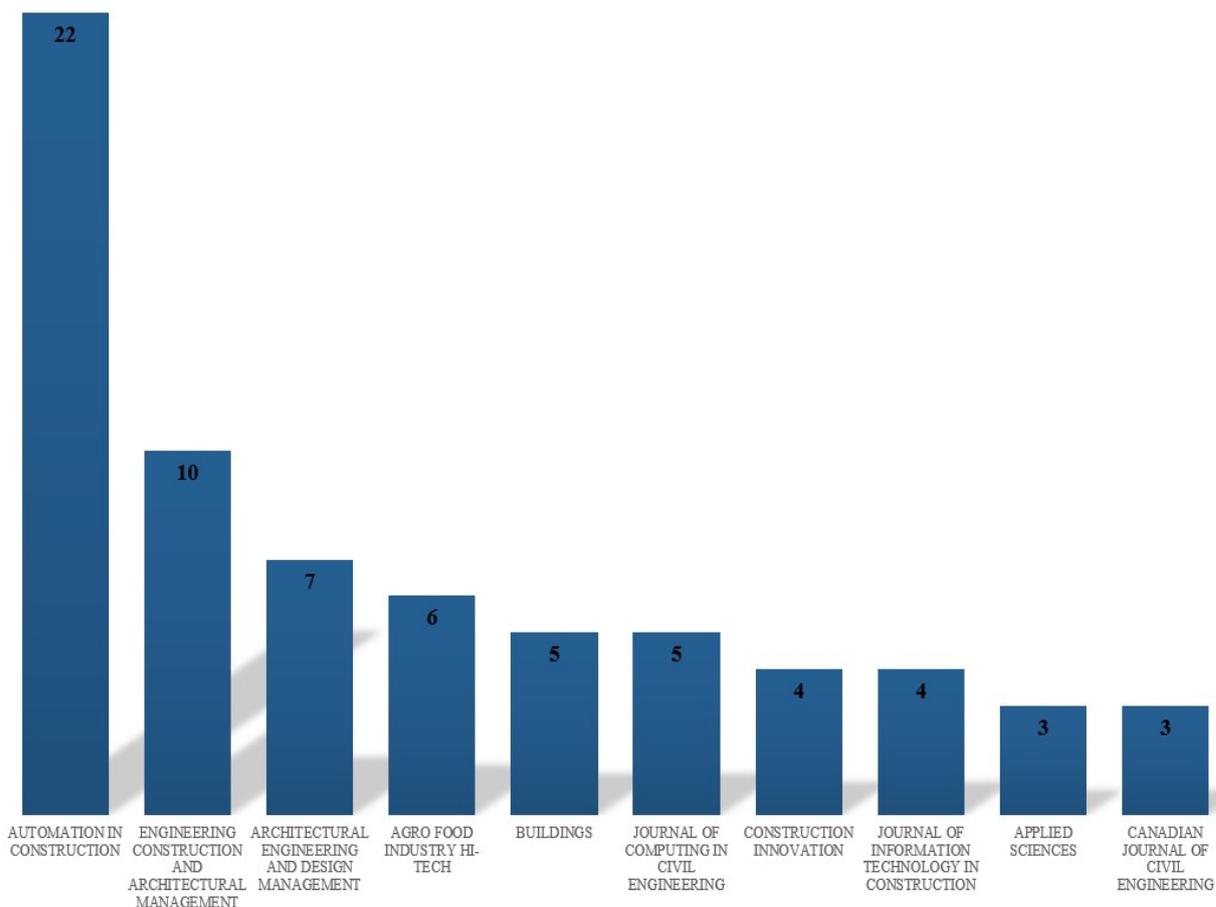


Fonte: Próprio autor

Os seis autores que mais publicaram pesquisas referentes ao assunto foram: ABRISSHAMI S; LIU H; YANG T; ZHANG J; KIM I e LEE J. Cada um foi responsável pela publicação de 4 artigos no intervalo entre 2015 e 2020.

Em relação ao número de publicações por revista, a Figura 4.3 destaca as dez mais bem classificadas.

Figura 4.3 – Revistas com maior número de publicações aderentes

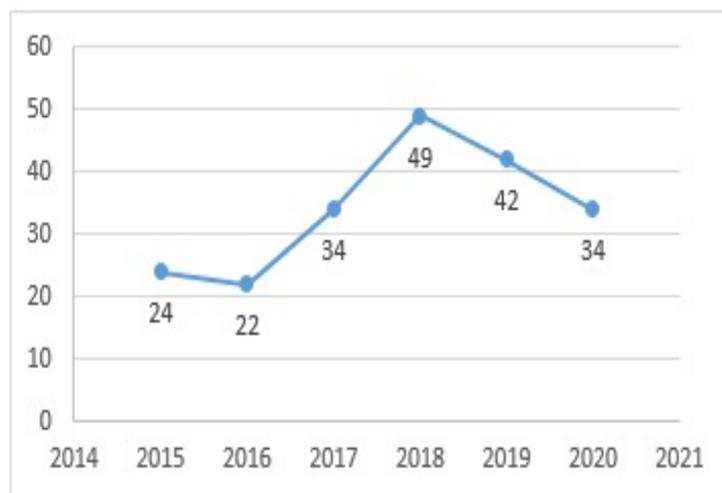


Fonte: Próprio autor

Observando o gráfico percebeu-se que as quatro primeiras revistas mais bem classificadas são *AUTOMATION IN CONSTRUCTION* com 22 artigos indexados, *ENGINEERING CONSTRUCTION AND ARCHITECTURAL MANAGEMENT* com 10 artigos, *ARCHITECTURAL ENGINEERING AND DESIGN MANAGEMENT* com 7 artigos e *AGRO FOOD INDUSTRY HI-TECH* com 6 artigos. Da quinta revista até a décima observou-se um número de publicações mais lineares e repetitivas variando entre 5 e 3 indexações.

Para aprofundamento da análise dos dados bibliométricos dos estudos aderentes, avaliou-se, em seguida, a quantidade de publicações por ano dentro do tempo delimitado na Figura 4.4.

Figura 4.4 – Quantidade de publicações para um intervalo de seis anos

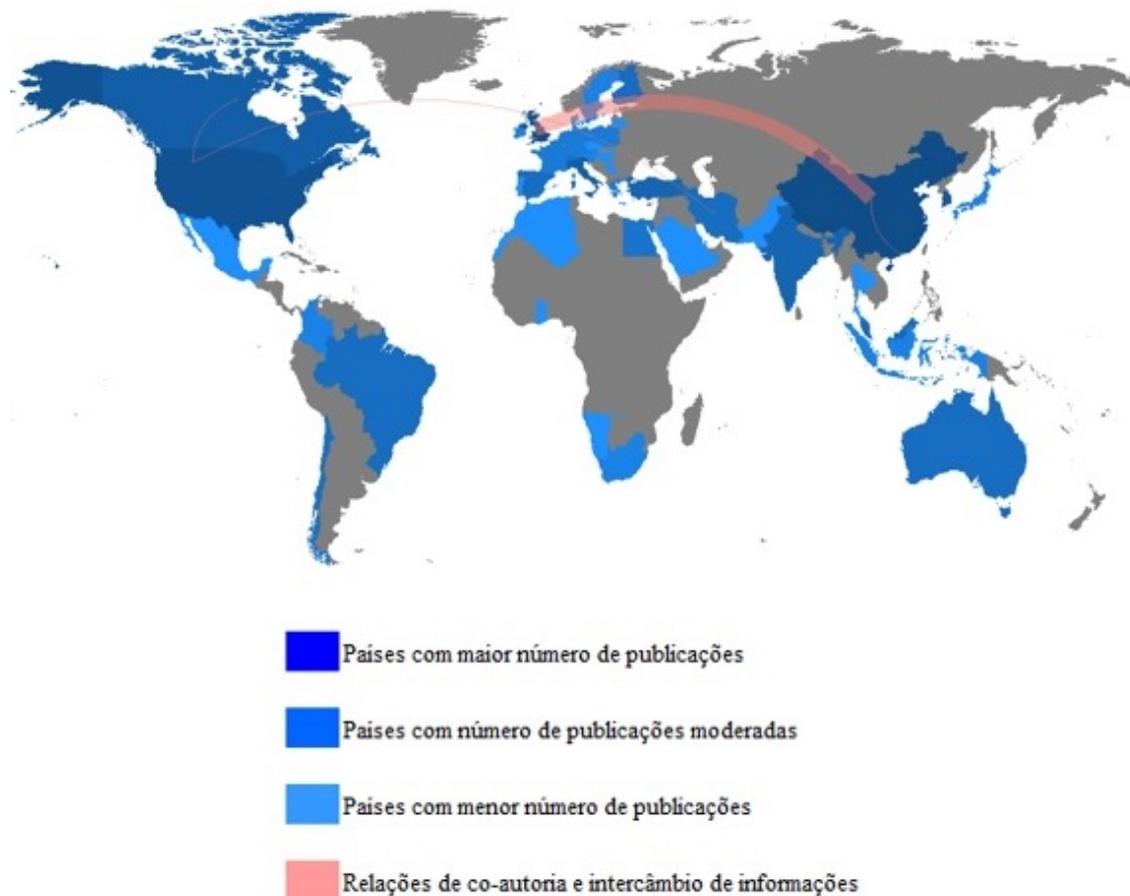


Fonte: Próprio autor

Houve uma alternância de publicações no decorrer do período de seis anos, em que após uma leve queda de 2015 para 2016, ocorreu uma acentuada ascendência até o ano de 2018. Nos períodos subsequentes, verificou-se uma diminuição das publicações de forma linear até o presente momento, ou seja, julho de 2020.

Outro aspecto de fundamental importância, a apresentar nesta análise, foi a frequência de distribuição de publicações pelos continentes, Figura 4.5.

Figura 4.5 – Frequência de distribuição pelos continentes



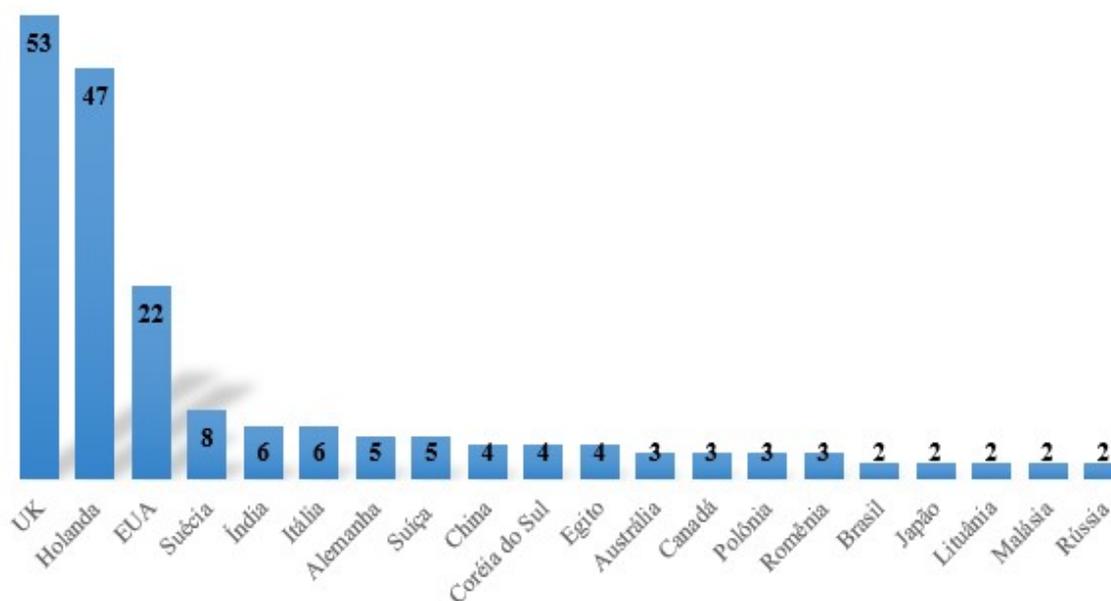
Fonte: Próprio autor

Observando a Figura 4.5, constatou-se que a maioria das pesquisas foram publicadas na Europa, com cerca de 68,4% do total de publicações, seguida dos continentes Asiático 13,7% e Norte Americano 12,7% com percentuais próximos um do outro. O continente Africano aparece em quarto lugar com aproximadamente 2%, seguido da Oceania e América do Sul com 1,5% cada.

O Reino Unido liderou o *ranking* do total de publicações seguido da Holanda no continente Europeu. Na Ásia destacam-se a Índia, China e Coréia do Sul, porém alguns países do oriente e sudeste asiático devem ser ressaltados. Finalizando, os países Norte-Americanos Canadá e Estados Unidos (com destaque para este último), apesar de serem um pouco mais homogêneos em relação à distribuição continental em virtude de suas extensões territoriais, ocupam um lugar de destaque. Outro aspecto a ser ressaltado é que o Brasil ocupa uma posição intermediária no número de publicações, apesar de localizar-se em um continente com menor percentual de publicações. O gráfico da Figura

4.6 demonstra o *ranking* do número de artigos publicados por países.

Figura 4.6 – Número de publicações por países

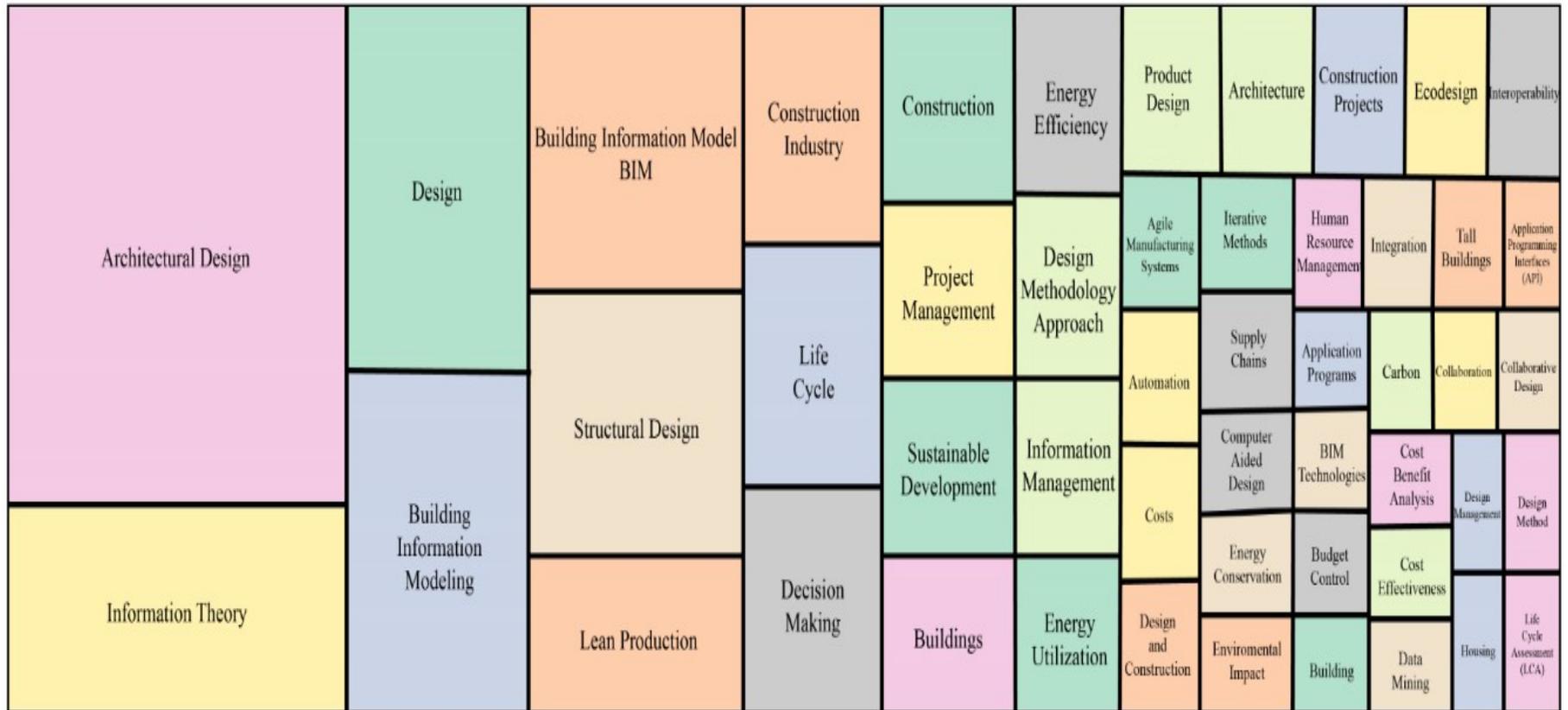


Fonte: Próprio autor

Dois fatores devem ser atribuídos ao Reino Unido como o protagonista mundial no número de publicações. O primeiro é relativo ao fato das instituições do país dominarem a discussão sobre o *BIM*, uma vez que o seu uso é obrigatório em projetos de construção de aquisição pública (TEZEL et al., 2020). O segundo por ter uma fortíssima relação no intercâmbio de informações e desenvolvimento de pesquisas com a China e de uma forma mais atenuada com os Estados Unidos, sendo estes, os países com maior número de publicações em seus respectivos continentes.

Finalizando esta etapa de análise bibliométrica, a Figura 4.7 contempla a densidade de palavras construída a partir no número de repetições de palavras-chave por artigo aderente.

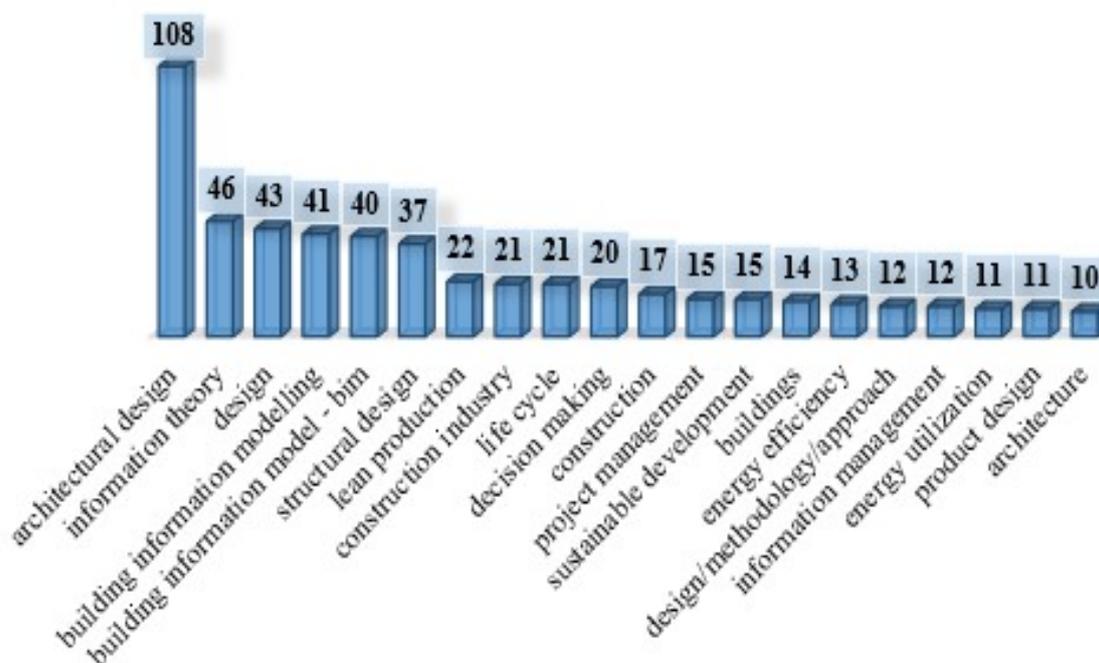
Figura 4.7 – Densidade de palavras



Fonte: Próprio autor

É interessante destacar que das sete primeiras palavras com maior número de repetições *architectural design*, *information theory*, *design*, *building information modeling*, *building information modeling – BIM*, *structural design* e *Lean production*, a palavra *design* aparece três vezes, sendo uma vez de forma isolada e as outras duas ligadas à palavra arquitetura e estrutura. A Figura 4.8 demonstra melhor esta observação.

Figura 4.8 – Número de repetições de palavras



Fonte: Próprio autor

Isto pode estar relacionado ao fato das pesquisas estarem mais focadas na otimização dos projetos arquitetônicos e estruturais, uma vez que a falta de interoperabilidade em *BIM* entre essas duas disciplinas ocorre de uma forma mais incidente (HAMIDAVI et al., 2020).

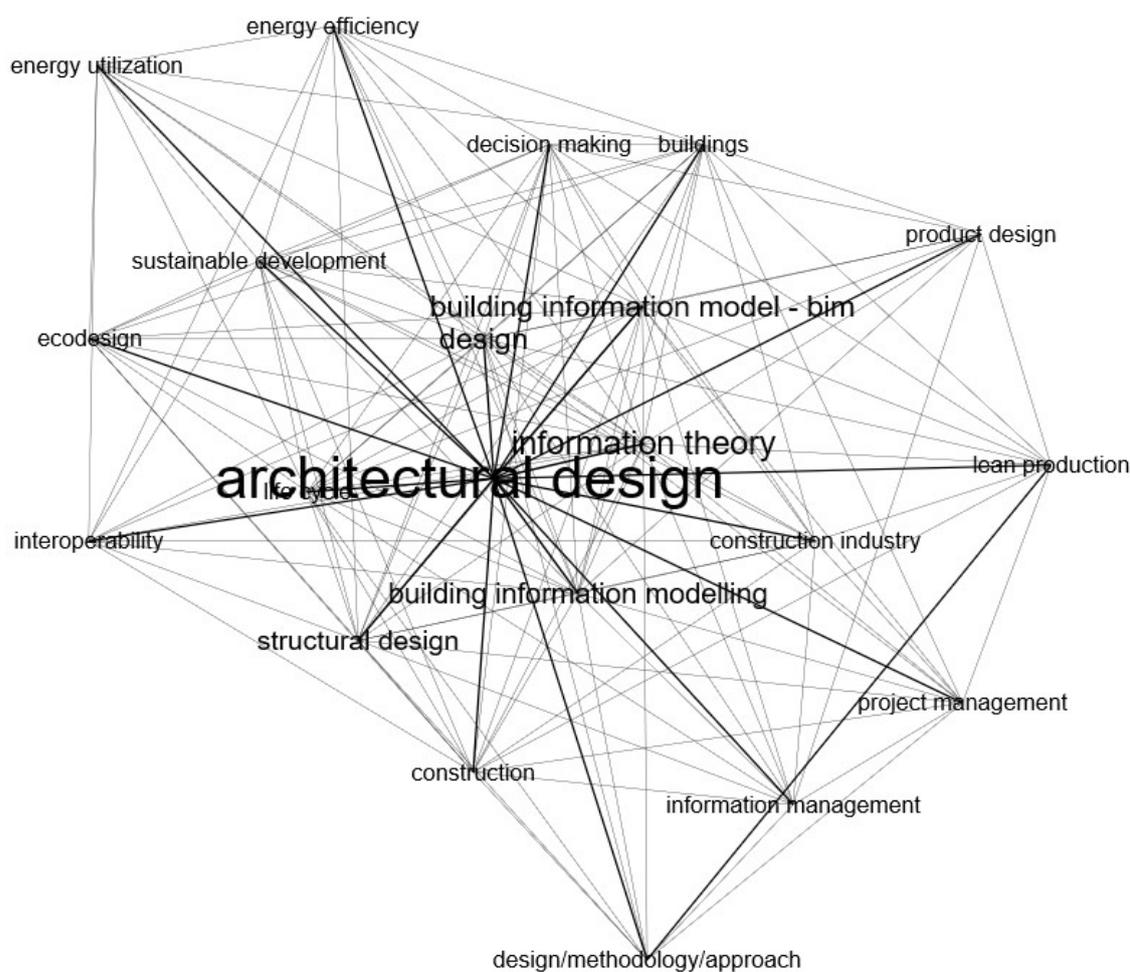
Pressupõe-se também que tanto a teoria da informação quanto os conceitos e práticas adaptados do *Lean Production* têm sido implementados, nos projetos arquitetônicos e estruturais modelados em *BIM*, com a finalidade de diminuir as adversidades existentes nesta etapa. Esta inserção tem sido promovida através de novas ferramentas da tecnologia da informação (*plugins*, *softwares*) ou até mesmo de inovações nas relações culturais de trabalho.

Outro fator que deve ser ressaltado é a hipótese do projeto arquitetônico assumir

o protagonismo em todas as disciplinas existentes dentro de um modelo de informação de construção – *BIM*. Todo o processo de modelagem se inicia na arquitetura, em que são buscadas as primeiras informações com o cliente e com as outras disciplinas com o objetivo de se obter uma concepção de projeto. Desta forma, qualquer mudança relacionada ao projeto arquitetônico resulta em uma série de mudanças não só nos outros projetos, mas também, em todo o planejamento (orçamento, construção, desempenho etc).

É importante salientar também o fato dessas palavras estarem concatenadas entre si e ligadas a outras, usadas por autores de outros artigos em relação ao tema em questão. A Figura 4.9 ilustra melhor essa ideia.

Figura 4.9 – Correlação entre palavras



Fonte: Próprio autor

A *architectural design* se destaca entre todas em três aspectos: tamanho da fonte

(maior), é a única que está em negrito e assume a posição central da figura. Isso significa uma relevância e protagonismo desta palavra, uma vez que todos os outros processos e projetos complementares estão direto ou indiretamente ligados à ela. Percebe-se a proximidade das palavras *information theory*, *design*, *building information modeling*, *building information modeling-BIM*, *structural*, *design* e *Lean production* em relação à palavra *architectural design*, sendo este o primeiro requisito de análise do *Cluster* em relação à correlação de palavras.

Outras palavras como *energy utilization*, *energy efficiency*, *information management* e *design/methodology/approach* apesar de estarem mais afastadas, estão diretamente ligadas à palavra *architectural design* de forma bem destacada.

Esse *Cluster* de palavras juntamente com o gráfico do número de repetições de palavras e a figura da densidade de palavras corrobora com duas hipóteses: a etapa preliminar da projeção em *BIM* é a mais importante entre todas na fase de *design* e a disciplina de arquitetura é a que desempenha o papel de maior destaque entre todas. Talvez, então, levantar todas as adversidades ligadas de forma direta ou indireta a esta disciplina e nesta fase de projeção seja o início de um caminho para criação de um método que minimize a incompatibilidade de informações de projeto entre as partes interessadas.

Para iniciar esta análise, no próximo item (Revisão Sistemática da Literatura), alguns termos supracitados da análise bibliométrica poderão reincidir e nortear a opinião dos autores, suas conclusões e hipóteses acerca do tema em questão.

4.2 Revisão Sistemática da Literatura

Os próximos itens apresentarão os resultados das pesquisas de diversos autores sobre o tema (fase 2 do método descrito), permitindo assim identificar tanto os benefícios quanto as adversidades no *BIM* e práticas e ferramentas *Lean* aplicadas ao sistema e em outras indústrias baseados nesses recortes. Este levantamento foi um guia para criação de uma matriz de *loop* causal aplicada a algumas empresas, que posteriormente foi sistematizada juntamente com a aplicação das Redes Neurais Artificiais, possibilitando fazer a busca de ferramentas e conceitos enxutos, visando minimizar as perdas nos

escritórios de projeção *BIM*.

4.2.1 *Lean e BIM e design*

A frequência da utilização da modelagem na construção civil tem sido cada vez mais recorrente e sua abrangência tem se estendido ao longo de todo o ciclo de vida de uma edificação desde seu estágio inicial (projeção) ao desempenho e manutenção. Esta teoria se concretiza por [Fadoul, Tizani e Koçc \(2018\)](#) e [Donato, Turco e Bocconcino \(2018\)](#), que afirmaram que o *BIM* tem a capacidade de modelar e gerenciar eletronicamente a vasta quantidade de informações inseridas no projeto de construção, desde a sua concepção até as manutenções que vão até o fim de sua vida útil (demolição).

Em relação aos conceitos expostos sobre o *BIM*, estes se apresentam diversificados, porém se assemelham em vários aspectos. Para [Edwards, Li e Wang \(2015\)](#), é um método emergente na indústria AEC que promove dentro do ciclo de vida do projeto uma maneira mais colaborativa de trabalhar. Esta maneira colaborativa é ressaltada por [Fadoul, Tizani e Koçc \(2018\)](#) e [Çavuşoğlu e Çağdaş \(2018\)](#), caracterizando o *BIM* como um recurso de conhecimento compartilhado para obter informações e formando uma base confiável para decisões durante o ciclo de vida de um projeto.

[Teo et al. \(2016\)](#) enfatizam que o *BIM* é uma tecnologia de modelagem de três dimensões num processo integrado que permite que os profissionais de construção de várias disciplinas compartilhem, discutam e explorem o projeto de construção antes de ser executado.

Outro conceito, que vai além de uma tecnologia ou ferramenta, se estende a uma mudança de comportamento. Para [Daller et al. \(2016\)](#), o *BIM* não é uma ferramenta, mas sim uma mudança cultural e tecnológica no projeto, construção e manutenção.

Assim, o *BIM* pode ser entendido como um sistema interligado de ferramentas a uma plataforma, com o objetivo de viabilizar o fluxo dos processos e as informações contidas nos mesmos, traduzindo-se simultaneamente numa diminuição de perdas (custos e tempo) e aumento da eficiência.

Como já ressaltado teoricamente, o processo de modelagem *BIM* beneficia todo

o ciclo da construção, porém, questiona-se como estes benefícios se estendem à fase de projeção e como eles devem ser analisados e incorporados.

Segundo Wu e Shih (2015), o *BIM* melhorou bastante o nível de tecnologia de processamento de informações na arquitetura, ajudando os arquitetos a controlarem as informações de *design*, facilitando suas trocas e melhorando a cooperação entre as equipes (CHANG; SHIH, 2013). Alwis et al. (2019), salienta que a geração automática de modelos *BIM* dá outra dimensão ao processo de *design*, aprimorando a integração entre a construção multidisciplinar de equipes.

Quatro temas principais são detectados na análise do auxílio do *BIM* na tarefa do *design* sendo estas: visualização, comunicação de informações valiosas/confiáveis, produtividade/competitividade e segurança do local/litígios/questões de custos (GOKUC; ARDITI, 2017) .

No que se refere à visualização, um estudo foi promovido por Edwards, Li e Wang (2015) tentando aumentar o envolvimento do usuário final no processo de *design* de maneira colaborativa. Foi implementado um mecanismo de jogo, visando fornecer controles intuitivos e uma imersão no ambiente *BIM*, a fim de permitir que pessoas não treinadas tecnicamente se envolvessem com o edifício e o projeto.

Neste mesmo segmento, outra tecnologia inovadora inserida pelas empresas dentro do ambiente *BIM* é a realidade virtual. É um mecanismo adotado em algumas simulações de determinados modelos, sendo vista como o meio mais imersivo de visualizar um modelo, prometendo se tornar parte da indústria da construção, melhorando o seu processo (ZAKER; COLOMA, 2018; WANG et al., 2015).

O intercâmbio de informações é promovido pelo *BIM* de forma que as diferentes disciplinas interajam o mais rápido possível no processo e disponibilizem a informação clara para a definição dos objetivos entre as partes interessadas (GALLEGO-FERNÁNDEZ; DÍAZ; NÚÑEZ, 2018).

Quanto à análise de produtividade e segurança do local, Teo et al. (2016) apresentaram uma discussão teórica sobre esses aspectos em um sistema *BIM*, onde concluíram que o IPASS (Sistema Inteligente de Produtividade e Segurança), caracterizou-se pela verificação dos perigos, permitindo que os projetistas os identificassem de forma anteci-

pada, focando-se também na redução do retrabalho através do planejamento efetivo do projeto.

Hossain et al. (2018) apresentaram um conhecimento estruturado de *Design for Safety (DfS)*, baseado em regras contidas numa biblioteca, que pode ser utilizada como um banco de dados de conhecimento independente a ser usado pelos *designers* durante a concepção de seu projeto, mesmo antes do modelo *BIM* ser desenhado.

A modelagem de informações da construção se mostra muito eficaz também no que se refere à coordenação de projetos auxiliando na tomada de decisões. Com o surgimento dessa nova tecnologia e conseqüente alterações nas oportunidades de trabalho, a maneira de se pensar em relação ao projeto tem passado por uma transformação.

Os coordenadores de projeto obtêm uma melhor visão geral do relacionamento entre as diferentes disciplinas e a capacidade de detectar conflitos quando o custo para corrigi-los é menor, criando garantia de qualidade em todos os níveis (ANDERSEN; FINDSEN, 2019). Em estágios iniciais de projeto, o *BIM*, quando integrado com outras técnicas, por exemplo *Analysis Network Design (DNA)* (DENIS; VANDERVAEREN; TEMMERMAN, 2018), pode ser útil para avaliar o processo de pré-*design* e ajudar o projetista na tomada de decisões (DONATO, 2017).

Abou-Ibrahim e Hamzeh (2016) concluíram que a condição interativa e multidisciplinar do *design* desempenha um papel importante na gestão de projetos, pois a detecção e eliminação de interações negativas não é fácil. Esse fato permanece verdadeiro independentemente da plataforma que o processo de projeto esteja sendo executado, ou seja, usando ferramentas *2D-CAD* ou *BIM*, a natureza caótica e vaga do *design* é sempre um desafio.

Apesar dos estudos revelarem as inúmeras vantagens do *BIM* para o projeto, os apontamentos referentes ao gerenciamento destes fatores continuam sendo um desafio para os profissionais, com questões frequentemente compostas por conflitos baseados em processos (causados pela criação do *BIM*) e em modelos (causados por deficiências no *BIM*) (MEHRBOD et al., 2019).

Portanto, as causas mapeadas na literatura que influenciam a projeção em *BIM*, sendo este delimitado como o problema central, são demonstrados juntamente com

número de citações, suas respectivas classes seguido pelos seus autores correspondentes conforme especifica o Apêndice D.

Entre os conflitos mais comuns evidenciados durante o estágio de coordenação de projetos, uma pesquisa baseada em dois estudos de caso percebeu que cerca de 28% das questões totais relativas ao *design* não foram resolvidas até o final do processo. As observações realizadas levantaram que a falta de coordenação e de comunicação entre as diferentes disciplinas, ao se projetar sistemas de construção em *BIM*, é um fator que contribui para o problema das divergências. Em relação à taxa de resolução de problemas, cerca de 65% de divergência de *design* (conflitos dentro do sistema de construção) e 22% de ausência de informações, permaneceram sem solução até o final da construção (MEHRBOD; STAUB-FRENCH; TORY, 2020).

Mehrbod, Staub-French e Tory (2020) identificaram oito gargalos que impedem a eficiência e eficácia dos processos de coordenação de projetos em *BIM*, sendo estes:

- Falta de atualizações simultâneas do *BIM*;
- Falta de comunicação;
- Falta de terminologia e inconsistência entre as questões de *design*;
- Documentação insuficiente e *design* ineficiente;
- Transições ineficientes entre artefatos;
- Falta de disponibilidade e acessibilidade de artefatos de *design*;
- Discrepância de informação: inconsistência de informações de *design* em diferentes artefatos;
- Ferramentas de navegação inadequadas para reuniões rápidas de coordenação *BIM*;
- Desconexão do local do escritório: participantes da sala de reuniões interpretam questões de *design* de forma diferente dos projetistas.

Ainda dentro deste contexto, Arokiaprakash, Kannan e Manikanda Prabhu (2017) e Michaud et al. (2019) apontaram que os problemas gerais identificados na indústria da

construção, com base na literatura, são: custo e tempo excessivos, processos ineficientes (perdas) e aversão tecnológica. Ao classificar estes fatores, alguns especificamente, estão ligados à fase de projeto e suas etapas, entre os quais destacam-se:

- Pedidos de alterações de projeto por parte dos clientes;
- Redesenho, conflito de erros;
- Previsibilidade do tempo de projeto;
- Falta de exatidão em desenhos e documentação;
- Erros em desenhos;
- Falta de integração dos membros do projeto em sua compreensão;
- Retrabalho;
- Falta de colaboração entre as diferentes disciplinas;
- Mudança nas atividades;
- Falta de comunicação principalmente por partilha de dados;
- Variabilidade nos estágios iniciais de *design*;
- Compromisso entre as partes interessadas principalmente entre a alta e média gerência (SOETARA et al., 2018).

Corroborando com este estudo, [Mazlum e Pekerİçlİ \(2016\)](#) apresentaram uma classificação de perdas de acordo com sua frequência e ocorrência restritamente a fase de *design*:

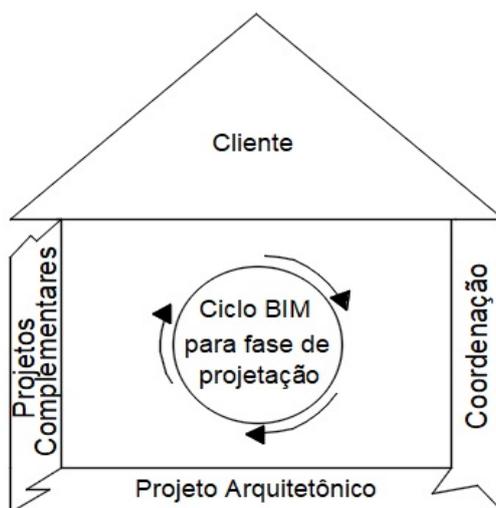
- Ineficiência na revisão dos projetos;
- Problemas relacionados aos clientes / informação tardia do cliente;
- Retrabalho;
- Espera por informações de outras disciplinas;

- Dados não qualificados de outras disciplinas;
- Defeitos de produção de desenhos e detalhes técnicos;
- Alterações nas decisões do projeto arquitetônico;
- Troca de informações ineficazes e desnecessárias;
- Baixa produtividade;
- Trabalhos inacabados;
- Uso ineficaz de fonte qualificada e altas expectativas de fontes não qualificadas;
- Organizações de reuniões ineficientes;
- Descontinuidade no projeto.

Estabelecendo um comparativo com uma edificação, nota-se que, dentro do ciclo *BIM* para fase de projeção, os *stakeholders* (arquiteto, coordenação, projetistas das disciplinas complementares e cliente), trabalham sem interatividade.

Cada uma das partes interessadas cuidam do que lhes foi atribuído como tarefa, tendo o projeto arquitetônico como o alicerce, entendendo-se que ele é o primeiro projeto a disparar o processo, seguido dos projetos complementares e do coordenador, construindo as paredes e todos esses agentes sustentando o cliente (cobertura) sem equilíbrio das cargas de trabalho.

A participação de cada *stakholder* desta cadeia não acontece de uma forma generalizada em que cada agente corrobora com o processo do outro, ou seja, um dos componentes ou quase todos desta construção sempre estarão com suas partes pendentes, incompletas, seja por falta de informações, comunicação ou interatividade entre outros fatores. A Figura 4.10 ilustra melhor esta ideia.

Figura 4.10 – Ciclo *BIM* para fase de projeção e suas partes interessadas

Fonte: Próprio autor

Entre os fatores descritos anteriormente a falta de integração pode estar relacionada à inexistência de uma estratégia sistemática de exploração dos projetos ou à falta de tecnologias capazes de materializar o problema (NASCIMENTO et al., 2017).

No que se refere a exploração de projetos, Mehrbod et al. (2019) enfatizam que a carência de implementação de um protocolo abrangente do *BIM*, impede que todas as partes interessadas estejam numa mesma página. Por exemplo, foi observado que o mesmo nível de *LOD* não era mantido em todas as disciplinas, sendo uma barreira tanto para a adoção do *BIM* quanto para o desenvolvimento e compatibilização dos projetos.

As divergências encontradas e seus respectivos percentuais que reforçaram esta teoria foram analisadas observando toda a equipe de projetistas (arquitetônico, elétrico, hidráulico e de combate à incêndio) sendo:

- Discrepância de projeto = 15%;
- Erro de projeto = 14%;
- Confrontos de projeto = 12%;
- Ausência de itens = 10%;
- Confrontos de projeto repetidos = 9%.

Outro fator que pode contribuir para um desequilíbrio no nível de *LOD* é o segmento ao qual o projeto se encaixa. [Abou-Ibrahim e Hamzeh \(2016\)](#) concluíram, em sua pesquisa, que, dependendo do segmento dos projetos modelados em *BIM*, estes podem atingir graus maiores ou menores de *LOD*. Os autores criaram um método vinculando variáveis a cada nível de *LOD*, que são relacionados usando uma matriz, permitindo que os projetistas construam e usem níveis específicos de *LOD*, que atendam suas necessidades de acordo com o projeto.

Além dos aspectos já salientados, [Zieliński e Wójtowicz \(2019\)](#) apontaram que fatores como tamanho do escritório de projeto de arquitetura, *softwares* adequados, aspectos econômicos e disponibilidade de documentação de outras disciplinas influenciam na escolha do nível de desenvolvimento de um modelo de projeto *BIM*.

Essa equalização dos níveis de desenvolvimento dos projetos pode ser uma técnica eficaz na padronização das informações relacionadas à projeção em *BIM*. Para [Andersen e Findsen \(2019\)](#), é vital que um método de trabalho estruturado obtenha uma linguagem e compreensão interdisciplinares comuns entre os participantes do projeto. [Nascimento et al. \(2018\)](#) destacaram, em suas observações, que a padronização das informações de engenharia possibilitou promover uma melhor colaboração interdisciplinar.

Reforçando esta hipótese, [Chang e Shih \(2013\)](#) criaram uma plataforma permitindo que cada equipe carregasse várias informações distintas, apresentando suas necessidades específicas e também compartilhando arquivos. A plataforma desempenhou um papel importante na promoção da cooperação e da comunicação da equipe, uma vez que foram especificados níveis de desenvolvimento do projeto, de acordo com suas respectivas etapas:

- projeto preliminar: *LOD* 100;
- projeto básico: *LOD* 200;
- projeto detalhado: *LOD* 300.

A falta de sintonia entre os participantes do projeto não se limita apenas a uma padronização do nível de informações. Dentro da projeção em *BIM*, outros

aspectos relevantes como a falta de entendimento, comunicação, interação, prazo para desenvolvimento dos projetos, tecnologias de *hardware* e *software* além de uma carência efetiva na formação de novos profissionais são indicadores importantes para a diminuição das adversidades em todas as etapas que compõem esta fase.

O não entendimento comum entre as partes interessadas do projeto, sobre quais informações são necessárias para cada pacote de compras, resulta em um *design* atrasado que não atende aos requisitos para a aquisição e o processo de produção (UUSITALO et al., 2019).

A falta de comunicação e interação são recorrentes na indústria AEC, particularmente no estágio de projeto conceitual. Essas falhas, muitas vezes, manifestam-se por meio de uma série de áreas significativas, desde a representação do *design*, até sua compreensão e tradução para fragmentação do processo (ABRISHAMI; GOULDING; RAHIMIAN, 2020).

Problemas de interoperabilidade entre ferramentas de engenharia estrutural, plataformas de *software* agem como uma barreira nos processos colaborativos de *design* (DELAVAR et al., 2020). Lai, Deng e Chang (2019) afirmam que a maior dificuldade em aplicar a modelagem *BIM* reside na troca de dados quando *designers* de diferentes profissões empregam ferramentas de projeto heterogêneas.

Hamidavi et al. (2020) destacaram em sua pesquisa que as deficiências na interoperabilidade persistem entre as estruturas arquitetônicas e os projetos estruturais com relação à otimização dos modelos. Neste cenário, qualquer mudança na arquitetura requer que todo o modelo estrutural seja reprojetoado/reanalisado/reprogramado.

Nas práticas atuais, a falta de interoperabilidade em fluxos de informações e sistemas de engenharia industrial, como por exemplo, a construção de usina, representa um débito de 15,8 bilhões de dólares por ano em projetos nos EUA (NASCIMENTO et al., 2017).

Portanto, somente por um verdadeiro processo colaborativo, é possível que arquitetos elaborem seu projeto com poucas mudanças indesejadas causadas por outras disciplinas, muitas vezes, devido à falta de comunicação eficiente entre os estágios do projeto (ZAKER; COLOMA, 2018).

Entre as etapas da projeção em *BIM*, o projeto preliminar denota como sendo o mais importante em todo o processo, uma vez que quando mal executado por falta de informações, interatividade ou comunicação entre as partes interessadas, o efeito pode se estender tanto às etapas subsequentes quanto à execução do projeto.

Paik, Leviakangas e Choi (2020) reforçam este prognóstico em um estudo concentrado em questões de gerenciamento de projetos durante os primeiros processos de *design*, considerando a criticidade de seus impactos nas fases subsequentes.

Esta hipótese se alinha com as conclusões de Fadoul, Tizani e Koçic (2018) evidenciando que a tomada de decisões errôneas, tanto pelos projetistas quanto pelos clientes na etapa de *design*, implicaram numa piora de desenvolvimento do produto até o início da fase de construção, em que é tarde demais para fazer melhorias significativas com menos custos. Neste mesmo estudo, foi desenvolvido um *Dashboard* para os arquitetos, exibindo intuitivamente e quantitativamente as informações em tempo real para ajudá-los a tomar decisões durante a fase inicial do projeto.

Concatenando com esta ideia Schlueter e Thesseling (2009) e Duffy et al. (1993) e Chong, Chen e Leong (2009) apud Wu e Shih (2015) relataram que as decisões mais importantes do projeto são feitas geralmente pelo arquiteto durante a fase inicial do projeto e 80% dos custos são decididos nesta fase. Além disso, foi observado que mesmo com a aplicação de técnicas dos mais altos padrões durante a fase de projeto detalhado, não se pode compensar as perdas devido a decisões errôneas na fase inicial de projeto.

Estas decisões errôneas podem ter como consequência custos elevados e inesperados aos projetos de construção. Portanto, a estimativa de custos em projetos de construção é um fator importante para a tomada de decisão tanto na fase inicial quanto na fase detalhada de *design*. Visando melhorar essa questão, Choi, Kim e Kim (2015) propuseram um protótipo QTO (*Quantify Take-off*), dentro de uma estrutura *BIM* para melhorar a baixa confiabilidade da estimativa de custo no estágio inicial do projeto.

Esta importância de viabilizar a comunicação e a interação entre os *stakeholders* em todas as etapas da fase de projeção dando ênfase à etapa inicial é reforçada por Chelyshkov e Lysenko (2017), ressaltando que é na fase preliminar que os *designers* decidem sobre os fatores significativos do projeto como forma, sistema estrutural,

envelope da construção, impacto ambiental, custos operacionais e segurança.

Contudo, mesmo com relatos da importância de um fluxo de informações serem essenciais no processo inicial de *design*, Çavuşoğlu e Çağdaş (2018) apontam os principais problemas subentendidos sobre o *BIM* em suas fases iniciais do projeto, sendo estes:

- os participantes do processo não têm um consenso sobre o ambiente *BIM*;
- o processo de *design* ainda caminha em uma abordagem muito intuitiva;
- falta treinamento para os profissionais relativo à abordagem no uso do sistema *BIM* e suas ferramentas;
- falta de flexibilização para recursos de modelagem 3D;
- necessidade em se adotar uma mudança cultural para o *BIM* nos estágios iniciais de *design*, melhorando não apenas o comando da ferramenta mas conceitos relacionados ao pensamento computacional e às habilidades de raciocínio analítico.

Essa flexibilização para recursos de modelagem em *BIM* pode estar ligada a dois fatores. O primeiro relativo à convergência de investimentos financeiros dentro das empresas por seus gestores para obtenção de *hardwares* e *softwares* para viabilização dos processos. O segundo, a compatibilidade de diferentes plataformas para elaboração de um projeto.

Estudos promovidos por Zaker e Coloma (2018) denotaram que o uso da realidade virtual inserida ao *BIM* proporcionou como principal fator de importância a sensação de se ver dentro de um edifício em uma escala real. Porém, as principais barreiras encontradas para o uso desta ferramenta foram a resistência das empresas em fazer uso da tecnologia, necessidade de conhecimento do mecanismo e seu escopo além dos altos valores com custos de *hardwares* e *softwares* (LEE; YU, 2016).

Hamid e Embi (2020) complementaram esta ideia alegando que os gastos referentes a adoção de novas tecnologias (*hardwares* e *softwares*) implicam também em treinamento da mão de obra o que eleva ainda mais os custos, principalmente em pequenas empresas.

Porém, mesmo com estes obstáculos, há uma necessidade de compreender e desenvolver mecanismos de treinamento *BIM* e modelos de sua difusão principalmente em pequenas e médias empresas (TEZEL et al., 2020).

Relativo à interoperabilidade de *hardware* e *software* e embora tenha havido grandes melhoras na capacidade de um sistema se comunicar de forma transparente com outro sistema, estudos de caso mostraram limitações relacionadas à comunicação entre diferentes plataformas, mesmo nos estágios iniciais do projeto (DONATO; TURCO; BOCCONCINO, 2018).

Essas limitações relacionadas à comunicação entre diferentes plataformas, segundo Michaud et al. (2019), podem estar ligadas à variedade de *softwares* usados pelas partes interessadas. Esta diversidade de programas utilizados e o número de modelos de projetos produzidos por cada disciplina foram grandes problemas durante o *design*. Isso desencadeou uma falta de interoperabilidade e perda de tempo entre as partes interessadas.

O investimento para uma melhor interação das partes interessadas na fase de projeção em *BIM* não se limita apenas à aquisição de componentes de *hardware* e *software*. Os projetos de construção estão cada vez mais complexos, envolvendo novos processos de negócios e soluções tecnológicas alinhadas às exigências dos clientes fazendo com que os prazos disponíveis para sua concepção principalmente em suas fases iniciais sejam reduzidos drasticamente (DONATO, 2017). Dada a natureza dinâmica dessas mudanças e ao aumento dos níveis de complexidade do projeto, a indústria AEC agora exige uma variedade de profissionais e equipes multidisciplinares recém-qualificados, a fim de atender a esses novos desafios (WANG et al., 2015).

Assim, tanto o treinamento quanto a formação de novos profissionais com conhecimento do processo, podem promover um ambiente colaborativo inovador que permita aos *designers* se comunicarem de forma mais eficiente. Porém, alguns estudos demonstram um antagonismo enfático em relação a estas questões.

Abdirad e Dossick (2016) apresentaram uma pesquisa sobre o desenho do currículo *BIM* na formação de profissionais em arquitetura e engenharia. Perceberam através de uma revisão sistemática que a implementação do *BIM* nos currículos universitários

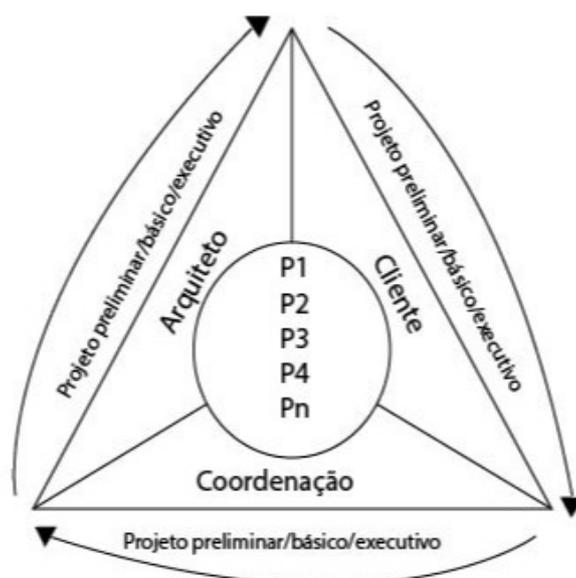
é um requisito importante para satisfazer demandas educacionais da indústria AEC.

Conjuntamente a esta ideia, [Markiewicz-Zahorski \(2019\)](#) concluiu que a modelagem de informação da construção está se tornando um padrão para o *design* e deve ser incorporado à educação de futuros engenheiros e arquitetos. Os países altamente desenvolvidos enfrentam um problema significativo causado pela falta de especialistas que podem operar com eficiência esta tecnologia.

Não diferente a este contexto, [Gokuc e Arditi \(2017\)](#) relatam que a falta de educação em *BIM* é detectada entre os arquitetos e empreiteiros como uma causa de problema relacionado ao fato de não ter sido ensinado nas escolas de arquitetura dos EUA. Complementam ainda alegando que em uma entrevista com profissionais da área, apenas 12% tinham mais de 10 anos de experiência com o *BIM*.

Contudo, com as vantagens e desvantagens levantadas até aqui a respeito do sistema *BIM* de informações para fase de projeção, entende-se que, um modelo que promovesse uma maior interatividade entre as partes interessadas (arquiteto, cliente, coordenação e projetistas complementares) seria o ideal. A Figura 4.11 caracteriza melhor esta ideia.

Figura 4.11 – Modelo *BIM* para interação entre os *stakeholders* na fase de projeção

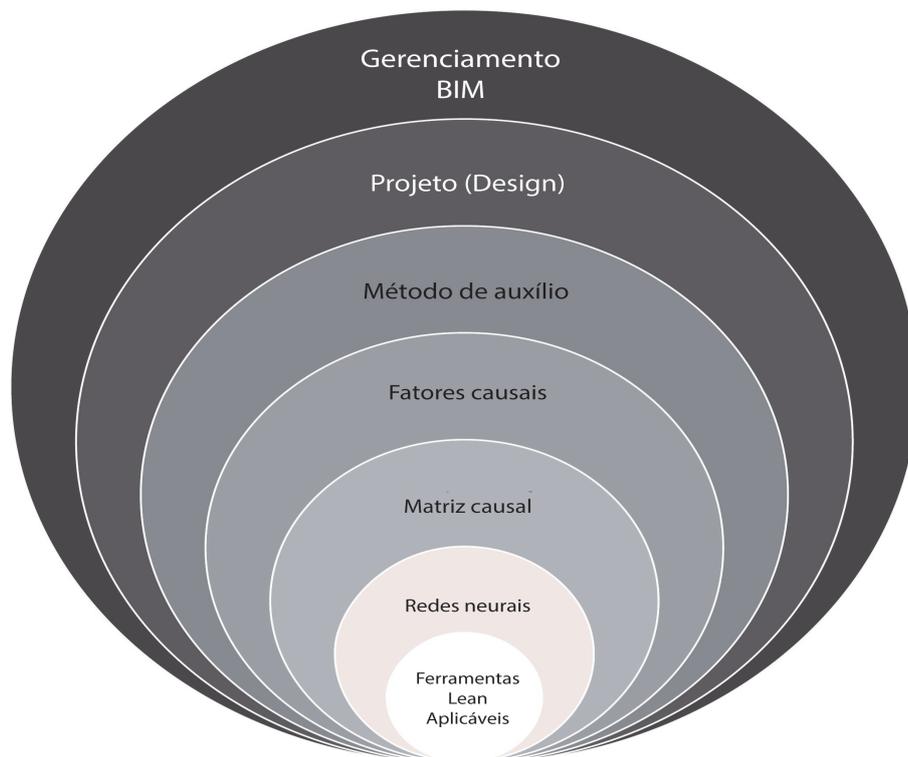


Fonte: Próprio autor

Observa-se que todos os *stakeholders* se relacionam e participam do processo de coordenação simultaneamente e gradativamente conforme evoluem as etapas da projeção, fator que promove do ponto de vista teórico uma maior comunicação e um melhor fluxo de informações entre os agentes.

Portanto, como já descrito anteriormente, o *BIM*, quando integrado por ferramentas com especificidades distintas, pode auxiliar todas as fases do ciclo de vida da edificação, desde, a concepção inicial de projeto (*design*) se estendendo às etapas de construção, desempenho e manutenção. Apesar dos benefícios potenciais em se projetar em *BIM*, permanece muito desafiante elaborar ferramentas que suprimam as adversidades destacadas. Partindo desta lacuna, surgiu a ideia da criação de um artefato que auxiliasse o gerenciamento do *BIM* na fase de *design* com a sistematização da matriz de *loop* causal e aplicação das ferramentas *Lean* auxiliada pelas Redes Neurais em três estudos de caso. A Figura 4.12 faz uma representação desta ideia.

Figura 4.12 – Estrutura do método



Fonte: Próprio autor

Para isso, o próximo item mostra os resultados da aplicação do artefato utilizado, com a finalidade de apontar ferramentas *Lean* específicas de acordo com a necessidade de cada empresa. É importante ressaltar que nas três empresas selecionadas para aplicação da ferramenta, o artefato não estava totalmente finalizado quando testado na empresa A, o que implica numa apresentação de resultados minimamente distintos em relação as outras duas empresas. Posteriormente, foi realizado um maior refinamento das Redes Neurais para aplicação nas empresas B e C.

4.3 Empresa A

Com relação ao estudo de caso realizado na empresa, entre as 29 adversidades disponibilizadas no sistema, a equipe de projetistas definiu 21 como as mais incisivas em seu processo de projeção em *BIM*, como mostra a Figura 4.13.

Figura 4.13 – Seleção das adversidades da empresa A

SELECIONE AS VARIÁVEIS

- 1 - Indisponibilidade de documentação de outras disciplinas
- 2 - Tamanho da equipe do escritório
- 3 - Segmento dos projetos (hospitalar | residencial | comercial | industrial)
- 4 - Diferentes níveis de LOD
- 5 - Altos custos para aquisição de softwares
- 6 - Falta comunicação entre os sistemas
- 7 - Necessidade de conhecimento das ferramentas (softwares)
- 8 - Variedade de softwares
- 9 - Falta tecnologias de software adequadas
- 10 - Falta estandarização das informações
- 11 - Falta de compromisso entre a alta e média gerência
- 12 - Falta de otimização dos modelos
- 13 - Carência de implementação de um protocolo abrangente do BIM
- 14 - Redução drástica dos prazos de projeto
- 15 - Falta compreensão dos projetos entre as partes interessadas
- 16 - Tomada de decisões errôneas pelos clientes
- 17 - Mudanças nos projetos
- 18 - Falta especialistas
- 19 - Necessidade da formação de novos profissionais
- 20 - Necessidade de uma mudança cultural
- 21 - Falta treinamento dos profissionais
- 22 - Tomada de decisões errôneas pelos profissionais
- 23 - Falta colaboração interdisciplinar
- 24 - Incompatibilidade de projetos
- 25 - Conflitos entre as partes interessadas
- 26 - Documentação insuficiente e design ineficiente
- 27 - Falta de terminologia e inconsistência entre questões de design
- 28 - Falta de comunicação entre as partes interessadas
- 29 - Falta de atualizações simultâneas do BIM (modelos)

SELECIONAR VARIÁVEIS / APLICAR REGRA DE PARETO

Fonte: Próprio autor

A matriz causal apresentou para a variável “Tamanho do escritório” um Índice de Influência Líquido (IIL) igual a 7, ela influencia sete outras variáveis e não é influenciada por nenhuma com um total de *loops* igual a 33. A variável com segundo maior IIL=5 foi “Falta de otimização dos modelos”, ela influencia seis variáveis e é influenciada por uma. Ambas as variáveis apresentam os maiores valores para os indicadores totais de

Apareceram como resultados de ferramentas *Lean*: *Metha-synthesis of BIM implementation studies*; *BIM protocol*; *BIM documents qualitative content*; *Questionare implementation of BIM* ; *The qualitative content analysis off-site manufacturing (OMS) stakeholders e Delphi method*.

Os apontamentos das ferramentas *Lean* levam à conclusão de que deveria ser realizado um estudo incluindo padrões e diretrizes para entender o processo de gerenciamento da empresa.

Ao entender a condição desta empresa, deve-se fazer uma análise de conteúdo qualitativo de protocolos *BIM* publicados, que vigoram no Brasil, visando identificar particularidades comuns e aspectos ausentes para serem aplicados.

Ao final deste estudo de caso dois aspectos foram salientados junto aos sócio-diretores em relação ao método aplicado: o entendimento dos processos e o tempo dispendido. Ambos alegaram que o método utilizado era de fácil compreensão com uma demanda de tempo muito pequena em relação aos benefícios elencados que poderiam auxiliar no processo de gestão daquela empresa.

4.4 Empresa B

No teste realizado na empresa B, entre as 29 adversidades disponibilizadas no sistema, a equipe de projetistas definiu 13 como as mais significativas em seu processo de projeção, conforme ilustra a Figura 4.15.

Figura 4.15 – Seleção de variáveis da empresa B

SELECIONE AS VARIÁVEIS

- 1 - Indisponibilidade de documentação de outras disciplinas
- 2 - Tamanho da equipe do escritório
- 3 - Segmento dos projetos (hospitalar | residencial | comercial | industrial)
- 4 - Diferentes níveis de LOD
- 5 - Altos custos para aquisição de softwares
- 6 - Falta comunicação entre os sistemas
- 7 - Necessidade de conhecimento das ferramentas (softwares)
- 8 - Variedade de softwares
- 9 - Falta tecnologias de software adequadas
- 10 - Falta estandartização das informações
- 11 - Falta de compromisso entre a alta e média gerência
- 12 - Falta de otimização dos modelos
- 13 - Carência de implementação de um protocolo abrangente do BIM
- 14 - Redução drástica dos prazos de projeto
- 15 - Falta compreensão dos projetos entre as partes interessadas
- 16 - Tomada de decisões errôneas pelos clientes
- 17 - Mudanças nos projetos
- 18 - Falta especialistas
- 19 - Necessidade da formação de novos profissionais
- 20 - Necessidade de uma mudança cultural
- 21 - Falta treinamento dos profissionais
- 22 - Tomada de decisões errôneas pelos profissionais
- 23 - Falta colaboração interdisciplinar
- 24 - Incompatibilidade de projetos
- 25 - Conflitos entre as partes interessadas
- 26 - Documentação insuficiente e design ineficiente
- 27 - Falta de terminologia e inconsistência entre questões de design
- 28 - Falta de comunicação entre as partes interessadas
- 29 - Falta de atualizações simultâneas do BIM (modelos)

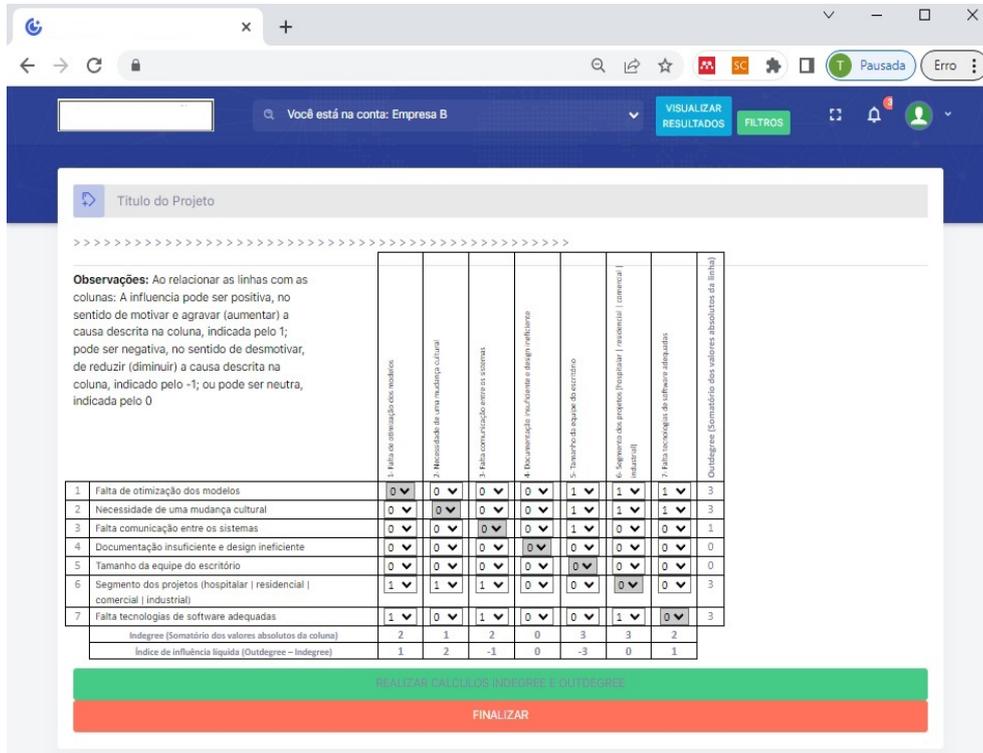
SELECIONAR VARIÁVEIS / APLICAR REGRA DE PARETO

Fonte: Próprio autor

Após esta etapa, com a geração e o preenchimento da matriz de *loop causal*, esta apresentou para variável “Necessidade de uma mudança cultural” um Índice de Influência Líquido (IIL) igual a 2, ela influencia três outras variáveis e é influenciada por duas com um total de loops igual a 7. A variável com segundo maior IIL=1 foi “Falta de otimização dos modelos”, ela influencia três variáveis e é influenciada por

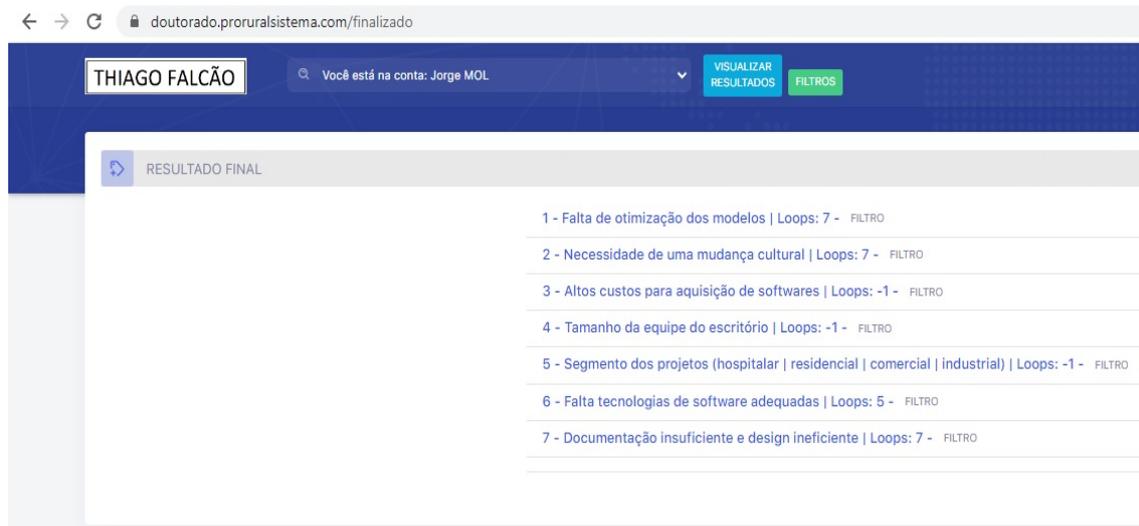
duas. Ambas as variáveis apresentam os maiores valores para os indicadores totais de IIL e loops. Isso significa que as duas causas são as mais significativas tendo a maior importância dentro do sistema, conforme mostra a Figura 4.16.

Figura 4.16 – Matriz de loop causal da empresa B



Fonte: Próprio autor

Entretanto, mais importante do que a identificação da causa com maior IIL é a determinação das variáveis com maiores valores de loops que influenciam reciprocamente o movimento sistêmico, como ilustra a Figura 4.17.

Figura 4.17 – Número de *loops* totais das variáveis da empresa B

Item	Loops	FILTRO
1 - Falta de otimização dos modelos	7	FILTRO
2 - Necessidade de uma mudança cultural	7	FILTRO
3 - Altos custos para aquisição de softwares	-1	FILTRO
4 - Tamanho da equipe do escritório	-1	FILTRO
5 - Segmento dos projetos (hospitalar residencial comercial industrial)	-1	FILTRO
6 - Falta tecnologias de software adequadas	5	FILTRO
7 - Documentação insuficiente e design ineficiente	7	FILTRO

Fonte: Próprio autor

Para esta variável "Necessidade de uma mudança cultural" caracterizada como a de maior importância, apareceram as ferramentas *Lean* como proposição de modelos para aplicação na empresa: *institutional theory*, *2D paper based working*, *Hoshin Kanri*, *Kaizen*, *A3 Thinking*.

As ferramentas propostas condizem com o principal fator de causalidade apontado uma vez que estas ferramentas propiciam um alinhamento dos objetivos da organização, envolve todos os membros da organização na identificação e implementação de melhorias e ajuda a desenvolver uma cultura na solução de problemas. A Figura 4.18 exemplifica como estas ferramentas aparecem no sistema, seus respectivos resumos e acesso ao documento que traz uma melhor descrição da mesma e sua aplicação.

Figura 4.18 – Empresa B: exemplificação de uma das ferramentas geradas

FERRAMENTA: A3 Thinking

Descrição: A3 Thinking: O A3 Thinking é uma ferramenta de resolução de problemas que ajuda a desenvolver uma cultura de solução de problemas. A ferramenta usa um formato padronizado de uma página (chamado A3) para documentar e comunicar ideias e soluções. O artigo "A3 thinking: A Lean tool to improve team problem solving" (<https://asq.org/quality-resources/a3-thinking>) do site da American Society for Quality (ASQ) explica como o A3 Thinking pode ser usado para mudar a cultura organizacional e melhorar a resolução de problemas.

REFERÊNCIA: ACESSAR ARTIGO

Fonte: Próprio autor

Entre os modelos apresentados, cabe ao líder gerencial escolher uma ou mais ferramentas enxutas apresentadas e implementá(s)-la(s) de acordo com a pertinência de seus processos e o fluxo de informações gerados no local. Assim como na empresa A, um de seus sócios-diretores alegou que o artefato era bem didático e despendeu de pouco tempo para ser aplicado na empresa.

4.5 Empresa C

Ao testar o artefato na empresa C, entre as 29 adversidades disponibilizadas no sistema, as duas arquitetas (sócios-diretores) definiram 18 como as mais relevantes em seu processo de projeção, conforme ilustra a Figura 4.19.

Figura 4.19 – Seleção de variáveis da empresa C

SELECIONE AS VARIÁVEIS

- 1 - Indisponibilidade de documentação de outras disciplinas
- 2 - Tamanho da equipe do escritório
- 3 - Segmento dos projetos (hospitalar | residencial | comercial | industrial)
- 4 - Diferentes níveis de LOD
- 5 - Altos custos para aquisição de softwares
- 6 - Falta comunicação entre os sistemas
- 7 - Necessidade de conhecimento das ferramentas (softwares)
- 8 - Variedade de softwares
- 9 - Falta tecnologias de software adequadas
- 10 - Falta estandarização das informações
- 11 - Falta de compromisso entre a alta e média gerência
- 12 - Falta de otimização dos modelos
- 13 - Carência de implementação de um protocolo abrangente do BIM
- 14 - Redução drástica dos prazos de projeto
- 15 - Falta compreensão dos projetos entre as partes interessadas
- 16 - Tomada de decisões errôneas pelos clientes
- 17 - Mudanças nos projetos
- 18 - Falta especialistas
- 19 - Necessidade da formação de novos profissionais
- 20 - Necessidade de uma mudança cultural
- 21 - Falta treinamento dos profissionais
- 22 - Tomada de decisões errôneas pelos profissionais
- 23 - Falta colaboração interdisciplinar
- 24 - Incompatibilidade de projetos
- 25 - Conflitos entre as partes interessadas
- 26 - Documentação insuficiente e design ineficiente
- 27 - Falta de terminologia e inconsistência entre questões de design
- 28 - Falta de comunicação entre as partes interessadas
- 29 - Falta de atualizações simultâneas do BIM (modelos)

SELECIONAR VARIÁVEIS / APLICAR REGRA DE PARETO

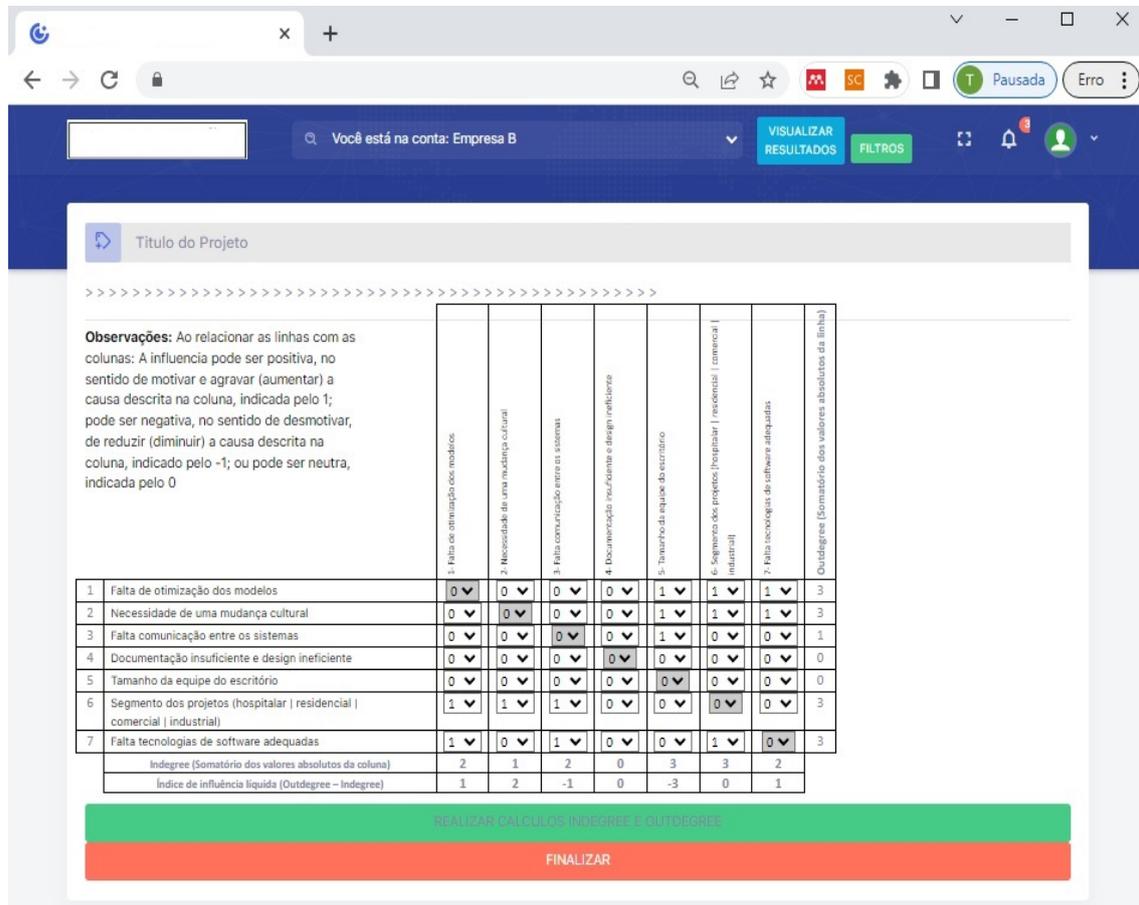
2023 © Thiago Falcão. Doutorado

Fonte: Próprio autor

Ao aplicar Pareto, com a geração e o preenchimento da matriz de *loop* causal, esta apresentou para variável “Carência de implementação de um protocolo abrangente do *BIM*” um (IIL) igual a 4, ela influencia nove outras variáveis e é influenciada por três com um total de *loops* igual a 16. A variável com segundo maior IIL=3 foi “Mudanças nos projetos”, ela influencia três variáveis e é influenciada por quatro. Neste caso, esta

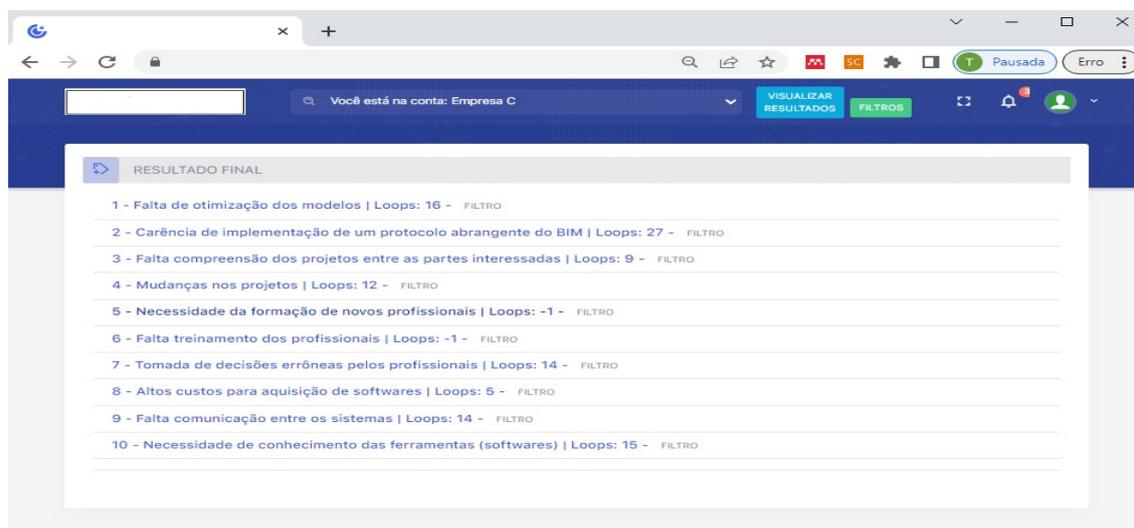
variável não possui o segundo maior número de *loops* registrados sendo superada pela variável "Falta de otimização dos modelos", com 16 *loops*, assumindo o papel de segunda mais incisiva na empresa. A Figura 4.20 mostra esta matriz.

Figura 4.20 – Matriz de loop causal da empresa C



Fonte: Próprio autor

Para a variável "Carência de implementação de um protocolo abrangente do *BIM*" caracterizada como a de maior importância, apareceram as ferramentas *Lean* como proposição de modelos para aplicação na empresa: *BIM documents qualitative content*, *Last Planner System (LPS)*, *A3 Thinking*, *Value Stream Mapping (VSM)*, *Gemba Walk*, *Kaizen e A3 Problem Solving*, conforme ilustra a Figura 4.21.

Figura 4.21 – Número de *loops* totais das variáveis da empresa C

RESULTADO FINAL	
1 - Falta de otimização dos modelos	Loops: 16 - FILTRO
2 - Carência de implementação de um protocolo abrangente do BIM	Loops: 27 - FILTRO
3 - Falta compreensão dos projetos entre as partes interessadas	Loops: 9 - FILTRO
4 - Mudanças nos projetos	Loops: 12 - FILTRO
5 - Necessidade da formação de novos profissionais	Loops: -1 - FILTRO
6 - Falta treinamento dos profissionais	Loops: -1 - FILTRO
7 - Tomada de decisões errôneas pelos profissionais	Loops: 14 - FILTRO
8 - Altos custos para aquisição de softwares	Loops: 5 - FILTRO
9 - Falta comunicação entre os sistemas	Loops: 14 - FILTRO
10 - Necessidade de conhecimento das ferramentas (softwares)	Loops: 15 - FILTRO

Fonte: Próprio autor

As ferramentas propostas condizem com o principal fator de causalidade uma vez que estas propiciam uma implementação sustentada, estratégica e acelerada do *BIM*. Foram também ressaltadas ferramentas que visam planejar, coordenar e monitorar a execução de atividades de um projeto de forma sistemática além do mapeamento dos processos com identificação de gargalos e oportunidades de melhoria. A Figura 4.22 exemplifica como uma entre as ferramentas descritas aparecem no sistema, seu respectivo resumo e acesso ao documento que traz uma melhor descrição da mesma e sua aplicação.

Figura 4.22 – Empresa C: exemplificação de uma das ferramentas geradas

FERRAMENTA: Value Stream Mapping (VSM)

Descrição: Value Stream Mapping (VSM) - Esta ferramenta visual é usada para mapear processos, identificar gargalos e oportunidades de melhoria. Pode ser usada para identificar onde um protocolo BIM abrangente pode ser integrado, otimizando a implementação e garantindo que os objetivos do projeto sejam atendidos. Um artigo que pode ser utilizado como referência é "Applying Value Stream Mapping to Improve Construction Industry Processes" publicado na revista científica "Journal of Construction Engineering and Management" em 2016. O artigo pode ser acessado no seguinte link: [https://ascelibrary.org/doi/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001132](https://ascelibrary.org/doi/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001132).

REFERÊNCIA: [ACESSAR ARTIGO](#)

Fonte: Próprio autor

Ao aplicar o artefato nas três empresas, foi possível indicar ferramentas enxutas para cada uma de acordo com suas necessidades apontadas. Cabe aos gestores investi-

garem de maneira mais específica o uso dessas ferramentas para avaliarem e definirem a melhor forma de aplicá-las.

Ficou evidente que o conhecimento da filosofia *Lean*, seus conceitos, ferramentas e aplicações não é muito disseminado para esta classe de profissionais que atuam com projeção na construção civil, uma vez que apenas alguns indivíduos de uma das três empresas escolhidas tinham conhecimento do assunto.

Em relação a busca das ferramentas *Lean*, realizada pelas redes neurais nas plataformas escolhidas, o artefato mostrou-se uma ferramenta eficiente uma vez que fez o *link* de uma ou mais ferramentas enxutas de acordo com a importância de cada variável.

Pode-se afirmar que em relação ao objetivo alcançado pelas ferramentas enxutas indicadas pelo artefato, estas corroboram com as evidenciadas na literatura. Estas ferramentas mesmo sendo aplicadas em empresas distintas, com ramo de atuação e setores diferentes possuem a mesma finalidade.

5 Conclusões

No estudo realizado foi verificado que mesmo com o uso sinérgico do *Lean* e *BIM* no ciclo da construção, são evidenciadas várias adversidades na fase de projeção, sendo esta uma lacuna do conhecimento identificada através da Revisão Sistemática da Literatura em que não foi encontrada nenhuma proposta ou sugestão similar em outros estudos cumprindo um dos objetivos específicos desta pesquisa.

A partir desta lacuna, foi estruturado um método que direcionou as adversidades ocorrentes na fase de projeção, com a sistematização de ferramentas *Lean* auxiliada pelas Redes Neurais, atingindo assim mais dois objetivos específicos desta pesquisa.

Com o método estruturado, foi possível construir um artefato (sistema) que auxiliou o gerenciamento do *BIM* na fase de *design*, apontando ferramentas enxutas como possíveis fatores para melhoria dos processos, tecnologias, pessoas e o fluxo de informações, cumprindo assim o objetivo geral deste trabalho.

Desta forma, foram cumpridos dois aspectos para a criação de artefatos que são propostos na *DSR*. O primeiro, obter uma perspectiva maior do tema, bem como identificar lacunas nas quais são necessárias mais pesquisas e o segundo, levantar pontos relevantes sobre os entraves da projeção em *BIM*, baseado na leitura dos artigos e num recorte sobre as opiniões dos autores em relação ao assunto, sendo isto, um objetivo específico da *RSL*.

O artefato contribuiu para indicação de ferramentas *Lean* no processo de projeção em *BIM*, permitindo gerar alternativas que auxiliem os agentes das pequenas, médias ou grandes corporações a descobrirem e solucionarem seus problemas, uma vez que as ferramentas de complementaridade propostas (Fatores Causais, Matriz de *Loop* e Redes Neurais) inseridas em um sistema são de fácil aplicação com desprendimento de tempo muito curto para os integrantes das empresas.

As ferramentas *Lean* apresentadas no sistema se mostraram coerentes com os fatores causais escolhidos pelos integrantes das três empresas. Uma vez aplicadas, estas podem melhorar o processo de gestão do ciclo *BIM* em sua fase de projeção,

otimizando o tempo e o fluxo de informações.

Após a avaliação do artefato nas três empresas, princípios *Lean* foram apontados para possíveis correções dos problemas evidenciados, sendo isto um produto da ferramenta utilizada que pode ter uma contribuição importante tanto no campo científico quanto no mercado da construção civil.

Entre as três empresas escolhidas para testar o artefato, apenas em uma seus projetistas tinham conhecimento sobre a filosofia *Lean*, suas aplicações e benefícios. Isso leva a concluir que as práticas, conceitos e ferramentas enxutas são muito pouco disseminadas na construção civil e no meio acadêmico no que tange ao ensino superior. Apenas uma das empresas escolhidas tinha indivíduos, não todos, com conhecimento em *Lean*, que foi adquirido em cursos de pós-graduação.

Entende-se que existe a possibilidade de um refinamento maior da Rede Neural. Isso pode ser realizado através do estabelecimento de parâmetros para destinar um número restrito de ferramentas enxutas, por ordem de prioridade da eficácia, para minimização dos problemas apontados pela matriz causal na projeção em *BIM*, de acordo com o aparecimento de cada variável nas empresas.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Em pesquisas futuras, sugere-se que o sistema seja melhorado, criando uma nova Rede Neural, que irá atualizar o número de citações e o grau de importância dos parâmetros causais / variáveis / adversidades de acordo com seus respectivos aparecimentos nos artigos na evolução dos estudos referentes a este tema.

Pode-se ainda fazer um estudo comparativo do processo hierárquico dos fatores causais proposto neste trabalho com um modelo utilizando o método AHP (Processo de Hierarquia Analítica). Este estudo poderia ser desenvolvido fazendo uma análise de decisão multicritério baseado em informações obtidas a partir de um questionário direcionado a profissionais da indústria da construção civil, com experiência em projeção *BIM* e conhecimento da *Lean Construction* e suas derivações, neste caso o *Lean Design*.

Sugere-se ainda criar um banco de dados de ferramentas *Lean* levantadas na

literatura e correlacioná-las aos fatores causais evidenciados neste estudo, através de um questionário direcionado a profissionais que trabalham com projeção em *BIM* e com conhecimento em *Lean Design* utilizando a escala de *Likert*.

Outra sugestão de futuros estudos seria fazer uma análise qualitativa dentro de uma empresa, estabelecendo um paralelo antes e após a aplicação da(s) ferramenta(s) *Lean* apontada(s) pelo artefato aplicado, por meio de uma pesquisa de intervenção.

Referências

- ABADI, M. et al. *TensorFlow: Large-Scale Machine Learning on Heterogeneous Systems*. 2015. Software available from [tensorflow.org](https://www.tensorflow.org/). Disponível em: [<https://www.tensorflow.org/>](https://www.tensorflow.org/).
- ABDIRAD, H.; DOSSICK, C. S. BIM curriculum design in architecture, engineering, and construction education: A systematic review. *Journal of Information Technology in Construction*, v. 21, n. September, p. 250–271, 2016. ISSN 14006529.
- ABOU-IBRAHIM, H.; HAMZEH, F. Enabling lean design management: An LOD based framework. *Lean Construction Journal*, v. 2016, n. December, p. 12–24, 2016. ISSN 15551369.
- ABRISHAMI, S.; GOULDING, J.; RAHIMIAN, F. Generative BIM workspace for AEC conceptual design automation: prototype development. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2020. ISSN 09699988.
- ACHARYA, U. R. et al. Classification of heart rate data using artificial neural network and fuzzy equivalence relation. *Pattern recognition*, Elsevier, v. 36, n. 1, p. 61–68, 2003.
- ADLER, M. J. D. V. *How to read a book*. New York: [s.n.], 1972.
- AFOLABI, A. et al. Critical success factors (csfs) for e-procurement adoption in the nigerian construction industry. *Buildings*, MDPI, v. 9, n. 2, p. 47, 2019.
- AIKHUELE, D. O.; ANSAH, R. H.; SOROOSHIAN, S. PERFORMANCE MODEL FORMATION FOR. n. May, 2017.
- ALBALKHY, W.; SWEIS, R. Barriers to adopting lean construction in the construction industry: a literature review. *International Journal of Lean Six Sigma*, Emerald Publishing Limited, v. 12, n. 2, p. 210–236, 2020.
- ALWISY, A. et al. A BIM-based automation of design and drafting for manufacturing of wood panels for modular residential buildings. *International Journal of Construction Management*, Taylor Francis, v. 19, n. 3, p. 187–205, 2019. ISSN 15623599. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15623599.2017.1411458>.
- ANDERSEN, M. T.; FINDSEN, A. L. Exploring the benefits of structured information with the use of virtual design and construction principles in a BIM life-cycle approach. *Architectural Engineering and Design Management*, Taylor Francis, v. 15, n. 2, p. 83–100, 2019. ISSN 17527589. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17452007.2018.1546165>.
- ANDRICH, W. et al. Check and validation of building information models in detailed design phase: A check flow to pave the way for bim based renovation and construction processes. *Buildings*, MDPI, v. 12, n. 2, p. 154, 2022.

- ANDRUKHIV, A. et al. Methodology for increasing the efficiency of dynamic process calculations in elastic elements of complex engineering constructions. *Electronics*, MDPI, v. 10, n. 1, p. 40, 2020.
- APANAVIČIENĖ, R.; JUODIS, A. Construction projects management effectiveness modelling with neural networks. *Journal of Civil Engineering and Management*, Taylor & Francis, v. 9, n. 1, p. 59–67, 2003.
- ARAYICI, Y.; KOSEOGLU, O.; SAKIN, M. Exploring the bim and lean synergies in the istanbul grand airport construction project. EMERALD GROUP PUBLISHING LTD, 2018.
- ARBIB, M. *The handbook of brain theory and neural networks*. [S.l.]: MIT press, 2003.
- AROKIAPRAKASH, A.; KANNAN, S.; Manikanda Prabhu, S. Formulize construction and operation management by integrating BIM and lean. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, v. 8, n. 4, p. 991–1001, 2017. ISSN 09766316.
- BABALOLA, O.; IBEM, E. O.; EZEMA, I. C. Implementation of lean practices in the construction industry: A systematic review. *Building and environment*, Elsevier, v. 148, p. 34–43, 2019.
- BALLARD, G.; HOWELL, G. A. Lean project management. *Building Research and Information*, v. 31, n. 2, p. 119–133, 2003. ISSN 09613218.
- BALLARD, G.; TOMMELEIN, I. Lean management methods for complex projects. *Engineering project organization journal*, Taylor & Francis, v. 2, n. 1-2, p. 85–96, 2012.
- BASHEER, I. A.; HAJMEER, M. Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and application. *Journal of microbiological methods*, Elsevier, v. 43, n. 1, p. 3–31, 2000.
- BAYAZIT, N. Investigating Design: A Review of Forty Years of Design Research. *Massachusetts Institute of Technology*, v. 20, n. 1, p. 16–29, 2004.
- BERTALANFFY, L. V. *Teoria geral dos sistemas*. [S.l.]: Vozes Petrópolis, 2010.
- BITON, N.; HOWELL, G. the Journey of Lean Construction Theory : Review and Reinterpretation. *Iglc21*, n. January 2013, p. 125–132, 2013. ISSN 2309-0979.
- BORELLA, L. d. C.; BORELLA, M. R. d. C.; CORSO, L. L. Climate analysis using neural networks as supporting to the agriculture. *Gestão & Produção*, SciELO Brasil, v. 29, 2022.
- 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*, Elsevier, v. 98, p. 248–264, 2019.
- BYGBALLE, L. E.; ENDRESEN, M.; FLUN, S. The role of formal and informal mechanisms in implementing lean principles in construction projects. *Engineering, Construction and Architectural Management*, Emerald Publishing Limited, 2018.
- CAMPESTRINI, T. F. et al. *Entendendo BIM*. [S.l.: s.n.], 2015. 50 p.

- CANNAS, V. G. et al. An empirical application of lean management techniques to support ETO design and production planning. *IFAC-PapersOnLine*, Elsevier B.V., v. 51, n. 11, p. 134–139, 2018. ISSN 24058963. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.247>>.
- ÇAVUŞOĞLU, Ö. H.; ÇAĞDAŞ, G. Enhancing decision making processes in early design stages: Opportunities of bim to achieve energy efficient design solutions. *A/Z ITU Journal of the Faculty of Architecture*, v. 15, n. 1, p. 53–64, 2018. ISSN 13028324.
- CHANG, Y. F.; SHIH, S. G. BIM-based computer-aided architectural design. *Computer-Aided Design and Applications*, v. 10, n. 1, p. 97–109, 2013. ISSN 16864360.
- CHELYSHKOV, P.; LYSENKO, D. Use of bim in design of standard facilities. *International Journal of Applied Engineering Research*, v. 12, n. 24, p. 15119–15121, 2017. ISSN 09739769.
- CHO, Y. S.; LEE, S. I.; BAE, J. S. *Reinforcement placement in a concrete slab object using structural building information modeling*. [S.l.: s.n.], 2014. v. 29. 47–59 p. ISSN 10939687. ISBN 1467-8667.
- CHOI, J.; KIM, H.; KIM, I. Open BIM-based quantity take-off system for schematic estimation of building frame in early design stage. *Journal of Computational Design and Engineering*, Elsevier, v. 2, n. 1, p. 16–25, 2015. ISSN 22885048. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcde.2014.11.002>>.
- CORRÊA, L. D. A.; FERNANDES, F. 4D BIM NA CONSTRUÇÃO CIVIL E SUA RELAÇÃO COM LEAN CONSTRUCTION : REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA. n. Icc, p. 100–107, 2017.
- DALLER, J. et al. Implementation of BIM in the tunnel design – Engineering consultant’s aspect. *Geomechanik und Tunnelbau*, v. 9, n. 6, p. 674–683, 2016. ISSN 18657389.
- DANIEL, E. I.; PASQUIRE, C. Creating social value within the delivery of construction projects: the role of lean approach. *Engineering, construction and architectural management*, Emerald Publishing Limited, 2019.
- DANTAS FILHO, J. B. P.; CÂNDIDO, L. F.; BARROS NETO, J. d. P. Sinergia Entre Construção Verde , Construção Enxuta E Bim Para Internacionalização Da Construção : Uma Sistemática Da Literatura. *ENTAC 2016: Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção*, p. 74–85, 2016.
- DAS, K. Integrating lean systems in the design of a sustainable supply chain model. *International Journal of Production Economics*, Elsevier Ltd, v. 198, n. June 2017, p. 177–190, 2018. ISSN 09255273. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.01.003>>.
- De Sordi, J. O.; NELSON, R. E.; GALINDO, P. R. Problema da falta de vagas em creches: Matriz de loops e a priorização de causas de problemas complexos. *Revista de Administracao Publica*, v. 48, n. 6, p. 1407–1429, 2014. ISSN 19823134.

- DELAVAR, M. et al. Automated BIM-based process for wind engineering design collaboration. *Building Simulation*, v. 13, n. 2, p. 457–474, 2020. ISSN 19968744.
- DENIS, F.; VANDERVAEREN, C.; TEMMERMAN, N. D. Using network analysis and BIM to quantify the impact of Design for Disassembly. *Buildings*, v. 8, n. 8, p. 1–22, 2018. ISSN 20755309.
- DONATO, V. Towards design process validation integrating graph theory into BIM. *Architectural Engineering and Design Management*, v. 13, n. 1, p. 22–38, 2017. ISSN 17527589.
- DONATO, V.; TURCO, M. L.; BOCCONCINO, M. M. BIM-QA/QC in the architectural design process. *Architectural Engineering and Design Management*, Taylor Francis, v. 14, n. 3, p. 239–254, 2018. ISSN 17527589. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/17452007.2017.1370995>>.
- DRESCH, A. Design Science e Design Science Research como artefatos metodológicos para Engenharia de Produção. p. 184, 2013. ISSN 1098-6596.
- DRESCH, A.; LACERDA, D.; ANTUNES, J. *Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia*. Porto Alegre: [s.n.], 2015. 181 p.
- EDWARDS, G.; LI, H.; WANG, B. BIM based collaborative and interactive design process using computer game engine for general end-users. *Visualization in Engineering*, v. 3, n. 1, 2015. ISSN 22137459.
- ELDEEP, A. M.; FARAG, M. A.; EL-HAFEZ, L. A. Using bim as a lean management tool in construction processes—a case study. *Ain Shams Engineering Journal*, Elsevier, v. 13, n. 2, p. 101556, 2022.
- ELIWA, H.; JELODAR, M. B.; POSHDAR, M. Information technology and new zealand construction industry: An empirical study towards strategic alignment of project and organization. In: *Proceedings of the 18th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR2018), Auckland, New Zealand*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 22–23.
- ERPEN, M. L. et al. Proposed model of analysis of the perception of the relative importance of critical success factors (csf) in the civil construction industry (cci) using artificial neural networks (anns): application in the academic universe. *Gestão & Produção*, SciELO Brasil, v. 28, 2021.
- EVANS, M. et al. Critical success factors for adopting building information modelling (bim) and lean construction practices on construction mega-projects: a delphi survey. *Journal of engineering, design and technology*, Emerald Publishing Limited, 2020.
- FADOUL, A.; TIZANI, W.; KOCHC, C. A BIM-based model for constructability assessment of conceptual design. *Advances in Computational Design*, v. 3, n. 4 Special Issue, p. 367–384, 2018. ISSN 24660523.
- FAKHIMI, A. et al. Influences of building information modeling (BIM) on oil, gas, and petrochemical firms. *Science and Technology for the Built Environment*, v. 23, n. 6, p. 1063–1077, 2017. ISSN 2374474X.

- FENTZLOFF, W. et al. Bim meets lean–logistics study of a long tunnel using bim and lean methods. *Geomechanics and Tunnelling*, Wiley Online Library, v. 14, n. 3, p. 286–297, 2021.
- FILHO, C. A. Acesso ao modelo integrado do edifício. *Pós-Graduação em Construção Civil-Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba*, 2009.
- FREIRE, J.; ALARCÓN, L. F. Achieving lean design process: Improvement methodology. *Journal of Construction Engineering and management*, American Society of Civil Engineers, v. 128, n. 3, p. 248–256, 2002.
- GALLEGO-FERNÁNDEZ, A.; DÍAZ, M. Á. N.; NÚÑEZ, Á. M. M. Bim from concept design to fabrication: A customized methodology for façade consultancies. *Journal of Facade Design and Engineering*, v. 6, n. 2, p. 053–063, 2018.
- GAMBATESE, J. A.; PESTANA, C.; LEE, H. W. Alignment between lean principles and practices and worker safety behavior. *Journal of construction engineering and management*, American Society of Civil Engineers, v. 143, n. 1, p. 04016083, 2017.
- GEORGIADOU, M. C. An overview of benefits and challenges of building information modelling (bim) adoption in uk residential projects. *Construction Innovation*, Emerald Publishing Limited, 2019.
- GOKUC, Y. T.; ARDITI, D. Adoption of bim in architectural design firms. *Architectural Science Review*, Taylor & Francis, v. 60, n. 6, p. 483–492, 2017.
- GUPTA, M.; JIN, L.; HOMMA, N. *Static and dynamic neural networks: from fundamentals to advanced theory*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2004.
- GUREVICH, U.; SACKS, R. Examination of the effects of a KanBIM production control system on subcontractors’ task selections in interior works. *Automation in Construction*, v. 37, p. 81–87, 2014. ISSN 09265805.
- HAMID, A. B. A.; EMBI, M. R. Key factors of bim implementation for interior design firms in Malaysia. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, v. 11, n. 1, p. 175–184, 2020. ISSN 26007959.
- HAMIDAVI, T. et al. OSD: A framework for the early stage parametric optimisation of the structural design in BIM-based platform. *Construction Innovation*, v. 20, n. 2, p. 149–169, 2020. ISSN 14770857.
- HAN, H.; QIAO, J. Nonlinear model-predictive control for industrial processes: An application to wastewater treatment process. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, IEEE, v. 61, n. 4, p. 1970–1982, 2013.
- HARRISON, H. et al. Case study research: Foundations and methodological orientations. In: *Forum qualitative Sozialforschung/Forum: qualitative social research*. [S.l.: s.n.], 2017. v. 18, n. 1, p. 1–17.
- HATTAB, A.; HAMZEH, F. Using social network theory and simulation to compare traditional versus BIM-lean practice for design error management. *Automation in Construction*, Elsevier B.V., v. 52, p. 59–69, 2015. ISSN 09265805. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.02.014>>.

- HAYKIN, S. *Redes neurais: princípios e prática*. [S.l.]: Bookman Editora, 2001.
- HERRERA, R. F. et al. Understanding interactions between design team members of construction projects using social network analysis. *Journal of Construction Engineering and Management*, American Society of Civil Engineers, v. 146, n. 6, p. 04020053, 2020.
- HERRERA, R. F. et al. Analyzing the association between lean design management practices and bim uses in the design of construction projects. *Journal of construction engineering and management*, American Society of Civil Engineers, v. 147, n. 4, p. 1–11, 2021.
- HEVNER, A. et al. Design Science in information systems research. *MIS Quartely*, v. 28, n. 1, p. 75–105, 2004.
- HICKS, C. et al. Applying lean principles to the design of healthcare facilities. *International Journal of Production Economics*, Elsevier, v. 170, p. 677–686, 2015. ISSN 09255273. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.05.029>>.
- HOPFIELD, J. J. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the national academy of sciences*, National Acad Sciences, v. 79, n. 8, p. 2554–2558, 1982.
- HOSSAIN, M. A. et al. Design-for-Safety knowledge library for BIM-integrated safety risk reviews. *Automation in Construction*, v. 94, n. July, p. 290–302, 2018. ISSN 09265805.
- HOWELL, G.; BALLARD, G. Lean production theory: moving beyond “can-do”. *Lean construction*, AA. Bakelma, Rotterdam, p. 17–23, 1997.
- JANG, S.; LEE, G. Impact of organizational factors on delays in bim-based coordination from a decision-making view: A case study. *Journal of Civil Engineering and Management*, v. 24, n. 1, p. 19–30, 2018.
- JELODAR, M. B.; YIU, T. W.; WILKINSON, S. Empirical modeling for conflict causes and contractual relationships in construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, American Society of Civil Engineers, v. 148, n. 5, p. 04022017, 2022.
- JING, S.; TANG, Y.; YAN, J. The application of fuzzy VIKOR for the design scheme selection in lean management. *Mathematical Problems in Engineering*, v. 2018, 2018. ISSN 15635147.
- KAZMANE, J. Proposal and analysis of a model for design and development of lean supply chain strategy. *International Journal of Engineering Research in Africa*, v. 37, p. 158–171, 2018. ISSN 16634144.
- KHAN, M. et al. Different approaches to black box testing technique for finding errors. *International Journal of Software Engineering & Applications (IJSEA)*, v. 2, n. 4, 2011.
- KIM, J. I. et al. Evaluation framework for bim-based vr applications in design phase. *Journal of Computational Design and Engineering*, Oxford University Press, v. 8, n. 3, p. 910–922, 2021.

- KO, C.-H.; CHUNG, N.-F. Lean design process. *Journal of Construction Engineering and Management*, American Society of Civil Engineers, v. 140, n. 6, p. 04014011, 2014.
- KOHONEN, T. Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological cybernetics*, Springer, v. 43, n. 1, p. 59–69, 1982.
- KOSEOGLU, O.; NURTAN-GUNES, E. T. Mobile bim implementation and lean interaction on construction site: A case study of a complex airport project. *Engineering, Construction and Architectural Management*, Emerald Publishing Limited, 2018.
- KOSKELA, L. An Exploration towards a Production Theory and its Application to Construction. *VTT Building Technology*, p. 298, 2000. ISSN 1235-0621.
- KOSKELA, L. et al. Epistemological explanation of lean construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, American Society of Civil Engineers, v. 145, n. 2, p. 04018131, 2019.
- KOSKELA, L. et al. Lean production in construction. *Lean construction*, AA Balkema Rotterdam, p. 1–9, 1997.
- KOTSIANTIS, S. B. Supervised machine learning: A review of classification techniques. In: *Proceedings of the 2007 Conference on Emerging Artificial Intelligence Applications in Computer Engineering: Real World AI Systems with Applications in EHealth, HCI, Information Retrieval and Pervasive Technologies*. NLD: IOS Press, 2007. p. 3–24. ISBN 9781586037802.
- KOVÁCS, Z. L. *Redes neurais artificiais*. [S.l.]: Editora Livraria da Física, 2002.
- KROSE, B.; SMAGT, P. v. d. *An introduction to neural networks*. [S.l.: s.n.], 2011.
- LAI, H.; DENG, X.; CHANG, T. Y. P. BIM-Based Platform for Collaborative Building Design and Project Management. *Journal of Computing in Civil Engineering*, v. 33, n. 3, p. 1–15, 2019. ISSN 08873801.
- LEE, S.; YU, J. Comparative Study of BIM Acceptance between Korea and the United States. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 142, n. 3, p. 05015016, 2016. ISSN 0733-9364. Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0001076>>.
- LI, S. et al. A study on the evaluation of implementation level of lean construction in two Chinese firms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier, v. 71, n. December, p. 846–851, 2017. ISSN 18790690. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.112>>.
- LIKITA, A. J. et al. Lean and bim implementation barriers in new zealand construction practice. *Buildings*, MDPI, v. 12, n. 10, p. 1645, 2022.
- LIPPMANN, R. An introduction to computing with neural nets. *IEEE Assp magazine*, IEEE, v. 4, n. 2, p. 4–22, 1987.

- LIU, J.; SHI, G. Quality Control of a Complex Lean Construction Project Based on KanBIM Technology. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, v. 13, n. 8, p. 5905–5919, 2017. ISSN 1305-8215. Disponível em: <<http://www.journalssystem.com/ejmste/,76615,0,2.html>>.
- LIU, W.-C.; CHUNG, C.-E. Enhancing the predicting accuracy of the water stage using a physical-based model and an artificial neural network-genetic algorithm in a river system. *Water*, MDPI, v. 6, n. 6, p. 1642–1661, 2014.
- LUNDY-EKMAN, L. *Neurociência: fundamentos para a reabilitação*. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2008.
- 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. 10, p. 1–12, 2015. ISSN 07339364. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000781](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000781)>.
- MAHMOOD, A.; ABRISHAMI, S. BIM for lean building surveying services. *Construction Innovation*, v. 20, n. 3, p. 447–470, 2020. ISSN 14770857.
- MANDUJANO, M. G. et al. Identifying waste in virtual design and construction practice from a Lean Thinking perspective: A meta-analysis of the literature. *Revista de la construcción*, v. 15, n. 3, p. 107–118, 2016. ISSN 0718-915X. Disponível em: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2016000300011&lng=en&nrm=iso&tlng=en>.
- MANGAROO-PILLAY, M.; COETZEE, R. Lean frameworks: A systematic literature review (slr) investigating methods and design elements. *Journal of Industrial Engineering and Management*, OmniaScience, v. 15, n. 2, p. 202–214, 2021.
- MARAQA, M. J.; SACKS, R.; SPATARI, S. Quantitative assessment of the impacts of bim and lean on process and operations flow in construction projects. *Engineering, construction and architectural management*, Emerald Publishing Limited, v. 28, n. 8, p. 2176–2198, 2021.
- MARCH, S.; STOREY, V. C. Design science in the information systems discipline: an introduction to the special issue on design science research. *MIS Quartely*, v. 32, n. 4, p. 725–730, 2008.
- MARKIEWICZ-ZAHORSKI, P. Teaching building construction design using BIM: The benefits and difficulties. *World Transactions on Engineering and Technology Education*, v. 17, n. 1, p. 54–59, 2019. ISSN 14462257.
- MARZOUK, M.; ELMARAGHY, A. Design for deconstruction using integrated lean principles and bim approach. *Sustainability*, MDPI, v. 13, n. 14, p. 7856, 2021.
- MAZLUM, S. K.; PEKERİÇLİ, M. K. Lean design management-an evaluation of waste items for architectural design process. *Department of Architecture, Middle East Technical University, AnKara, Turkey.*, p. 1–20, 2016.
- MCARTHUR, J. J.; BORTOLUZZI, B. Lean-Agile FM-BIM: a demonstrated approach. *Facilities*, v. 36, n. 13-14, p. 676–695, 2018. ISSN 02632772.

- MCCULLOCH, W. S.; PITTS, W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The bulletin of mathematical biophysics*, Springer, v. 5, n. 4, p. 115–133, 1943.
- MEHRBOD, S. et al. Characterizing interactions with BIM tools and artifacts in building design coordination meetings. *Automation in Construction*, Elsevier, v. 98, n. September 2018, p. 195–213, 2019. ISSN 09265805. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.10.025>>.
- MEHRBOD, S.; STAUB-FRENCH, S.; TORY, M. Bim-based building design coordination: Processes, bottlenecks, and considerations. *Canadian Journal of Civil Engineering*, v. 47, n. 1, p. 25–36, 2020. ISSN 12086029.
- MEI, T. et al. Rent-seeking behavior of BIM- and IPD-based construction project in China. *Engineering, Construction and Architectural Management*, v. 24, n. 3, p. 514–536, 2017. ISSN 0969-9988. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/ECAM-11-2015-0178>>.
- MICHAUD, M. et al. A lean approach to optimize BIM information flow using value stream mapping. *Journal of Information Technology in Construction*, v. 24, n. October 2018, p. 472–488, 2019. ISSN 18744753.
- MOLLASALEHI, S. et al. How BIM-Lean Integration Enhances the Information Management Process in the Construction Design. p. 531–538, 2017. Disponível em: <<http://iglc.net/Papers/Details/1393>>.
- MOURTZIS, D.; FOTIA, S.; VLACHOU, E. Lean rules extraction methodology for lean PSS design via key performance indicators monitoring. *Journal of Manufacturing Systems*, The Society of Manufacturing Engineers, v. 42, p. 233–243, 2017. ISSN 02786125. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jmsy.2016.12.014>>.
- MOURTZIS, D. et al. A Lean PSS design and evaluation framework supported by KPI monitoring and context sensitivity tools. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 94, n. 5-8, p. 1623–1637, 2018. ISSN 14333015.
- NA, J. et al. Adaptive neural network predictive control for nonlinear pure feedback systems with input delay. *Journal of Process Control*, Elsevier, v. 22, n. 1, p. 194–206, 2012.
- NASCIMENTO, D. et al. Digital Obeya Room : exploring the synergies between BIM and lean for visual construction management. *Innovative Infrastructure Solutions*, Springer International Publishing, p. 1–10, 2018. ISSN 2364-4184.
- NASCIMENTO, D. L. d. M. et al. Constructability in industrial plants construction: a BIM-Lean approach using the Digital Obeya Room framework. *Journal of Civil Engineering and Management*, v. 23, n. 8, p. 1100–1108, 2017. ISSN 18223605.
- NATH, T. et al. Productivity improvement of precast shop drawings generation through BIM-based process re-engineering. *Automation in Construction*, Elsevier B.V., v. 54, p. 54–68, 2015. ISSN 09265805. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.03.014>>.

NELSON, R.; MATHEWS, K. Cause Maps and Social Network Analysis in Organizational Diagnosis. *The Journal of Applied Behavioral Science*, p. 379–397, 1991.

NWAKI, W.; EZE, E.; AWODELE, I. Major barriers assessment of lean construction application in construction projects delivery. *CSID Journal of Infrastructure Development*, v. 4, n. 1, p. 63–82, 2021.

OLATUNJI, O. A. Modelling the costs of corporate implementation of building information modelling. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, Emerald Group Publishing Limited, 2011.

OLAWUMI, T.; CHAN, D.; WONG, J. Evolution in the intellectual structure of BIM research: a bibliometric analysis. *Journal of Civil Engineering and Management*, v. 23, n. 8, p. 1060–1081, 2017.

OLIVEIRA, D. *Aplicação do Sistema de Modelagem da Informação na Construção Civil*. 30 p. Tese (Doutorado) — Faculdade Pitágoras, 2014.

ONYANGO, A. F. Interaction between Lean Construction and BIM. p. 32, 2016.

OSBORN, A. *Applied imagination*. 3. ed. New York: [s.n.], 1993. 317 p.

PAIK, S. m.; LEVIKANGAS, P.; CHOI, J. Making most of bim in design: analysis of the importance of design coordination. *International Journal of Construction Management*, Taylor & Francis, v. 22, n. 12, p. 2225–2233, 2022.

PAIK, S. mok; LEVIKANGAS, P.; CHOI, J. Making most of BIM in design: analysis of the importance of design coordination. *International Journal of Construction Management*, Taylor & Francis, v. 0, n. 0, p. 1–9, 2020. ISSN 15623599. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1774837>>.

PASQUIRE, C.; SALVATIERRA-GARRIDO, J. Introducing the concept of first and last value to aid lean design: Learning from social housing projects in Chile. *Architectural Engineering and Design Management*, Taylor & Francis, v. 7, n. 2, p. 128–138, 2011.

PEDO, B. et al. Lean contributions to bim processes: The case of clash management in highways design. The International Group for Lean Construction, 2021.

PEZZOTTA, G. et al. The Product Service System Lean Design Methodology (PSSLDM): Integrating product and service components along the whole PSS lifecycle. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 29, n. 8, p. 1270–1295, 2018. ISSN 1741038X.

RABUNAL, J. R.; DORADO, J. *Artificial neural networks in real-life applications*. [S.l.]: IGI Global, 2006.

RASHIDIAN, S.; DROGEMULLER, R.; OMRANI, S. The compatibility of existing bim maturity models with lean construction and integrated project delivery. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, v. 27, n. 24, p. 496–511, 2022.

REIFI, M. E.; EMMITT, S. Perceptions of lean design management. *Architectural Engineering and Design Management*, Taylor & Francis, v. 9, n. 3, p. 195–208, 2013.

ROSSINI, F. L.; NOVEMBRI, G.; FIORAVANTI, A. BIM and Agent-Based Model Integration for Construction Management Optimization. *25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, II, n. July, p. 111–118, 2017. ISSN 2309-0979. Disponível em: <<http://iglc.net/Papers/Details/1391/pdf%0Ahttp://iglc.net/Papers/Details/1391>>.

ROSSO, C. B.; SAURIN, T. A. The joint use of resilience engineering and lean production for work system design: A study in healthcare. *Applied Ergonomics*, Elsevier, v. 71, n. June 2017, p. 45–56, 2018. ISSN 18729126. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.04.004>>.

SACKS, R. et al. *Manual de BIM-: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção Para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores*. [S.l.]: Bookman Editora, 2021.

SACKS, R.; RADOSAVLJEVIC, M.; BARAK, R. Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction. *Automation in Construction*, Elsevier B.V., v. 19, n. 5, p. 641–655, 2010. ISSN 09265805. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2010.02.010>>.

SALGIN, B.; ARROYO, P.; BALLARD, G. Exploring the relationship between lean design methods and C D waste reduction: Three case studies of hospital projects in California. *Revista Ingenieria de Construccion*, v. 31, n. 3, p. 191–200, 2016. ISSN 0718-5073.

SANCHES, C. et al. Causa Raiz: Estudo Comparado dos Métodos Matriz Causal e Determinante Causal. *Encontro da ANPAD - EnANPAD*, 38, p. 1–16, 2014.

SANTOS, A.; FORMOSO, C. T.; TOOKEY, J. Expanding the meaning of standardisation within construction processes. *The TQM Magazine*, MCB UP Ltd, 2002.

SARHAN, J. G. et al. Framework for the implementation of lean construction strategies using the interpretive structural modelling (ism) technique: A case of the saudi construction industry. *Engineering, Construction and Architectural Management*, Emerald Publishing Limited, 2019.

SINHA, M. K.; MONTORI, V. M. Reporting bias and other biases affecting systematic reviews and meta-analyses: a methodological commentary. *Expert Review of Pharmacoeconomics and Outcomes Research*, v. 6, p. 603–611, 2006.

SOETARA, A. et al. The design on conceptual model for continuation of Lean Manufacturing (LM) implementation in Indonesia wood processing factory using soft system methodology. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, v. 8, n. 4, p. 1302–1306, 2018. ISSN 24606952.

SREERAM, T. R.; THONDIYATH, A. Combining Lean and Six Sigma in the context of Systems Engineering design. *International Journal of Lean Six Sigma*, v. 6, n. 4, p. 290–312, 2015. ISSN 20404174.

TAURIAINEN, M. et al. The effects of bim and lean construction on design management practices. *Procedia engineering*, Elsevier, v. 164, p. 567–574, 2016.

TENNAKOON, T.; KULATUNGA, U.; JAYASENA, H. S. Influence of organisational culture on knowledge management in bim-enabled construction environments. *VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems*, Emerald Publishing Limited, 2021.

TEO, A. L. E. et al. Design for safety: Theoretical framework of the safety aspect of BIM system to determine the safety index. *Construction Economics and Building*, v. 16, n. 4, p. 1–18, 2016. ISSN 22049029.

TEZEL, A.; KOSKELA, L.; AZIZ, Z. Lean Construction in Small-Medium Sized Enterprises (Smes): An Exploration of the Highways Supply Chain. n. July, p. 845–851, 2017. ISSN 2309-0979. Disponível em: <<http://iglc.net/Papers/Details/1481>>.

TEZEL, A. et al. Lean construction and BIM in small and medium-sized enterprises (SMEs) in construction: A systematic literature review. *Canadian Journal of Civil Engineering*, v. 47, n. 2, p. 186–201, 2020. ISSN 12086029.

THOMAS, J.; HARDEN, A.; NEWMAN, M. *Synthesis: combining results systematically and appropriately*. London: [s.n.], 2012. 179–226 p.

TOLEDO, M.; OLIVARES, K.; GONZÁLEZ, V. Exploration of a Lean-Bim Planning Framework: A Last Planner System and Bim-Based Case Study. *24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, p. 3–12, 2016. ISSN 2309-0979. Disponível em: <<http://iglc.net/Papers/Details/1291>>.

TREMBLAY, M. C.; HEVNER, A. R.; BERNDT, D. J. Focus groups for artifact refinement and evaluation in design research. *Communications of the association for information systems*, v. 26, n. 1, p. 27, 2010.

UUSITALO, P. et al. Applying level of detail in a BIM-based project: An overall process for lean design management. *Buildings*, v. 9, n. 5, p. 1–13, 2019. ISSN 20755309.

VESTERMO, A. et al. BIM-stations: What it is and how it can be used to implement lean principles. *IGLC 2016 - 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, n. 33, p. 33–42, 2016. ISSN 2309-0979. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84995878878&partnerID=40&md5=e4f0a5460297a72d57e3ccaecd83d096>>.

VILLALBA-DIEZ, J. et al. Lean dendrochronology: Complexity reduction by representation of KPI dynamics looking at strategic organizational design. *Management and Production Engineering Review*, v. 9, n. 4, p. 3–9, 2018. ISSN 20821344.

VILLALBA-DIEZ, J.; ORDIERES-MERÉ, J. B. Strategic Lean Organizational Design: Towards Lean World-Small World Configurations through Discrete Dynamic Organizational Motifs. *Mathematical Problems in Engineering*, v. 2016, 2016. ISSN 15635147.

WANG, J. et al. Critical factors affecting team work efficiency in bim-based collaborative design: An empirical study in china. *Buildings*, MDPI, v. 11, n. 10, p. 486, 2021.

- WANG, T. K. et al. Lean principles and simulation optimization for emergency department layout design. *Industrial Management and Data Systems*, v. 115, n. 4, p. 678–699, 2015. ISSN 02635577.
- WASSERMAN, S.; FAUST, K. *Social Network Analysis Methods and Applications*. [S.l.]: University of Cambridge, 1994. 819 p.
- WEN, Y. Research on cost control of construction project based on the theory of lean construction and bim: case study. *The Open Construction & Building Technology Journal*, v. 8, n. 1, 2014.
- WU, N.; SHIH, S. G. A BIM Inspired Supporting Platform for Architectural Design. *Computer-Aided Design and Applications*, v. 12, n. 3, p. 327–337, 2015. ISSN 16864360.
- YAMAZAKI, Y. et al. Design method of material handling systems for lean automation—Integrating equipment for reducing wasted waiting time. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, CIRP, v. 66, n. 1, p. 449–452, 2017. ISSN 17260604. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.011>>.
- YANG, T. et al. Lean production system design for fishing net manufacturing using lean principles and simulation optimization. *Journal of Manufacturing Systems*, The Society of Manufacturing Engineers, v. 34, n. 1, p. 66–73, 2015. ISSN 02786125. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jmsy.2014.11.010>>.
- YIN, S. Y.-L. et al. An improved approach to the subcontracting procurement process in a lean construction setting. *Journal of Civil Engineering and Management*, v. 20, n. 3, p. 389–403, 2014. ISSN 1392-3730. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3846/13923730.2013.801900>>.
- YONGGE, X.; CHENG, Q. Lean Cost Analysis Based on BIM Modeling for Construction Project. *Applied Mechanics and Materials*, v. 457-458, p. 1444–1447, 2013. ISSN 1662-7482. Disponível em: <<http://www.scientific.net/AMM.457-458.1444>>.
- ZAKER, R.; COLOMA, E. Virtual reality-integrated workflow in BIM-enabled projects collaboration and design review: a case study. *Visualization in Engineering*, Visualization in Engineering, v. 6, n. 1, 2018. ISSN 22137459.
- ZENOOZ, A. M. et al. Comparison of different artificial neural network architectures in modeling of chlorella sp. flocculation. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, Taylor & Francis, v. 47, n. 6, p. 570–577, 2017.
- ZHAN, Z. et al. System dynamics outlook on bim and lean interaction in construction quantity surveying. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, Springer, p. 1–16, 2022.
- ZIELIŃSKI, R.; WÓJTOWICZ, M. BIM maturity levels in teaching the design process. *World Transactions on Engineering and Technology Education*, v. 17, n. 2, p. 170–175, 2019. ISSN 14462257.
- ZUBEN, I.-P. F. J. V.; ATTUX, R. R. Redes neurais com funções de ativação de base radial. *DCA/FEEC/Unicamp*, 2001.

Apêndices

APÊNDICE A – Interação do *BIM* e *Lean* e *Design*

APÊNDICE B – Parâmetros causais que
influenciam a projeção em BIM mapeados
na literatura

Causas	Nº	Descrição	Classificação
Coordenação	1	Falta de atualizações simultâneas do BIM	Falsos sinônimos
	2	Falta de comunicação entre as partes interessadas	
	3	Falta de terminologia e inconsistência entre questões de design	
	4	Documentação insuficiente e design ineficiente	Falsos sinônimos
	5	Transições ineficientes entre artefatos	
	6	Falta de disponibilidade e acessibilidade de artefatos de design	Falsos sinônimos
	7	Discrepância de informação: inconsistência de informações de design em diferentes artefatos	
	8	Ferramentas de navegação inadequadas para reuniões rápidas de coordenação BIM	
	9	Falta fluxo de trabalho otimizado	
	10	Conflitos entre as partes interessadas	
	11	Incompatibilidade de projetos	
Profissionais	12	Tomada de decisões errôneas	Falsos sinônimos
	13	Falta de treinamento	
	14	Necessidade de uma mudança cultural	
	15	Formação de novos profissionais	
	16	Necessidade de qualificação	
17	Falta de especialistas		
Comunicação	18	Mudanças nos projetos	
Clientes	19	Tomada de decisões errôneas	
Entendimento	20	Falta compreensão dos projetos entre as partes interessadas	Falsos antônimos
Prazo	21	Redução drástica dos prazos de projeto	
Integração	22	Inexistência de uma estratégia sistemática de exploração dos projetos	Falsos sinônimos
	23	Incoerência no fluxo de informações	
	24	Carência de implementação de um protocolo abrangente do BIM	
	25	Falta de representatividade do projeto e sua compreensão	
	26	Falta de otimização dos modelos	
	27	Falta de consenso entre as partes interessadas	
Compromisso	28	Falta de compromisso entre a alta e média gerência	
Padronização	29	Estandartização das informações	
	30	Falta de colaboração interdisciplinar	
Hardware e Software	31	Falta tecnologias capazes de materializar o problema	Falsos sinônimos
	32	Falta integração entre ferramentas de engenharia estrutural	
	33	Falta plataformas de software	
	34	Ferramentas de projeto muito heterogêneas	
	35	Necessidade de conhecimento das ferramentas	
	36	Altos custos para aquisição	
	37	Comunicação entre os sistemas	
	38	Variedade de softwares	
LOD	39	Diferentes níveis de LOD	Falsos sinônimos
	40	Segmento dos projetos (hospitalar/residencial/comercial/industrial)	
	41	Tamanho do escritório	
	42	Softwares adequados	
	43	Disponibilidade de documentação de outras disciplinas	
	44	Compartilhamento de arquivos	

APÊNDICE C – Parâmetros causais reduzidos

Nº	Parâmetros causais reduzidos
1	Falta de atualizações simultâneas do BIM
2	Falta de comunicação entre as partes interessadas
3	Falta de terminologia e inconsistência entre questões de design
4	Documentação insuficiente e design ineficiente
5	Conflitos entre as partes interessadas
6	Incompatibilidade de projetos
7	Falta colaboração interdisciplinar
8	Tomada de decisões errôneas pelos profissionais
9	Falta treinamento dos profissionais
10	Necessidade de uma mudança cultural
11	Necessidade da formação de novos profissionais
12	Falta especialistas
13	Mudanças nos projetos
14	Tomada de decisões errôneas pelos clientes
15	Falta compreensão dos projetos entre as partes interessadas
16	Redução drástica dos prazos de projeto
17	Carência de implementação de um protocolo abrangente do BIM
18	Falta de otimização dos modelos
19	Falta de compromisso entre a alta e média gerência
20	Falta estandarização das informações
21	Falta tecnologias de software adequadas
22	Variedade de softwares
23	Necessidade de conhecimento das ferramentas (softwares)
24	Falta comunicação entre os sistemas
25	Altos custos para aquisição de softwares
26	Diferentes níveis de LOD
27	Segmento dos projetos (hospitalar/residencial/comercial/industrial)
28	Tamanho do escritório
29	Indisponibilidade de documentação de outras disciplinas

APÊNDICE D – Parâmetros causais que
influenciam a projeção em *BIM* mapeados
na literatura

Citações	Classes	Causas	Autores
3	Coordenação	<p>Falta de atualizações simultâneas do <i>BIM</i>; Falta de comunicação; Falta de terminologia e inconsistência entre as questões de <i>design</i>; Documentação insuficiente e <i>design</i> ineficiente; Transições ineficientes entre artefatos; Falta de disponibilidade e acessibilidade de artefatos de <i>design</i>; Discrepância de informação: inconsistência de informações de <i>design</i> em diferentes artefatos; Ferramentas de navegação inadequadas para reuniões rápidas de coordenação <i>BIM</i>; Desconexão do local do escritório: participantes da sala de reuniões interpretam questões de <i>design</i> de forma diferente dos projetistas; Fluxo de trabalho otimizado; Conflitos entre as partes interessadas; Incompatibilidade de projetos</p>	<p>Mehrbod et al. (2019); Mehrbod, Staub-French e Tory (2020); Paik, Levia-kangas e Choi (2018)</p>

Citações	Classes	Causas	Autores
8	Profissionais	Tomada de decisões errôneas; Falta treinamento; Necessidade de uma mudança cultural; Formação de novos profissionais; Qualificação; Falta especialistas	Fadoul, Tizani e Koche (2018); Çavusoglu e Çagdas (2018); Hamid e Embi (2020); Tezel (2020); Abdirad e Dossick (2016); Wang, Chong e Goulding (2016); Markiewicz-Zahorki (2019); Tulubas Gokuc e Arditi (2017)
8	Comunicação	Mudanças nos projetos	Mehrbod et al. (2019); Chang e Shih (2014); Abrishami, Gouding e Rahimian (2020); Zaker e Coloma (2018); Chelyshkov e Lysenko (2017); Çavusoglu e Çagdas (2018); Arokiaprakash, Kannan e Prabhu (2017); Michaud et al. (2019)
1	Clientes	Tomada de decisões errôneas	Fadoul, Tizani e Koche (2018)
1	Entendimento	Compreensão dos projetos entre as partes interessadas	Uusitalo et al. (2019)
1	Prazo	Redução Drástica dos prazos de projeto	Donato (2017)

Citações	Classes	Causas	Autores
10	Integração	Inexistência de uma estratégia sistemática de exploração dos projetos; Fluxo de informações; Carência de implementação de um protocolo abrangente do <i>BIM</i> ; Representação do projeto e sua compreensão; Otimização dos modelos; Consenso entre as partes interessadas	Nascimento et al. (2019); Mehrbod et al. (2019); Abrishami, Gouding e Rahimian (2020); Hamidavi et al. (2020); Chelyshkov e Lysenko (2017); Çavusoglu e Çagdas (2018); Donato, Lo Turco e Bocconcino (2018); Donato, Lo Turco e Bocconcino (2018); , Arokiaprakash, Kannan e Prabhu (2017); Michaud et al. (2019)
3	Compromisso	Falta compromisso da alta e média gerência	Arokiaprakash, Kannan e Prabhu (2017); Michaud et al. (2019); Soetara et al. (2018)
2	Padronização	Estandarização das informações; Colaboração interdisciplinar	Nascimento et al. (2019); Andersen e Findsen (2019)
7	Hardware e software	Falta tecnologias capazes de materializar o problema; Integração entre ferramentas de engenharia estrutural; Plataformas de software; Ferramentas de projeto heterogêneas; Necessidade de conhecimento das ferramentas; Altos custos para aquisição; Comunicação entre os sistemas; Variedade de softwares	Nascimento et al. (2019); Delavar et al. (2020); Lai, Deng e Chang (2019); Çavusoglu e Çagdas (2018); Lee, Yu e Jeong (2015); Donato, Lo Turco e Bocconcino (2018); Michaud et al. (2019)

Citações	Classes	Causas	Autores
4	<i>LOD</i>	Diferentes Níveis de <i>LOD</i> ; Segmento dos projetos; Tamanho do escritório; Softwares adequados; Disponibilidade de documentação de outras disciplinas; Compartilhamento de arquivos	Nascimento et al. (2019); Delavar et al. (2020); Mehrbod et al (2019); Abou-Ibrahim e Hamzeh (2016); Zielinski e Wojtcwicz (2019); Chang e Shih (2014)

Fonte: Próprio autor