

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Faculdade de Arquitetura
Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio
Sustentável

Daniel Pinheiro Santos

REDES DE RELACIONAMENTOS BASEADOS NO BIM: contribuições da
Análise de Redes Sociais

Belo Horizonte
2021

Daniel Pinheiro Santos

**REDES DE RELACIONAMENTOS BASEADOS NO BIM: contribuições da
Análise de Redes Sociais**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, do Programa de pós-graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais.

Orientador: Profa. Dra. Maria Luiza Almeida Cunha de Castro

Belo Horizonte
2021

FICHA CATALOGRÁFICA

S237r

Santos, Daniel Pinheiro.

Redes de relacionamento baseados no BIM [manuscrito] : contribuições da análise de redes sociais / Daniel Pinheiro Santos. - 2021.

191 f. : il.

Orientadora: Maria Luiza Almeida Cunha de Castro.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Construção civil – Teses. 2. Construção – Desempenho - Teses. 3. Ciências sociais – Análise de redes – Teses. 4. Modelagem de informação da construção - Teses. 5. Análise de redes - Teses. 6. Redes sociais – Pesquisa – Teses. I. Castro, Maria Luiza Almeida Cunha de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 620.028



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AMBIENTE CONSTRUÍDO E PATRIMÔNIO SUSTENTÁVEL

FOLHA DE APROVAÇÃO

"Redes de relacionamento baseados no BIM: contribuições da Análise de Redes Sociais"

DANIEL PINHEIRO SANTOS

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia **quinze de dezembro de dois mil e vinte e um**, pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

Profa. Dra. Regina Coeli Ruschel

Universidade Estadual de Campinas

Profa. Dra. Cynara Fyedler Bremer

Escola de Arquitetura/UFMG

Profa. Dra. Maria Luiza Almeida Cunha de Castro - Orientadora

PPG-ACPS/UFMG

Belo Horizonte, 15 de dezembro de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **Cynara Fiedler Bremer, Professora do Magistério Superior**, em 16/12/2021, às 09:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maria Luiza Almeida Cunha de Castro, Professora do Magistério Superior**, em 16/12/2021, às 15:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Regina Coeli Ruschel, Usuária Externa**, em 22/06/2022, às 09:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site



https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?aca=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1149698** e o código CRC **05EAD231**.

Dedico esse trabalho aos meus pais e aos meus avós, minha inspiração.

AGRADECIMENTOS

A trajetória para se obter o título de mestre é regada por diversos desafios, frustrações, inseguranças, mas, principalmente por alegrias compartilhadas com as pessoas iluminadas que cruzam os nossos caminhos.

Na minha trajetória, agradeço especialmente à minha orientadora, a Prof^a. Dr^a. Maria Luiza por ter me apresentado o amplo, complexo e riquíssimo tema que é a Análise de Redes Sociais, e por todo apoio e suporte dedicados durante toda a minha vivência na Escola de Arquitetura da UFMG.

Agradeço ao Prof. Dr. Marco Antônio, por ter me aberto às portas para a possibilidade de ingressar no programa de mestrado, encorajando-me e apoiando-me nas primeiras disciplinas cursadas e nas primeiras publicações realizadas quando ainda não era discente do programa.

Agradeço a todo o corpo docente e aos meus colegas do PACPS-UFMG, que contribuíram direta e indiretamente com diferentes leituras e experiências sobre a Arte, a Arquitetura e suas Tecnologias, agregando um desejo cada vez maior por conhecimento ao meu trilhar.

Agradeço especialmente à Maria Clara e ao Lucas, e aos seus companheiros Altivo e Lucas, pelos ótimos momentos vividos durante a minha estadia em Belo Horizonte-MG, pelo apoio concedido à realização da minha pesquisa e por toda amizade construída ao longo dos anos.

Agradeço também à Carla Macedo, ao Lucas Paiva, ao João Paiva, à Trena Ensino, à GreenGold Engenharia, à Head5 Engenharia, à InstaCasa e aos membros da CBIM-MG pelo apoio, pelas oportunidades e ensinamentos compartilhados.

Por fim, gostaria de dedicar agradecimento maior aos meus pais pelo grande incentivo e suporte dedicados, à toda a minha família e aos meus amigos, que mesmo distantes, me apoiaram durante toda a realização desse projeto.

RESUMO

Diversas pesquisas científicas relacionadas ao *Building Information Modeling* (BIM) destacam como as mudanças no fluxo de informação, na comunicação e na colaboração entre os diversos agentes da indústria da construção estão entre as principais vantagens da sua adoção, sendo, portanto, aspectos fundamentais para permitir a otimização dos benefícios que traz para as articulações durante o ciclo de vida de um ativo na indústria da construção. Entretanto, pouco se sabe sobre as características sociotécnicas das relações entre estes agentes, a influência que exercem na difusão de processos digitais no setor e sobre métodos adequados para mensurar estes aspectos. Considerando que esses agentes se organizam sob a forma de redes, a estratégia de Análise de Redes Sociais (ARS) tem o potencial de trazer subsídios para o estudo destas redes, a partir da elucidação de características ligadas à topologia da rede, às propriedades intrínsecas aos indivíduos que as compõem e às relações que estes indivíduos exercem entre si. Buscando explorar e ampliar o conhecimento sobre a aplicação de diferentes métodos apoiados na ARS no âmbito das redes de relacionamentos baseados no BIM, essa pesquisa reuniu, através de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), a produção científica internacional sobre o tema no período entre 2011 e 2021. A análise dos dados incluiu duas etapas, cada uma delas organizada em torno de um método específico: análise bibliométrica e análise de conteúdo. Os resultados obtidos na análise bibliométrica evidenciaram um recente e crescente interesse da comunidade científica sobre o tema, com a grande maioria das pesquisas tendo sido publicadas apenas nos últimos cinco anos, concentradas, principalmente, nos países asiáticos e norte-americanos. Em termos da análise de conteúdo, os resultados evidenciaram que as redes baseadas no BIM possuem características particulares que as distinguem das redes tradicionais, apresentando comportamento estrutural similar às redes de mundo pequeno, com alto índice de interconexão e alcance entre os indivíduos que as compõem. Além disso, identificou-se que os profissionais que atuam com o BIM tendem a exercer papéis de destaque dentro da rede, mas não competem ou substituem papéis tradicionais pré-existentes, uma vez que passam a se organizar em associação com estes, descentralizando o fluxo de informação, fomentando uma distribuição mais equilibrada das relações e, como consequência, aumentando a colaboração.

Palavras-chave: redes organizacionais; digitalização na construção; relações sociais.

ABSTRACT

Several scientific researches related to Building Information Modeling (BIM) highlight how changes in information flow, communication and collaboration between different agents in the construction industry are among the main advantages of its adoption, being, therefore, fundamental aspects to allow the optimization of the benefits it brings to interconnections during the asset lifecycle in the construction industry. Nonetheless, little is known about the sociotechnical characteristics of the relationships between these agents, the influence they exert on the diffusion of digital processes in the sector, and on the appropriate methods to measure these aspects. Considering that these agents are organized in the form of networks, the Social Network Analysis (SNA) strategy has the potential of providing subsidies for the study of these networks, departing from the elucidation of characteristics related to the network topology, the intrinsic properties of the individuals that compose them and the relationships that these individuals have with each other. Seeking to explore and expand knowledge about the application of different methods supported by SNA within the scope of social networks based on BIM, this research applied a Systematic Literature Review to analyze the international scientific production on the subject in the period between 2011 and 2021. Data analysis included two stages, each organized around a specific method: bibliometric analysis and content analysis. The results obtained in the bibliometric analysis showed a recent and growing interest of the scientific community on the subject, with the vast majority of research having been published only in the last five years, concentrated mainly in Asian and North American countries. In terms of content analysis, the results showed that BIM-based networks have particular characteristics that distinguish them from traditional networks presenting structural behavior similar to small-world networks, with a high level of interconnection and reach between the individuals that compose them. In addition, it was identified that professionals who work with BIM tend to play prominent roles within the network, but do not compete or replace pre-existing traditional roles, as they tend to organize themselves in association with them, decentralizing the information flow, fostering a more balanced distribution of relationships, resulting in an increased level of collaboration.

Keywords: organizational networks; digitization in construction; social relationships.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Os 4 conceitos básicos de interação humana.....	20
Figura 2 – Critérios PICO para conceber as questões da RSL	26
Figura 3 – Protocolo global da RSL.....	30
Figura 4 – Marcos para a disseminação e adoção do BIM no Brasil.....	49
Figura 5 – Usos do BIM.....	54
Figura 6. Taxonomia dos usos dos modelos BIM.....	55
Figura 7 – Estrutura hierárquica de conjuntos para obtenção das informações específicas de um modelo com base nos usos particulares (em vermelho) a partir de um MVD (em verde), que é uma porção do esquema IFC completo (em azul).....	59
Figura 8 – Rotina de programação visual no <i>Autodesk Dynamo</i> , formada por nós e linhas conectados entre si para gerenciar informações no modelo.....	62
Figura 9 – Grafo orientado gerado a partir do modelo IFC, com destaque para a relação entre os <i>PropertySets</i> atribuídos a um determinado objeto.....	64
Figura 10 – Interação entre arquitetos, engenheiros, consultores e contratantes envolvidos num projeto realizado em BIM.....	65
Figura 11 - Arranjo esquemático do Problema das Sete Pontes de Königsberg (à esquerda) e o modelo proposto pelo matemático Euler para provar a solução apresentada (à direita).	71
Figura 12 - As quatro dimensões e questionamentos fundamentais da ARS	75
Figura 13 – Tipos de grafos.....	77
Figura 14 - Grafo não-direcionado, direcionado, ponderado e ponderados direcionado	78
Figura 15 – Tipos especiais de subgrafos.....	79
Figura 16 – Exemplo de um grafo simples e suas correspondentes matrizes de adjacência e de incidência	80
Figura 17 - Modelos de redes regulares ($p = 0$), de Watts-Strogatz ($0 < p < 1$) e aleatórias ($p = 1$), respectivamente.	98
Figura 18 - Grafo conforme o modelo Livre de Escala com sua respectiva distribuição cumulativa de graus	100
Figura 19 - Registro da RSL.....	105
Figura 20 - Publicações sobre ARS aplicada ao BIM na última década.....	107
Figura 21 – Número de publicações por país do autor correspondente	107

Figura 22 - Nuvem de palavras a partir das palavras-chave utilizadas pelos autores	110
Figura 23 – Rede de coocorrências de palavras-chave	112
Figura 24 – Grafo da rede de cocitação entre os autores dos artigos selecionados	116
Figura 25 – Rede de colaboração entre autores	119
Figura 26 - Rede de colaboração científica entre países	121
Figura 27 – Rede de colaboração científica entre as IES	123
Figura 28 – Categorias de classificação identificadas nas pesquisas utilizando ARS em redes de relacionamentos baseados no BIM e suas respectivas porcentagens de ocorrência com base no número total de trabalhos analisados.....	126
Figura 29 – Tipos de dados coletados nas pesquisas utilizando ARS em redes de relacionamentos baseados no BIM e o respectivo número de artigos com ocorrência de uso	129
Figura 30 – Métricas mais utilizadas nas pesquisas com ARS em redes de relacionamentos baseados no BIM	132
Figura 31 - Métricas mais utilizadas nas pesquisas com ARS em redes de relacionamentos baseados no BIM divididas por categoria de abordagem conforme a classificação dos artigos e a quantidade de ocorrências de uso.....	134
Figura 32 – Número de métricas distintas e artigos por categoria	135
Figura 33 – <i>Softwares</i> utilizados para apoiar as análises matemático-estatísticas nas pesquisas utilizando ARS em redes de relacionamentos baseados no BIM.....	137
Figura 34 – Modelo conceitual para pesquisas em utilizando ARS em redes de relacionamentos baseados no BIM	153

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre sistemas de pesquisas acadêmicas para utilização na RSL	28
Tabela 2 - Critérios para seleção de artigos.....	29
Tabela 3 – Definições de BIM	39
Tabela 4 - Normas internacionais BIM - ISO 19650	43
Tabela 5 - Normas BIM nacionais para classificação da informação da construção.	50
Tabela 6 - Dados gerais sobre as publicações reunidas na RSL.....	106
Tabela 7 - Número de trabalhos publicados em diferentes fontes entre 2015 e 2021.	108
Tabela 8 – Número de ocorrências das 50 palavras-chave mais citadas, por ano.	113
Tabela 9 – Documentos com maior ocorrência por <i>cluster</i> na análise de cocitação	117
Tabela 10 - Medidas de centralidade da rede de colaboração científica entre autores, ordenadas de forma decrescente, para os 10 autores com maiores valores de Centralidade de intermediação (esquerda) e Centralidade de proximidade (direita).	120
Tabela 11 - Medidas de centralidade da rede de colaboração científica entre países	121
Tabela 12 - Medidas de centralidade da rede de colaboração científica entre IES, ordenadas de forma decrescente, para as 10 IES com maiores valores de Centralidade de intermediação (esquerda) e Centralidade de proximidade (direita).	123
Tabela 13 – Categorias de classificação dos artigos selecionados.....	125
Tabela 14 – Tipos de dados e métodos de coleta utilizados pelos autores nas pesquisas em redes de relacionamentos baseados no BIM utilizando ARS.....	128
Tabela 15 – <i>Software</i> para realização das análises matemático-estatísticas na ARS utilizados nas pesquisas em redes de relacionamentos baseados no BIM.....	137
Tabela 16 – Objetivo de análise, objeto e autores das pesquisas reunidas na Categoria 1 – Redes de relacionamento para análise comparativa.....	139
Tabela 17 – Objetivo de análise, objeto e autores das pesquisas reunidas na Categoria 2 – Redes de relacionamento entre fatores	146

Tabela 18 – Objetivo de análise, <i>software</i> utilizado e autores das pesquisas reunidas na Categoria 3 – Métodos conceituais em análise de redes	148
Tabela 19 – Objetivo e objeto de análise, método adotado, ferramenta utilizada e autores das pesquisas reunidas na Categoria 4 – Redes de relacionamentos baseados na colaboração	154

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

AECO Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação

AIA *American Institute of Architects*

ANTAC Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído

ARS Análise de Redes Sociais

BEM *Building Energy Model*

BIM *Building Information Modeling*

CAPES Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CDE *Common Data Environment*

CEE Comissão de Estudos Especiais

DfD *Design for Disassembly*

DNA *Disassembly Network Analysis*

EABIM Encontro Acadêmico de BIM de Minas Gerais

ENEBIM Encontro Nacional sobre o Ensino de BIM

EUA Estados Unidos da América

GSA *General Services Administration*

GT *Graph Transformation*

IDE *Integrated Development Environment*

IDM *Information Delivery Manual*

IFC *Industry Foundation Classes*

ISO *International Standard Organization*

MVD *Model View Definition*

NATSPEC *National Specification*

NBIMS-US™ *National BIM Standard-United States®*

NIBS *National Institute of Building Sciences*

PRISMA *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*

ROI *Return of Investment*

RSL *Revisão Sistemática da Literatura*

SCM *Supply Chain Management*

SEBRAE *Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas*

UK *United Kingdom*

USA *United States of America*

AWP *Advanced Work Packaging*

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
1.1 Objetivos	23
1.1.1 Objetivo Geral.....	23
1.1.2 Objetivos específicos.....	23
1.2 Metodologia	24
1.2.1 Revisão Sistemática da Literatura (RSL).....	25
1.2.1.1 Seleção das bases de dados	27
1.2.1.2 Protocolo da RSL	29
1.2.1.3 Análise bibliométrica.....	30
1.2.1.4 Análises de conteúdo	32
1.3 Estrutura da dissertação	33
2. BIM NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO: processos, padrões, políticas e usos	35
2.1 Inovação e digitalização num contexto baseado em dados	36
2.2 BIM e as múltiplas acepções do conceito	39
2.3 O arcabouço de estruturação dos processos BIM: promovendo a adoção nas diversas escalas	42
2.3.1 BIM na escala mundial: ações governamentais e aspectos normativos... 42	
2.3.2 Iniciativas e estratégias para adoção do BIM no Brasil	46
2.3.3 Esforços e incentivos para adoção do BIM em Minas Gerais	51
2.4 Propostas de classificação dos usos do BIM	53
2.5 BIM e interoperabilidade: a importância de padrões para comunicar pessoas, processos e dados	55
2.6 Redes de relacionamentos baseados no BIM	60
2.7 BIM como um sistema social	65
3. ANÁLISE DE REDES SOCIAIS: ESTUDO DAS RELAÇÕES A PARTIR DE MÉTODOS MATEMÁTICO-ESTATÍSTICOS	69

3.1	Considerações iniciais.....	69
3.2	Uma breve história da Análise de Redes Sociais.....	70
3.3	Base conceitual da Análise de Redes	73
3.4	Métricas estruturais	83
3.5	Modelos de redes sociais	95
3.5.1	Modelo de Erdos-Rényi.....	95
3.5.2	Modelo de Watts e Strogatz	97
3.5.3	Modelo de Barabási-Albert.....	98
3.5.4	Redes de mundo real	100
3.6	O poder analítico ARS para compreender as relações sociais em redes de relacionamentos baseados no BIM	101
4.	REDES DE RELACIONAMENTOS BASEADOS NO BIM: CONTRIBUIÇÕES DA ANÁLISE DE REDES SOCIAIS	103
4.1	Relato da RSL	104
4.2	Análise bibliométrica	105
4.3	Análise de conteúdo das pesquisas.....	124
4.3.1	Natureza e coleta dos dados.....	127
4.3.2	Métricas.....	131
4.3.3	Ferramentas	136
4.3.4	Análise de conteúdo das pesquisas por categoria	138
4.3.4.1	Categoria 1 - Redes de relacionamento para análise comparativa	138
4.3.4.2	Categoria 2 - Redes de relacionamento entre fatores.....	146
4.3.4.3	Categoria 3 - Métodos conceituais em análise de redes	148
4.3.4.4	Categoria 4 - Redes de relacionamentos baseados na colaboração	154
4.3.4.5	Categoria 5 - Redes de relacionamentos baseados nos cargos BIM.....	159
4.3.4.6	Categoria 6 - Redes de relacionamento entre termos.....	160
4.3.4.7	Categoria 7 - Redes de relacionamento entre objetos BIM.....	162
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	163

REFERÊNCIAS.....	170
APÊNDICE A – amostragem geral da rsl.....	187

INTRODUÇÃO

Atividades cuja natureza demandam um grupo e não apenas um indivíduo, estão naturalmente sujeitas a problemas nas relações de trabalho, onde um dos fatores mais críticos para o sucesso depende de um fluxo eficaz de informações. Devido à sua complexidade e escalabilidade, os projetos desenvolvidos no setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO), geralmente, não podem ser realizados por um indivíduo, o que justifica, desde as primeiras construções realizadas pela humanidade, o desenvolvimento de métodos para permitir a colaboração através da comunicação mútua entre diferentes agentes em prol de um empreendimento. (BAVELAS, 1950; KYMMELL, 2008).

Na última década, diversos autores - Bartlett *et al.* (2020), Bilal *et al.* (2016), Boje *et al.* (2020), Borrmann *et al.* (2018), Sacks *et al.* (2018), Eynon (2016), Lu *et al.* (2019), Ribeirinho *et al.* (2020), Succar e Poirier (2020) - têm evidenciado a revolução na forma de gerenciar e trocar informação entre os diversos agentes no setor da AECO, em grande parte, devido ao uso de práticas baseadas em processos digitais; automação de tarefas; investimentos em hardware, software e rede; novos métodos de processamento de dados; dentre outros. BIM é o acrônimo para *Building Information Modeling*, que reúne um conjunto de processos digitais que atuam na indústria da construção e conforme explicam Sacks *et al.* (2018), pode ser considerado como a segunda revolução na forma de gerar, organizar e trocar informação no setor depois da invenção dos desenhos técnicos – além de plantas, projeções, cortes e detalhes - bastante explorados nos processos de projeto baseados em *Computer Aided Design* (CAD), que dominaram o setor por décadas e são utilizados até hoje.

Os processos e tecnologias baseados no BIM trouxeram consigo novas práticas, papéis e responsabilidades, cuja implementação tornou necessário o desenvolvimento de um conjunto de competências individuais aos agentes envolvidos, resultando no surgimento de novos cargos e ocupações profissionais para atender essa demanda na indústria da construção (BARISON; SANTOS, 2010; BOSCH-SIJTSEMA; GLUCH; SEZER, 2019; SUCCAR; SHER; WILLIAMS, 2013). Estes cargos, competências e as relações entre eles tem sido objeto de estudo em diversas pesquisas - Barison e Santos (2010); Bosch-Sijtsema *et al.* (2019); Davies *et al.*

(2017); Gathercole e Thurairajah (2014); Lee e Borrmann (2020); Succar *et al.* (2013); Uhm *et al.* (2017) -, principalmente, devido à miscelânea de habilidades requisitadas e nomenclaturas empregadas, gerando, muitas vezes, um desacordo sobre onde começam e terminam as reais responsabilidades de cada profissional em ambientes baseados no BIM (UHM *et al.*, 2017). A forma como os agentes que ocupam estes diferentes cargos, e como eles estão estruturados e relacionados entre si numa organização está diretamente ligado ao sucesso da implementação do BIM e à capacidade de se comunicarem e trabalharem colaborativamente, prevenindo, nesse sentido, a sobreposição de tarefas, a concorrência entre setores – principalmente entre as equipes de projeto e TI -, a tomada de decisões emergenciais, perda de informação durante os processos de projeto e construção, dentre outros.

O aumento da colaboração através de métodos para facilitar a comunicação entre pessoas e equipes é um dos principais benefícios do BIM (WANG *et al.*, 2020) e está no cerne desta pesquisa. Por outro lado, dentre os vários desafios para a implementação do BIM, os maiores deles ainda estão relacionados às pessoas (EYNON, 2016; LEE; BORRMANN, 2020; SACKS *et al.*, 2018). Algumas posturas entre os profissionais do setor, como: resistência à novas tecnologias, excesso de confiança para compatibilizar projetos a partir de desenhos 2D, conhecimento insuficiente sobre os benefícios do BIM e fenômenos conhecidos como “*the BIM imposter syndrome*”¹ e “*BIM Washing*”², são barreiras comumente citadas (HARDIN; MCCOOL, 2015; LEE; BORRMANN, 2020). Além disso, embora as facilidades de comunicação entre os profissionais em ambientes baseados no BIM sejam evidentes, aspectos relacionados à colaboração ainda são um grande desafio (ORAEE *et al.*, 2019). Dentre as principais barreiras relacionadas às pessoas e equipes para exercer a colaboração em redes de relacionamentos baseados no BIM, destacam-se:

¹ De acordo com Lee e Borrmann (2020), “*the BIM imposter syndrome*” – ou na nossa tradução, “Síndrome do Impostor BIM” - acontece quando profissionais que já utilizam ferramentas e processos BIM, mesmo nos níveis primários, acabam, por modéstia, negando sua adoção ou uso, desencorajando o uso do BIM a outros profissionais e descaracterizando seus conceitos fundamentais.

² Conforme Hardin e McCool (2015) explicam, entende-se “*BIM Washing*” como a afirmação, entre profissionais da AECO ou desenvolvedores de *software*, do uso de processos integrados baseados em ferramentas e processos BIM, quando na realidade não estão preparados ou sequer possuem experiência no assunto, resultando no não cumprimento de prazos e na falta ou baixa qualidade dos entregáveis.

conhecimentos e habilidades insuficientes sobre colaboração; ausência de suporte adequado para as equipes; mentalidade direcionada ao trabalho individual e isolado; resistência para compartilhar dados e informações; as novas funções que surgem com a adoção de tecnologias e processos baseados no BIM, como Gerentes BIM, Coordenadores BIM, Especialistas BIM, Projetistas BIM, dentre muitos outros, não possuem papéis bem definidos ou estão estabelecidas de forma inadequada; sobreposição de papéis entre Gerentes de projeto, Gerentes de TI e Gerentes BIM; dentre outros (ORAEE *et al.*, 2019).

Além disso, as pesquisas sobre colaboração, geralmente, não consideram o BIM como uma abordagem sociotécnica e são realizadas sob o ponto de vista estritamente tecnológico, com foco no uso de ferramentas e plataformas de colaboração, não explorando aspectos relacionados às pessoas e suas interrelações (ORAEE *et al.*, 2017). Conforme explica Kymmell (2008), o sucesso da implementação do BIM não está relacionado somente aos aspectos digitais e tecnológicos que o acompanham, mas à uma nova abordagem psicológica dos agentes envolvidos, para que estejam dispostos e preparados para colaborar e trabalhar juntos. Trabalhar colaborativamente não é uma tarefa fácil. De acordo com Eynon (2016), trata-se de acessar os limites nas relações, divergindo e discutindo opiniões, mas também, exercendo uma cultura de cordialidade e respeito entre as partes.

Portanto, exercer o trabalho em equipe e assegurar a troca de informação em ambientes de trabalho baseado no BIM está diretamente ligado a questões relacionais entre indivíduos, cujos benefícios - como explica Kymmell (2008) – são resultado do aprimoramento dos quatro conceitos básicos de interação humana: visualização, compreensão, comunicação e colaboração. Observa-se que cada um dos conceitos se conecta diretamente aos demais, reforçando-se mutuamente, cuja representação pode ser expressa num grafo direcionado e completamente conectado, conforme a Figura 1.

Figura 1 – Os 4 conceitos básicos de interação humana



Fonte: Adaptado de Kymmel (2008)

No que diz respeito à influência da colaboração a nível de mercado, um relatório publicado pelo *McKinsey Global Institute* (FILIPPE BARBOSA *et al.*, 2017) destaca como a relação com diferentes interesses, principalmente entre proprietários e empreiteiros, pode inibir a comunicação e a cooperação entre stakeholders e equipes nos projetos na indústria da construção, resultando em queda de produtividade, atrasos na entrega dos projetos e orçamentos superavitários. Com relação aos aspectos econômicos, este mesmo relatório (FILIPPE BARBOSA *et al.*, 2017) estima que o investimento em métodos para desenvolver e incentivar a colaboração e a contratação pode aumentar a produtividade do setor de 8 a 9%, resultando numa economia de 6 a 7% dos custos envolvidos, percentual de economia maior do que o esperado para investimentos em áreas como tecnologia ou capacitação.

Nesse sentido, o BIM contempla um complexo sistema de aspectos não-técnicos, cujo entendimento das relações entre os agentes que atuam nos diversos ambientes, equipes, setores e organizações que o utilizam, permite identificar barreiras e potencialidades relacionadas à colaboração, estágios de implementação, elencar usos, identificar papéis e responsabilidades, mensurar níveis de interoperabilidade, estabelecer estratégias de incentivo à adoção, dentre outras intervenções e análises. As diferentes interações entre estes agentes, baseadas na troca de informação e na colaboração, formam uma rede complexa de relacionamentos, cujas características individuais e a forma como organizam-se, estão diretamente relacionadas à

capacidade para trabalhar em equipe, distribuir e realizar tarefas, cumprir prazos, compartilhar informações, dentre outros (MASKIL-LEITAN; REYCHAV, 2019; PRYKE, 2012).

A obtenção de dados relacionais entre indivíduos requer a aplicação de análises que permitam realizar a extração e o tratamento de dados de forma estruturada e precisa, representando as características reais da rede em estudo. Nesse sentido, a Análise de Redes Sociais (ARS) tem exercido um protagonismo em diversas áreas do conhecimento, por ser considerada como a principal abordagem para analisar redes complexas de relacionamento baseadas em processos colaborativos (DURUGBO *et al.*, 2011; WANG *et al.*, 2020; ZHANG; ASHURI, 2018). A ARS contempla um conjunto de métodos baseados na Matemática, Tecnologia da Informação (TI) e Sociologia, que permite observar, de forma sistemática, os padrões nas relações entre os agentes numa rede, a partir do estudo destas relações (CARRINGTON, 2011; PRYKE, 2012). No cerne da ARS está a Teoria dos Grafos, um conjunto de axiomas e deduções algébricas que relacionam os aspectos sociais das redes a métodos estatístico-analíticos para coletar, estruturar, processar e avaliar dados relacionais, onde, os agentes sob análise são denominados nós – ou vértices – e as relações entre eles, linhas – ou arestas – e juntos, formam um grafo, que é a representação matemática fundamental de uma rede social na ARS (CARRINGTON, 2011; SCOTT, 2000).

A aplicação da ARS como método para analisar redes de relacionamento em ambientes organizacionais – inclusive na indústria da construção - justifica-se, conforme explica Pryke (2012), por cinco razões principais. A primeira delas está no fato de que todas as organizações são redes sociais e, portanto, devem ser analisadas por meio de atores interconectados entre si através dos seus relacionamentos, sejam eles de amizade, conselho ou uma simples conversa informal. A segunda justificativa considera que o ambiente em que uma organização está inserida, nada mais é do que uma outra rede de organizações, que se comunicam entre si e trocam informações, portanto, utilizar métodos para descrever e quantificar essas relações é essencial para otimizar o relacionamento entre organizações, construir parcerias e alcançar melhores resultados nos negócios. A complexidade das relações e a dificuldade para mapeá-las e acessá-las de forma clara e passível de conclusões fundamentam a terceira justificativa, uma vez que a aplicações de métodos que otimizem a visualização das

relações de forma abrangente é essencial para se obter análises precisas e livre de vieses ou limitações. A quarta razão proposta por Pryke (2012), está baseada no dinamismo existente nas atitudes e no comportamento dos agentes dentro de uma organização, estes que podem ser melhor identificados e explicados a partir do conhecimento das suas respectivas posições dentro da rede sob análise, permitindo identificar tanto as influências que agem sobre um agente com as que são exercidas por ele. Por fim, a última justificativa proposta por Pryke (2012) está baseada nas possibilidades de aplicação das métricas da ARS para comparar as diferentes disposições e topologias das redes, identificando suas características e comportamentos específicos a partir de métodos matemáticos e estatísticos. Dentre as principais métricas utilizadas na ARS, destacam-se as medidas de centralidade: centralidade de grau, centralidade de intermediação, centralidade de proximidade e centralidade de autovetor (TABASSUM *et al.*, 2018).

Como consequência da capacidade analítica e as amplas possibilidades de aplicação da ARS, nas últimas duas décadas, seu uso tem sido crescentemente empregado para analisar estruturas organizacionais na indústria da construção civil (GARDOUNIS; CHONG; WANG, 2017; PRYKE, 2012; WANG *et al.*, 2020; ZHANG; LIU; WANG, 2013; ZHENG *et al.*, 2016). Em redes de relacionamentos baseados no BIM, a ARS tem sido empregada em diversos segmentos como, gerenciamento de riscos (DOLOI; VARGHESE; RAPHAEL, 2015), gerenciamento de custos (BADI; DIAMANTIDOU, 2017), gerenciamento de qualidade (AL HATTAB; HAMZEH, 2018), gerenciamento de erros (AL HATTAB; HAMZEH, 2015), gerenciamento da cadeia de suprimentos (PAPADONIKOLAKI *et al.*, 2017), eficiência nos processos de projeto (ZHANG; ASHURI, 2018) e para estudar as relações entre agentes sociais com foco em relacionamentos colaborativos (CAO *et al.*, 2017; WANG *et al.*, 2020).

Neste sentido, essa pesquisa propõe a realização de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) como método para mapear e mensurar as principais contribuições da ARS quando aplicada em redes de relacionamentos baseados no BIM. Através desta RSL espera-se desenvolver o conhecimento sobre o tema em quatro instâncias distintas. A primeira instância está concentrada nos aspectos bibliométricos das pesquisas sobre o tema, através da identificação da rede de colaboração científica

entre autores, IES e países, as referências bibliográficas mais relevantes sobre o tema, as subáreas de pesquisa mais relevantes e as menos exploradas, como forma de apresentar o estado da arte da aplicação ARS nestas redes e contribuir para a construção do conhecimento sobre o tema a partir deste estado. A segunda delas está baseada nas questões metodológicas de uso da ARS nestas redes, no sentido de identificar os principais métodos de aplicação da ARS, as principais métricas utilizadas, as interpretações mais adequadas para os resultados obtidos a partir da aplicação destas métricas, a natureza dos indivíduos que conformam as redes e a natureza dos dados relacionais utilizados para conformação das redes. A terceira contribuição está baseada no comportamento das redes em si, no que diz respeito à topologia apresentada, às características e propriedades identificadas e aos padrões existentes. Por fim, a quarta contribuição baseia-se nas características dos indivíduos que compõem estas redes, buscando identificar os papéis que exercem, as responsabilidades que possuem, as relações que mantém e a forma como estas questões são alteradas dinamicamente ao longo do tempo. Como resultado da RSL, espera-se contribuir com o macro entendimento das vantagens, boas práticas, desvantagens e desafios da aplicação da ARS em redes de relacionamentos baseadas no BIM, incentivando e apoiando a realização de abordagens exploratórias de caráter sociotécnico nestas redes como método para avaliar e diagnosticar aspectos fundamentais para o sucesso da implementação do BIM, tais como comunicação, colaboração e o fluxo de informação entre pessoas e equipes.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Essa pesquisa busca entender, a partir de uma Revisão Sistemática da Literatura, a medida em que o uso da ARS, como ferramenta analítica, permite uma melhor compreensão das relações sociais entre os profissionais do setor da AECO e contribui para facilitar a articulação da informação e de competências, em redes de relacionamentos baseados no BIM.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Explorar, apresentar e contextualizar o BIM como um sistema sociotécnico, a partir de processos, políticas, ferramentas, usos e organização social;
- b) Estudar a ARS para identificar e entender seus princípios teóricos, sua contribuição metodológica como ferramenta para analisar redes de relacionamento e sua fundamentação matemático-estatística para quantificar dados relacionais a partir destas redes;
- c) Conhecer e apresentar o estado da arte na aplicação da ARS em redes de relacionamentos baseados no BIM para descobrir e apresentar as vantagens e possibilidades desta aplicação, as métricas mais utilizadas e os métodos mais adequados;
- d) Realizar uma análise bibliométrica através dos dados obtidos na RSL para mapear e caracterizar a produção do conhecimento sobre a aplicação da ARS em redes de relacionamento baseadas no BIM;
- e) Realizar uma análise de conteúdo das pesquisas relacionadas na RSL para estudar e explorar as redes estudadas, mapear padrões existentes nestas redes e caracterizá-las.

1.2 Metodologia

Esta subseção descreve a metodologia utilizada nesta pesquisa. Os **Capítulos 2 e 3**, por um lado, e o **Capítulo 4**, por outro, foram desenvolvidos a partir de dois métodos distintos de revisão da literatura. Devido ao objetivo de atribuir um caráter exploratório e não sistemático às abordagens relacionadas aos temas-chave desta pesquisa – BIM e ARS – aprofundados de forma não diretamente correlacionada, respectivamente, nos Capítulos 2 e 3, optou-se por empregar o método de revisão narrativa ou tradicional, procurando-se, desta forma, ampliar as fronteiras de pesquisa. O método de revisão narrativa, de acordo com UNESP (2015), não utiliza critérios sistemáticos de busca ou análise, sendo recomendado para o levantamento da produção científica disponível e para a fundamentação teórica de artigos, dissertações, teses e trabalhos de conclusão de cursos. Por outro lado, devido ao caráter específico de interesse no campo da aplicação da ARS em redes de relacionamentos baseados no BIM no **Capítulo 4**, empregou-se o método de Revisão Sistemática da Literatura (RSL), cujo

resultado é a principal contribuição científica desta pesquisa, sendo descrito a seguir, no que diz respeito ao procedimento adotado.

1.2.1 Revisão Sistemática da Literatura (RSL)

A aplicação de qualquer método a um estudo empírico inédito requer um sólido aprofundamento no tema para compreender o estado da arte das análises correlatas, o que permite identificar caminhos virtuosos que apoiam ou contradizem as hipóteses vigentes. Dentre os métodos científicos para imersão e entendimento sobre um determinado tema, a Revisão Sistemática da Literatura (RSL) se destaca por fornecer informações através de um amplo conjunto de configurações e métodos empíricos que aumentam a probabilidade de detectar aspectos verídicos e significativos sobre o tema em análise que outros métodos menos robustos não alcançam (KITCHENHAM, 2004).

A RSL é um método de estudo secundário para identificar, avaliar, interpretar e resumir o estado da arte de um tema específico a partir de um questionamento sobre determinado fenômeno de interesse com base em outros estudos individuais pré-existentes – estudos primários. A metodologia da RSL propõe uma coleta de informações restrita, desenvolvida para minimizar o viés de seleção, publicação e extração de dados, o que permite uma análise rigorosa para construir uma visão ampla sobre o tema em investigação. De modo geral, uma RSL está subdividida em três fases principais: planejamento, condução e relato (KITCHENHAM, 2004; MARIANO *et al.*, 2017; MOHER *et al.*, 2009; NIGHTINGALE, 2009).

De acordo com Kitchenham (2004), o planejamento de uma RSL está pautado em dois estágios: (i) identificar a necessidade da RSL e (ii) desenvolver o protocolo da RSL. A necessidade da RSL proposta surgiu a partir da ausência, até o momento da redação desta seção, de pesquisas que apresentassem o estado da arte das possibilidades de aplicação da ARS ao BIM e da importância de se obter uma macroanálise sobre o tema.

Por outro lado, o desenvolvimento de uma RSL, por si só, não atesta um selo de qualidade ou garantia sobre a amplitude e relevância de uma pesquisa (PETTICREW; ROBERTS, 2008). A concepção de uma RSL requer a aplicação de um protocolo pré-

estabelecido que garanta sua reprodutibilidade, qualidade e relevância. Um protocolo é o elemento principal da RSL e reúne as condições de contorno para sua realização, como questões principais e secundárias, objetivos e critérios de exclusão e inclusão de publicações. A atividade mais importante durante o protocolo é a formulação das questões da pesquisa. Boas práticas sugeridas pelo domínio médico propõem que uma questão bem definida deve contemplar à quatro critérios-chave, representados pelo acrônimo PICO (*Population, Intervention, Comparison, Outcome*) (KITCHENHAM; MENDES; TRAVASSOS, 2007). A Figura 2 apresenta as definições de cada termo do acrônimo conforme as adaptações propostas por Kitchenham (2007) e as respectivas respostas postuladas com base nessa pesquisa.

Figura 2 – Critérios PICO para conceber as questões da RSL

PICO	
População (<i>Population</i>)	
Escopo	Resposta
Grupo que será observado na intervenção.	Métodos baseados na ARS aplicados à redes de relacionamento baseadas no BIM.
Intervenção (<i>Intervention</i>)	
Escopo	Resposta
Metodologia, ferramenta, tecnologia ou procedimento sobre um problema específico.	Métodos baseados em ARS.
Comparação (<i>Comparison</i>)	
Escopo	Resposta
Comparação do escopo proposto na Intervenção.	Benefícios do uso da ARS e métricas mais adequadas.
Resultado (<i>Outcome</i>)	
Escopo	Resposta
Qual o resultado esperado?	Reunir boas práticas de uso da ARS para otimizar o fluxo de informação e comunicação em redes de relacionamento baseadas no BIM.

Fonte: Adaptado de Biolchini *et al.* (2005) e Kitchenham, Mendes e Travassos (2007)

A partir do contexto da pesquisa e dos critérios PICO definidos anteriormente, são apresentadas a seguir as questões que a realização da RSL busca responder:

- a) Quais são os principais métodos de aplicação da ARS em redes de relacionamentos baseados no BIM?

- b) Quais são as principais métricas exploradas nestas redes e como podem ser interpretadas para a obtenção de diagnósticos precisos?
- c) Como o uso da ARS pode contribuir para otimizar a colaboração, comunicação e o fluxo de informação em ambientes de trabalho baseados no BIM?

Outro critério importante para a realização de uma RSL é garantir o relato fidedigno dos resultados obtidos a partir do protocolo estabelecido de forma clara. Buscando atender à essa premissa, foi utilizada a recomendação PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), apresentada por Moher *et al.* (2009), como método para o relato da RSL proposta nesta seção. A PRISMA consiste em um *checklist* de 27 itens e um fluxograma de quatro etapas – Identificação, Seleção, Elegibilidade e Inclusão - e tem como objetivo otimizar o registro de uma RSL de forma padronizada. Embora seja comumente utilizada em pesquisas na área de ciências médicas, adaptações propostas permitem tirar proveito dos seus benefícios em outras áreas, tais como na engenharia civil (ZLATAR; RAHNEMAY; BARKOKÉBAS JR, 2019), ciências sociais (PETTICREW; ROBERTS, 2008) e bioinformática (MARIANO *et al.*, 2017).

1.2.1.1 Seleção das bases de dados

A seleção adequada das bases de dados a serem consultadas é essencial para a reunião de trabalhos significativos numa RSL. Ao realizarem uma análise entre 28 bases de dados comuns no campo das revisões de literatura em diversas áreas do conhecimento quanto à adequabilidade para utilização numa RSL a partir de 27 critérios distintos, Gusenbauer e Haddaway (2020) concluíram que apenas metade delas atenderam aos requisitos de desempenho necessários. Foram selecionadas 5 bases de dados, dentre as mais utilizadas para RSL, segundo os autores, e 5 critérios de interesse para esta pesquisa, dentre os utilizados pelos autores, como método para seleção do sistema de pesquisa acadêmica mais adequado para o desenvolvimento da RSL. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos pelos autores para os critérios selecionados.

Tabela 1 – Comparação entre sistemas de pesquisas acadêmicas para utilização na RSL

Critérios	Web of Science	Scopus	ScienceDirect	Wiley Online Library	Google Scholar
Consulta Booleana completa (OR, AND, NOT)	✓	✓	✓	✓	x
Consulta com diferentes operadores Booleanos combinados	✓	✓	✓	✓	x
Campo de pesquisa avançada com o uso de <i>strings</i>	✓	✓	✓	✓	x
Reprodutibilidade dos resultados da pesquisa em locais diferentes	✓	✓	✓	✓	x

Fonte: Adaptado de Gusenbauer e Haddaway (2020)

A utilização de um ou mais operadores Booleanos é essencial para a realização de uma RSL, o que torna o bom funcionamento dessa ferramenta imprescindível para o uso de determinado sistema acadêmico de pesquisa. Os critérios relacionados à boa funcionalidade dos operadores *OR*, *AND* e *NOT* foram inseridos na análise comparativa, com destaque para o *Google Scholar* que apesar de prever o uso dos operadores, atingiu resultados inconsistentes em ambas as análises. A possibilidade de uso de *strings* na modalidade de pesquisa avançada também foi avaliada, apesar de não ser uma funcionalidade essencial para a realização de uma RSL pode contribuir para filtrar resultados indesejados e facilitar o tratamento de dados durante a pesquisa. Outros dois critérios considerados foram relativos à independência quanto a temporalidade e espacialidade, isto é, a fidelidade dos resultados foi avaliada em horários e localidades distintas, onde a semelhança dos resultados obtidos nas pesquisas foi observado, novamente com destaque para o *Google Scholar* que novamente não obteve êxito na análise e foi considerado como inviável para realização de RSL e não foi utilizado nessa pesquisa. Assim, os sistemas acadêmicos de pesquisa utilizados foram:

- a) Scopus: <http://www.scopus.com/>;
- b) ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com/>;

- c) Web of Science: <https://www.webofknowledge.com/>;
 d) Wiley Online Library: <https://onlinelibrary.wiley.com/>.

1.2.1.2 Protocolo da RSL

O protocolo esquemático global da RSL é apresentado na Figura 3 e foi dividido em sete etapas. A primeira etapa definiu a justificativa da pesquisa, essencial para as etapas subsequentes, principalmente para responder para as questões da RSL, conforme apresentados anteriormente nessa seção. A etapa seguinte definiu as bases de dados a serem utilizadas, detalhadas na subseção 4.1.1. O método de busca nas bases de dados foi realizado com foco em palavras-chave, cuja expressão condicional utilizada como regra de ocorrência dos termos de interesse é apresentada na Tabela 2, juntamente com os critérios de seleção para inclusão e exclusão dos resultados com suas respectivas condições de contorno.

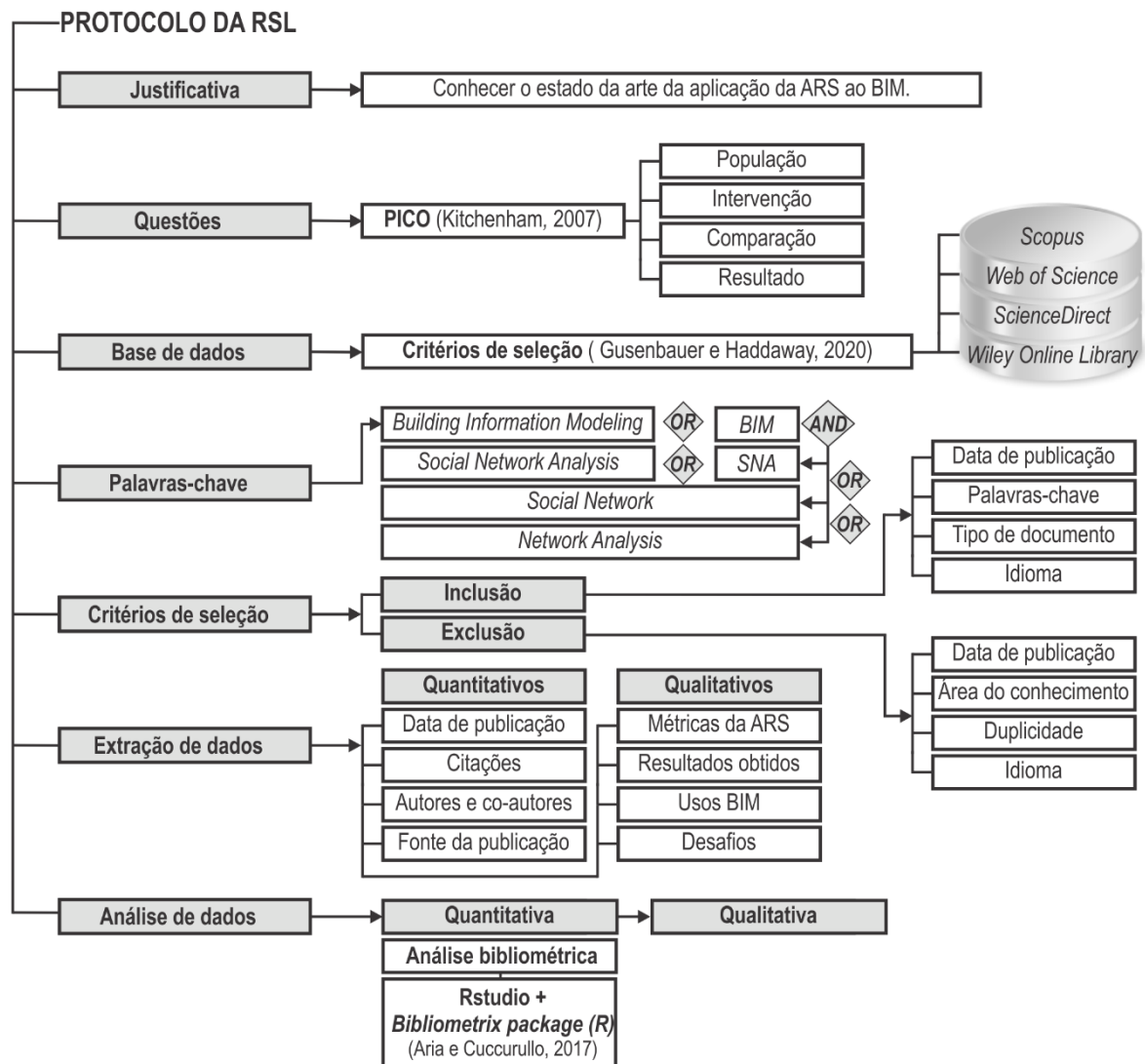
Tabela 2 - Critérios para seleção de artigos

Inclusão	
Critério	Condição de contorno
Data de publicação	Período entre 2011-2021;
Palavras-chave	("Building Information Modeling" OU "BIM") E (("Social Network Analysis" OU "SNA") OU ("Social Network") OU ("Network Analysis"));
Tipo de documento	Artigos em periódicos ou anais de eventos;
Idioma	Inglês/Português/Espanhol;
Exclusão	
Critério	Condição de contorno
Data de publicação	Fora do período definido;
Área do conhecimento	Não relacionado à aplicação da ARS ao BIM
Duplicidade	Artigos idênticos em bases de dados distintas;
Idioma	Outro idioma não previsto;

Fonte: Autor

Após a seleção dos artigos, foram realizadas as análises bibliométricas e em seguida a análise de conteúdo das pesquisas relacionadas, cujos métodos utilizados são descritos a seguir e seus respectivos resultados no Capítulo 4.

Figura 3 – Protocolo global da RSL



Fonte: Autor

1.2.1.3 Análise bibliométrica

Devido à grande quantidade de dados gerados numa RSL, é necessário definir um método adequado para interpretação e visualização das interrelações entre os diversos parâmetros de análise. A bibliometria compreende um conjunto de ferramentas e técnicas que possibilitam o mapeamento e ampliação do conhecimento sobre um tema a partir das conexões entre autores, publicações, instituições e abordagens. O termo “bibliometria” foi inicialmente proposto por Pritchard em 1969, como a aplicação da matemática e métodos estatísticos à bibliografia. O objetivo fundamental da bibliometria é quantificar a produção acadêmica - que inclui livros,

capítulos de livros, artigos de revistas e artigos em anais de eventos científicos. Uma definição mais simplista é apresentada por Ball (2018), que a coloca como “a medição e contagem de publicações”, isto é, por si só, a bibliometria não permite mensurar a qualidade das publicações. Por outro lado, permite extrair, numa etapa posterior, conclusões qualitativas a partir do tratamento dos dados e visualização dos resultados. Esse método fornece, portanto, resultados quantitativos precisos e confiáveis no campo da ciência e foi utilizado como base para o fluxo de análise de dados das publicações na RSL proposta (ARIA; CUCCURULLO, 2017; BALL, 2018; JOSÉ DE OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Diversas ferramentas têm sido desenvolvidas e utilizadas para apoiar análises bibliométricas. A escolha de uma ferramenta para essa finalidade deve ser realizada de forma cautelosa e principalmente com base no objetivo principal da pesquisa aliado a outros critérios relevantes como opções e propriedades disponíveis, acessibilidade e cobertura. Moral-Muñoz *et al.* (2020) realizaram uma ampla revisão analítica entre 22 ferramentas disponíveis para apoiar análises bibliométricas. Os autores propuseram uma classificação inicial em quatro grupos distintos: bases de dados, *software* bibliométrico genérico, ferramentas para análise de mapeamento científico - *Science Mapping Analysis* ou SMA – e bibliotecas para linguagens de programação como R e *Python*. Os resultados evidenciaram as diferentes vantagens e desvantagens entre cada uma das ferramentas, o que reforça a necessidade de escolher o *software* adequado para cada análise específica e que não há uma solução multifacetada. De modo geral, a *Bibliometrix*, uma biblioteca para o R, mostrou ter o conjunto mais extenso de opções para análises disponíveis. O *VOSviewer*, bastante utilizado pela comunidade acadêmica, possui uma das melhores interfaces de visualização dos dados, mas possui algumas restrições em níveis mais profundos de análise, como explica Dervis (2019). O *SciMAT*, uma ferramenta para SMA, apresentou ótima capacidade exportação e pré-processamento, além de métodos de visualização poderosos como diagrama estratégico e por áreas temáticas.

A escolha da ferramenta adequada para utilização na RSL foi realizada a partir de três critérios: (i) com base no trabalho de Moral-Muñoz *et al.* (2020), a partir de critérios julgados como relevantes dentre os que foram analisados pelos autores, (ii) a escolha de uma ferramenta que atendesse o objetivo principal da RSL e (iii) familiaridade com

a ferramenta. Buscando convergir os esforços para o desenvolvimento dessa pesquisa, a linguagem R, que é um ambiente de código aberto, foi a que melhor atendeu ao critério (iii), devido a minha familiaridade com a linguagem baseada em trabalhos anteriores. No critério (i), dentre as bibliotecas disponíveis para o R, a biblioteca de código aberto *Bibliometrix* obteve os melhores resultados nas análises de Moral-Muñoz *et al.* (2020). Por consequência, o item (ii) foi atendido, devido à ampla disponibilidade de análises distintas possibilitadas pela *Bibliometrix*, como acoplamento bibliográfico, análise de cocitação, análise de colaboração, entre outros (ARIA; CUCCURULLO, 2017).

Nesse sentido, a análise bibliométrica foi desenvolvida a partir da definição da amostra final dos artigos selecionados na etapa de Condução da RSL. Com o objetivo de reunir e padronizar as informações dos artigos incluídos nas análises, os metadados dos artigos selecionados foram exportados das suas respectivas bases de dados, no formato *bib*, vinculado ao *BibTeX*³, um software de gerenciamento de informações acadêmicas padronizadas, desenvolvido para armazenar e compartilhar dados bibliográficos. Posteriormente realizou-se o tratamento destes dados utilizando o *Visual Studio Code*, a partir da realização de ajustes em caracteres não identificados, correção de palavras similares, porém com escritas distintas no que diz respeito ao uso de caracteres maiúsculos e minúsculos e, por fim, realizando a unificação da escrita de acrônimos e seus respectivos significados por extenso, quando adequado, nas palavras-chave das pesquisas. Para a conformação das redes, realizou-se o RStudio⁴, com auxílio da biblioteca para R, *bibliometrix*⁵ e, em alguns casos, da plataforma *online biblioshiny*, vinculada à *bibliometrix*.

1.2.1.4 Análises de conteúdo

As análises de conteúdo foram realizadas a partir da leitura completa dos artigos selecionados, buscando identificar principalmente: o tema principal de pesquisa abordado pelos autores; o objetivo principal da pesquisa; as fronteiras do sistema

³ <https://www.bibtex.com/>

⁴ <https://www.rstudio.com/>

⁵ <https://www.bibliometrix.org/>

estudado; a natureza dos indivíduos que conformaram as redes, quando presentes e a natureza das relações exercidas por eles; os softwares utilizados para apoiar a aplicação das métricas em ARS; as métricas de ARS utilizadas; os principais resultados obtidos nas pesquisas em termos das redes de relacionamento baseados no BIM.

1.3 Estrutura da dissertação

O texto desta dissertação está organizado da seguinte forma:

A revisão bibliográfica proposta no **Capítulo 2** explorou conceitos fundamentais relacionados ao BIM para situar as diferentes abordagens e possibilidades do seu uso. Aspectos relacionados à adoção do BIM por governos e entidades foram explorados como ponto de partida para o entendimento do estado da arte do uso de tecnologias e processos digitais em diferentes níveis de abrangência no setor da AECO. Em seguida foram apresentados os diferentes modelos de redes de relacionamentos baseados no BIM e suas respectivas topologias baseadas em grafos, seja a partir de elementos da construção, blocos de código para manipular elementos através de programação visual e ou relações sociais entre profissionais na indústria da construção. Por fim, abordou-se o BIM sob a ótica de um sistema social, composto por atores, posições e os elos relacionais entre eles, apresentando, nesse sentido, o ponto de vista do BIM que subsidia sua representação através de redes sociais, objeto fundamental de análise desta pesquisa. Buscando construir e reunir o conhecimento sobre a ARS, o **Capítulo 3** foi desenvolvido como base principal para permitir o entendimento de como a ARS está estruturada e como pode ser aplicada para analisar a relação entre indivíduos em sistemas sociais e ou redes organizacionais. Inicialmente, os aspectos históricos da ARS foram brevemente abordados, com foco nas bases conceituais que suscitaram seu surgimento e aprimoramento. Em seguida, todo o arcabouço matemático-estatístico que apoiam as análises de redes foram explorados, para permitir o entendimento do processo de tratamento e análise dos dados por meio do uso das métricas estruturais, baseadas nos conceitos da Teoria dos Grafos. Como meio de visualizar e entender como os resultados da aplicação da ARS podem ser analisados e mapeados a partir de padrões e procedimentos conhecidos, os principais modelos de redes sociais foram estudados. Devido à

amplitude de aplicações da ARS ao BIM, abordados nos capítulos anteriores de forma isolada, e a ausência, até o momento da escrita deste trabalho, de revisões da literatura sobre o tema, o **Capítulo 4** reúne os resultados obtidos a partir da realização de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) para reunir o conhecimento sobre essas possibilidades de aplicação. A partir dos dados obtidos na RSL, foram realizadas duas análises principais: análise bibliométrica e análise de conteúdo das pesquisas. As análises bibliométricas contemplam a listagem e estruturação dos dados quantitativos obtidos pelas pesquisas tais como ano de publicação, palavras-chave, citações e redes de colaboração científica entre autores, IES e países. As análises de conteúdo foram realizadas a partir da exploração, classificação e comparação entre o conteúdo das pesquisas elencadas na RSL, para identificar as características das redes de relacionamento baseadas no BIM e as principais contribuições da ARS no processo de análise destas redes. O **Capítulo 5** apresenta as considerações finais da pesquisa, constatadas a partir dos resultados obtidos nas análises supracitadas. Neste capítulo são apresentadas as principais características estruturais das redes de relacionamento baseadas no BIM, as principais métricas de ARS utilizadas para estudar estas redes, aspectos observados sobre a natureza das relações exercidas pelos profissionais que compõem estas redes e o impacto da adoção do BIM em termos, principalmente, da comunicação, colaboração e fluxo de comunicação em comparação com as redes tradicionais na indústria da construção. Por fim, o **Apêndice A** elenca as pesquisas encontradas a partir da busca primária nas bases de dados científicas consultadas, junto ao resultado da aplicação dos critérios de elegibilidade e exclusão propostos no protocolo da RSL.

2. BIM NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO: PROCESSOS, PADRÕES, POLÍTICAS E USOS

Este capítulo busca situar o processo de digitalização da indústria da construção sob a ótica da Modelagem da Informação da Construção (BIM), num contexto de complexidade evidente, ocasionado, principalmente, devido ao crescente fluxo de dados gerados pela adoção de processos cada vez mais digitais, automatizados e integrados, baseados em práticas estruturadas de trabalho colaborativo. O BIM ainda representa, em muitos casos, a digitalização dos ativos de uma construção, mas abrange ainda um outro extenso conjunto de processos, relações, atores, políticas e esforços para apoiar todo o ciclo de vida de um empreendimento, desde sua concepção e construção até o uso e descomissionamento. Estas diferentes acepções do conceito são apresentadas nas subseções 0 e 2.2.

A disseminação e a adoção do BIM pela indústria da construção estão relacionadas a ações por parte de diferentes iniciativas políticas, normativas e legislativas, de abrangência nacional e internacional, cuja contribuição permite estruturar e padronizar diversos processos correlatos. Neste sentido a subseção 2.3 apresenta os diferentes estágios de maturidade e adoção do BIM num contexto político-normativo nas escalas internacional, nacional, estadual e municipal, considerando também, portanto, o contexto geopolítico em que esta pesquisa está inserida.

Em seguida, a subseção 2.4 apresenta as principais taxonomias propostas para estruturar e classificar os usos do BIM nas fases do ciclo de vida de um ativo na indústria da construção.

A definição de um padrão para permitir a comunicação e colaboração entre equipes, modelos e dados é uma condição essencial para se permitir a troca de informação de forma estruturada numa rede de relacionamentos baseada no BIM. Buscando explorar e situar os esforços para o desenvolvimento do principal padrão para a troca de dados em ambientes baseados no BIM, o IFC, a subseção 2.5 coloca o foco num conceito fundamental nessa direção: a interoperabilidade.

A subseção seguinte apresenta o BIM do ponto de vista de um sistema social e suas respectivas unidades analíticas, representadas por atores, posições e elos relacionais

que compõem redes de relacionamento de caráter heterogêneo. Por fim, buscou-se explorar os diferentes modelos de redes de relacionamentos baseados no BIM e suas respectivas representações, comumente baseadas em grafos, a partir de sistemas relacionais de naturezas distintas, seja a partir de indivíduos que compõem uma equipe de projetos e sua respectiva rede de comunicação ou de elementos construtivos que compõem uma edificação – bem como sua respectiva interdependência ou associatividade mútua.

2.1 Inovação e digitalização num contexto baseado em dados

É possível afirmar que o setor da AECO tem passado por um dos momentos mais transformadores da sua história, afinal, “esperam-se mais mudanças nos próximos 10 anos do que houve nos últimos 100”, conforme afirma Eynon (2016, p. 29). Essas mudanças estão fortemente relacionadas à adoção de processos como digitalização e automação, que têm realizado uma revolução em diversos setores industriais, trazendo consigo muitos benefícios. Dentre estes benefícios, destacam-se: aumento de produtividade, maior variedade de produtos desenvolvidos e ofertados, e maior qualidade nos produtos finais (BORRMANN *et al.*, 2018). Esses avanços produzem uma grande quantidade de dados que contribuem para o desenvolvimento de novos processos e para a criação de soluções cada vez mais precisas, com apoio de algoritmos e métodos estatísticos poderosos (BILAL *et al.*, 2016). No setor da AECO, o uso de ferramentas digitais e processos automatizados tem permitido diversos avanços em direção à Entrega Integrada de Projetos - *Integrated Project Delivery (IPD)*⁶ – a partir de Projeto e Construção Virtuais - *Virtual and Design Construction*

⁶ A definição de IPD mais abrangente e difundida pelo meio científico parece ser a proposta pelo “*Integrated Project Delivery: A Guide*”, de autoria do *The American Institute of Architects (AIA)*. No guia, define-se IPD como uma abordagem de entrega de projeto que prevê a integração entre pessoas, sistemas, estruturas de negócios e práticas, colaborativamente, objetivando otimizar as entregas de projeto, aumentar o valor agregado do produto final para o contratante, reduzir desperdícios e aumentar a eficiência durante todas as fases da construção. As equipes envolvidas no IPD devem ser guiadas por alguns princípios, dentre eles, processos transparentes, colaboração mútua, compartilhamento de informação, decisões baseadas em valor agregado, parque tecnológico adequado e suporte (AIA, 2007).

(VDC)⁷ (LU; LAI; TSE, 2019). Essas abordagens desenvolvem-se, principalmente, sobre o arcabouço da Modelagem da Informação da Construção - *Building Information Modeling (BIM)* e fornecem um número cada vez maior de dados relativos a todo o ciclo de vida de uma construção.

A definição de BIM tem sido cada vez mais relacionada à de um conjunto. De modo geral, o acrônimo reúne um conjunto de ferramentas, tecnologias, processos e esforços (institucionais, públicos ou privados) para apoiar o gerenciamento da informação, de maneira integrada, entre todas as disciplinas e todos os envolvidos em uma ou mais etapas do ciclo de vida de uma construção. Por outro lado, diversas pesquisas, normas, relatórios, livros e documentos, conforme exposto na Tabela 3, apresentam diferentes definições e aplicações do termo na indústria da construção, o que reforça a necessidade de uma subseção neste capítulo para tratar de forma mais precisa sobre como o termo será utilizado nesta pesquisa (KASSEM; SUCCAR, 2017; LU; LAI; TSE, 2019; SACKS *et al.*, 2018; SUCCAR; SHER; WILLIAMS, 2012).

Desde o surgimento do acrônimo, cunhado em 2002, ou até mesmo antes disso, o BIM tem sido advogado como o propulsor de uma mudança de paradigma e de cultura em toda a indústria da AECO. Governos, universidades, clientes, investidores, instituições, entidades, grandes, médias e até pequenas companhias têm realizado esforços para adotar o BIM, por diversos fatores, mas em grande parte, por seus benefícios diretos e indiretos, geralmente associados ao uso de ferramentas de modelagem 3D e processos integrados que permitem: melhor comunicação entre as partes envolvidas, melhor estruturação e qualidade dos dados - apoiados por processos parcialmente automatizados -, maior controle na padronização de processos em longas cadeias de aplicação, aumento de produtividade, menor risco

⁷ VDC é uma abordagem que está baseada no uso de modelos multidisciplinares integrados que permitem analisar o desempenho da construção, contemplando produtos, processos e organização das equipes que participam de todo o seu ciclo de vida para atender os objetivos propostos ao empreendimento. Em termos gerais, essa prática permite que sejam realizadas simulações para avaliar as condicionantes de projeto, complexidade envolvida e viabilidade, a partir de modelos virtuais de protótipos da construção, propondo soluções seguras e assertivas antes do início da execução do projeto (ASLAM; GAO; SMITH, 2021; ATUL KHANZODE *et al.*, 2006).

envolvido nos projetos, entre outros (BORRMANN *et al.*, 2018; JERRY LAISERIN, 2002; KYMMELL, 2008; SACKS *et al.*, 2018).

Embora o setor da construção ainda seja caracterizado pela fragmentação e pela recorrente dependência de soluções pontuais, conforme afirmam Bartlett *et al.* (2020), tem sido notável o movimento e interesse em direção a plataformas integradas e processos mais automatizados e rastreáveis, principalmente na última década. Além disso, conforme explica o recente artigo intitulado “*The next normal in construction*” (RIBEIRINHO *et al.*, 2020), o advento da pandemia global causado pela COVID-19⁸ acelerou de forma compulsória e evidente o uso de tecnologias para garantir a segurança e permanência dos negócios, estabelecendo “um novo normal”, caracterizado por iniciativas disruptivas que transformaram rapidamente os modos de trabalho. Espera-se que essa transformação atue de maneira a tornar a indústria da construção, antes fragmentada e complexa, cada vez mais padronizada, consolidada e integrada. Processos baseados em industrialização e produção *off-site*, novos materiais, novas ideias de negócios, e, principalmente, digitalização de produtos e processos estão entre os principais meios de mudança do *status quo* do setor. Dentre essas iniciativas, o uso do BIM se destaca por aproximar a fase de projeto das demais etapas do ciclo de vida da construção, aliado à criação de Gêmeos Digitais⁹, alimentados com informações relativas a tempo e custo, permitindo uma tomada de decisão mais baseada em dados, alterando consideravelmente os riscos envolvidos nos projetos (BARTLETT *et al.*, 2020; RIBEIRINHO *et al.*, 2020).

⁸ COVID-19 é o acrônimo dado pela *World Health Organization (WHO)* para **coronavírus disease of 2019**, (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2020).

⁹O conceito de Gêmeos Digitais – *Digital Twins (DT)* - foi inicialmente proposto no campo aeroespacial, sendo, anos mais tarde, inserido na indústria da construção, relacionado ao conceito de *smart cities*. DT é uma representação digital de um sistema físico que permite realizar diferentes simulações em um ambiente com ampla sincronicidade entre o sistema virtual e o sistema real. Os principais componentes de um DT são: componentes físicos, modelos virtuais e os dados que os conectam entre si (BOJE *et al.*, 2020).

2.2 BIM e as múltiplas acepções do conceito

Devido à crescente popularidade e variedade de aplicações, a definição de BIM tem sido, em alguns casos, associada a escopos específicos, que não contemplam todo o seu potencial de aplicação, provocando desde divergências contratuais até o entendimento equivocado das suas amplas possibilidades. De modo geral, é possível inferir que o significado atribuído ao BIM está comumente relacionado aos usos BIM propostos, isto é, ao objetivo fim da aplicação do BIM em um determinado empreendimento ou escopo em diferentes áreas de abrangência, seja numa região, indústria, instituição, companhia ou país. Essa constatação suscita a necessidade de se definir previamente com clareza os interesses no uso do BIM para que os envolvidos entendam o real objetivo da sua adoção, atribuindo a definição mais adequada ao termo em cada caso particular (GASPAR, 2019; LU; LAI; TSE, 2019).

Existem diversas definições de BIM. A Tabela 3 apresenta algumas das definições mais difundidas e aceitas no meio acadêmico, e outras encontradas em documentos BIM nacionais – *BIM Mandate* e *BIM Execution Plan (BEP)*, principalmente -, decretos nacionais - federal e estadual -, normas nacionais e internacionais e outros documentos de referência, considerados relevantes para construir a definição de BIM a ser considerada nesta pesquisa.

Tabela 3 – Definições de BIM

Documento	Categoria	Definição de BIM	Referência
Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders	Artigo de referência	“Conjunto de interações políticas, processos e tecnologias gerando uma “metodologia para gerenciar o <i>design</i> essencial da construção e os dados de projeto em formatos digitais ao longo do ciclo de vida da construção””.	Succar (2009)
<i>Building Information Modeling: Fundamentos e aplicações</i>	Livro de referência	“Um banco de dados integrado e estruturado, constituído por objetos paramétricos com informações dos setores de arquitetura, engenharia, construção e operações (AECO) que permite interoperabilidade”	Kensek e Noble (2014)
<i>BIM Handbook</i>	Livro de referência	“Uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para	Eastman <i>et al.</i> (2018)

		produzir, comunicar e analisar modelos de construção”.	
ISO 19650-1:2018	Norma internacional	“Uso de uma representação digital compartilhada de um ativo construído para facilitar os processos de projeto, construção e operação para forma uma base confiável para decisões”.	ISO (2018)
buildingSMART®	Entidade de referência	“Uma metodologia de trabalho colaborativo para a criação e gestão de um projeto de construção. Seu objetivo é centralizar todas as informações do projeto em um modelo de informação digital criado por todos os seus agentes”.	buildingSMART (2021)
<i>BIM Dictionary (BIMe Initiative)</i>	Entidade de referência	“Conjunto de tecnologias, processos e políticas que permitem aos múltiplos interessados de um empreendimento a colaborativamente projetar, construir e operar uma construção no espaço virtual”.	BIM Dictionary (2021)
National BIM Guide for Owners	Guia internacional	“A representação digital das características físicas e funcionais de uma instalação. Como tal, serve como um recurso de conhecimento compartilhado para obter informações sobre uma instalação, formando uma base confiável para decisões durante seu ciclo de vida desde a fase de inepção”.	NIBS (2017)
Decreto N° 10.306/2020	Decreto nacional	“Conjunto de tecnologias e processos integrados que permite a criação, a utilização e a atualização de modelos digitais de uma construção, de modo colaborativo, que sirva a todos os participantes do empreendimento, em qualquer etapa do ciclo de vida da construção”.	Brasil (2020)
Decreto N°48.146/2021	Decreto estadual	“Conjunto de tecnologias e processos integrados que permite a criação, a utilização e a atualização de modelos digitais de uma construção, de modo	Minas Gerais (2021)

colaborativo, de forma a servir a todos os participantes do empreendimento, potencialmente durante todo o ciclo de vida da construção”.

Fonte: Autor

De modo geral, pode-se afirmar as definições de BIM mencionadas apresentam divergências pontuais entre si, geralmente relacionadas à abrangência do termo, onde as definições mais abrangentes - BIM Dictionary (2021) e Succar (2009) - tratam como um conjunto de processos, políticas, ferramentas e tecnologias e as mais específicas - ISO (2018), NIBS (2017), Kensek e Noble (2014) - a uma representação digital da construção ou a um banco de dado integrados à modelos paramétricos.

Ao realizar uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) sobre o significado atribuído ao BIM ao longo do tempo no período entre 1962 e 2018 no seu trabalho de dissertação, Gaspar (2019) propôs a classificação dos significados de referência do acrônimo a partir de três postulados distintos: (I) processos de gestão e inovação, (II) uso de modelos digitais de uma construção e (III) sistemas computacionais que apoiam o desenvolvimento de projetos para o ambiente construído. Estes postulados sintetizam os principais significados atribuídos ao BIM. Dentre os significados de referência utilizados na pesquisa, destaca-se a definição proposta pelo *BIM Dictionary*¹⁰, iniciativa mantida pelo *BIMe Initiative*¹¹ como uma das mais abrangentes para o setor da AECO¹².

Com base na definição proposta pelo BIM Dictionary (2021), entende-se o BIM não somente como um conjunto de modelos, ferramentas ou sistemas para apoiar todo o ciclo de vida de um edifício, conforme os postulados (II) e (III), mas também como todo

¹⁰ O *BIM Dictionary* é um esforço promovido por um grupo de pesquisadores internacionais “(...) para estabelecer um recurso confiável e um entendimento comum de termos usados com frequência em todo o ambiente construído” (BIM DICTIONARY, 2020).

¹¹ O *BIMe Initiative* é uma iniciativa sem fins lucrativos mantida por pesquisadores voluntários da indústria e da academia para compartilhar conhecimento sobre a transformação digital no ambiente construído e promover políticas prescritivas de difusão do BIM no mundo.

¹² Embora não seja uma fonte diretamente ligada à produção científica formal trata-se de uma fonte confiável que traduz a realidade do mercado.

um arcabouço processual e político que permitirá este desempenho. Esta será a definição formal adotada nesta pesquisa.

2.3 O arcabouço de estruturação dos processos BIM: promovendo a adoção nas diversas escalas

Aspectos como: gerenciar a informação, definir um escopo preciso, incentivar o uso por meio de medidas estratégicas e assegurar a colaboração entre diferentes equipes no setor são essenciais para alcançar o sucesso da adoção do BIM. A definição de um processo rígido, rastreável e escalável é essencial para prevenir sobreposição de tarefas ou perda da informação. Por outro lado, esse processo deve permitir, ao mesmo tempo, uma flexibilidade para adaptar-se a diferentes escopos, permitindo sua reciclagem e reuso. Para apoiar a estruturação desses processos, diversos padrões, normas e leis nacionais e internacionais são estabelecidos. Essas iniciativas são essenciais por diversos motivos, dentre eles: propor padrões para troca de informação; estabelecer processos para o desenvolvimento de projetos; incentivar o uso do BIM na esfera pública e privada; definir objetivos para adoção do BIM por toda a cadeia; garantir a qualidade, legibilidade e interpretação da informação; dentre outros. Em consonância com padrões bem estabelecidos, é imprescindível que haja a criação políticas governamentais atuantes que promovam a adoção do BIM, estruturando metas, níveis de implementação, definindo setores estratégicos e corpo técnico consultivo adequado, considerando que o governo é o maior cliente de obras públicas e como consequência, um dos maiores propulsores da indústria da construção de um país (BORRMANN *et al.*, 2018; LEE; BORRMANN, 2020) .

2.3.1 BIM na escala mundial: ações governamentais e aspectos normativos

Dentre os padrões internacionais vigentes, a *The International Organization for Standardization*¹³ (ISO) é responsável por publicar e desenvolver o conjunto de normas ISO 19650 - *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) - Information*

¹³ <https://www.iso.org/>

management using building information modelling (ISO, 2018a) que se destaca por representar os padrões mais recentes e as melhores práticas para a indústria da construção, definindo processos colaborativos para o gerenciamento da informação em todas as fases do ciclo de vida de um empreendimento, utilizando o BIM. A ISO 19650, que começou a ser desenvolvida em 2014 e atualmente possui 4 partes publicadas dentre as 5 partes previstas, vide Tabela 4, é o resultado da internacionalização da norma britânica UK 1192. Como meio de incentivar e facilitar um consenso entre diferentes padrões e convenções internacionais já consolidados, a ISO prevê a inserção de Anexos Nacionais – *National Annex* - para que cada região ou país defina os padrões que serão utilizados para atender requisitos propostos. O Reino Unido se destaca como o primeiro país a ter seu anexo disponibilizado para consulta pública em 2020 (PAUL SHILLCOCK, 2019a, 2019b).

Tabela 4 - Normas internacionais BIM - ISO 19650

Parte	Subtítulo	Ano de publicação
ISO 19650-1	<i>Part 1: Concepts and principles</i>	2018
ISO 19650-2	<i>Part 2: Delivery phase of the assets</i>	2018
ISO 19650-3	<i>Part 3: Operational phase of the assets</i>	2020
ISO 19650-4	<i>Part 4: Information exchange</i>	Em desenvolvimento
ISO 19650-5	<i>Part 5: Security-minded approach to information management</i>	2020

Fonte: (ISO, 2021)

Diversas outras iniciativas relevantes de caráter normativo em consonância com políticas governamentais de incentivo e estruturação da adoção e uso do BIM, têm sido desenvolvidas em todo o mundo. Com apoio do governo e dos setores privados para fomentar a disseminação de normas e *BIM Mandates* baseados em padrões abertos, países como Cingapura, Finlândia, Hong Kong, Coreia, EUA, Reino Unido e Austrália formam a vanguarda internacional de políticas de adoção voltadas para o BIM (LEE; BORRMANN, 2020; MUSTAFFA; SALLEH; ARIFFIN, 2017). O Reino Unido é comumente reconhecido como um líder de adoção BIM no mundo. Desde 2016, o governo do Reino Unido exige que os fornecedores de construção que licitem projetos governamentais trabalhem no Nível 2 de adoção do BIM, inclusive para edificações e infraestrutura. Essa medida é considerada como uma das principais razões para o efeito *push-pull* do setor, que resultou também no desenvolvimento de diversas normas para o gerenciamento da informação em processos BIM (GEORGIADOU, 2019). Nos EUA, os primeiros esforços governamentais iniciaram-se em 2003, com o

programa 3D-4D-BIM pelo *General Services Administration* (GSA) – agência independente do governo norte-americano – que 4 anos mais tarde, em 2007, passou a exigir o uso de BIM em todos os projetos, mesmo ano em que foi publicada a primeira norma nacional pelo *National BIM Standard-United States®* (NBIM-US™), órgão que concentra regras baseadas em consenso com a indústria da construção americana, referenciando padrões existentes para troca de informações e boas práticas no setor (GSA, 2007; NIBS, 2007). Dentre os países escandinavos, a Finlândia possui uma longa e consolidada trajetória de adoção do BIM incentivada pelo governo local, exigindo o uso do BIM em todos os projetos desde 2007 pelo *Senate Properties*, com normas nacionais consolidadas, como a *Common National Requirements for BIM* (CoBIM) com foco na padronização dos usos BIM e *Common InfraBIM Requirements*, voltada para projetos de infraestrutura. A Noruega também se destaca por possuir diversas normas BIM nacionais publicadas e algumas ainda em desenvolvimento, produzidas pela *Standards Norway*, algumas delas baseadas nas ISO 19650, 12006 e BS EN 17412, com destaque para a NS 8360:2015 que trata sobre padrões para códigos e propriedades de objetos BIM (KOCH, 2017; LEE; BORRMANN, 2020; MUSTAFFA; SALLEH; ARIFFIN, 2017).

Na Austrália, a primeira estratégia de digitalização do setor da construção foi proposta em 2004, mas, de modo geral, a publicação do *NATSPEC National BIM Guide* (NATSPEC CONSTRUCTION INFORMATION, 2016) em 2011 e posteriormente revisada em 2016, é considerado um dos passos iniciais mais relevantes para a estruturação do BIM no país. Em termos normativos, o NATSPEC oferece suporte a padrões abertos desenvolvidos, como as normas ISO e os padrões estabelecidos pela *buildingSMART* e contempla uma série de documentos BIM, abordando aspectos como definições, requisitos de projetos, padrões de colaboração, documentação, dentre outros.

Na Ásia, Índia e China, dentre outros, também possuem esforços significativos em direção à implementação do BIM. A Índia possui um conjunto de normas recentemente

lançadas, denominadas BSCI:2020-2021¹⁴, com padrões e códigos exclusivos para o setor da construção nacional. Por outro lado, um estudo recente realizado por Ahuja *et al.*(2020), destaca o estágio inicial de adoção do BIM no país por diversos impedimentos, dentre eles, falta de iniciativa pública, carência de corpo técnico especializado e pouca padronização nos processos vigentes. Na China, a norma BIM nacional foi publicada em 2017 em consonância com uma série de regulamentos para promover sua disseminação, com esforços nesta direção desde 2001, com ações promovidas pelo Ministério da Construção. Por outro lado, ações de incentivo definitivas como observadas nos EUA e no Reino Unido ainda não são realidade, o que revela um caminho a ser percorrido (LIU *et al.*, 2017; ZHAO; WU; WANG, 2018).

Na América do Sul, o Chile foi o país a desenvolver mais cedo iniciativas governamentais em direção à adoção do BIM, realizando as primeiras licitações públicas exigindo seu uso em 2012. Destaca-se o papel do *PlanBIM*, iniciativa do governo chileno para aumentar a produtividade e sustentabilidade na indústria da construção no país, responsável por desenvolver normas BIM para projetos públicos, definindo termos de referência para contratação de projetos de forma padronizada. A exigência do BIM em obras públicas e de infraestrutura no Chile é obrigatória desde 2020 e será estendido para empreendimentos privados até 2025 (ARIEL CASTILLO, 2020; CONSTRUCCIÓN LATINOAMERICANA, 2017; PLANBIM, 2020). Na Argentina, o governo lançou sua estratégia de implementação BIM em 2017, prevendo a conclusão da última etapa até 2025, incluindo o desenvolvimento de bibliotecas de objetos BIM, firmação de convênios e elaboração de projetos estratégicos (BIMFORUM ARGENTINA, 2018). Um pouco mais tarde, em 2019, o Peru lançou seu plano de adoção BIM pelo governo – *Plan BIM Perú* - com base no Decreto N. 237-2019-EF, prevendo o uso do BIM em todas as obras públicas até 2030, um prazo consideravelmente maior do que outros países vizinhos (PERÚ, 2020). A Colômbia, por iniciativa da *Cámara Colombiana de la Construcción* (CAMACOL), através do *BIM FORUM Colombia*, disponibilizou, em 2019, o BIM KIT, uma série de guias de referência para adoção do BIM na indústria da construção. No ano seguinte, em 2020, foi lançada a Estrategia BIM Colombia, prevendo a adoção completa do BIM em

¹⁴ <https://www.bimcodesindia.com/>

projetos públicos até 2026 (CAMACOL, 2019, 2020). Além dos esforços individuais mencionados, destaca-se a iniciativa coletiva da *Red BIM de Gobiernos Latioamericanos*¹⁵ (*Red BIM Gob Latam*), uma organização fundada em 2018, que tem como objetivo unir países parceiros para acelerar a transformação digital e aumentar a produtividade no setor na indústria da construção sul-americana. Dentre os membros da *Red BIM Gob Latam*, estão Argentina, Brasil, Chile, Colômbia, Costa Rica, México, Peru e Uruguai (MACHADO; DELATORRE; RUSCHEL, 2020).

2.3.2 Iniciativas e estratégias para adoção do BIM no Brasil

O Brasil tem realizado diversos esforços públicos para adoção do BIM, principalmente a partir de 2017. Por outro lado, alguns impedimentos - não muito diferentes dos encontrados em outros países subdesenvolvidos - dificultam o crescimento da maturidade e uso do BIM tanto pelo governo quando pela iniciativa privada, que em grande parte, utilizam o BIM muito aquém das suas amplas aplicações, com foco, principalmente, na modelagem 3D, análise de interferências e extração de quantitativos. Dentre os principais problemas vigentes, três deles se destacam pela recorrência e por estarem altamente interconectados: conhecimentos e experiências insuficientes sobre BIM, resistência cultural da indústria da construção e problemas relacionados à interoperabilidade (BORGES VIANA; MARQUES CARVALHO, 2021).

O primeiro esforço governamental contundente para adoção do BIM no Brasil foi a instituição do Comitê Estratégico de Implementação do BIM (CE-BIM) por meio de um Decreto Federal, em 2017 (BRASIL, 2017), encarregado de propor a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM. Por outro lado, à essa altura, diversas normas BIM nacionais já estavam publicadas, com destaque para a primeira, a ABNT NBR ISO 12006-2:2010 (ABNT, 2010), atualmente substituída pela ABNT NBR ISO 12006-2:2018, intitulada “Construção de edificação - Organização de informação da construção Parte 2: Estrutura para classificação”, cujo texto é a tradução da norma internacional ISO 12006-2:2015. Além disso, a instauração do ABNT/CEE-134, a Comissão de Estudo Especial de Modelagem da Informação da Construção (BIM) em

¹⁵ <https://www.redbimgoblatam.com/>

2009 para desenvolver as normas BIM nacionais (CBIC, 2020), representa um dos primeiros esforços para contribuir efetivamente para implementação do BIM no país. O segundo marco governamental foi a publicação do Decreto nº 9.377 em 2018 (BRASIL, 2018), que instituiu a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM (Estratégia BIM BR) para preparar um ambiente estruturado e adequado para a difusão do BIM no país. O decreto também definiu o Comitê Gestor da Estratégia (CG-BIM), formado por representantes dos ministérios federais para viabilizar a implementação da Estratégia BIM BR e os objetivos específicos da estratégia, sendo eles:

- a) difundir o BIM e seus benefícios;
- b) coordenar a estruturação do setor público para a adoção do BIM;
- c) criar condições favoráveis para o investimento, público e privado, em BIM;
- d) estimular a capacitação em BIM;
- e) propor atos normativos que estabeleçam parâmetros para as compras e as contratações públicas com o uso do BIM;
- f) desenvolver normas técnicas, guias e protocolos específicos para a adoção do BIM;
- g) desenvolver a Plataforma e a Biblioteca Nacional BIM;
- h) estimular o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias relacionadas ao BIM;
- i) incentivar a concorrência no mercado por meio de padrões neutros de interoperabilidade BIM.

No mesmo ano, a Estratégia BIM BR foi promulgada pelo Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC) (MDIC, 2018), definindo um roadmap de implantação dividido em quatro fases (2018, 2021, 2024 e 2028), objetivando atingir os seguintes resultados:

- a) aumentar a produtividade das empresas em 10%;
- b) reduzir custos em 9,7%;
- c) Aumentar em 10 vezes a adoção do BIM;
- d) Elevar em 28,9% o PIB da construção civil.

Em 2019, por questões operacionais políticas, o novo Decreto nº 9.983 (BRASIL, 2019) foi publicado, revogando o anterior, publicado em 2018, porém com conteúdo praticamente idêntico. Em 2020, tem-se um novo marco, com a publicação do Decreto

nº 10.306 (BRASIL, 2020a), considerado o 1º *BIM Mandate* nacional, estabelecendo a utilização do BIM em obras estratégicas pelos seguintes órgãos federais: Exército Brasileiro, Marinha e Força Aérea; Ministério da Infraestrutura; Secretaria Nacional de Aviação Civil (SAC); e Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), com três fases de implementação previstas:

- a) primeira fase: a partir de 1º de janeiro de 2021 com foco na modelagem e extração de quantitativos e documentação 2D;
- b) segunda fase: a partir de 1º de janeiro de 2024 prevendo o acréscimo dos usos com foco em orçamentação, planejamento e *as built*.
- c) terceira fase: a partir de 1º de janeiro de 2028 prevendo o acréscimo dos usos com foco no gerenciamento e manutenção.

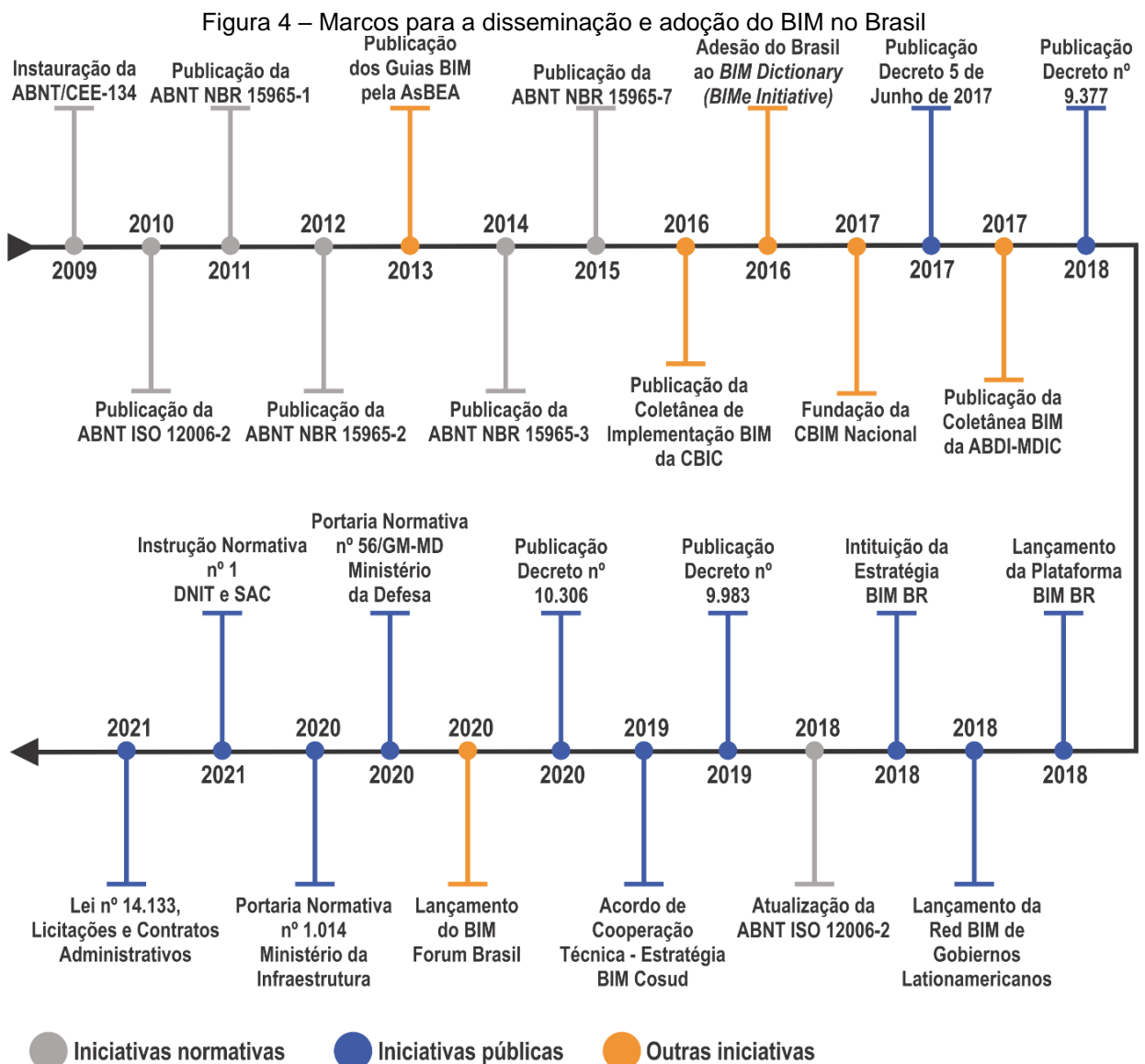
A instauração do decreto supracitado fomentou uma série de publicações legislativas por parte dos órgãos federais. Dentre as publicações federais, destacam-se:

- a) Portaria Normativa nº 56/GM-MD (BRASIL, 2020b), que definiu os empreendimentos, programas e iniciativas para a disseminação do BIM no Ministério da Defesa;
- b) Portaria Normativa nº 1.014 (BRASIL, 2020b), que constitui o Comitê BIM Infraestrutura para a disseminação do BIM no âmbito do Ministério da Infraestrutura;
- c) Instrução Normativa nº 1 (BRASIL, 2021a), que define critérios para a classificação dos empreendimentos piloto para implementação do BIM no SAC – com foco em aeroportos regionais - e no DNIT – com foco na reabilitação de obras de arte especiais.

Em 2021, a atualização da Lei de Licitações e Contratos Administrativos – Lei nº 14.133 -, representa um marco para o uso de BIM em obras e serviços de engenharia e arquitetura na esfera pública, indicando preferencialmente o uso do BIM sempre que adequado ao objeto de licitação (BRASIL, 2021b).

Outras iniciativas por parte de diversas entidades, associações da indústria da construção e estados da federação em apoio às iniciativas regulatórias públicas possuem papel fundamental para o desenvolvimento do BIM no país e podem ser considerados marcos para a trajetória de adoção, conforme apresentados na Figura

4. Dentre eles, destacam-se: os guias e manuais BIM da AsBEA (ASBEA, 2013), ABDI-MDIC (ABDI, 2017) e CBIC (CBIC, 2016); a fundação da Câmara Brasileira de BIM Nacional¹⁶, associação com foco na desenvolvimento tecnológico, difusão, e regulamentação do BIM no Brasil; a adesão do Brasil na tradução de termos do *BIM Dictionary*; e o recente lançamento do BIM Forum Brasil¹⁷, associação que tem como foco estimular a adoção do BIM no setor público e privado.



Fonte: Autor

¹⁶ <https://cbim.org.br/>

¹⁷ <https://www.bimforum.org.br/>

O desenvolvimento das normas BIM nacionais é de responsabilidade da já mencionada Comissão ABNT/CEE-134. Dentre suas atribuições, estão: desenvolver um sistema de classificação para a indústria da construção e desenvolver diretrizes para a criação de componentes BIM. O atual sistema de classificação da construção nacional, ainda em desenvolvimento, está baseado no sistema norte-americano *Omniclass™* e é composto pela combinação de diversos códigos de classificação organizados conforme 13 tabelas de referência (CATELANI; SANTOS, 2016). A Tabela 5 apresenta o estado atual e os respectivos títulos das normas BIM nacionais.

Tabela 5 - Normas BIM nacionais para classificação da informação da construção

ABNT NBR 15965 - Sistema de classificação da informação da construção		
Parte	Subtítulo	Ano de publicação
NBR 15965-1	Parte 1: Terminologia e estrutura	2011
NBR 15965-2	Parte 2: Características dos objetos da construção	2012
NBR 15965-3	Parte 3: Processos da construção	2014
NBR 15965-4	Parte 4: Recursos da construção	2021
NBR 15965-5	Parte 5: Resultados da construção	2022
NBR 15965-6	Parte 6: Unidades da construção	2022
NBR 15965-7	Parte 7: Informação da construção	2015
ABNT NBR 12006 - Construção de edificação - Organização de informação da construção		
Parte	Subtítulo	Ano de publicação
NBR 12006-2	Parte 2: Estrutura para classificação	2018
ISSO 19650 (traduções) - Organização da informação acerca de trabalhos da construção - Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção		
Parte	Subtítulo	Ano de publicação
ISO 19650-2:2018	Parte 2: Fase de entrega de ativos	2022
ISO 19650-1:2018	Parte 1: Conceitos e princípios	2022
ABNT PR 1015:2022 – Ambiente Comum de Dados (CDE)		
Parte	Subtítulo	Ano de publicação
Única	Ambiente Comum de Dados (CDE)	2022

Fonte: adaptado de (ABNT, 2020)

Há uma proposta para o desenvolvimento de um conjunto de normas relacionadas a Componentes BIM, prevista para ser publicada em 19 partes, cujo projeto prevê o

título: “Requisitos de Objetos para Modelagem da Informação da Construção (BIM)” (ABNT, 2020).

2.3.3 Esforços e incentivos para adoção do BIM em Minas Gerais

Além das iniciativas por parte do governo federal ou entidades de abrangência nacional, diversas outras iniciativas no nível estadual ou municipal vêm sendo desenvolvidas e contribuem significativamente para acelerar a disseminação e adoção do BIM no país. O estado de Minas Gerais, cuja capital é Belo Horizonte, tem realizado em conjunto com os seus respectivos municípios, diversos avanços nessa direção.

Ao avaliarem o grau de maturidade BIM em empresas de projetos industriais e comerciais na cidade de Belo Horizonte, Stehling e Arantes (2014) identificaram avanços mais significativos nas empresas de projetos industriais quando comparadas às de projetos de arquitetura. O estudo conclui que as empresas de projetos arquitetônicos estavam, à época, avançando em direção a substituição do processo de projeto baseado em CAD 2D por processos baseados em modelos BIM, enquanto as empresas com foco em projetos industriais já utilizavam modelos BIM há algum tempo e possuíam desafios mais voltados a questões de interoperabilidade. Quanto aos impedimentos para adoção do BIM pelas empresas, destacam-se, processos desconexos com os padrões determinados pelas normas BIM nacionais, dificuldade de comprometimento das equipes para apoiar os processos de implantação e dificuldade de se trabalhar colaborativamente.

Dentre os marcos projetuais para o uso de BIM por grandes contratantes nacionais, pode-se destacar a licitação pública para o desenvolvimento dos projetos para o Centro de Pesquisa René Rachou da FIOCRUZ Minas Gerais, em Belo Horizonte, considerado um marco para adoção do BIM pelo Departamento de Arquitetura e Engenharia da FIOCRUZ no Brasil e também no Brasil, à época (PEREIRA; CORREIA, 2019).

Na esfera pública estadual, destaca-se a recente publicação do Decreto nº 48146 (MINAS GERAIS, 2021), que trata sobre a Estratégia Estadual de disseminação do BIM (Estratégia BIM-MG). Outra iniciativa relevante advém das ações do Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem de Minas Gerais (DER/MG) em

parceria com Secretaria de Estado de Infraestrutura e Mobilidade (Seinfra) e a criação de um Plano de Implementação BIM para estruturar o aprendizado e aplicação do BIM nos empreendimentos públicos nos órgãos. Dentre as atividades previstas pelo plano, estão: a instauração de um grupo de estudos aberto a participação de diversos profissionais que atuam em órgãos do Estado; a criação do LABIM/MG, um espaço voltado para aprendizado, elaboração de contratos, cadernos de encargos e projetos de referência em BIM (BIMMG, 2021). A Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG), também possui ações voltadas à adoção do BIM, com destaque para a publicação do Manual para Desenvolvimento de Projetos em BIM.

No âmbito municipal, a Prefeitura de Belo Horizonte tem realizado ações em parceria com a Câmara Brasileira de BIM de Minas Gerais (CBIM-MG) para desenvolver um plano de implementação BIM.

Na iniciativa privada, pode-se destacar a ação do SEBRAE-MG, que realizada desde a oferta de cursos de capacitação voltados para o tema, como a promoção de eventos para fomentar o uso do BIM pela indústria da construção regional, através do Seminário BIM (SeBIM)¹⁸ – atualmente na sua 4ª edição – e também com foco na abordagem do BIM no âmbito acadêmico-científico, através do Encontro Acadêmico de BIM de Minas Gerais (EABIM)¹⁹ – atualmente na 5ª edição -, sendo ambos os eventos realizados em parceria com a CBIM-MG.

Dentre as ações por parte de entidades sem fins lucrativos, a CBIM-MG se destaca por representar um dos maiores esforços para a regulamentação, adoção, apoio e disseminação do BIM no estado. Fundada em 2018, a CBIM-MG é responsável por colaborar com a criação de políticas públicas relacionadas ao BIM, promover e realizar acordos de cooperação técnica entre instituições, celebrar convênios e acordos entre universidades, empresas e entidades públicas, dentre outras. Atualmente a CBIM-MG conta com 50 membros – profissionais e ou estudantes - em todo o estado e possui diversos convênios firmados com foco na capacitação, regulamentação e

¹⁸ <https://sevim.sebraemg.com.br/>

¹⁹ <https://www.cbim-mg.com/eabim>

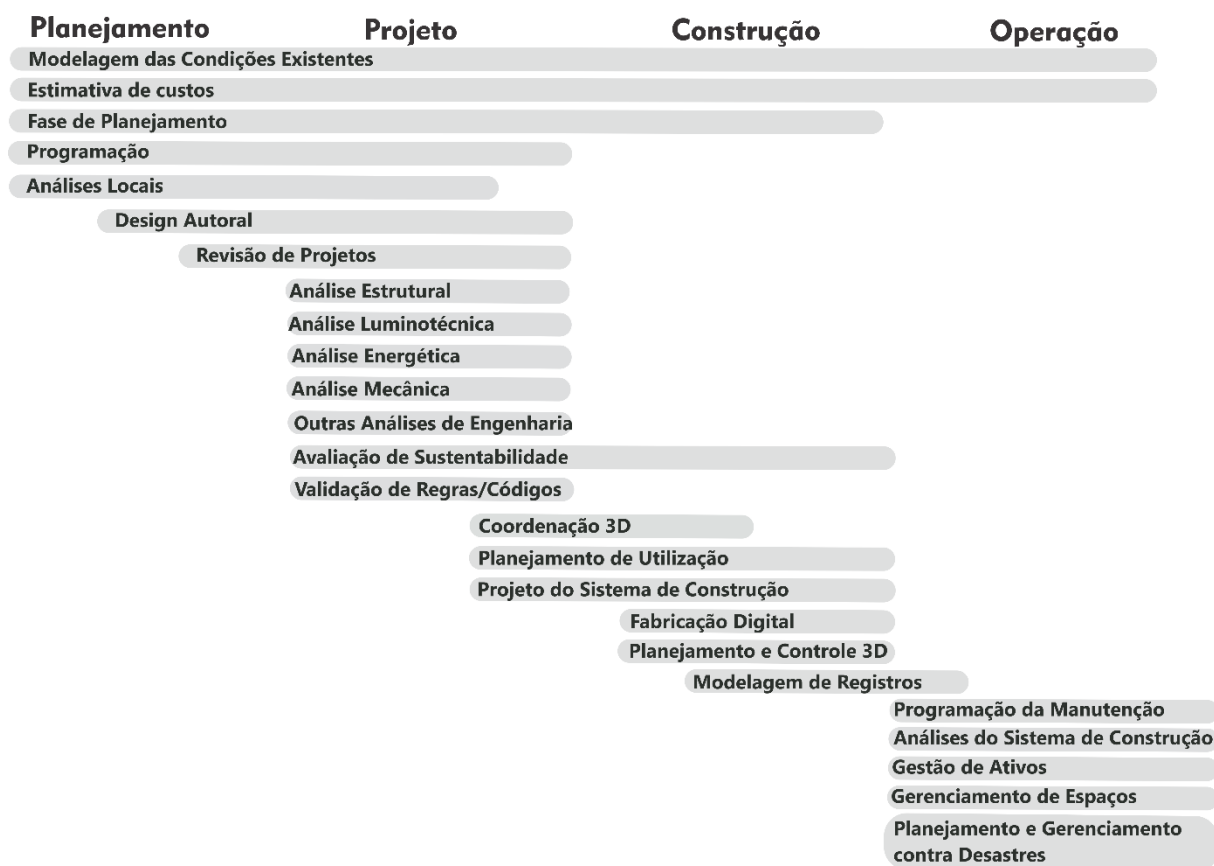
disseminação do BIM em todo o estado. Dentre os conveniados estão: empresas desenvolvedoras de softwares BIM, instituições de ensino superior, órgãos públicos municipais e estaduais, federações, entidades privadas e empresas (CBIM-MG, 2018).

2.4 Propostas de classificação dos usos do BIM

Conforme apresentado na subseção anterior, assim como são várias as instâncias públicas, privadas e institucionais onde o BIM pode ser utilizado, também são várias as possíveis aplicações específicas dessa utilização. Os usos do BIM contemplam uma vasta gama de ferramentas e processos que variam conforme o propósito de aplicação para garantir entregáveis adequados e atingir os resultados esperados. Existem diferentes taxonomias para classificar os diferentes usos do BIM, que consideram diferentes critérios e especificidades. Algumas das propostas de classificação mais comuns e aceitas no meio acadêmico são apresentadas nesta subseção.

Existem diversas formas de digitalizar os processos utilizados durante o ciclo de vida de uma edificação, o que torna os usos do BIM cada vez mais vastos e crescentes. Conforme a definição utilizada nessa pesquisa, o BIM não diz respeito apenas a edifícios, mas a diversos processos envolvidos em qualquer ativo construído. Devido à abrangência do termo, alguns autores vêm tentando catalogar suas aplicações de forma estruturada, o que contribui tanto para sua difusão, quanto para dar suporte à elaboração de contratos e documentos – Planos de Execução BIM (PEB), Planos de Implementação (PIB), Mandatos BIM, dentre outros – permitindo, assim, a definição precisa do escopo de aplicação do BIM. Uma das propostas de classificação dos usos do BIM mais difundidas, foi desenvolvida por Messner *et al.* (2019), um grupo de pesquisadores da *Pennsylvania State University*, e prevê 25 usos distintos, classificados com base nas fases do ciclo de vida de uma construção: planejamento, projeto, construção e operação, conforme é apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Usos do BIM



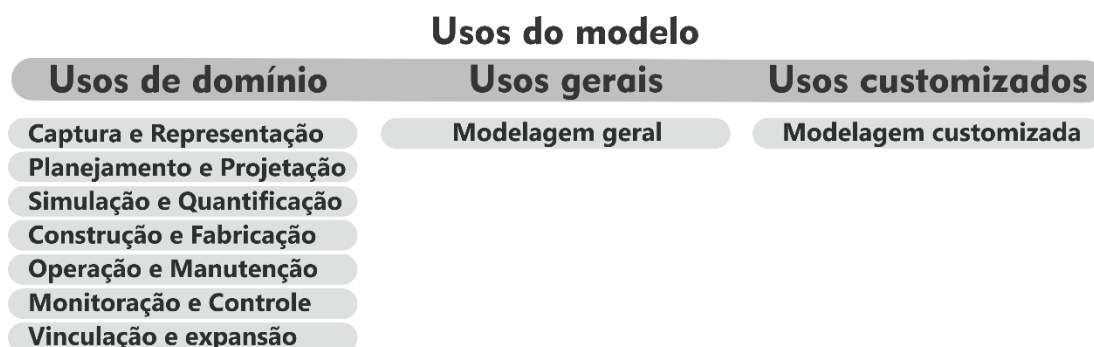
Fonte: Messner *et al.* (2019) (tradução do autor)

Outra classificação foi proposta pelo *BIMe Initiative* (2019) e propõe a subdivisão dos usos do BIM em três categorias distintas: *Document Uses* (Usos para documentação), *Data Uses* (Usos para dados) e *Model Uses* (Usos do modelo). Entende-se *Model Uses* como o conjunto de informações a serem entregues atribuídas aos modelos digitais da construção – modelos 3D. Dentre os usos do modelo, os autores propuseram uma nova subdivisão: *General Model Uses* (Usos gerais do modelo), *Domain Model Uses* (Usos de domínio do modelo) e *Custom Model Uses* (Usos customizados do modelo), conforme , juntas, as categorias contemplam 128 usos catalogados²⁰, dentre usos gerais e usos de domínio, além de outros usos customizados, cuja classificação não é prevista. Outras classificações como a do New

²⁰ Para acessar o documento original: <https://bimexcellence.org/resources/200series/211in/>

Zealand Handbook (BIM ACCELERATION COMMITTEE, 2019) se assemelham bastante com a desenvolvida por Messner *et al.* (2019).

Figura 6. Taxonomia dos usos dos modelos BIM



Fonte: *BIMe Initiative* (2019) (tradução do autor)

2.5 BIM e interoperabilidade: a importância de padrões para comunicar pessoas, processos e dados

Trabalhos desenvolvidos com equipes multidisciplinares em ambientes heterogêneos necessitam de um padrão de comunicação genuíno e unificado para que se alcance sucesso. Na AECO, a definição de um padrão para permitir a comunicação e colaboração entre equipes, modelos e dados é o principal caminho para a interoperabilidade. Existem diversas definições sobre interoperabilidade; uma definição consolidada a coloca como a habilidade de dois ou mais dispositivos trabalharem juntos em uma ou mais aplicações. A integração via APIs ou ligações diretas, por exemplo, é uma das formas mais elementares e seguras para garantir a interoperabilidade entre diferentes sistemas, cuja preocupação na indústria da construção é anterior à adoção do BIM, com as primeiras iniciativas na década de 1970, com foco em arquivos CAD 2D (KOSANKE, 2006; SACKS *et al.*, 2018).

Curiosamente, a indústria da construção parece entender a interoperabilidade como algo muito mais próximo de um objetivo a ser alcançado do que uma condição primordial. Além da grande quantidade de companhias atuantes no setor, com diferentes culturas e modos de trabalho, o alto número de soluções disponíveis para as mais diversas aplicações, muitas delas quase idênticas entre si, contribui para a formação de ilhas de automação, isto é, aplicações que performam bem somente no ambiente em que foram desenvolvidas, com sérias dificuldades para se comunicar

com soluções externas. Portanto, pode-se considerar a interoperabilidade uma questão com um vasto campo a ser desenvolvido e popularizado no setor, cujos caminhos para sua disseminação e aprimoramento esbarram justamente nos maiores desafios enfrentados pela indústria da construção, tais como:

- a) alto índice de fragmentação nos processos adotados – que dificulta o desenvolvimento de soluções integradas e interrompe a troca de dados entre aplicações que participam de diferentes etapas do ciclo de vida de uma edificação;
- b) relações curtas de trabalho entre equipes – que prejudicam ações colaborativas perenes, onde em muitos casos, as relações se mantêm apenas durante a elaboração de um único projeto, o que inviabiliza o desenvolvimento de soluções mais elaboradas, dando lugar a soluções imediatistas e pouco consistentes;
- c) soberania de interesses particulares em detrimento de ações conjuntas – devido à grande quantidade de companhias atuantes e à grande flutuação do mercado, principalmente em países subdesenvolvidos;

dentre outros (BORRMANN *et al.*, 2018).

Existem diversas razões que justificam a importância da interoperabilidade no setor da AECO. Muitas dessas razões estão ligadas ao impacto direto na evolução das etapas e manutenção da informação relativas ao ciclo de vida de uma edificação. O uso de padrões abertos pode prevenir por exemplo, problemas relacionados à incompatibilidade entre diferentes versões de *softwares*, além de facilitar o gerenciamento e governança dos dados presentes num modelo digital da construção. De modo geral, os atores envolvidos nos projetos utilizam diferentes ferramentas, plataformas e processos, que por diversas razões como (i) custos com aquisição de *software*, (ii) treinamento e capacitação, (iii) inadequabilidade, (iv) habilidade adquirida, (v) fluxo de trabalho definido, dentre outros, inviabiliza a migração para soluções diretamente compatíveis à toda equipe. Nesses ambientes, o uso de padrões abertos para garantir a interoperabilidade entre sistemas apresenta-se como uma solução adequada, por outro lado, quando não devidamente utilizados, podem

ocasionar perda de informação e dificuldade no compartilhamento de arquivos, aumentando os custos envolvidos no projeto com equipes e consultoria, gerando atrasos no cronograma de entregas, dentre outros (KENSEK, 2014).

O caminho para a interoperabilidade não é trivial. Diversos modelos para medir o nível de maturidade BIM²¹ relacionam a troca de informação por meios interoperáveis aos seus níveis mais avançados.

De acordo com a Matriz de Maturidade BIM (BIME INITIATIVE, 2016), as Áreas-chave de maturidade são classificadas em 5 diferentes categorias, onde na categoria Inicial – mais incipiente - “as trocas sofrem de uma grande falta de interoperabilidade” (p. 3), enquanto na categoria Otimizado – mais avançada – “todos os assuntos relacionados ao armazenamento, uso e troca de dados interoperáveis são documentados, controlados, refletidos e proativamente reforçados” (p. 3). Nota-se que além de garantir a interoperabilidade, o maior nível de maturidade BIM neste modelo, o faz de forma completamente rastreável e monitorada.

Outra proposta de análise do nível de maturidade é o *BIM Maturity Assessment* (BUILDINGSMART, 2021b), modelo desenvolvido pela Arup²² com base no *BIM Project Execution Planning Guide* do Departamento de Arquitetura e Engenharia da *Pennsylvania State University*. Este modelo classifica entre diversos outros critérios, a maturidade dos Projetos BIM, cuja classificação baseada na entrega de padrões abertos está prevista em 5 níveis distintos: indo desde o nível 0 ou Não Existente, que não prevê o uso de padrões abertos até o nível 5 ou Otimizado, no qual há a entrega bem sucedida de padrões abertos como IFC e COBie.

Outro modelo, o *BIM Capability Maturity Model* (CMM) (NIBS, 2015), desenvolvido pela NBIMS-US™, prevê, 10 níveis de maturidade BIM, partindo do nível 1 – mais incipiente – que não apresenta interoperabilidade e chegando até o nível 10 – mais

²¹ Conforme Eastman *et al.* (2018), um modelo de maturidade BIM “é uma ferramenta de referência para avaliar o nível de implementação do BIM em um projeto, em uma organização ou em uma região”.

²² <https://www.arup.com/>

avançado – no qual “todas as informações utilizam o IFC para interoperabilidade” (p. 6).

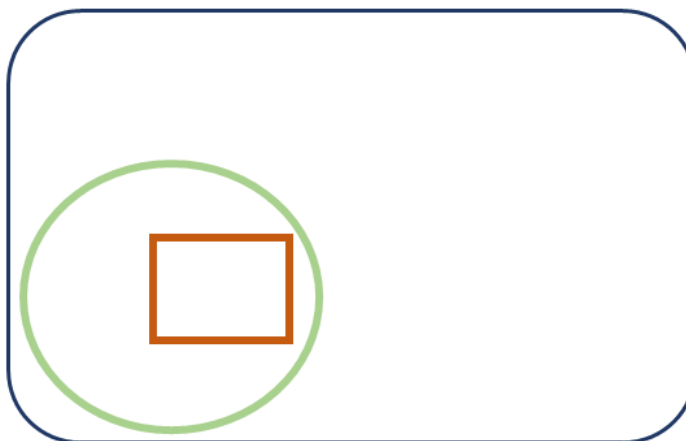
Mantido pela *buildingSMART*²³, o IFC é considerado principal padrão para troca de dados da indústria da construção. Em termos gerais, o IFC é um esquema de dados aberto, baseado na linguagem ISO-STEP EXPRESS e padronizado pela ISO 16739-1:2018 (ISO, 2018b) que descreve digitalmente os ativos da indústria da construção e permite a troca de informações entre diferentes sistemas. O IFC é um esquema amplo e complexo, que desde a sua criação em 1997, está em constante desenvolvimento para atender às diversas disciplinas e demandas da indústria da AECO. Atualmente o IFC está na versão 4.0 (IFC 4) (BORRMANN *et al.*, 2018; BUILDINGSMART, 2021c).

O MVD, outra iniciativa mantida pela *buildingSMART*, contribui especialmente para reduzir a perda de informação ao manipular modelos IFC e garantir a troca de dados adequada entre os diferentes atores que necessitam consumi-los em diferentes fatias e etapas. A definição de MVD está relacionada à extração de uma fatia do esquema IFC com foco no desenvolvimento de *softwares*, isto é, como o esquema IFC é demasiadamente amplo, necessita-se dividi-lo em fatias para que tanto os *softwares* quanto os CDEs possam lidar diretamente com as fatias que necessitam. Conforme explica van Berlo (2019), em termos do uso dos modelos digitais de construção baseados no IFC, acontece algo muito semelhante, uma vez que os atores geralmente lidam com disciplinas e informações específicas, e não precisam, necessariamente, lidar com todo o esquema IFC, tampouco com o respectivo MVD completo associado aos *softwares* utilizados. Surge, portanto, um outro requisito que deriva do MVD e representa uma fatia do seu conjunto, a partir do uso específico das entidades e informações contidas nos modelos IFC, com base nas informações necessárias a serem consumidas por cada ator, representada hierarquicamente, conforme a Figura 7. A documentação para se definir o conjunto de critérios e informações para essa troca de dados, dentre eles, o próprio MVD, é recomendada pelo *Information Delivery Manual* (IDM), padronizado pela ISO 29481-1. Entende-se o IDM como uma

²³ <https://www.buildingsmart.org/>

“documentação que reflete o processo de negócios e fornece especificações detalhadas das informações que um usuário que desempenha uma função específica precisaria fornecer em um ponto específico dentro de um projeto” (ISO, 2016, p. 3)

Figura 7 – Estrutura hierárquica de conjuntos para obtenção das informações específicas de um modelo com base nos usos particulares (em vermelho) a partir de um MVD (em verde), que é uma porção do esquema IFC completo (em azul).



Fonte: van Berlo (2019)

A garantia do acesso à informação e ao exercício de práticas colaborativas pelas equipes durante o ciclo de vida de uma construção é uma das condições fundamentais para se desfrutar dos maiores benefícios do BIM. O desenvolvimento dos modelos digitais de construção pelos diversos atores que participam de um fluxo de projeto, construção ou operação, é geralmente realizado por diferentes ferramentas e produzem diferentes tipos dados. Nesse processo, recomenda-se o uso de **modelos federados**, isto é, modelos globais que reúnem as diversas fatias dos respectivos atores que participam do projeto, disponibilizando-as para consulta num ambiente integrado e acessível às diferentes equipes, garantindo, ao mesmo tempo, a integridade de cada uma das fatias, uma vez que todo o controle de alterações e gerenciamento das informações são de responsabilidade apenas dos seus respectivos autores. Para facilitar o gerenciamento da informação e garantir a manutenção das fatias e a colaboração entre equipes, surge o CDE ou o Servidor BIM (BORRMANN *et al.*, 2018; SACKS *et al.*, 2018).

De acordo com a ISO 19650-1:2018, o CDE é “uma fonte acordada de informação para qualquer projeto ou ativo para coletar, gerenciar e disseminar cada conjunto de

informação por meio de um processo gerenciado” (n.p.), onde um fluxo de trabalho baseado no CDE descreve os processos a serem utilizados e o próprio CDE fornece a tecnologia para apoiar esse processo (ISO, 2018a). Em outros termos, pode-se definir um CDE como o registro central de todas as transações digitais num fluxo de projeto, sendo, portanto, uma “fonte única de verdade” (n.p.) para todas as equipes (EGAN, 2020).

A grande maioria dos CDEs são baseados em IFC, porém, existem também aqueles baseados em modelos de dados proprietários. Diferentes CDEs podem ser utilizados num mesmo empreendimento, portanto, tem-se novamente um problema de interoperabilidade, uma vez que permitir a integração entre eles é um novo desafio. Nesse sentido, o *openCDE*²⁴, um recente projeto, ainda em desenvolvimento e subsidiado pela *buildingSMART*, visa criar um padrão de interface via API para que diferentes CDEs possam trocar informações entre si, garantindo a interoperabilidade também nessa instância.

2.6 Redes de relacionamentos baseados no BIM

A conformação das redes de relacionamentos baseados no BIM pode assumir estruturas tão complexas quanto à natureza dos projetos de construção em que estão envolvidas, cuja compreensão dos papéis, *status* e agrupamento dos indivíduos que a compõem, assim como a identificação de possíveis falhas de comunicação, níveis de colaboração entre times e outros parâmetros de análise podem se tornar tarefas dispendiosas e imprecisas. Nesse sentido, a representação dessas redes através de um sistema de estrutura social pode simplificar a obtenção de dados, o processo de análise e a obtenção de resultados. Nesse propósito, a representação de sistemas e dados relacionais baseados em grafos é uma das mais comuns, sendo considerada útil por diversos motivos, dentre eles, permitir a visualização dos elementos que compõem o sistema de forma estruturada e simplificada, mapear relações existentes,

²⁴ <https://github.com/buildingSMART/OpenCDE-API>

identificar padrões, permitir análises topológicas, prevenir e identificar barreiras, orientar a tomada de decisão, dentre outros.

Dados relacionais podem ser extraídos de diversos sistemas formados por elementos interconectados, seja a partir de indivíduos que compõem uma equipe de projetos e sua respectiva rede de comunicação ou elementos construtivos que compõem uma edificação – concebida em ambiente físico ou digital - e sua respectiva interdependência ou associatividade mútua. O uso de grafos para representar redes de relacionamentos baseados no BIM não é um tema inédito e tampouco recente. O *BIM Handbook*, uma das mais antigas e relevantes literaturas sobre o BIM, apresenta uma breve citação em analogia à relação entre objetos paramétricos num sistema de modelagem e o uso de grafos orientados:

Em geral, a estrutura interna de uma instância de um objeto, como definida dentro de um sistema de modelagem paramétrica, é um grafo orientado, onde os nós são famílias de objetos com parâmetros ou operações que constroem ou modificam um objeto, e os arcos no grafo, relações de referência entre os nós (EASTMAN *et al.*, 2008, p. 44).

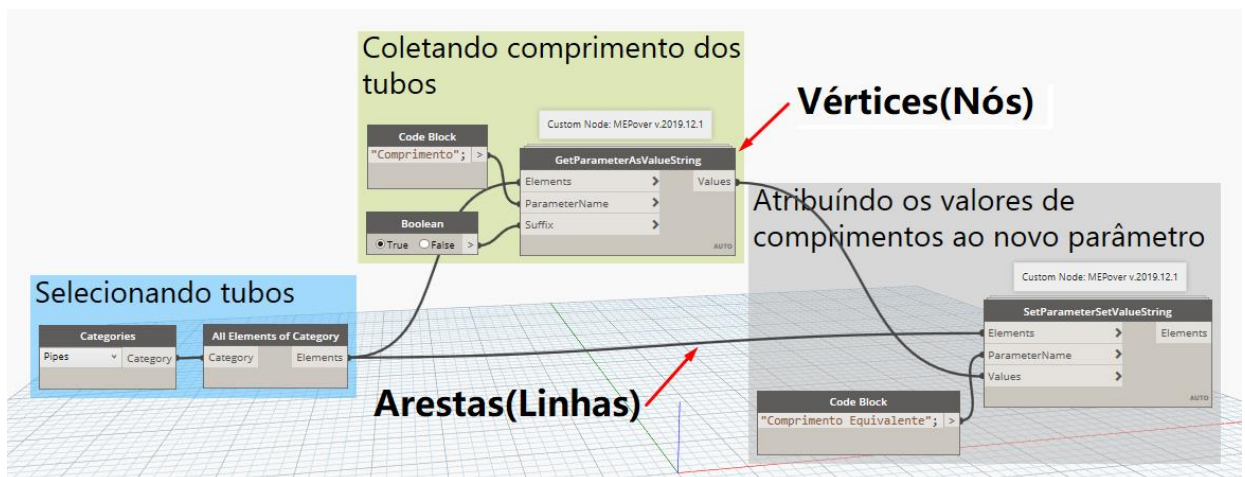
Os modelos BIM são compostos por um conjunto de objetos digitais que representam elementos reais da construção. Esses elementos são organizados por categorias ou classes e possuem diversos atributos e parâmetros que armazenam informações relativas a tempo, custo, manutenção, desempenho, características físicas, mecânicas, dentre outras. Quanto maior a quantidade de informações inseridas no modelo, mais complexos são os sistemas e os relacionamentos entre os objetos, dificultando o gerenciamento dessas informações e tornando-as, em alguns casos, inacessíveis. O uso de modelos baseados em grafos tem sido útil para representar conjuntos de dados complexos entre modelos e objetos BIM e seus respectivos dados associados (KARLSHOJ; SCHERER, 2018). De acordo com Isaac, Sadeghpour e Navon (2013), a integração entre modelos BIM e modelos baseados em grafos, fornecem:

- a) Uma representação integrada da informação em um modelo unificado;
- b) Ajuste e atualização de dados através de técnicas para implementar mudanças automáticas em grafos a partir de regras pré-definidas, processo conhecido como *Graph Transformation (GT)*;

- c) Análise da topologia do projeto e seus respectivos elementos e informações associadas, a partir da aplicação de algoritmos baseados na Teoria dos Grafos.

Grafos também estão presentes nas ferramentas baseadas em linguagens de programação visual – *Visual Programming Languages (VPL)* -, utilizadas para manipular objetos paramétricos e dados não-geométricos em modelos BIM. A programação visual permite a manipulação de dados através de grafos 2D, conforme mostrado na Figura 8, que utilizam nós e arestas pra vincular blocos de comandos e conectar informações – entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) - entre eles, estabelecendo relações paramétricas e criação de rotinas customizadas para automatizar tarefas e gerenciar dados, sem o uso de algoritmos textuais, tornando-se mais acessível a profissionais que não dominam as lógicas e linguagens de programação para lidar diretamente com a API²⁵ dos softwares BIM. Alguns exemplos de softwares de linguagem de programação visual são o *Grasshopper*, *Dynamo*, *PARAM-O*, *Marionette*, *Sverchok*, entre outros (KENSEK, 2015; KENSEK; NOBLE, 2014).

Figura 8 – Rotina de programação visual no *Autodesk Dynamo*, formada por nós e linhas conectados entre si para gerenciar informações no modelo.



Fonte: Autor

²⁵ *Application Programming Interface (API)* ou interface de programação de aplicações é um conjunto de protocolos usados no desenvolvimento e integração de softwares. A API simplifica a comunicação genuína entre sistemas e dentre outras possibilidades, permite realizar algumas customizações com base nas necessidades do usuário.

Outra aplicação baseada na representação através de grafos está relacionada a bancos de dados orientado a grafos em modelos BIM baseados em IFC (IFC-BIM). Inicialmente desenvolvida na década de 1980, os bancos de dados orientados a grafos têm ganhado destaque recentemente, por fornecer suporte a redes complexas de relacionamento onde dados relacionais são variáveis de interesse. O uso de formatos proprietários ou a ausência de métodos adequados para gerenciamento de dados, podem ofuscar informações relacionadas à elementos e suas respectivas interrelações nos modelos BIM. Ao lidar com padrões de dados abertos, a estrutura hierárquica rígida e complexa do esquema IFC, requer um conhecimento profundo das suas propriedades para manipulá-lo de forma a extrair as informações necessárias. A conversão de modelos IFC-BIM em um sistema de informação estruturado a partir de banco de dados orientado a grafos pode facilitar significativamente o processo de análise e exploração de dados nestes sistemas complexos e interconectados (CHEN *et al.*, 2019; ISMAIL; NAHAR; SCHERER, 2017; PENTEADO; SCHROEDER; HOSS, 2013).

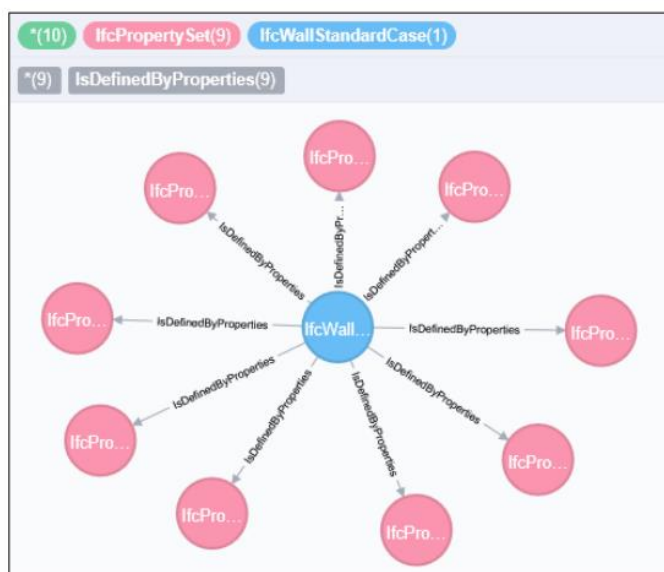
Existem diversos fluxos que permitem a obtenção de dados baseados em grafos a partir de modelos IFC-BIM. Ismail, Nahar e Scherer (2017) demonstraram um procedimento automático de conversão completa destes modelos utilizando o Neo4j²⁶, um sistema de gerenciamento de banco de dados orientado a grafo. No fluxo proposto pelos autores, foi gerado inicialmente um metamodelo IFC-BIM baseado em grafo (*IFC Meta Graph Model - IMG*) a partir do mapeamento do esquema IFC EXPRESS na plataforma *IFC WebServer*²⁷, para representar as classes IFC, seus atributos e as respectivas relações entre eles. Para se obter grafos a partir dos modelos, os autores realizaram a conversão dos modelos IFC em um grafo direcionado de objeto IFC (*IFC Object Graph - IOG*), onde cada objeto ou propriedade de objeto correspondem a um nó e contém informações sobre seus atributos, estando interconectados entre si através de linhas que representam as características das relações entre cada par conectado, conforme ilustrado na Figura 9. Diversas aplicações podem ser exploradas com a representação de modelos BIM a partir de modelos baseados em grafos, dentre

²⁶ <https://neo4j.com/>

²⁷ <https://ifcwebserver.org/>

elas, controle de acesso para segurança em edificações (SKANDHAKUMAR *et al.*, 2016), fase de concepção de projetos de arquitetura (DONATO, 2017) e relação entre espaços numa edificação (JIN *et al.*, 2018).

Figura 9 – Grafo orientado gerado a partir do modelo IFC, com destaque para a relação entre os *PropertySets* atribuídos a um determinado objeto.

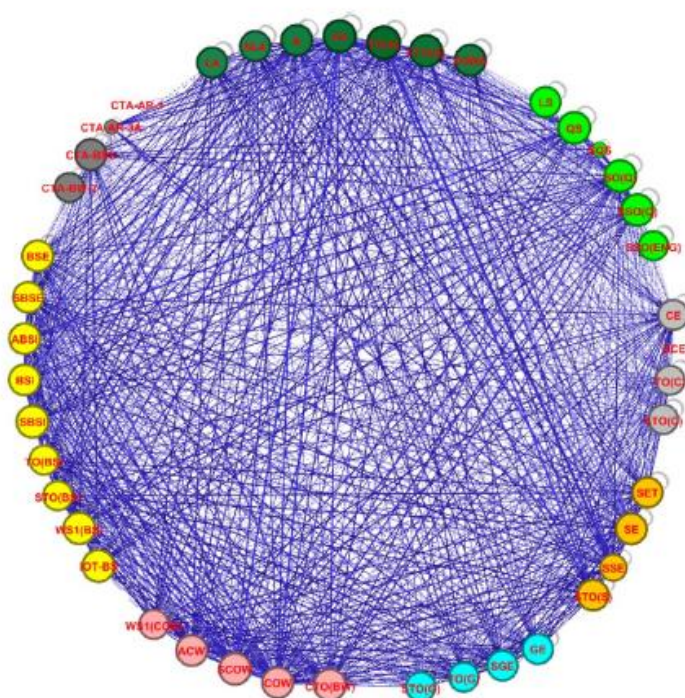


Fonte: Ismail, Nahar e Scherer (2017)

Outra forma de explorar a representação através de grafos está preocupada em estudar a relação entre indivíduos. Compreender a importância da colaboração entre as várias partes interessadas no setor da construção é fundamental para o sucesso na entrega de projetos utilizando o BIM. Diversas pesquisas acadêmicas e documentos técnicos destacam como a capacidade de aprimorar a comunicação e colaboração em equipes multidisciplinares é uma das principais contribuições que seu uso pode agregar. Por outro lado, pesquisas recentes ainda afirmam que esse potencial não é devidamente explorado nas redes de relacionamento entre profissionais no setor, o que mantém vivo o interesse em entender quais são as barreiras que dificultam o relacionamento entre os atores nessas redes e que contribuem para as conseqüentes falhas de comunicação e perda de informação. A área de estudo que contempla a aplicação de grafos em redes de relacionamentos entre indivíduos é denominada Análise de Redes Sociais (ARS) (LU; ZHANG; ROWLINSON, 2013; ORAEE *et al.*, 2017; WANG *et al.*, 2020). O uso de grafos pela

ARS está baseado na representação de indivíduos de diversas naturezas, através de nós conectados entre si por linhas, que simbolizam os diversos tipos de interação ou relacionamento entre eles. Esse método contribui para a análise visual completa da rede e na aplicação de métricas estruturais para identificar propriedades e características com base em padrões desenvolvidos a partir de métodos matemáticos estatísticos. Redes de relacionamento podem ser tão complexas quanto maior o número de envolvidos nas equipes em análise. A Figura 10 apresenta um grafo de estrutura circular que reflete a interação real entre profissionais envolvidos num projeto realizado em BIM, extraído da pesquisa desenvolvida por Lu, Xu e Soderlund (2020).

Figura 10 – Interação entre arquitetos, engenheiros, consultores e contratantes envolvidos num projeto realizado em BIM.



Fonte: Lu, Xu e Soderlund (2020)

2.7 BIM como um sistema social

A maioria das pesquisas sobre BIM, de modo geral, estão concentradas em aspectos estritamente técnicos, onde processos, ferramentas e habilidades profissionais são considerados essenciais para se obter sucesso em sua implementação. Por outro

lado, algumas pesquisas no campo das ciências sociais aplicadas têm dado destaque à influência que os aspectos sociais podem exercer em ambientes cuja rede relacionamentos está baseada no BIM, principalmente em termos de otimizar resultados em áreas fundamentais como comunicação, colaboração e fluxo de informação (LEE; BORRMANN, 2020; MASKIL-LEITAN; REYCHAV, 2018, 2019).

Os diversos processos que compõem cada uma das etapas do ciclo de vida de um ativo na indústria da construção demandam a participação de um grande grupo de agentes que interagem entre si durante diferentes fases e períodos de duração, formando grupos e subgrupos que se reorganizam a cada novo ciclo de tarefas. Estes grupos possuem caráter heterogêneo, formados por diversos agentes da AECO – arquitetos, engenheiros, clientes, empreiteiros, construtores, investidores, dentre outros – que possuem interesses, papéis e hierarquias distintas. Estes agentes, por sua vez, produzem e consomem grandes quantidades de dados relativos a um empreendimento, geralmente relacionados a elementos da construção, processos e ferramentas utilizadas, cuja manipulação e compartilhamento demandam, principalmente, da colaboração entre pessoas e times, baseada numa comunicação fluida e equilibrada que garanta um fluxo eficaz de informação, permitindo que os dados sejam entregues a quem precise consumi-los em formato adequado e tempo hábil. Nesse sentido, torna-se uma preocupação crítica entender a forma como estes agentes se relacionam e cooperam entre si para atingir os objetivos do grupo, uma vez que a sinergia entre pessoas, processos, políticas e ferramentas, não se constrói apenas sobre fatores técnicos, mas também sobre diversos fatores sociais. Portanto, entender o BIM como um sistema social é o ponto de partida para se definir um método para estudar a forma como os indivíduos que estão comprometidos com o seu uso e disseminação se organizam, produzem e consomem informação (ISHAK; ESA; ISMAIL, 2017; LEE; BORRMANN, 2020; MASKIL-LEITAN; REYCHAV, 2018, 2019; PRYKE, 2012; SUWAL; JÄVÄJÄ; PORKKA, 2013).

O estudo do BIM como um sistema social não é uma iniciativa inédita e tem sido explorado em diferentes contextos em pesquisas científicas, com foco na relação entre BIM e mídias sociais (SUWAL; JÄVÄJÄ; PORKKA, 2013), no desenvolvimento de uma plataforma audiovisual para aumentar a colaboração entre profissionais na

fase de concepção e projeto (ADAMU; EMMITT; SOETANTO, 2015), para explorar o BIM do ponto de vista da sociomaterialidade (BUHL; KEROSUO; ANDERSEN, 2017) e para estudar os aspectos sociais relacionados à adoção bem-sucedida do BIM em projetos de instalações prediais (TILLMANN, 2020). Destaca-se ainda, nesse tema, a ocorrência do workshop intitulado: *When Social Science Meets Lean and BIM*²⁸ - atualmente na sua 8ª edição e que tem como objetivo reunir pesquisas relacionadas ao BIM e ao *Lean Construction* cuja abordagem incorpora aspectos relacionados às ciências sociais e perspectivas humanísticas, fomentando tanto o desenvolvimento como a publicação de pesquisas na área, reunindo e ampliando a produção do conhecimento sobre o tema.

Conforme explica Parsons (2005, p. 15) em seu livro intitulado *The Social System*, um sistema social é “um modo de organização de elementos de ação relativos à persistência ou processos ordenados de mudança de padrões interativos de uma pluralidade de atores individuais”, isto é, trata-se de um sistema de processos de interação entre atores cujo resultado constitui uma rede de relacionamentos. Na forma mais elementar deste sistema podem-se distinguir duas unidades fundamentais: atores e elos relacionais. Os atores que participam de um sistema, por sua vez, estão sujeitos a dois aspectos intrínsecos à sua natureza e posição: status e papel social. De acordo com Parsons (2005), o status diz respeito à posição do ator no sistema em relação aos demais atores, enquanto que o papel social está relacionado à função do ator no sistema social. Estes dois aspectos, juntos ao elo relacional entre um ou mais atores, contemplam as três unidades analíticas elementares de um sistema social. Em ambientes baseados no uso do BIM, a existência de elos relacionais entre indivíduos – sejam Gerentes BIM, Modeladores BIM, Desenvolvedores BIM, Coordenadores BIM, Arquitetos, Engenheiros ou Clientes -, a forma como relacionam-se uns com os outros e o papel que ocupam, formam uma tríade que o caracteriza como um sistema social e são o ponto chave de exploração desta pesquisa.

Para além dos benefícios técnicos do BIM, amplamente difundidos pela literatura, o processo prático de aceitação e disseminação do BIM está amplamente relacionado

²⁸ Página web do workshop: <https://research.hud.ac.uk/institutes-centres/idl/lean-bim-workshop/>

a questões baseadas em forças, laços e estruturais sociais que ainda carecem de exploração científica (ISHAK; ESA; ISMAIL, 2017). Devido ao caráter heterogêneo dos sistemas sociais baseados no BIM, é possível mapear elos relacionais entre atores de natureza distintas, a exemplo de: pessoas, cargos ou responsabilidades, fatores, elementos da construção, termos, dentre outros. A disposição desses elos junto à posição dos atores dentro de um sistema social dá origem a uma rede de relacionamentos que pode assumir diferentes topologias, cuja análise pode contribuir para se identificar diversas barreiras e potencialidades relacionadas ao seu uso e adoção.

Nesse sentido, a adoção de estratégias adequadas para realizar essas análises é fundamental para se obter dados precisos que sirvam como base para a tomada de decisão, principalmente para identificar pontos de falha no fluxo de informação na rede, pontos com alto índice de informação concentrada e ou indivíduos e grupos isolados. Dentre estas estratégias, a ARS se destaca por possuir um conjunto de métricas e métodos que permitem realizar essas análises e garantir medidas de comparação para diagnosticar estas redes, sendo, portanto, o método adotado para exploração nesta pesquisa e o tema a ser explorado no capítulo que segue.

3. ANÁLISE DE REDES SOCIAIS: ESTUDO DAS RELAÇÕES A PARTIR DE MÉTODOS MATEMÁTICO-ESTATÍSTICOS

Esta seção apresenta o registro da revisão narrativa da literatura realizada com foco nas origens, definições, modelos e métricas da Análise Redes Sociais. Aspectos relacionados às bases matemáticas da Teoria dos Grafos também foram exploradas.

3.1 Considerações iniciais

O advento e popularização da *internet*, das redes sociais *online*, do uso de *smartphones* e outros dispositivos móveis podem ser considerados como um dos principais fatores para o aumento massivo do fluxo de informação, interconexão e complexidade nas relações sociais a partir do século XXI. As ferramentas disponíveis até então não conseguiram acompanhar os desafios dos sistemas complexos e principalmente da maior força motriz por trás de toda essa tempestade de informação: **dados**. O campo que mais se beneficiou dessa produção massiva e inesperada de dados é conhecido como teoria de redes, o que justifica a ascensão, no mesmo período, da Análise de Redes Sociais (BARABÁSI, 2012; GABARDO, 2015; KOLACZYK; CSÁRDI, 2014).

No campo das ciências sociais, o estudo das relações entre indivíduos que pertencem a uma determinada rede, é denominado Análise de Redes Sociais. Diferente de outros métodos analíticos, a ARS se concentra nas relações sociais entre estes indivíduos e não necessariamente nos próprios indivíduos. Os termos “redes” e “redes sociais” possuem um significado amplo, aplicado a um grande número de áreas do conhecimento e abordagens distintas, que ainda podem variar de acordo com o nível de formalidade. Por esse motivo, é útil apresentar os conceitos-base considerados nesta pesquisa relativos a estes e alguns outros termos-chave. Uma rede é um conjunto de itens interconectados, que no campo de ARS e da matemática, assume a forma de um grafo, modelo onde os itens podem ser chamados de vértices e as conexões entre eles, arestas (FREEMAN, 2014; KOLACZYK; CSÁRDI, 2014; NEWMAN, 2003).

Muitos conceitos e métodos analíticos da ARS estão fundamentados na Teoria dos Grafos, esta que se concentra no estudo de objetos combinatórios denominados

grafos, em diversos campos de aplicação como a matemática, engenharia, computação, biologia, entre outros. Dessa forma, grafos são modelos para representar a morfologia de uma rede que permitem diversas análises algébricas e visuais para a identificar padrões e quantificar propriedades nas relações sociais entre indivíduos. Quando estes indivíduos pertencem a um determinado grupo em análise – membros de uma equipe numa companhia, profissionais de um setor, estudantes de uma turma universitária, entre outros -, temos uma rede social (BARNES; HARARY, 1983; KILDUFF; TSAI, 2003; WASSERMAN; FAUST, 1994).

O conceito de rede social pode ser entendido a partir da definição pioneira proposta pelo antropólogo John Barnes, no célebre artigo “*Class and Committees in a Norwegian Island Parish*” publicado em 1954, em que compara um conjunto de indivíduos que apresentam diferentes níveis de relacionamento entre si, à imagem de uma rede composta por vários pontos interligados por linhas, onde “os pontos da imagem são pessoas, ou às vezes grupos, e as linhas indicam quais pessoas interagem entre si” (BARNES, 1954, p.43).

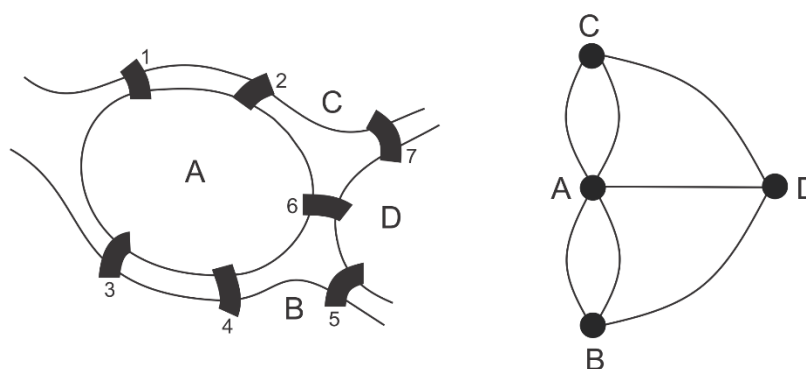
A ARS conforme conhecida e aplicada no contexto recente, se desenvolveu a partir de uma ou da combinação de quatro outras abordagens que foram adotadas como fundamento para pesquisas no campo das ciências sociais, sendo hoje, portanto, uma aplicação integrada baseada em: laços entre atores sociais; dados empíricos sistemáticos; grafos ou imagens e modelos matemático-computacionais. Essa última abordagem tem sido responsável por contribuir para a transformação do estudo de redes sociais, com métodos analíticos cada vez mais poderosos (FREEMAN, 2014; KILDUFF; TSAI, 2003).

3.2 Uma breve história da Análise de Redes Sociais

Embora os estudos sobre as redes organizacionais e redes complexas sejam mais recentes – século XX e XXI –, a Teoria dos Grafos, do matemático Leonard Euler (1741), que introduz a matemática da ciência de redes, é considerada como o primeiro avanço em direção a essa abordagem. Euler resolveu um popular enigma matemático intitulado “Problema das Sete Pontes de Königsberg”, referindo-se às sete pontes que conectavam uma ilha na atual cidade de Kalinigrado, na Rússia e as duas porções do

continente separadas pelo rio Pregel, entre si. O desafio proposto era provar ser ou não possível percorrer a cidade passando por todas as porções de terra conectadas, atravessando cada uma das pontes apenas uma vez e retornar ao ponto de partida, conforme apresentado na Figura 11. Como método para a solução do problema, Euler propôs um modelo abstrato composto por vértices (pontos) e arestas (linhas), onde os vértices representavam as ilhas e as arestas, as pontes, provando a partir desse modelo ser impossível realizar tal feito.

Figura 11 - Arranjo esquemático do Problema das Sete Pontes de Königsberg (à esquerda) e o modelo proposto pelo matemático Euler para provar a solução apresentada (à direita).



Fonte: Adaptado de Hage e Harary (2007)

O modelo utilizado por Euler foi pioneiro no uso de grafos para a solução de problemas complexos, fomentando o estudo dos grafos e fundando as bases da Teoria dos Grafos, ramo da matemática que está no cerne da ARS. Após a contribuição original de Euler, parece ter havido um hiato de aproximadamente um século para que avanços relevantes relacionados à Teoria dos Grafos fossem alcançados. De modo geral, destacam-se os trabalhos do físico alemão Robert Kirchhoff e sua célebre tese de doutorado em 1847 sobre a intensidade de correntes elétricas induzidas e do matemático britânico Arthur Cayley em 1857, que aplicou um conceito semelhante para descrever relações ligadas aos hidrocarbonetos na química (ALEXANDERSON, 2006; BARNES; HARARY, 1983; CARRINGTON, 2011; HARARY, 1969; KOÇAK, 2014; PEREZ; GERMON, 2016).

A aplicação da Teoria dos Grafos no campo das ciências sociais aconteceu um pouco mais tarde e está, de modo geral, associada à ideia de representar as propriedades formais das configurações sociais, a partir de diagramas onde indivíduos são representados por vértices e suas relações sociais com outros indivíduos por arestas.

Três grupos principais que atuaram nesta contribuição, sendo eles: analistas sociométricos, pesquisadores de Harvard da década de 1930 e antropologistas da Universidade de Manchester (SCOTT, 2000).

Entre os analistas sociométricos, destaca-se a contribuição essencial e embrionária das investigações de Jacob Moreno, precursor da Sociometria, que em sua obra denominada *Who Shall Survive?* (1934), traz a definição do sociograma como um processo para visualizar a posição de cada indivíduo dentro de um determinado grupo, bem como a inter-relação de todos os outros indivíduos. É importante mencionar que termos análogos àqueles da Teoria dos Grafos já vinham sendo utilizados anteriormente por diversos outros autores. A originalidade do uso empregado por Moreno está na aplicação tangível dos grafos para representar estruturas sociais abstratas. Em paralelo, na Universidade de Harvard, durante os anos de 1930 e 1940, as ideias do antropologista social Radcliffe-Brown influenciaram pesquisas voltadas para investigação das relações informais em redes de larga escala, levando à descoberta da presença de subgrupos coesos e a busca por métodos que pudessem evidenciar a estrutura desses subgrupos em diferentes redes. Na Universidade de Manchester, antropologistas ainda mais influenciados pelas ideias de Radcliffe-Brown desenvolveram estudos com foco em duas questões principais: conflitos e mudança, combinando as técnicas formais da análise de redes com conceitos sociológicos (FREEMAN, 2014; SCOTT, 2000).

A partir das propostas de Moreno, sociogramas e outras representações dimensionais continuaram sendo amplamente utilizadas pelos analistas de rede em diversas abordagens. Ao final da década de 1940, surgiram as primeiras contribuições matemáticas para as análises de rede, com o uso de matrizes para representar dados sociais. Nas décadas seguintes – anos 1950 e 1960 - foram desenvolvidos muitos dos conceitos atuais da ARS, tais como: densidade, extensão, conectividade, agrupamento e multiplexidade na busca de maneiras de descrever propriedades de estruturas sociais e ambientes sociais individuais. Além disso, diversas outras noções teóricas posteriores também vieram a contribuir com o desenvolvimento dos métodos de ARS (WASSERMAN; FAUST, 1994).

Um pouco mais tarde, nas décadas de 1960 e 1970, os três grupos principais supracitados se reuniram em Harvard, momento em que se forjaram as bases da moderna teoria de análise de redes sociais. Na década de 1980, as pesquisas sobre modelos estatísticos para redes sociais aumentaram consideravelmente, permitindo a proposição de métodos para analisar uma grande variedade de dados de redes sociais. Nas últimas três décadas, a ARS tem sido cada vez mais difundida para abordar uma gama crescente e diversificada de temas, tais como: questões de organização de rede de gerenciamento, organizações empresariais, gestão de negócios e ciências da saúde. Nas últimas duas décadas, testemunhou-se o rápido crescimento de pesquisas com Análise de Redes Sociais (ARS) aplicadas em pesquisas de gerenciamento de projetos de construção (HULST, 2009; SCOTT, 2000; WASSERMAN; FAUST, 1994; ZHENG *et al.*, 2016).

Além disso, o rápido desenvolvimento de ferramentas de suporte à ARS – tais como UCINET, PAJEK e *Gephi* – promoveu sua aplicação como método-chave para projetos de pesquisa híbridas, permitindo e facilitando o entendimento de tópicos relevantes em pesquisas de gestão, tais como transferência de conhecimento, mobilização de recursos e construção de consensos (ZHENG *et al.*, 2016).

3.3 Base conceitual da Análise de Redes

Conforme apresentado acima, a busca por um modo para avaliar organizações complexas de entidades interrelacionadas entre si culminou no surgimento da análise de redes, um instrumento analítico com implicações teóricas, que podem ser utilizadas em diversas aplicações distintas. A análise de redes realiza questionamentos sobre quem se relaciona com quem, sobre o conteúdo e a forma dessas relações, sobre a existência de um padrão, sobre a relação entre o padrão e o comportamento identificado na sua essência e sobre o comportamento e relação deste padrão com outros fatores sociais dentro da rede (BOISSEVAIN, 1979; WELLMAN, 1983).

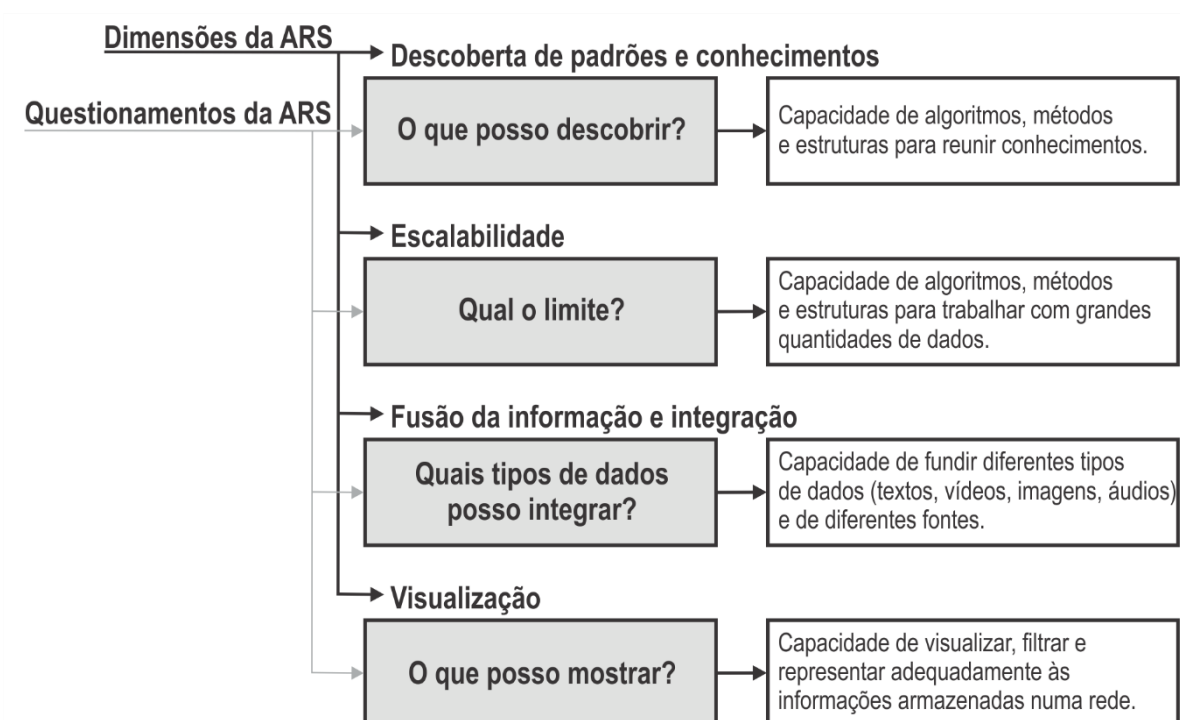
A Análise de Redes Sociais é, portanto, uma estratégia baseada no estudo da interação entre atores sociais, a partir da análise de redes, para investigar estruturas e fenômenos sociais, que contempla um conjunto de métodos quantitativos aplicados a dados relacionais. A partir da aplicação de diferentes métricas analíticas, tais dados podem contribuir para a obtenção de outras informações valiosas que identificam e

descrevem padrões de comportamento na rede, fluxos de informação, intensidade das relações, grupos com interesses em comum, entre outras (FREEMAN, 2014; OTTE; ROUSSEAU, 2002).

Os dados estão no cerne da ARS, o que tornam sua integridade e qualidade uma preocupação primária neste campo de estudo. A grande quantidade de dados relacionais existente numa rede complexa de indivíduos possibilita diversas interpretações para a obtenção de informações de interesse na rede a partir das métricas de ARS, o que a torna cada vez mais importante para cenários onde há um número crescente de informações e complexidade envolvida, a exemplo dos serviços de *Big Data*. Por outro lado, esse montante pode ser considerado um fator contraproducente, pois muitos desses dados não são relevantes em análises específicas, podendo dificultar, ofuscar ou confundir os resultados. A escolha adequada tanto das ferramentas analíticas como da representação da rede são fundamentais para elucidar padrões e informações relevantes, facilitando o processo de análise (BUTTS, 2009; CHANG, 2018; HIGGINS; RIBEIRO, 2018; LAZEGA; HIGGINS, 2014).

Com base em modelos que permitem medir a maturidade de diferentes métodos, ferramentas e tecnologias baseadas em *Big Data*, Camacho *et al.* (2020) estabeleceram as **quatro dimensões da ARS** a partir de quatro questionamentos fundamentais, para mensurar a capacidade de diferentes métodos, técnicas, algoritmos e arcabouços em contribuir para o campo da ARS. Segundo Camacho *et al.* (2020), as dimensões da ARS estão correlacionadas a questionamentos, conforme apresentados na Figura 12 e discutidos em seguida.

Figura 12 - As quatro dimensões e questionamentos fundamentais da ARS



Fonte: Adaptado de Camacho *et al.* (2020)

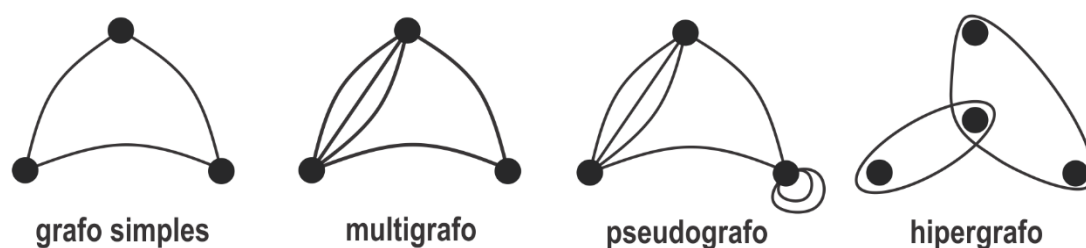
A extração de informações valiosas a partir de um conjunto maior de dados contribui para a confiabilidade e veracidade dos resultados e está diretamente ligada ao objetivo da **primeira dimensão** da ARS – Descoberta de padrões e conhecimentos - , que busca avaliar técnicas, métodos ou ferramentas utilizadas para obter novas informações relevantes a partir de um conjunto prévio de dados. Camacho *et al.* (2020) propuseram uma taxonomia para as diferentes métricas propostas pela ARS para quantificar o grau de valor que cada uma dessas ferramentas fornece. Cabe enfatizar o destaque dado pelos autores ao trabalho insuperável de Wasserman e Faust (1994) neste campo, cujas métricas e técnicas mais comuns da ARS, apresentadas neste e em outros trabalhos relevantes, serão aprofundadas mais adiante neste capítulo. Ainda com base nos desafios criados com os *Big Data*, a **segunda dimensão** da ARS – Escalabilidade – busca definir e quantificar a capacidade das ferramentas utilizadas na ARS serem aplicadas em larga escala, ou seja, refere-se às técnicas que garantem a estabilidade e qualidade analítica conforme o aumento ou complexidade das análises elaboradas. Essa característica é fundamental para garantir a continuidade e confiabilidade dos dados conforme o avanço de uma determinada pesquisa ou estudo de caso. A **terceira dimensão** – Fusão da informação e integração - proposta pelos

autores (CAMACHO *et al.* 2020) refere-se à diversidade dos dados disponíveis nos diferentes campos da ARS e tem como objetivo mensurar os diferentes aspectos relacionados à variabilidade da natureza destes dados. A forma de representação dos dados é uma das questões-chave de qualquer processo que envolva a ARS e está contemplada na **quarta dimensão** da ARS – Visualização – cujo objetivo é medir a capacidade das ferramentas e métodos em representar a informação armazenada na rede. A forma visual mais comum de representação de uma rede na ARS está baseada na estrutura elementar de um **grafo** (CAMACHO *et al.*, 2020).

Um grafo, conforme já apresentado, é um modelo para uma rede social baseado numa relação social entre os indivíduos que pertencem a um determinado grupo de interesse. Na estrutura elementar de um grafo, no campo da ARS, os nós representam atores – indivíduos – e as linhas representam os vínculos entre indivíduos. Na Teoria dos Grafos, os nós e linhas passam a ser tratados como vértices – ou pontos - e arestas, respectivamente (WASSERMAN; FAUST, 1994).

Devido à ausência de um padrão na nomenclatura na Teoria dos Grafos, o termo “grafo” pode se referir a diferentes arranjos, conforme a Figura 13. Um grafo simples designa um espaço relacional G que consiste em um conjunto finito não-vazio $V = V(G)$ de elementos chamados vértices e um conjunto finito $E = E(G)$ de pares distintos desordenados de elementos distintos de $V(G)$, chamados de arestas. $V(G)$ representa o conjunto de vértices e $E(G)$ o conjunto de arestas de $G(E, V)$, onde uma aresta $\{v, w\}$ une os vértices v e w , respectivamente. Além dos grafos simples, existem outras categorias de grafos que apresentam aspectos particulares, tais como os multigrafos, que permitem mais de uma aresta entre dois vértices distintos, pseudografos ou grafos gerais, que compartilham das mesmas propriedades dos multigrafos acrescidas da ocorrência de arestas que conectam um vértice a ele mesmo – *loop* -, e hipergrafos, que consideram arestas entre um subconjunto de vértices. Neste trabalho, o termo “grafo” será utilizado para se referir estritamente aos grafos simples, sendo este tipo de grafo o mais adequado para ARS, pois uma única relação entre um par de indivíduos é mensurada (HIGGINS; RIBEIRO, 2018; WASSERMAN; FAUST, 1994; WILSON, 1996).

Figura 13 – Tipos de grafos



Fonte: Autor

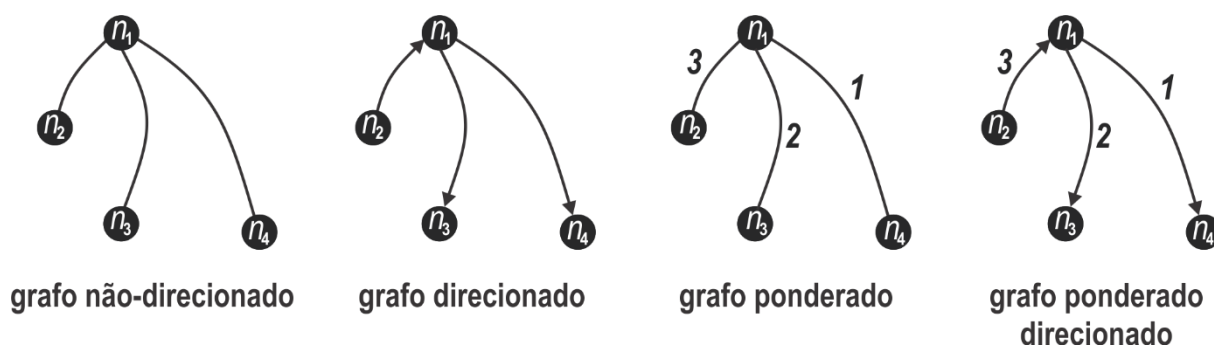
As composições elementares de um grafo – vértices e arestas – possuem diferentes atribuições e categorias. Assim como os vértices podem representar atores distintos, como pessoas, softwares e empresas, as arestas podem representar diversos tipos de dados relacionais, tais como, não-direcionado, direcionado, ponderado ou ponderado direcionado. Na ARS, as propriedades dos dados relacionais são informações prioritárias, enquanto as propriedades individuais dos atores são secundárias, o que torna a natureza dos dados relacionais um fator essencial para permitir a compreensão completa dos fenômenos sociais (OTTE; ROUSSEAU, 2002; SCOTT, 2000; WILSON, 1996).

O sentido do fluxo das relações entre indivíduos numa rede pode ser expresso considerando-se um grafo G' que é um par (V, E) onde $V(G')$ é um conjunto finito de vértices e $E(G')$ representa as arestas em V – um subconjunto de pares ordenados de elementos de $V(G')$. Se a relação de vínculo entre os vértices possui uma direção única – deriva de um vértice em direção ao outro – tem-se, portanto, um **grafo direcionado**, onde as arestas são representadas como um segmento de reta ou curva com uma seta em uma das suas extremidades. Se (u, v) é uma aresta direcionada ($u \rightarrow v$), então u é a adjacente a v e vice-versa, portanto, u e v são incidentes na aresta (u, v) . O grafo **não-direcionado**, conforme a Figura 14, não considera a direção das relações entre indivíduos, portanto, apenas as relações dicotômicas – 0 ou 1 - são relevantes (HIGGINS; RIBEIRO, 2018; OLIVA, 2004; SCOTT, 2000; WILSON, 1996).

É comum que às relações entre indivíduos numa rede seja atribuído algum valor ou peso. As arestas de um grafo G podem refletir a intensidade das relações entre os

vértices a partir de um valor numérico atribuído a cada uma delas individualmente, e temos, portanto, um **grafo ponderado**, onde o número atribuído a cada aresta e de G é o peso de e , denotado por $w(e)$. Um **grafo ponderado direcionado** possui, portanto, pesos atribuídos às arestas, bem como um sentido específico na relação entre os vértices, conforme Figura 14 .

Figura 14 - Grafo não-direcionado, direcionado, ponderado e ponderados direcionado

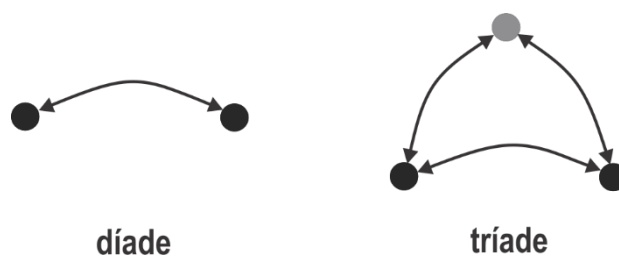


Fonte: Autor

Alguns autores ainda consideram ponderações não-numéricas, tais como letras ou cores atribuídas às arestas como método para diferenciar a intensidade das relações entre indivíduos (CHARTRAND; ZHANG, 2012; SCOTT, 2000; WASSERMAN; FAUST, 1994).

Em um grafo, podem haver subconjuntos de elementos – vértices e arestas – denominados **subgrafos**. De modo geral, pode-se obter um subgrafo a partir de um grafo, excluindo-se arestas ou vértices. O subgrafo de um grafo G é um outro grafo G_s , cujos vértices pertencem a $V = V(G)$ e as arestas pertencem a $E = E(G)$. Se as arestas em G_s são denotadas por $E_s = E_s(G_s)$ e os vértices por $V_s = V_s(G_s)$, todas as arestas em E_s devem estar entre pares de vértices em V_s . Entretanto, como E_s é um subconjunto de E , devem haver arestas E entre pares de vértices V_s que não pertencem a E_s . Há dois tipos especiais de subgrafos: díade e tríade, conforme exposto na Figura 15.

Figura 15 – Tipos especiais de subgrafos

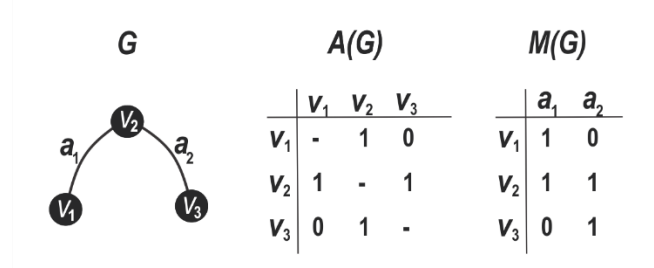


Fonte: Autor

Uma **díade** é representada por um par de atores e a possibilidade de relação entre eles, portanto é um subgrafo formado por um par de vértices a uma possível aresta entre eles. Uma **tríade** também é um subgrafo, composto por três vértices e a possibilidade de arestas entre eles. Enquanto na díade, há apenas duas possibilidades distintas – com aresta ou sem aresta – na tríade, este número pode chegar até quatro possibilidades – uma, duas, três ou nenhuma aresta - entre os vértices. É importante mencionar nesta seção o célebre artigo de Mark Granovetter de 1973 intitulado “*The strenght of weak ties*”, onde o autor alerta para a improvável – e até impossível - ocorrência de uma tríade com apenas duas arestas, uma vez que uma terceira aresta entre os vértices não conectados sempre estará presente, independente da sua intensidade e ou natureza, devido à presença prévia das outras duas (GRANOVETTER, 1973; WASSERMAN; FAUST, 1994; WILSON, 1996).

Grafos são construídos a partir de adjacências ou incidências, permitindo que sejam também representados a partir de uma variedade de tipos de **matrizes**. Essa representação pode ser útil para identificar algumas propriedades específicas num grafo. Um grafo pode ter diversos tipos de matrizes associadas, tais como: matriz de adjacência - *adjacency matrix* -, matriz de incidência - *incidence matrix* -, matriz de ciclo - *cycle matrix* - e matriz de cociclo - *cocycle matrix*. Destacam-se os dois tipos mais usuais de matrizes associadas a grafos: matriz de adjacência $A(G)$ e matriz de incidência $M(G)$, respectivamente apresentadas na Figura 16 (HARARY, 1969; SCOTT, 2000; WASSERMAN; FAUST, 1994; WILSON, 1996).

Figura 16 – Exemplo de um grafo simples e suas correspondentes matrizes de adjacência e de incidência



Fonte: Autor

A **matriz de adjacência** ou **sociomatrix** indica se dois vértices são adjacentes ou não. Dois vértices são considerados adjacentes se há uma aresta unindo-os e os vértices são incidentes com essa aresta. Dado um grafo simples G , a matriz de adjacência $A(G) = g \times g$ correspondente, com g linhas e g colunas, contém uma coluna e um linha para cada vértice v , ordenados da forma $1, 2, \dots, g$. Dado o elemento a_{ij} pertencente à matriz $A(G)$, se os vértices v_i e v_j são adjacentes, então $a_{ij} = 1$, caso contrário, $a_{ij} = 0$ (WASSERMAN; FAUST, 1994; WILSON, 1996)

A **matriz de incidência** registra quais linhas são incidentes em cada um dos vértices. Dado um grafo simples G , a matriz de incidência $M(G) = g \times L$ correspondente, com g linhas e L colunas, contém uma linha para cada vértice v e uma coluna para cada linha l . Dado o elemento m_{ij} pertencente à matriz $M(G)$, se o vértice v_i é incidente com a linha l_j , então $m_{ij} = 1$, caso contrário, $m_{ij} = 0$. Diferente da matriz de adjacência, a matriz de incidência não será necessariamente quadrada, ou seja, o número de linhas e colunas podem ser diferentes (WASSERMAN; FAUST, 1994).

A Teoria dos Grafos contempla ainda uma série de termos, definições e propriedades úteis a esta pesquisa que serão devidamente mencionadas a seguir. Para prevenir inconsistências ou interpretações equivocadas, alguns termos não serão traduzidos do inglês, conforme o padrão adotado por Higgins e Ribeiro (2018). No que diz respeito à literatura, dentre as obras mais relevantes consultadas sobre o tema, destacam-se: Abrahams; Hassanien; Snásel, (2010); Bollobás, (1998); Chartrand; Zhang, (2012); Hanneman; Riddle, (2005); Harary, (1969); Scott, (2000); Wasserman; Faust, (1994); Wilson, (1996).

Um dos conceitos mais utilizados na Teoria dos Grafos é a **densidade**. Um grafo completo é aquele cujos vértices são adjacentes uns aos outros, ou seja, cada vértice está conectado diretamente a todos os outros. O conceito de densidade busca mensurar a que distância que o grafo em análise está deste estado de interconexão plena, e quanto maior a densidade de uma rede, maior a interconexão entre os seus vértices. Dado um grafo G , com um número g de vértices, a densidade Δ de G é obtida pela razão entre o número de arestas existentes, L , e o máximo possível:

$$\Delta = \frac{2L}{g(g-1)} \quad (1)$$

A densidade de um grafo pode variar entre $\Delta = 0$, se $L = 0$ e $\Delta = 1$, se todas as arestas possíveis estão presentes (SCOTT, 2000; STEKETEE; MIYAOKA; SPIEGELMAN, 2015; WASSERMAN; FAUST, 1994; ZHANG, 2010).

Dado um vértice v_i , o **grau** de v_i , expresso como $d(v_i)$, representa o número de arestas incidentes a v_i , que de forma equivalente indica o número de vértices adjacentes a v_i . O grau de um vértice é uma propriedade importante para se obter outras métricas, como a reciprocidade e a centralidade de um grafo. É possível mensurar o **grau médio** de uma rede, representado por \bar{d} , e a **variância dos graus**, representada por S_D^2 . Se todos os graus dos vértices de uma rede são iguais, este grafo pode ser classificado como *d-regular* e $S_D^2 = 0$:

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^g d(v_i)}{g} = \frac{2L}{g} \quad (2)$$

$$S_D^2 = \frac{\sum_{i=1}^g (d(v_i) - \bar{d})^2}{g} \quad (3)$$

Em grafos direcionados, um vértice por ser “adjacente a” ou “adjacente de” outro vértice, o que depende da direção da aresta que os conecta. Nesse caso, surgem dois outros graus: o grau de entrada (*indegree*) e o grau de saída (*outdegree*). Dado um vértice v_i , o grau de entrada de v_i , expresso como $d_I(v_i)$, representa o número de vértices que chegam em v_i . Por outro lado, o grau de saída de v_i , expresso como $d_O(v_i)$, é equivalente ao número de arestas originadas em v_i (WASSERMAN; FAUST, 1994).

A **conectividade** é uma das mais elementares propriedades intrínsecas aos grafos e representa outras formas de conexão indireta entre vértices não adjacentes entre si. Dado um grafo G , a conectividade $k = k(G)$ representa o número mínimo de vértices cuja remoção torna-o um grafo desconectado. Se um grafo é desconectado, não há nenhum vértice cuja remoção altere seu estado, logo, $k = 0$. O conceito de conectividade ainda pode se estender às arestas. A **conectividade-linha** de um grafo $\lambda = \lambda(G)$, é o número de arestas cuja remoção torna-o um grafo desconectado. Se há um vértice v cuja remoção resulta na divisão de um grafo em dois outros subgrafos desconectados entre si, v é denominado **cutpoint**. Existem outros conceitos relevantes relacionados à conectividade de um grafo, apresentados a seguir (HARARY, 1969; KILDUFF; TSAI, 2003; WASSERMAN; FAUST, 1994; WILSON, 1996).

Dado um grafo G , um $v_0 \rightarrow v_m$ **walk** W em G é uma sequência de vértices em G , tal como, $v_0 v_1, v_1 v_2, \dots, v_{m-1} v_m$, onde v_0 é o vértice inicial e v_m é o vértice final, cuja notação pode ser representada por $v_0 \rightarrow v_1 \rightarrow v_2 \rightarrow \dots \rightarrow v_m$ e dois vértices consecutivos são adjacentes ou idênticos. Se m representa o número de vértices em W , m é denominado de **length**. Associando algumas condições ou características ao conceito de *walk*, resultam-se outras interessantes terminologias e propriedades de conectividade dos grafos. Se nenhuma aresta é percorrida mais de uma vez num $v_0 \rightarrow v_m$ *walk* W , tem-se então um $v_0 \rightarrow v_m$ **trail** T . Se nenhuma aresta é percorrida mais de uma vez num $v_0 \rightarrow v_m$ *walk* W , tem-se então um $v_0 \rightarrow v_m$ **path** P . É importante observar que todo *path* é um *trail*, mas a recíproca não se confirma.

As definições de **closed walk**, **cycle** e **tour** se confundem entre alguns autores. Buscando unificar as terminologias com base nos padrões adotados pela maior parcela dos autores de referência para esta pesquisa, será mantida a semântica proposta por Wasserman e Faust (1994), Hanneman e Riddle (2005) e Bollobás (1998), que definem: se um *walk* começa e termina no mesmo vértice, é denominado *closed walk*; se um *closed walk* possui ao menos três vértices cujas arestas são distintas entre si e todos os vértices, exceto o primeiro e último, não se repetem, tem-se um *cycle*; um *tour* é um *closed walk* que percorre todas as arestas do grafo, ao menos, uma vez cada.

Os conceitos supracitados nos dois últimos parágrafos podem parecer inconclusivos separadamente, mas são essenciais para a definição de diversas outras propriedades analíticas fundamentais para a ARS e Teoria dos Grafos. A definição de *path* é útil para definir os conceitos de geodésica, distância e diâmetro. Dado um par de vértices $v_0 v_m$ num grafo G , são diversas as possibilidades de *paths* $v_0 \rightarrow \dots \rightarrow v_m$ entre eles. O menor *path* entre dois vértices é conhecido como **geodésica**. A **distância** entre dois vértices é definida a partir do *length* de uma geodésica entre eles, denotada por $d(v_0, v_m)$ e o **diâmetro** de uma rede é obtido a partir do *length* da geodésica mais longa entre dois vértices.

3.4 Métricas estruturais

As propriedades e conceitos da Teoria dos Grafos apresentados na subseção anterior formam as bases matemáticas e analíticas da ARS. Nas análises ditas “estruturais”, os grafos atuam como uma representação sistemática e simplificada de um sistema social complexo, com seus devidos atores e respectivos arranjos inter-relacionais, que permitem identificar padrões, comportamentos e características sociais. Qualquer fluxo comunicacional ou organização social numa rede pode ser representado por um grafo. Um dos usos primários da Teoria dos Grafos na ARS busca identificar os atores-chave, isto é, aqueles com maior poder de influência na rede e as medidas de centralidade são as principais ferramentas que apoiam esta tarefa e um dos mais importantes atributos estruturais para ARS (FREEMAN, 1979; LAZEGA; HIGGINS, 2014; WASSERMAN; FAUST, 1994).

O conceito de **centralidade** na ARS está fundamentado na antropologia aplicada, a partir das discussões sobre os padrões de comunicação e o comportamento humano, inicialmente feitas por Bavelas (1948, 1950) e Leavitt (1951). Dois trabalhos de Freeman (1977, 1979) se destacam por revisar, estruturar e apresentar as medidas de centralidade. Numa rede, a posição dos atores é relativa entre si, o que denota uma sensação intuitiva de que alguns são mais centrais do que outros, como por exemplo, controlam o fluxo de informações entre grupos não conectados entre si ou possuem maior autoridade sobre atores mais periféricos. As medidas de centralidade permitem quantificar o quão importantes são os atores numa rede, isto é, indica os atores mais importantes, os importantes e os sem importância, sendo considerada,

portanto, uma característica crucial das redes. Há diversas razões que justificam a importância das medidas de centralidade, dentre elas, a elucidação da estrutura política e social da rede a partir de uma classificação hierárquica de importância e influência, identificação de sucesso ou fracasso na disseminação de informações e caracterização da natureza dos atores por grau de importância, por exemplo, numa rede de entidades voltadas para políticas públicas na área de educação, é importante saber se o ator principal é o Estado ou um ente privado (BRANDES; ERLEBACH, 2005; BRANDES; KENIS; WAGNER, 2003; LAZEGA; HIGGINS, 2014).

Assim como a posição dos atores na rede é relativa, mensurar a importância de cada um deles também é, uma vez que existem diversos aspectos que podem ser considerados ou descartados para justificar maior influência de um ator sobre outro. Por conta disso, nem todo índice ou medida de centralidade é adequado para todas as aplicações e áreas de análise, o que resultou, conseqüentemente, no desenvolvimento de diversos índices de centralidade distintos. Nessa seção, serão destacadas as medidas mais comuns e generalistas, uma vez que podem ser aplicadas na maior parte dos casos de estudo, apresentando resultados satisfatórios e conclusivos (BRANDES; ERLEBACH, 2005).

De modo geral, há três medidas teóricas distintas para a centralidade, baseadas nos estudos de Freeman (1977, 1979): **centralidade de grau** (*degree centrality*), **centralidade de proximidade** (*closeness centrality*) e **centralidade de intermediação** (*betweenness centrality*), que são apresentadas a seguir. A notação utilizada para baseou-se no padrão adotado por Hage e Harary (2007) e Wasserman e Faust (1994), conforme sugerido por Brandes e Erlebach (2005), objetivando manter a notação da Teoria dos Grafos, também utilizada na seção 2.3.

A centralidade de grau é a medida mais simples de centralidade, sendo considerada uma medida local, pois diz respeito ao ator e não à rede como um todo, como acontece nas demais medidas de centralidade, classificadas como globais. Essa métrica se baseia no número de linhas (arestas) incidentes num ator (vértice) para medir a atividade do ator num sistema, isto é, quanto maior a centralidade de grau, mais próximo do ponto central da rede o ator está e mais ativo ele é. Nessa medida, explora-

se a noção de vizinhança e a interrelação do ator com seus vizinhos. Lazega e Higgins (2014) complementam que essa medida define o tamanho da rede de um ator. Dada uma rede G , composta por g número de atores, um ator pode possuir até, no máximo, $g - 1$ conexões com outros atores. Considerando $d(n_i)$ como o grau do ator, a centralidade de grau $C_D(n_i)$ pode ser padronizada conforme sugerido por Wasserman e Faust (1994), da seguinte maneira:

$$C_D(n_i) = \frac{d(n_i)}{g - 1} \quad (4)$$

Diz-se que um ator é central se ele pode interagir rapidamente com todos os outros atores da rede, isto é, se ele possui contato direto com todos ou com a maioria dos outros atores, o que conseqüentemente aumenta a sua capacidade de comunicação e de trafegar informação, por reduzir a necessidade de retransmissão. A centralidade de proximidade mede a quantidade mínima de interações indiretas que um ator precisa realizar para contactar toda a rede, o que pode ser considerada uma medida da autonomia do ator. Quanto maior a centralidade de proximidade, mais conectado à rede um ator está. Por outro lado, a medida que um ator se distancia dos demais, sua centralidade de proximidade diminuirá, uma vez que mais geodésicas serão necessárias para alcançar atores sem vínculo direto (HAGE; HARARY, 2007; LAZEGA; HIGGINS, 2014; WASSERMAN; FAUST, 1994). Matematicamente, esta medida refere-se à soma das geodésicas entre um ator e todos os outros na rede. Dada uma rede G , composta por g número de atores, onde d_{ij} representa a geodésica entre os atores i e j e $\sum_{j=1}^g d_{ij}$ representa a soma das distâncias de i a todos os atores da rede, onde, $i \neq j$, portanto, a expressão algébrica mais empregada para o cálculo dessa medida de centralidade de proximidade é conforme apresentada por Sabidussi (1966):

$$C_C(n_i) = \frac{1}{\sum_{j=1}^g d_{ij}} \quad (5)$$

Portanto, a centralidade de proximidade $C_C(n_i)$ é inversamente proporcional ao número de geodésicas de um ator e cresce com a diminuição da distância total entre o ator e a rede, o que torna-a claramente uma medida estrutural, como afirmam Brandes e Erlebach (2005).

Se um ator possui contato direto com dois outros atores distintos e é o único elo de ligação entre eles, isso lhe confere a capacidade de intermediar e influenciar o contato entre os outros dois, o que é considerada uma posição estruturalmente vantajosa na rede. Como consequência, quanto maior o número de intermediações um ator exerce dentro da rede, maior será o fluxo de informação a que estará submetido e a dependência de outros atores à sua atuação para a eficácia do trânsito comunicacional na rede. Atores com alto grau de intermediação são chamados de *gatekeepers* ou porteiros²⁹, pois controlam o fluxo de informação entre comunidades (HANNEMAN; RIDDLE, 2005; LAZEGA; HIGGINS, 2014; TABASSUM *et al.*, 2018; WASSERMAN; FAUST, 1994). A concepção matemática da centralidade de intermediação é menos óbvia que as anteriores, mas não menos importante. Por tal motivo, será apresentada uma breve explicação. Dada uma rede G , composta por g número de atores, essa medida está interessada na probabilidade de uma geodésica entre dois atores j e k passarem por outros atores intermediários e identificar o ator que possui o maior número de intermediações, onde g_{jk} representa o número de geodésicas entre os dois atores e dentre elas, $g_{jk}(n_i)$ a quantidade de geodésicas que passam pelo ator i . Portanto, a centralidade de intermediação $C_B(n_i)$ é a soma das probabilidades de cada par de atores passar pelo i -ésimo ator, sendo algebricamente representada da seguinte maneira, conforme Wasserman e Faust (1994):

$$C_B(n_i) = \frac{\sum_{j < k} g_{jk}(n_i)}{g_{jk}} \quad (6)$$

Em alguns casos, a relação de um ator com um indivíduo popular na rede é mais importante do que com um outro indivíduo isolado. Isso implica considerar não apenas “quantas pessoas você conhece”, mas também “quem você conhece”. Nesse sentido, outra medida importante de centralidade é a centralidade de **autovetor** (*eigenvector centrality*), inicialmente proposta por Bonacich (1972). Essa medida baseia-se no autovetor correspondente ao maior autovalor da matriz de adjacência da rede e

²⁹ Tradução nossa.

diferente da centralidade de grau, que avalia as conexões de forma igualitária, a pontuação de um ator nessa medida depende não apenas do número de conexões adjacentes, mas também da centralidade dessas conexões na rede. De modo geral, a centralidade de autovetor de um ator na rede é proporcional a soma das centralidades dos seus vizinhos. Matematicamente, dado dois atores j e k , onde x_j e x_k corresponde às suas respectivas centralidades, a_{jk} representa o valor de entrada da matriz de adjacência $A(a_{jk}) = \rho$, onde $\rho = 1$ se os atores j e k estão conectados entre si e $\rho = 0$ se estão desconectados e λ corresponde ao maior autovetor da matriz A , então, a centralidade de autovetor $C_A(n_j)$ é pode definida por:

$$C_A(n_j) = x_j \frac{1}{\lambda} \sum_{k=1}^n a_{jk} x_k \quad (7)$$

A centralidade de autovetor é considerada uma versão mais elaborada da centralidade de grau e pode ter diversas aplicações. Dentre elas, se destaca por ser uma das principais métricas por trás do mecanismo de busca do *Google* (BRANDES; ERLEBACH, 2005; HANSEN *et al.*, 2020; TABASSUM *et al.*, 2018).

As medidas de centralidade apresentadas até aqui, aplicam-se, de modo geral, a relações não direcionadas, isto é, a natureza da relação que une dois atores é equivalente à ambos, não havendo um sentido no fluxo da relação, mas apenas a probabilidade binária de existir ou não existir. Por outro lado, algumas relações são direcionadas, o que lhes confere algumas medidas de centralidade particulares. Uma das medidas de centralidade mais abordadas na literatura para grafos direcionados é o **prestígio**. Embora o termo tenha uma conotação positiva, o prestígio é uma medida que pode ser utilizada para avaliar diversos aspectos entre atores numa rede, como aconselhamento, popularidade, confiança ou desprezo. Há diversas medidas de prestígio, sendo, o **grau de entrada** (*indegree*) e o **grau de saída** (*outdegree*), também denominados respectivamente por apoio (*support*) e influência (*influence*), os mais elementares dentre elas. O grau de entrada refere-se à quantidade de atores que escolhem um ator, o que implica dizer que quanto mais escolhas um ator recebe, maior prestígio em relação ao tema em discussão ele terá. O grau de saída mede a quantidade de nós de saída, o que significa que quanto maior forem, maior será a

influência do ator exercida sobre a rede. As notações utilizadas para medir o grau de entrada e saída são respectivamente: k_v^+ e k_v^- , sendo definidas por:

$$k_v^+ = \sum_{j=1}^n a_{ji}, \quad (8)$$

$$k_v^- = \sum_{j=1}^n a_{vj}, \quad (9)$$

onde seus respectivos valores são obtidos a partir do somatório do número de nós que “parte de” ou “chegam a” um ator (LAZEGA; HIGGINS, 2014; OLIVEIRA; GAMA, 2012; TABASSUM *et al.*, 2018; WASSERMAN; FAUST, 1994).

Numa rede, os atores geralmente não agem de forma isolada e devido às relações estabelecidas entre eles, formam-se **grupos** ou **subgrupos**, cuja identificação é uma das preocupações fundamentais da ARS. Subgrupos são conjuntos finitos de atores que possuem similaridades comuns, tais como objetivos ou interesses. Outro aspecto importante, está relacionado à identificação de subgrupos coesos, isto é, atores cujos laços entre si são relativamente fortes, o que denota um entrosamento relacional, como explicam Higgins e Ribeiro (2018). Além disso, os autores destacam que o conceito de grupos dentro da ARS não está diretamente ligado à atores que se conectam explicitamente por algum tema ou preferência em comum, ou seja, a depender da natureza da análise aplicada, um grupo pode ser identificado mesmo que os atores pertencentes a ele não se conheçam ou não troquem informações entre si (BRANDES; ERLEBACH, 2005; WASSERMAN; FAUST, 1994).

Diversos autores propuseram métodos para identificar subgrupos coesos. Dentre eles, destacam-se o método de modelagem estatística proposto por Frank (1995) e a nível geral, os critérios baseados na Teoria dos Grafos preconizados por Wasserman e Faust (1994), também mencionados em Brandes e Erlebach (2005) e Higgins e Ribeiro (2018) e apresentados a seguir:

- a) **Mutualidade (*Mutuality*)**: esse critério estabelece que todos os pares de membros de um subgrupo devem ser adjacentes entre si;

- b) Proximidade (*Closeness*) ou acessibilidade (*Reachability*): prevê que todos os membros dos subgrupos estejam conectados entre si, mas não necessariamente sejam adjacentes;
- c) Densidade (*Density*): requer que os membros dos subgrupos tenham uma grande vizinhança dentre dele, ou seja, possuam laços com muitos atores dentro do subgrupo;
- d) Separação (*Separation*): nesse critério, membros do subgrupo devem ter mais laços com atores dentro do subgrupo do que fora dele, isto é, que o subgrupo possua maior coesão quando comparado com o restante da rede.

Conforme explicam Brandes e Erlebach (2005), cada um desses critérios pode ser aplicado a um estudo de redes específico, a depender da ênfase que se deseja dar. Lazega e Higgins (2014) destacam a importância de se observar que os subgrupos que atendem aos três últimos critérios, não necessariamente atendem ao critério de mutualidade. Um subgrupo altamente coeso é denominado **clique** – uma tradução feita por Lazega e Higgins (2014), propõe o termo “panelinha”. O conceito de *clique* foi inicialmente proposto por Luce e Perry (1949), como um subconjunto de um grupo composto por três ou mais membros, onde não há outro ator na rede que esteja conectado à todos os membros desse subgrupo. Conforme destacam Alba (1973) e Lazega e Higgins (2014), a definição de *clique* é bastante restrita, e como observam Luce e Perry (1949), possui algumas fragilidades que podem ser aliviadas pela introdução dos ***n-cliques***. Uma definição formal de *n-cliques* baseada na notação da Teoria dos Grafos é apresentada por Alba (1973) e sintetizada a seguir. Dado um grafo conectado G , de diâmetro maior que n , a n -ésima potência G^n de G é um grafo com $V(G^n) = V(G)$ onde u e v são adjacentes em G^n se $g_d(u, v) \leq n$; ou seja, dois vértices são adjacentes em G^n sempre que a distância entre eles em G é igual ou menor que n . Então, o *n-clique* de G é definido como um subgrafo de G , composto por um conjunto de vértices V , associados ao subgrafo mais completo do grafo de potência G^n , isto é, um *n-clique* é o máximo subgrafo em que o maior diâmetro entre quaisquer dois vértices não é maior que n .

Por outro lado, conforme registram Lazega e Higgins (2014) e Wasserman e Faust (1994), algumas propriedades dos *n-cliques* limitam sua utilidade para a definição de subgrupos coesos, tornando-os pouco restritivos. A seguir são apresentadas algumas

soluções para otimizar a definição de subgrupos coesos baseadas nos *n-cliques*. Dado um grafo $G = (V, E)$, não direcionado, seja U um subconjunto de vértices e $n > 0$, um número natural, então, U é um ***n-club*** se e somente se o diâmetro de $(G[U]) \leq n$ e U é um ***n-clan*** se e somente se U é o *n-clique* máximo e $(G[U]) \leq n$, isto é, o *n-clan* exclui *n-cliques* que têm diâmetro maior que n e o *n-club* é um subgrafo máximo com diâmetro menor ou igual a n . Outra alternativa para a definição de subgrupos é baseada no grau dos vértices dentro de cada subgrupo e prevê que todos os membros dos subgrupos sejam adjacentes a um número mínimo pré-definido de outros membros para se obter um subgrupo coeso. Duas abordagens se destacam nesse sentido: ***k-plex*** e ***k-core***. Um *k-plex* é definido como um conjunto de vértices, onde cada um deles está conectado a pelo menos $n - k$ vértices. Por outro lado, diferente do *k-plex*, que define o número aceitável de arestas que podem estar ausentes em cada vértice um de grafo, o *k-core* especifica o número mínimo de arestas que devem existir em cada vértice, ou seja, um *k-core* é um subgrafo onde cada vértice é adjacente a, no mínimo k outros vértices no subgrafo.

Os métodos para se identificar grupos coesos apresentados até aqui, preocupam-se, principalmente com os padrões de conexão que os atores mantêm entre si e suas habilidades em influenciarem-se mutuamente. Por outro lado, há outro aspecto passível na análise de grupos, baseado na posição social (*social position*) e no papel social (*social role*) dos indivíduos na rede, denominada **equivalência estrutural** (*structural equivalence*) (SCOTT, 2000). Essa análise baseia-se na probabilidade de dois indivíduos distintos, que possuam conexão com outros indivíduos não comuns a ambos, mantenham uma relação similar com os seus respectivos grupos de indivíduos, tornando-os intercambiáveis. Higgins e Ribeiro (2018) apresentam os conceitos de posição social e papel social de forma bastante contundente, conforme segue: a posição refere-se ao conjunto de indivíduos organizados e integrados na rede de forma similar; já o papel social refere-se a padrões de relações entre atores ou entre posições. Portanto, em termos de análise, pode-se afirmar que a análise de posições está preocupada em identificar os subgrupos de atores com perfis equivalentes e a análise de papéis preocupa-se em identificar padrões entre atores ou entre posições na rede. Dentre os métodos para analisar a equivalência estrutural

numa rede, destaca-se o **blackmodel**, cujo termo proposto inicialmente por White, Boorman e Breiger (1976) com o objetivo de descobrir, em qualquer rede, os “bloco-zero”, isto é, grupos entre os quais há poucas ou nenhuma conexão. Conforme explica Mizruchi (2006, p. 77), *blackmodels* são:

“(...) representações binárias de matrizes relacionais entre agentes de uma rede, permutadas de tal maneira que agentes estruturalmente equivalentes se agrupem em submatrizes quadradas, ou “blocos”. Os blocos são identificados alternativamente como “blocos-zero” ou “blocos-um”, dependendo da densidade dos laços entre os agentes que os compõem”.

Outra medida de equivalência estrutural está baseada na **distância Euclidiana** e foi inicialmente proposta por Burt (1976). Nesse tipo de análise, a distância social entre dois atores é dada pela distância entre as suas respectivas posições na rede, que nesse caso, refere-se à distância Euclidiana entre eles. Se a distância Euclidiana é igual a zero, ambos os atores têm exatamente as mesmas relações com outros atores e, portanto, ocupam a mesma posição na rede social, logo, não há diferença entre eles. Por outro lado, quanto maior a distância Euclidiana, mais as relações dos dois atores diferem entre si, tornando-os não intercambiáveis (KILDUFF; TSAI, 2003). Considerando que não há um método cuja eficácia exima a necessidade da aplicação do outro, é válido considerar a aplicação das duas técnicas mencionadas para se identificar subgrupos numa rede, uma vez que ambas podem ser complementares entre si, trazendo diferentes contribuições (LAZEGA; HIGGINS, 2014). A equivalência estrutural suscita a abordagem de um outro conceito proposto por Burt (1995), o de **buracos estruturais**, cuja definição está ligada ao capital social, isto é, aos valores construídos na estrutura social de uma rede. Conexões ditas fracas entre grupos numa rede são denominados buracos estruturais. A vantagem desse conceito parte do princípio de que contatos conectados entre si provavelmente possuem informações semelhantes e, portanto, redundantes. O advento das lacunas cria uma vantagem competitiva para um indivíduo cujos relacionamentos abrangem estes buracos, uma vez que surgem oportunidades de intermediar o fluxo de informações entre atores que até então, estão focadas em suas próprias atividades, de modo que não trocam informações diretamente entre si. Por outro lado, a ocorrência de buracos estruturais também pode ser um fator prejudicial à rede, uma vez que isola atores e interrompe o

fluxo comunicacional entre subgrupos (BURT, 1995, 2001; KILDUFF; TSAI, 2003; RECUERO, 2014).

Há ainda outros quatro conceitos diretamente relacionados às estruturas sociais, cuja relevância e aplicabilidade justificam sua abordagem nessa seção, sendo eles: equilíbrio estrutural (*structural balance*), transitividade (*transitivity*), reciprocidade (*reciprocity*) e capacidade de agrupamento³⁰ (*clusterability*).

A ideia de **equilíbrio estrutural** foi inicialmente proposta por Heider (1946) cuja base está fundamentada na teoria da psicologia social e mais tarde, foi ampliada e generalizada matematicamente, a partir da Teoria dos Grafos para a ARS por Cartwright e Harary (1956). O objetivo central dessa análise é verificar a tensão gerada por relações conflitantes negativas ou positivas entre subconjuntos de atores numa rede. A definição mais elementar de equilíbrio estrutural pode ser obtida por meio de triângulos relacionais em grafos com sinais (*graph signed*), isto é, grafos que permitem que suas arestas possuam sinais positivos ou negativos. Considerando um triângulo relacional entre os atores i, j e k , num grafo com sinais cuja relação em estudo é “gostar”, se o ator i gosta do ator j , logo o ator i tenderá a ter a mesma atitude em relação ao ator k , seja positiva ou negativa, baseada na que o ator j têm. Por outro lado, se ator i não gosta do ator j , tenderá a ter a atitude oposta em relação ao ator k , que o ator j têm. Portanto, diz-se que há um equilíbrio se todas as arestas forem positivas - “o amigo de um amigo é um amigo” - ou se apenas uma aresta for positiva - “o inimigo do meu inimigo é meu amigo”, sendo todas as demais configurações possíveis consideradas em desequilíbrio (HAGE; HARARY, 2007).

A característica mais importante do equilíbrio estrutural é que os vértices em grafos equilibrados podem ser subdivididos em dois subconjuntos ou *clusters*, o que contribui para a construção da definição da **capacidade de agrupamento**, que também está baseada nos grafos com sinais. Um grafo é dito agrupável se for possível particionar os seus vértices em um número finito de *clusters* de modo que cada aresta positiva (+) esteja conectada a dois vértices do mesmo *cluster* e cada linha negativa (-) conecte

³⁰ Tradução nossa

dois vértices pertencentes a *clusters* diferentes. Em termos gerais, com base na definição de equilíbrio estrutural, um grafo equilibrado tem um ou dois *clusters* enquanto um grafo não equilibrado pode ser agrupável e pode ter mais do que dois *clusters* (WASSERMAN; FAUST, 1994).

Em termos da capacidade de agrupamento de nós, uma prática comum para se identificar *clusters* dentro de uma rede pode estar baseada na similaridade estrutural entre nós, como por exemplo, a medida de similaridade entre dois nós pode ser definida como o número de vizinhos comuns de modo que os nós que compartilham a maioria de seus vizinhos podem ser agrupados num mesmo *cluster*. Porém, ao considerar tal medida, nós de uma mesma comunidade podem não compartilhar um mesmo *cluster*. Nesse sentido, Newman e Girvan (2004) propuseram o conceito de **modularidade** como método para mensurar a qualidade de partição de uma rede em subgrupos ou comunidades. Em termos gerais, uma rede possui uma estrutura de partição de comunidades adequada se o número de laços entre comunidades for menor do que o obtido com base numa escolha aleatória, isto é, quanto menor o número de laços entre nós nas fronteiras pertencentes a comunidades distintas, maior a densidade das comunidades formadas e maior a representatividade que possuem com relação ao comportamento real da rede. Portanto, a modularidade representa uma função que mensura o mérito de uma determinada partição da rede em comunidades e quanto maior seu valor, melhor será a partição e, portanto, mais densas e conectadas internamente estão estas comunidades, enquanto externamente são escassamente conectadas. Em termos algébricos, a modularidade Q é representada por:

$$Q = \frac{1}{2m} \sum [A_{ij} - \frac{k_i k_j}{2m}] \delta(c_i, c_j), \quad (10)$$

onde m é o número de arestas, k_i e k_j representam o grau dos nós i e j , A_{ij} representa a matriz de adjacência que fornece o número de arestas entre os nós i e j . $\frac{k_i k_j}{2m}$ representa o valor esperado entre os nós i e j , c_i e c_j representam os grupos a qual os respectivos nós i e j pertencem e, por fim, $\delta(c_i, c_j)$ representa o delta de *Kronecker*. Em termos da análise de valores possíveis para a modularidade, se o número de arestas dentro das comunidades não for menor do que um valor dado aleatoriamente,

então $Q = 0$. Por outro lado, valores próximos a $Q = 1$, que representa o valor máximo, indicam uma rede com uma forte estrutura de comunidades (NEWMAN; GIRVAN, 2004; TABASSUM *et al.*, 2018).

Um interesse comum na ARS está em observar relacionamentos direcionados e avaliar até que ponto são recíprocos entre si. Dado um par de atores i e j , considerando dados direcionados, há quatro relações possíveis entre eles: i e j estão desconectados, $i \rightarrow j$, $i \leftarrow j$ ou $i \leftrightarrow j$. A **reciprocidade** r está justamente preocupada em avaliar a probabilidade de ocorrência de $i \leftrightarrow j$ numa relação binária entre atores diante das demais possibilidades (HANNEMAN; RIDDLE, 2005). Existem várias maneiras de se calcular essa métrica. Adotando a definição mais popular, a partir da notação proposta por Oliveira e Gama (2012) e Tabassum *et al.* (2018), tem-se:

$$r = \frac{\#mut}{\#mut + \#asym}, \quad (11)$$

tal que $0 < r < 1$ e $\#mut$ representa o número de pares recíprocos na rede e $\#asym$, o número de pares assimétricos, isto é, pares cuja direção parte de um nó para outro, não havendo reciprocidade na relação.

A **transitividade** é uma característica natural das redes sociais, uma vez que os amigos de um determinado ator provavelmente também serão amigos entre si. Em outros termos, dado o triângulo relacional entre os atores i, j e k , a tríade que envolve os atores é considerada transitiva sempre que i estiver conectado a j e j estiver conectado a k , e por consequência i estiver conectado a k . A transitividade é quantificada por um coeficiente de agrupamento global, isto é, para toda a rede ou local, para cada ator individualmente. São apresentadas as notações utilizadas para se definir ambos os coeficientes, introduzidos por Watts e Strogatz (1998). O coeficiente de agrupamento local c_i é dado pela fração de atores que são vizinhos de um ator v e que estão conectados entre si, conforme:

$$c_i = \frac{2 |e_{jk}|}{k_i(k_i - 1)}, \quad (12)$$

onde v_j e v_k estão na vizinhança de v_i , e k_i é o grau do ator v_i e $|e_{jk}|$ representa a proporção das conexões entre os atores na vizinhança de v_i . O coeficiente de agrupamento global c é obtido pela média de todos os valores do coeficiente de agrupamento locais c_i , tal que $i = 1, \dots, n$, de acordo com:

$$c = \frac{1}{n} \sum_i c_i. \quad (13)$$

O modelo de redes de mundo pequeno (*small-world*), por exemplo, é caracterizado por altos coeficientes de agrupamento global, isto é, possuem alta transitividade (OLIVEIRA; GAMA, 2012; TABASSUM *et al.*, 2018; WASSERMAN; FAUST, 1994; WATTS; STROGATZ, 1998)

3.5 Modelos de redes sociais

Assim como as redes de mundo pequeno, existem outros modelos de redes que propõem análises particulares, extrapolando as métricas convencionais da ARS e permitem extrair informações valiosas para os estudos de redes. De modo geral, os esforços para a proposição de modelos de redes sociais estão baseados, principalmente, na tentativa de reproduzir padrões de redes de mundo real, isto é, redes com atores reais (indivíduos, corporações ou entidades). Esta subseção trata de alguns desses modelos.

3.5.1 Modelo de Erdos-Rényi

Os matemáticos Erdős e Rényi (1959) propuseram, de forma pioneira, um dos modelos mais antigos para redes sociais, denominado grafos aleatórios (*random graphs*), a partir de uma série de oito artigos publicados entre as décadas de 1950 e 1960. Na matemática, as teorias probabilísticas não eram algo inédito àquela altura, porém a aplicação desse arcabouço a uma estrutura tão simples como os grafos, permitiu entender o processo de formação embrionária dos grafos aplicado a qualquer cenário possível, diferente das abordagens anteriores, onde os grafos eram entendidos como estruturas adequadas a processos determinísticos. Dentre os modelos apresentados pelos autores, a abordagem fundamental, baseada na notação utilizada por Newman (2002), é definida a partir de um dado conjunto de grafos com

n vértices, onde a probabilidade de haver uma aresta entre dois vértices é denotada por p e de não haver, por $1 - p$, sendo p é um número real, que varia entre 0 e 1. Portanto, $G_{n,p}$ é o conjunto de todos os grafos cuja quantidade média de arestas é:

$$\frac{1}{2}n(n-1)p, \quad (14)$$

e para um grafo com n vértices e m arestas, a probabilidade é denotada por:

$$p^m(1-p)^{M-m}, \quad (15)$$

sempre que:

$$M = \frac{1}{2}n(n-1). \quad (16)$$

Quando $p = 0$, tem-se um grafo de ordem perfeita, isto é, um grafo regular, por outro lado, quando $p = 1$, tem-se um grafo aleatório. Nesse modelo, o crescimento dos graus de um vértice se comporta de forma análoga à distribuição de Poisson, com diâmetros muito pequenos que crescem logaritmicamente e vértices que possuem em média, o mesmo grau. A obtenção de um grafo aleatório é, portanto, um processo estocástico, dinâmico e evolutivo, como um organismo vivo que evolui com o tempo, a partir do surgimento de um conjunto de vértices não conectados entre si que vão adquirindo arestas sucessivamente de forma crescente e aleatória. Por outro lado, há dois pontos significativos que diferenciam os grafos aleatórios das redes de mundo real. O primeiro deles está relacionado à alta transitividade das redes de mundo real, isto é, a probabilidade de dois vértices estarem conectados por aresta cresce se ambos têm um vizinho em comum (ver seção 2.4). O segundo diz respeito à distribuição de graus dos vértices, que conforme foi mostrado, segue a conhecida distribuição de Poisson e difere bastante das distribuições encontradas em redes reais, que tendem a apresentar uma distribuição baseada na lei de potência (BOLLOBÁS, 2001; CASTRO, 2007; ERDÖS; RÉNYI, 1959, 1960; GABARDO, 2015; NEWMAN, 1999, 2002; OLIVEIRA; GAMA, 2012).

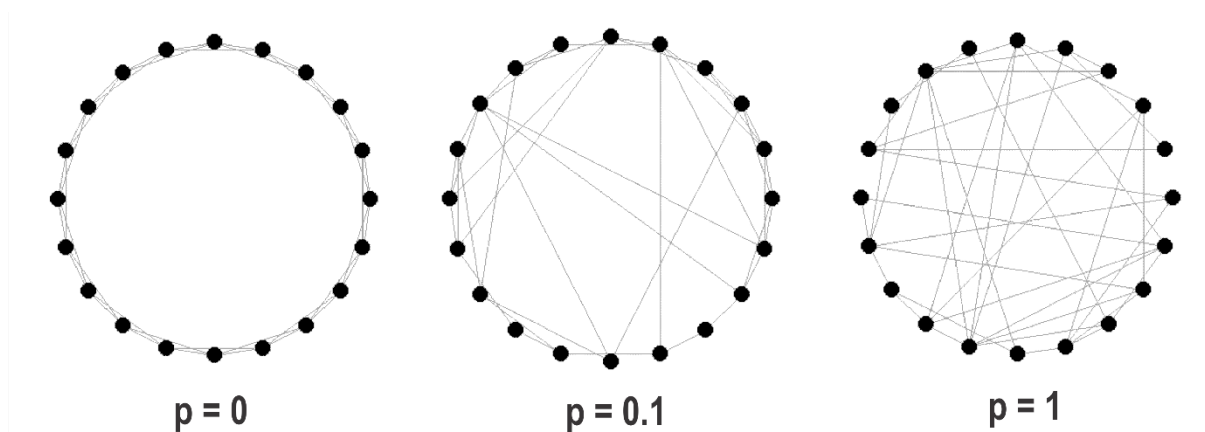
3.5.2 Modelo de Watts e Strogatz

Um dos estudos científicos sobre redes sociais mais difundidos já realizado e fortemente inspirado no mundo real, cuja definição foi generalizada a partir do modelo de grafos aleatórios, é o efeito de mundo pequeno (*small-world effect*). O estudo demonstrou ser possível conectar duas pessoas em qualquer lugar do planeta por até seis graus de amizade. O psicólogo social Stanley Milgram, foi o primeiro a testar a teoria com um experimento do mundo real, relatando-o, em 1967, em seu artigo denominado *The Small-World Problem (O Problema de Mundo Pequeno)*. Milgram coordenou uma pesquisa que propôs o envio de cartas a pessoas aleatórias, com o intuito de saber se conheciam uma determinada pessoa, que foi utilizada como o alvo da pesquisa. O método adotado determinou que, caso o receptor conhecesse a pessoa-alvo, deveria responder a carta afirmando conhece-la, caso contrário, deveria encaminhar a carta a outrem em potencial (MILGRAM, 1967). Apesar da pouca acurácia e controle do estudo na época, a ideia de que dois seres humanos escolhidos aleatoriamente poderiam se conhecer através de uma curta cadeia de intermediários suscitou diversos outros estudos posteriores que atestaram a aceitação da teoria pela comunidade científica. Uma rede é dita sob o “efeito de mundo pequeno” quando a geodésica entre dois vértices escolhidos aleatoriamente é relativamente curta em comparação com o tamanho da rede e cresce lentamente com o seu crescimento, mantendo-se o grau médio dos vértices fixo, propriedade que é semelhantemente observada nos grafos aleatórios, conforme foi discutido (BRANDES; ERLEBACH, 2005; GABARDO, 2015; NEWMAN, 1999; OLIVEIRA; GAMA, 2012).

Watts e Strogatz (1998) desenvolveram o modelo denominado “redes de mundo pequeno” para se referir a redes que apresentam ao mesmo tempo, o efeito de mundo pequeno (e como consequência, de grafos aleatórios) e alta transitividade, mensurada a partir do coeficiente de agrupamento, apresentado na subseção anterior. O modelo proposto parte de um procedimento de religação entre vértices, onde dado um grafo regular G onde cada vértice é adjacente aos seus vizinhos imediatos e também a outros k vizinhos, realiza-se um processo iterativo, passando por todos os vértices, onde cada aresta é selecionada aleatoriamente com probabilidade p , para que seja

religada a outro vértice escolhido ao acaso na rede, ou seja, uma aresta entre o par de vértices $\{a, b\}$ é substituída (ou não) por outra $\{a, c\}$, onde c é escolhido aleatoriamente na rede. Para pequenos valores de p , resulta um grafo com características regulares, porém, com vértices conectando-se com outros à longas distâncias de forma aleatória, o que representa, por exemplo, modelos de redes reais entre laços de amizade, onde indivíduos tendem a criar laços com seus vizinhos, mas também com pessoas distantes (correlatas às arestas criadas aleatoriamente no modelo proposto), como familiares ou amigos que moram em outros países. Um dos principais resultados obtidos pelos autores constatou que para alguns valores intermediários de p , a rede torna-se ao mesmo tempo, altamente agrupada e com geodésicas curtas, apresentando um comportamento que transita entre as características das redes regulares e redes aleatórias, simultaneamente, com p variando entre 0 e 1, conforme a Figura 17 (BRANDES; ERLEBACH, 2005; NEWMAN, 2002).

Figura 17 - Modelos de redes regulares ($p = 0$), de Watts-Strogatz ($0 < p < 1$) e aleatórias ($p = 1$), respectivamente.



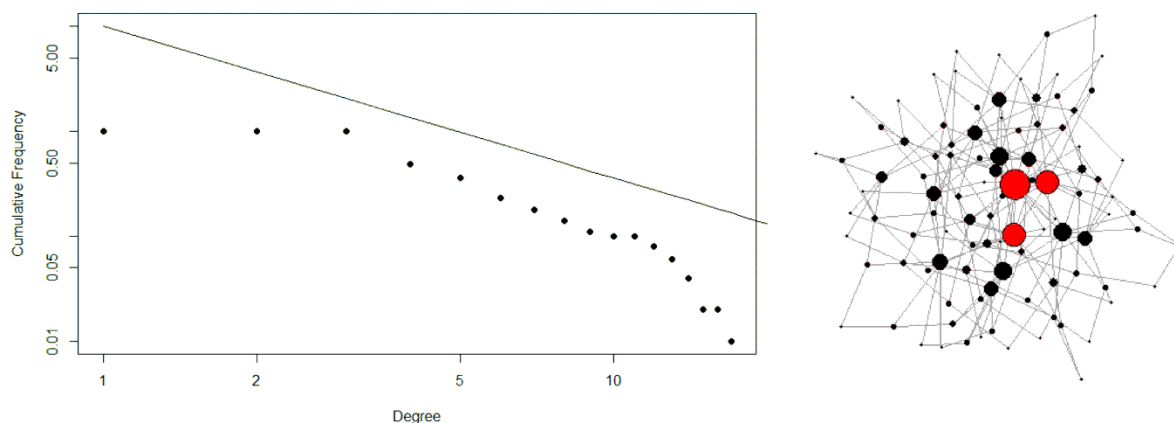
Fonte: Adaptado de Watts e Strogatz (1998) com uso do *igraph* no RStudio

3.5.3 Modelo de Barabási-Albert

Muitos esforços foram dedicados à simulação e representação matemática das redes de mundo real através de modelos algébricos aleatórios ou semirregulares. Porém, é inevitável que os modelos de mundo real apresentem diversas particularidades que os afastam do simples acaso, uma vez que muitos eventos acontecem de forma

ordenada e proposital, isto é, segundo uma motivação pré-determinada e se comportam conforme essa motivação. Ao realizarem o mapeamento das redes *World Wide Web* (WWW), onde os vértices são páginas *HyperText Markup Language* (HTML) conectados por links que referenciam outras páginas entre si, Barabási e Albert (1999) perceberam que grandes redes – como outras várias observadas na natureza e analisadas pelos autores - compartilham a característica comum de possuírem conectividade de livre escala, seguindo uma lei de potência, diferente do modelo de grafos aleatórios, que obedece a distribuição de Poisson. As duas características principais observadas pelos autores que diferem as redes de mundo real dos modelos previamente propostos são: a) ambos os modelos fixam o número de vértices na rede, mesmo à medida que novas arestas são inseridas aleatoriamente ou reconectadas aos vértices em função do tempo, por outro lado, muitas redes reais são retroalimentadas por novos vértices, o que torna número de vértices crescente proporcionalmente ao tempo; b) além disso, o padrão das novas conexões firmadas não são completamente aleatórias e uniformes, uma vez que redes reais apresentam uma conectividade preferencial, isto é, a probabilidade de uma nova página *Web* referenciar *links* para documentos já consolidados e populares é maior do que outros *links* pouco conhecidos e acessados na rede, fomentando a presença de *hubs*, ou seja, vértices populares que podem ter centenas, milhares ou até milhões de links, o que justifica a nomenclatura adotada pelo modelo como “livre de escala”, simultaneamente à presença de vértices que possuem poucas conexões. A probabilidade de existirem *hubs* em redes aleatórias é nula. A Figura 18 apresenta um grafo segundo o modelo Livre de Escala com sua respectiva distribuição cumulativa de graus conforme a lei de potência, onde vértices com grau maior que 10 foram destacados em vermelho, considerados como *hubs* da rede (BARABÁSI; ALBERT, 1999; BARABÁSI; BONABEAU, 2003).

Figura 18 - Grafo conforme o modelo Livre de Escala com sua respectiva distribuição cumulativa de graus



Fonte: Autor

3.5.4 Redes de mundo real

As redes formadas a partir das relações entre atores no mundo real, conhecidas como redes de mundo real (*real-world networks*) são fonte de inspiração para o desenvolvimento de diversos modelos de redes, como os apresentados anteriormente. As redes de mundo real são possuem características de grafos não aleatórios e não regulares simultaneamente, com propriedades e topologias individuais, onde a ordem e a desordem coexistem. A seguir são apresentadas algumas propriedades das redes de mundo real:

- a) A distribuição de graus segue a lei de potência, conforme observada nas redes Livre de Escala, proposta por Barabási e Albert (1999);
- b) Possuem alto coeficiente de agrupamento c e, portanto, estão sujeitas ao efeito de mundo pequeno, conforme a definição de Watts e Strogatz (1998);
- c) Possuem *hubs*, conforme a definição proposta por Barabási e Bonabeau (2003);
- d) Apresentam grande componente (*Giant Component*). Considera-se um componente como um subconjunto de vértices no grafo que são alcançáveis entre si por algum *path* na rede. Atribui-se ao maior componente da rede o título

- de grande componente, este que também pode estar conectado à outros componentes menores na rede (GABARDO, 2015; NEWMAN, 2002);
- e) Alta resiliência de rede, isto é, ao remover um ou mais vértices da rede, não haverá impactos relevantes à estrutura encontrada exatamente antes da remoção (OLIVEIRA; GAMA, 2012);
 - f) São identificados padrões nas interações entre indivíduos, com base nos seus tipos ou natureza, ou seja, vértices semelhantes entre si estão mais propensos a estarem conectados. A este fenômeno, dá-se o nome de homofilia (*homophily*) ou similaridade (*similarity*) (CARRINGTON, 2011; FREEMAN, 2014; OLIVEIRA; GAMA, 2012).

Entender como os modelos de redes e suas respectivas propriedades são definidas, contribui de forma significativa para a identificação de padrões ou características em redes reais obtidas a partir de pesquisas aplicadas no campo da ARS.

3.6 O poder analítico ARS para compreender as relações sociais em redes de relacionamentos baseados no BIM

O foco do presente trabalho concentra-se, principalmente, sobre o estudo da relação entre indivíduos num contexto de uso do BIM em diferentes níveis, a partir da aplicação da ARS, cuja compreensão permite identificar uma série de aspectos relacionados à sua adoção. Compreender a importância da colaboração entre as várias partes interessadas no setor da construção é fundamental para o sucesso na entrega de projetos utilizando o BIM. Diversas pesquisas acadêmicas e documentos técnicos destacam como a capacidade de aprimorar a comunicação e colaboração em equipes multidisciplinares é uma das principais contribuições que seu uso pode agregar. Por outro lado, pesquisas recentes ainda afirmam que esse potencial não é devidamente explorado nas redes de relacionamento entre profissionais no setor, o que mantém vivo o interesse em entender quais são as barreiras que dificultam o relacionamento entre os atores em ambientes baseados no uso do BIM, que contribuem para as conseqüentes falhas de comunicação e perda de informação (LU; ZHANG; ROWLINSON, 2013; ORAEE *et al.*, 2017; WANG *et al.*, 2020).

Conforme apresentado nessa seção, a aplicação da ARS está baseada na representação de indivíduos, ou outros elementos em análise, como nós conectados

entre si por linhas, que representam diversos tipos de interação ou relacionamento entre eles. A aplicação desse método em redes de relacionamento entre profissionais que atuam com o BIM permite a realização de uma análise visual completa da rede para identificar padrões e apoiar o desenvolvimento de estratégias pontuais para aumentar a comunicação entre equipes ou setores. Além disso, a aplicação de diferentes métricas estruturais facilita a extração de diversos dados quantitativos que apoiam a caracterização da rede e das suas propriedades, identificadas a partir de métodos matemático-estatísticos. As redes de relacionamento no setor da construção possuem características particulares, que se baseiam principalmente nas diferentes relações de trabalho que permeiam o setor, alternando entre relações longínquas e estáveis, geralmente entre funcionários de grandes companhias, mais estáveis e consolidadas no mercado, até relações curtas entre profissionais envolvidos num determinado projeto ou construção de curta duração. A complexidade envolvida nessas relações pode ser tão grande quanto maior for o número de envolvidos nas equipes em análise ou quanto maior o nível de interação entre os indivíduos na rede. Os aspectos relacionados à aplicação da ARS em ambientes onde há o uso do BIM no setor da AECO são apresentados, mensurados e discutidos no Capítulo 3.

4. REDES DE RELACIONAMENTOS BASEADOS NO BIM: CONTRIBUIÇÕES DA ANÁLISE DE REDES SOCIAIS

Este capítulo reúne os resultados obtidos a partir da realização da Revisão Sistemática da Literatura. Buscando estruturar e subdividir as análises para obtenção dos resultados, este capítulo está subdividido em três etapas distintas: relato da RSL, análise bibliométrica e análise de conteúdo das pesquisas. Os resultados obtidos a partir de cada uma das análises são apresentados e discutidos em cada uma destas subseções.

O relato da RSL foi elaborado de acordo com a recomendação PRISMA e reúne os números obtidos durante as seguintes etapas de seleção dos artigos para a RSL: remoção dos registros duplicados, aplicação dos critérios de exclusão e dos critérios de elegibilidade. A listagem inicial completa dos artigos obtidos a partir das buscas nas bases de dados selecionadas e os resultados individuais para cada uma destas etapas de seleção está apresentado no APÊNDICE A.

A análise bibliométrica baseou-se na obtenção e correlação de dados quantitativos dos trabalhos reunidos na RSL. Os dados foram obtidos a partir das bases de dados consultadas e, em seguida, tratados e estruturados. Em termos gerais, as análises nesta etapa buscaram mensurar o volume de pesquisas sobre tema ao longo do período estudado (2011-2021), a produção científica por país do autor correspondente, a contribuição científica por periódico, a rede de correlação entre as palavras-chave utilizadas nas pesquisas, a rede de citação entre autores e a rede de colaboração científica entre autores, IES e países. Nas redes estudadas nessa subseção, foram empregadas métricas da ARS para subsidiar e ampliar o escopo da análise.

A análise de conteúdo das pesquisas foi obtida a partir do estudo dos trabalhos elencados na RSL, buscando identificar padrões, classificá-los e compará-los. As análises nessa subseção foram subdivididas em duas outras etapas: macroanálise e análises por categoria. A macroanálise preocupou-se em levantar dados gerais das pesquisas, independente das abordagens específicas de cada uma delas, com foco na classificação das pesquisas a partir dos temas-chave de abordagem, na

classificação da natureza dos dados utilizados pelos autores para conformação das redes, na listagem dos métodos e estratégias de coleta de dados adotados, na listagem das métricas utilizadas para subsidiar as análises das redes e na identificação das ferramentas utilizadas para apoiar as análises. Por outro lado, as análises por categoria foram realizadas no intuito de aprofundar-se em cada um dos subtemas identificados na etapa anterior, classificando e comparando as abordagens realizadas pelas pesquisas dentro desses subgrupos. Dentre os dados extraídos em cada uma das subseções estão: o objetivo proposto, o objeto de estudo, o método empregado, o *software* de ARS utilizado e a discussão e comparação dos resultados obtidos pelos autores em cada uma das pesquisas.

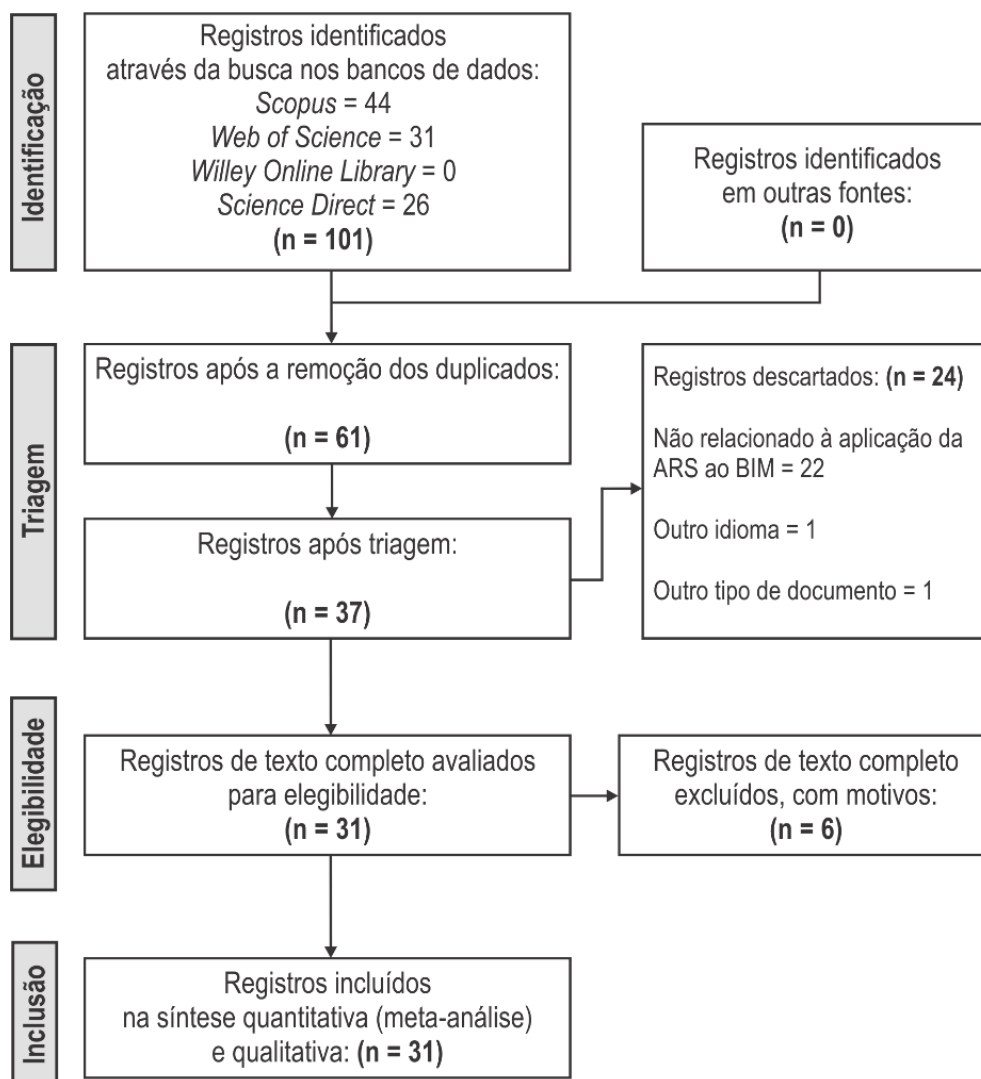
4.1 Relato da RSL

O relato da RSL foi desenvolvido com base na recomendação PRISMA (LIBERATI *et al.*, 2009) e está sintetizado na Figura 19. A partir do mecanismo de busca das bases de dados e critérios de seleção definidos, foram identificados inicialmente 101 artigos. Os registros foram exportados das respectivas bases de dados nos formatos .csv e .txt e organizados sistematicamente em uma planilha global de análise primária, no *Microsoft Excel*. Em seguida, foi realizada a primeira etapa de triagem dos resultados a partir da remoção dos registros duplicados, resultando em 61 registros autênticos.

A etapa seguinte avaliou os critérios de exclusão, onde 37 registros foram considerados válidos. A terceira etapa aplicou os critérios de elegibilidade. De acordo com a recomendação PRISMA, os critérios de elegibilidade envolvem a análise de critérios como população, intervenção, comparação e resultado (PICO), além de outros critérios específicos, como ano de publicação ou idioma. Considerando que os dois últimos critérios mencionados já haviam sido avaliados na etapa anterior (critérios de exclusão), nesta etapa, realizou-se a leitura diagonal dos artigos para avaliar as contribuições e adequações dos trabalhos quanto aos critérios PICO, as questões da pesquisa e a adequação quanto aos critérios de inclusão. Dentro os registros avaliados, 6 foram excluídos e 31 foram aprovados com base nos critérios de elegibilidade, sendo em seguida submetidos à etapa de análise bibliométrica. No

APÊNDICE A estão elencados todos os artigos inicialmente levantados a partir das bases de dados, os resultados obtidos em cada uma das etapas de seleção e os 31 artigos que foram aprovados para a RSL.

Figura 19 - Registro da RSL



Fonte: Autor

4.2 Análise bibliométrica

Conforme os métodos descritos anteriormente, a seguir são apresentadas as informações gerais referentes aos metadados que subsidiaram as análises são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Dados gerais sobre as publicações reunidas na RSL

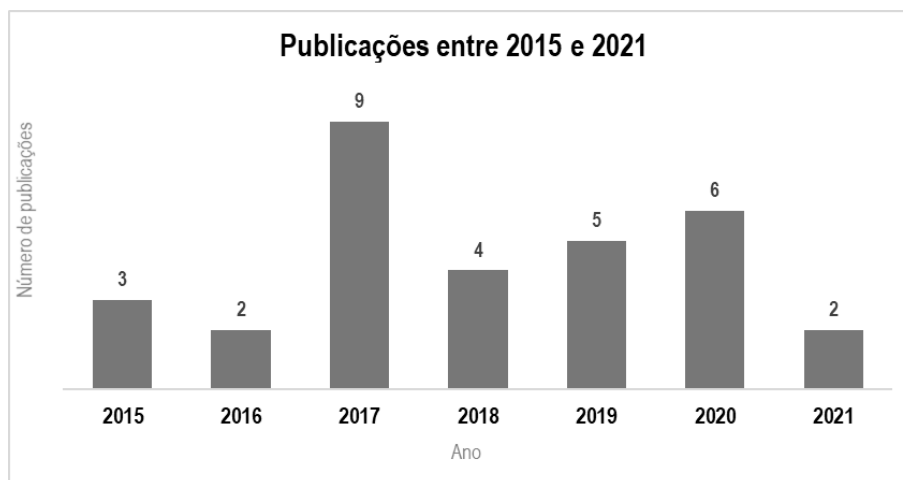
Dados gerais	
Descrição	Resultado
Período de publicação	2015-2021
Número de fontes de dados utilizadas (periódicos, eventos...)	21
Número de publicações analisadas	31
Número de referências utilizadas	1535
Dados sobre publicações	
Artigos em periódicos	23
Artigos em anais de eventos	6
Artigos de revisão	2
Dados de colaboração entre autores	
Número de publicações por autor	0,403
Média de autores por publicação	2,48
Média de coautores por publicação	3,03
Índice de colaboração ³¹	2,53

Fonte: Autor

As informações obtidas através das bases de dados sobre o número de publicações na última década, conforme apresentado na Figura 20, apresentou um pico em 2017, com 9 publicações e, posteriormente, um declínio em 2018, seguido de um crescimento linear nos anos seguintes – 2019 e 2020 -, com um novo decréscimo em 2021. Estima-se que o segundo decréscimo se deve ao fato de a coleta de dados ter sido realizada no início do primeiro semestre do ano de 2021, reduzindo, portanto, a amplitude amostral nesse ano. Por outro lado, não houve publicações sobre o tema entre os anos de 2011 e 2014, havendo apenas 5 (16,12%) publicações entre 2015 e 2016. Portanto, considerando a última década, pode-se afirmar que 26 (83,88%) publicações sobre o tema foram produzidas apenas nos últimos cinco anos, o que demonstra um recente e crescente interesse da comunidade científica sobre a aplicação da ARS em redes de relacionamentos baseados no BIM.

³¹ O índice de colaboração – *Collaboration Index (CI)* - é obtido pela divisão do número de autores com múltiplos artigos publicados pelo total de publicações com múltiplos autores.

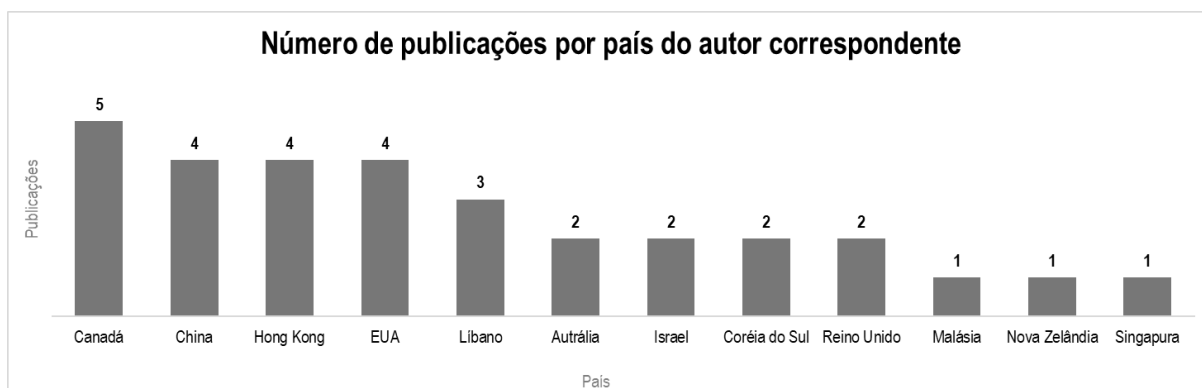
Figura 20 - Publicações sobre ARS aplicada ao BIM na última década



Fonte: Autor

A análise da produção científica por país do autor correspondente destacou a contribuição principal do Canadá, com 5 (16%) das publicações. Em seguida, destacam-se China, Hong Kong e Estados Unidos (EUA), cada um com 4 (13%) publicações, conforme apresentado na Figura 21. Notam-se também as publicações originárias de países com alto nível de maturidade BIM, como Reino Unido e Singapura, porém em menor número, com 2 (6%) e 1 (3%) das publicações, respectivamente. Dentre os 6 países com maior produção científica, apenas o Líbano pode ser considerado uma surpresa, uma vez que os demais estão entre os países com maior grau de maturidade BIM e em maior ritmo de adoção, conforme explicam Jin *et al.* (2019), também liderando a produção científica em outras análises bibliométricas relacionadas ao BIM (VILUTIENE *et al.*, 2019).

Figura 21 – Número de publicações por país do autor correspondente



Fonte: Autor

A partir da análise das fontes das pesquisas, cujo resultado está sintetizado na Tabela 7, é possível observar o destaque do periódico *Automation in Construction*, responsável por 9 publicações, o que representa quase um terço de todas as publicações (29%), sendo, portanto, a maior referência para publicações relacionadas ao tema em âmbito acadêmico. Em seguida, os periódicos *Clean Technologies and Environmental Policy* e *Journal of Management in Engineering* contribuíram, ambos, com 2 publicações cada. Por outro lado, enquanto observou-se grande concentração de publicações em um único periódico, observa-se, paralelamente, uma grande dispersão nas fontes dos demais 18 artigos (58%), todas distintas entre si. Tal fato pode estar relacionado à ausência de, até o momento, um periódico ou evento específico sobre o tema para reunir todas as publicações correlatas, o que poderia otimizar a troca de informação entre os pesquisadores interessados sobre o tema e contribuir no avanço da produção do conhecimento sobre as possibilidades de aplicação da ARS em redes de relacionamentos baseados no BIM.

Tabela 7 - Número de trabalhos publicados em diferentes fontes entre 2015 e 2021.

Fonte	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Total
<i>Automation in Construction</i>	1	0	3	2	0	2	1	9
<i>Clean Technologies and Environmental Policy</i>	0	0	0	1	1	0	0	2
<i>Journal of Management in Engineering</i>	0	0	1	1	0	0	0	2
<i>ISARC³² - 32^o International Symposium 2015</i>	1	0	0	0	0	0	0	1
<i>Architectural Engineering and Design Management</i>	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>ARCOM³³ - 33rd Annual Conference 2017</i>	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>Building Research Information</i>	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>Communications in Computer and Information Science</i>	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Construction Management and Economics</i>	0	0	1	0	0	0	0	1

³² *International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining.*

³³ *Association of Researchers in Construction Management.*

<i>Facilities</i>	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Frontiers of Architectural Research</i>	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>ICCSTE³⁴ 2015</i>	1	0	0	0	0	0	0	1
<i>ICRIIS³⁵ 2017</i>	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>Journal of Building Engineering</i>	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Journal of Cleaner Production</i>	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Journal of Computing in Civil Engineering</i>	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Journal of Construction Engineering and Management</i>	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Journal of Engineering Design and Technology</i>	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Journal of Intelligent and Fuzzy Systems</i>	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>KSCCE Journal of Civil Engineering</i>	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Procedia Engineering</i>	0	1	0	0	0	0	0	1

Fonte: Autor

A Figura 22 exibe a nuvem de palavras obtida a partir das 50 palavras-chave com maior ocorrência dentre as utilizadas pelos autores nos artigos selecionados. Para facilitar a identificação das palavras-chave e evitar a ocorrência de sinônimos e acrônimos, foi realizado um tratamento prévio para unificar termos equivalentes, via .csv. É possível perceber o destaque do termo *building information modeling* em primeiro plano, seguido de termos relacionados à ARS, tais como, *social network analysis* e *network analysis*, em segundo plano. Observa-se ainda a ocorrência dos termos *communication*, *collaboration*, *construction project*, *design management*, *social networks* e *sustainability* em um terceiro plano, sendo os dois primeiros termos – *communication* e *collaboration* - bastante afins com os temas abordados nesta pesquisa, tanto como objetos chave de análise em pesquisas envolvendo a ARS como dentre os principais aspectos que podem ser otimizados nos fluxos de projetos e construção com a adoção do BIM.

³⁴ *International Conference on Civil, Structural and Transportation Engineering.*

³⁵ *International Conference on Research and Innovation in Information Systems.*

Figura 22 - Nuvem de palavras a partir das palavras-chave utilizadas pelos autores



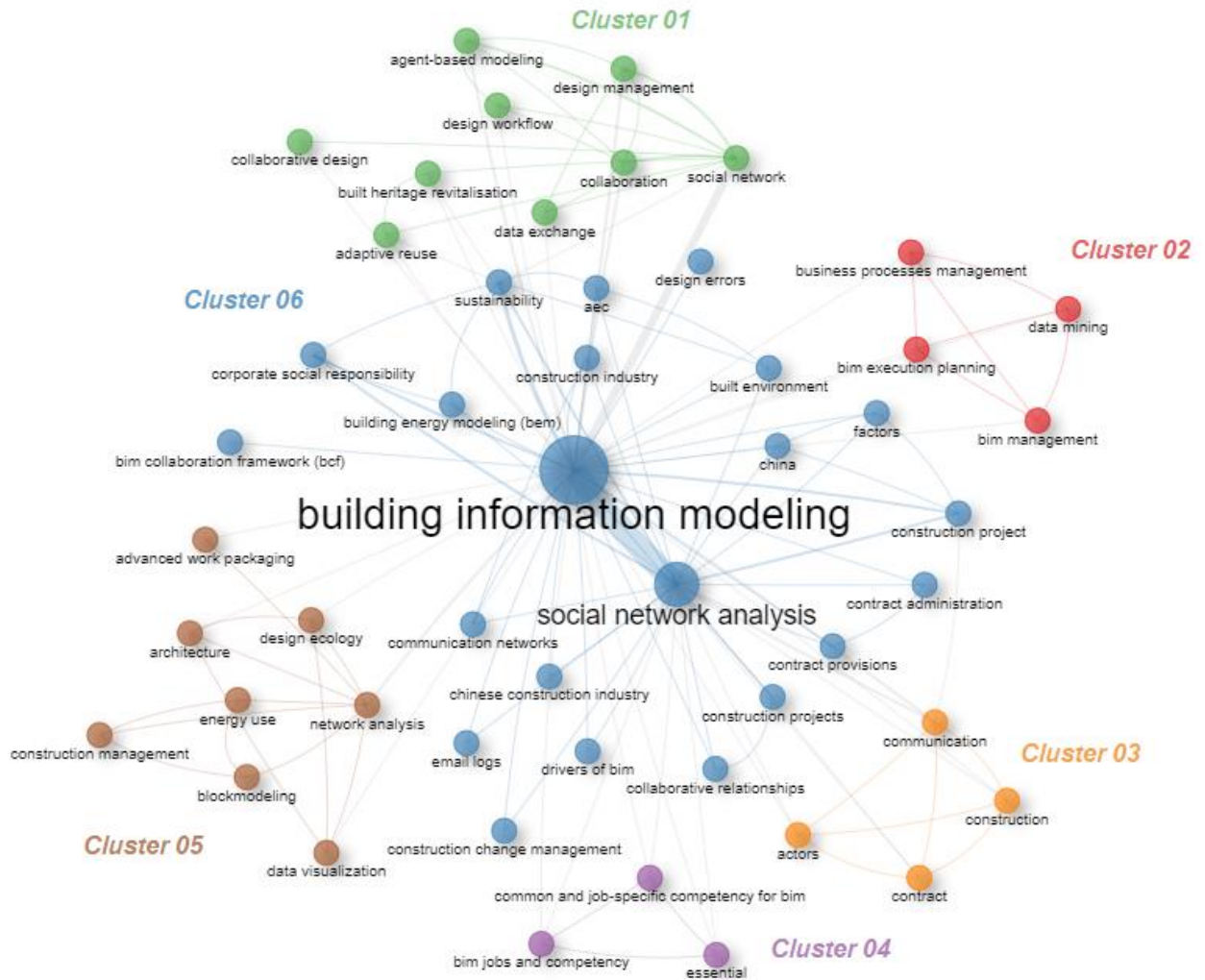
Fonte: Autor

A partir das palavras-chave identificadas, pôde-se obter a rede de coocorrências, representada pelo grafo da Figura 23, que fornece as principais palavras-chave utilizadas nos artigos selecionados e as suas respectivas relações de coocorrência dentre os trabalhos avaliados. No grafo da Figura 23, cada nó representa uma palavra-chave e seu diâmetro é proporcional à quantidade de ocorrências individuais no conjunto de palavras-chave dos artigos, enquanto cada linha representa a coocorrência entre duas palavras-chave entre dois artigos distintos e sua espessura é proporcional à quantidade de coocorrências. Para a realização desta análise, foram selecionadas palavras-chave com, no mínimo, uma coocorrência registrada, suprimindo-se, portanto, os nós isolados da rede. As coocorrências foram agrupadas em 6 *clusters*, identificados por cor. A visualização das palavras-chave a partir da matriz de coocorrências permite entender como as diferentes áreas do conhecimento estão agrupadas e relacionadas entre si. A existência dos *clusters* identifica os grupos de conhecimento e as subáreas relacionadas à cada uma delas, o que permite, por

exemplo, agrupar áreas de estudo que possuem maior produção acadêmica relacionada e também identificar possíveis novas áreas a serem exploradas, a partir, por exemplo, da identificação de pares de palavras-chave que não possuem conexões diretas existentes. Os *clusters* reúnem, portanto, palavras-chave que foram utilizadas em trabalhos com abordagens semelhantes. A partir do grafo, observou-se uma grande quantidade de coocorrências entre as palavras-chave *Building Information Modeling* e *Social Network Analysis*, conforme já era esperado.

Observou-se também a associação entre palavras-chave como *common and job-specific competency for BIM*, *BIM jobs and competency* e *essential* no **Cluster 04**, relacionadas aos cargos BIM e às competências aos profissionais para exercê-los, conforme é explorado no trabalho de Uhm, Lee e Jeon (2017). O **Cluster 01** possui como principal palavra-chave o termo *social network*, com destaque a outros termos como *adaptive use* e *build heritage revitalisation*, ambas também conectadas ao termo *sustainability*, pertencente ao **Cluster 06**, que fazem referência a pesquisas relacionadas a aplicação da ARS ao BIM com foco na sustentabilidade e no patrimônio histórico edificado. O **Cluster 02** reuniu termos relacionados à instrumentos de apoio à gestão de dados para o BIM – *data mining*, *business processes management* e *BIM management* e *BIM Execution Plan*. O **Cluster 03** possuiu como principal palavra-chave o termo *communication*, devido ao maior número de relações que exerceu com toda a rede, conectando os termos *construction*, *actors* e *contract*, possivelmente relacionados aos trabalhos de Gardounis, Chong e Wang (2017). Observa-se que termos relacionados à contratos também aparecem no **Cluster 06** e fazem referência ao trabalho de Fan *et al.* (2019). O **Cluster 05** apresenta como principal palavra-chave o termo *network analysis*, com grau 8; em segundo plano, destacam-se os termos *architecture*, *data visualization* e *design ecology*, ambos com grau 4. Outros termos menos conectados como *blockmodeling*, *Advanced Work Packaging (AWP)*, *construction management* e *energy use*, representam áreas de aplicação da ARS ao BIM ainda pouco exploradas, mas com alto apelo científico, como por exemplo à correlação com a metodologia AWP.

Figura 23 – Rede de coocorrências de palavras-chave



Fonte: Autor

A Tabela 9 apresenta a ocorrência das 50 palavras-chave mais utilizadas nos trabalhos selecionados, por ano de publicação. Esse tipo de análise permite entender como os temas de pesquisa são explorados através do tempo, assim como, identificar termos emergentes – pouco explorados – ou consolidados – com maior maturidade científica. Os termos *Building Information Modeling* e *Social Network Analysis*, ambos com maior número de incidência entre as palavras-chave e integrantes do **Cluster 06**, obtiveram suas maiores ocorrências nos anos de 2017 e 2020, o que está diretamente ligado ao maior número de publicações relacionadas ao tema neste intervalo, conforme apresentado na Figura 20. Termos relacionados à colaboração foram explorados entre 2016 e 2018, e estão dispersos entre os **Clusters 01** e **06**, enquanto

termos relacionados à comunicação tiveram maior incidência em 2017, e estão agrupados nos **Clusters 03 e 06**. Termos relacionados à sustentabilidade foram principalmente mencionados em 2019, tais como: *sustainability*, *adaptive reuse*, *Building Energy Modeling (BEM)* e *design ecology*. Em 2017, observa-se o surgimento de diversos termos, novamente citados em trabalhos posteriores, tais como: *design management*, *communication* e *social network*, além de outros não citados posteriormente, tais como: *collaborative relationships* e *communication networks*. Dentre os termos relacionados à ARS com surgimento mais recente, destacam-se *data mining* e *blockmodeling*, em 2020 e 2021, respectivamente. De modo geral, a ocorrência dos termos ao longo dos anos destaca a abordagem mais recente de termos relacionados à sustentabilidade em pesquisas que utilizam a ARS aplicada ao BIM, o que revela não somente uma preocupação ambiental nas pesquisas mais recentes, mas também a diversificação nos usos do BIM, para além dos mais comuns, como por exemplo, modelagem 3D em projetos de arquitetura, instalações prediais, projetos estruturais e detalhamentos, análise de custos e planejamento da construção, popularmente conhecidos como 4D e 5D, respectivamente, conforme o levantamento realizado por Shou *et al.* (2015), passando então a explorar usos menos comuns e específicos, tais como: análises de sustentabilidade, utilização de energia e análises térmicas, baseados na classificação proposta por BIMe Initiative (2019). Outra abordagem pode ser considerada a partir da ocorrência de termos relacionados à dados, tais como: *data exchange*, *data mining* e *data visualization*, em trabalhos subsequentes a partir de 2017, o que simboliza uma preocupação cada vez maior da indústria da construção com o tratamento, gerenciamento e visualização da grande quantidade de dados gerados dentro dos fluxos de trabalho baseados no BIM.

Tabela 8 – Número de ocorrências das 50 palavras-chave mais citadas, por ano.

Palavra-chave	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Total
<i>Building Information Modeling</i>	3	2	9	4	5	6	1	30
<i>Social Network Analysis</i>	1	1	5	2	2	5	1	17
<i>Social Network</i>	0	1	2	2	1	0	0	6
<i>Network Analysis</i>	0	0	1	0	1	0	1	3
<i>Sustainability</i>	0	0	0	0	2	0	1	3
<i>Agent-Based Modeling</i>	0	1	0	1	0	0	0	2
<i>Collaboration</i>	0	1	1	0	0	0	0	2
<i>Communication</i>	0	0	1	0	0	1	0	2

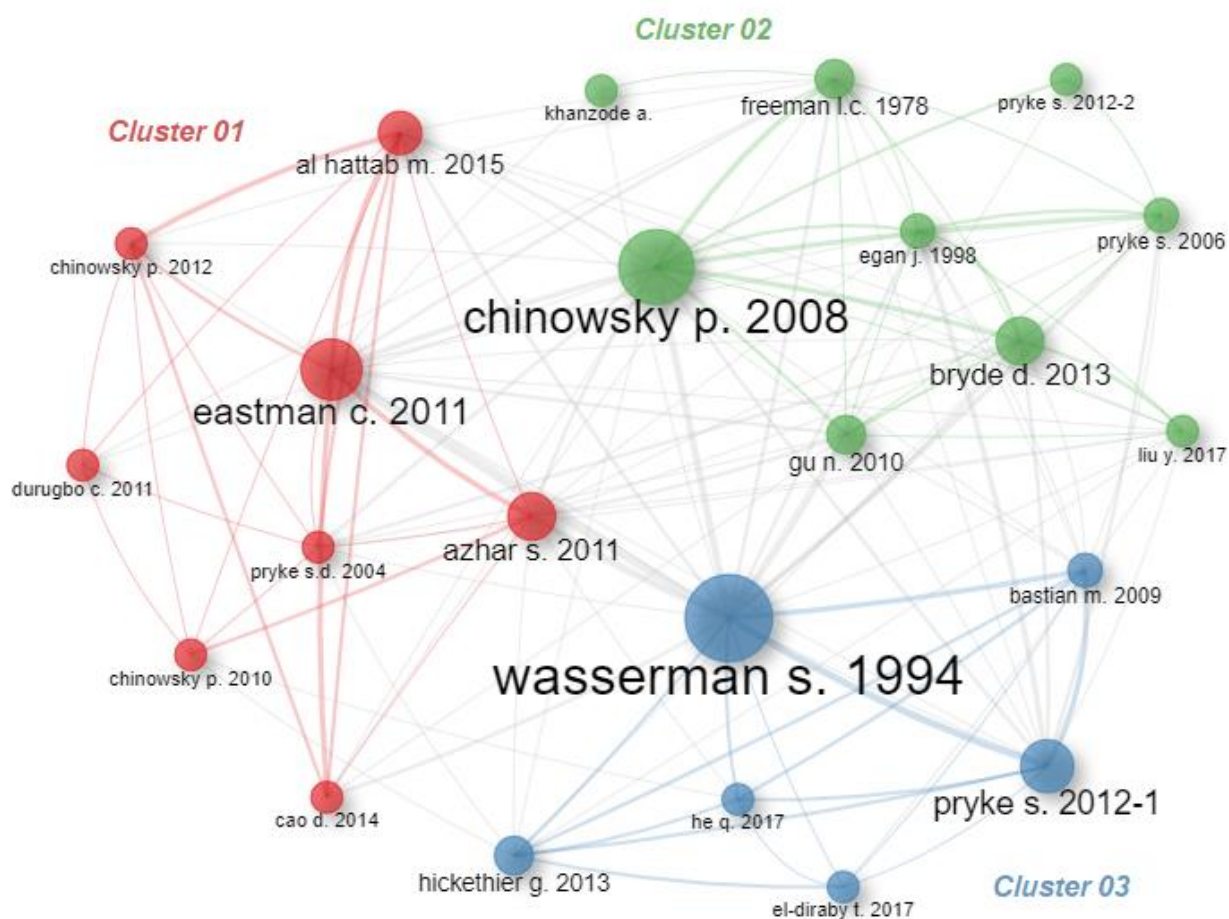
<i>Construction Project</i>	0	0	0	0	0	2	0	2
<i>Corporate Social Responsibility</i>	0	0	0	1	1	0	0	2
<i>Design Management</i>	0	0	1	1	0	0	0	2
<i>Actors</i>	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>Adaptive Reuse</i>	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Advanced Work Packaging</i>	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>AEC</i>	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Architecture</i>	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>BIM Collaboration Framework (BCF)</i>	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>BIM Execution Planning</i>	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>BIM Jobs and Competency</i>	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>BIM Management</i>	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Blockmodeling</i>	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Building Energy Modeling (BEM)</i>	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Built Environment</i>	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Built Heritage Revitalisation</i>	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Business Processes Management</i>	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>China</i>	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Chinese Construction Industry</i>	0	0	0	1	0	0	0	1
<i>Collaborative Design</i>	0	0	0	1	0	0	0	1
<i>Collaborative Relationships</i>	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>Common and Job-Specific Competency for BIM</i>	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>Communication Networks</i>	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>Construction</i>	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>Construction Change Management</i>	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Construction Industry</i>	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>Construction Management</i>	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Construction Projects</i>	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>Contract</i>	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>Contract Administration</i>	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Contract Provisions</i>	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Data Exchange</i>	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>Data Mining</i>	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Data Visualization</i>	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Design Ecology</i>	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Design Errors</i>	1	0	0	0	0	0	0	1

<i>Design Workflow</i>	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Drivers of BIM</i>	1	0	0	0	0	0	0	1
<i>Email Logs</i>	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Energy Use</i>	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Essential</i>	0	0	1	0	0	0	0	1
<i>Factors</i>	0	0	0	0	0	1	0	1

Fonte: Autor

O resultado da análise de cocitação das referências bibliográficas utilizadas nas pesquisas selecionadas, com base nas 30 referências bibliográficas mais cocitadas, está apresentado na Figura 24. A rede de cocitação está baseada nos pares de referências citadas em trabalhos em comum, isto é, diz-se que as referências “A” e “B” são cocitadas, se ambas estão referenciadas em uma ou mais pesquisas. Essa análise permite estudar a estrutura cognitiva da rede, uma vez que à medida que pares de referências são cocitados por muitas pesquisas, mais forte é relacionamento entre elas, ainda que não cite uma à outra diretamente, formando, portanto, uma base científica essencial para o desenvolvimento e continuidade de pesquisas na área (SURWASE *et al.*, 2011). No grafo da Figura 24, as referências citadas são representadas pelos nós, cujo diâmetro é proporcional à quantidade de citações individuais. As linhas representam a relação de cocitação entre duas referências numa pesquisa e a espessura da linha está é proporcional à quantidade de ocorrência de cocitações entre o respectivo par de referências.

Figura 24 – Grafo da rede de cocitação de referências bibliográficas entre os artigos selecionados



Fonte: Autor

Buscando facilitar a interpretação e classificação da rede de cocitação, os artigos mais cocitados de cada *cluster* foram identificados na Tabela 9. No **Cluster 01**, o documento mais citado foi a segunda edição do *BIM Handbook* (EASTMAN *et al.*, 2011), também citado nessa pesquisa, porém numa edição mais recente (SACKS *et al.*, 2018). O *BIM Handbook* é uma das maiores referências sobre o BIM a nível profissional e acadêmico, o que facilmente justifica a sua presença de destaque no *cluster*. No **Cluster 02**, o artigo publicado por Chinowsky, Diekmann e Galotti (2008) obteve o maior número de participação em cocitações. Neste trabalho, os autores propuseram um modelo de rede social para o gerenciamento de projetos de construção, utilizando conceitos das ciências sociais e métricas da ARS, para permitir o aumento do desempenho das equipes a partir do compartilhamento de conhecimento entre seus membros. O modelo foi posteriormente aplicado numa rede

formada por 35 membros de uma equipe de projeto convencional. Como resultado, os autores demonstraram como a confiança pode afetar os resultados obtidos pelas equipes de projetos de construção, uma vez que causa impactos diretos na intensidade da troca de informações e conhecimento entre os seus membros. O **Cluster 03** teve como principal publicação a célebre obra de Wasserman e Faust (1994), também já mencionada nesta pesquisa e citada em diversas pesquisas no campo da ARS. A obra dos autores (WASSERMAN; FAUST, 1994), é considerada como uma das principais literaturas sobre as ARS, sendo largamente citada em pesquisas científicas relacionadas ao tema.

A partir da rede de cocitação, duas métricas relacionadas às publicações de maior ocorrência nos *clusters* foram mensuradas: centralidade de proximidade e centralidade de intermediação. Em ambos os resultados, a obra de Wasserman e Faust (1994) obteve maior relevância para a rede de cocitação, obtendo os maiores valores para ambos os índices, o que permite concluir que a obra dos autores possui a maior quantidade de conexões dentro da rede e, simultaneamente, é responsável por permitir o maior número de conexões indiretas entre dois pares de documentos não cocitados entre si, o que a torna, como consequência, a literatura de maior relevância dentro da rede.

Tabela 9 – Documentos com maior ocorrência por *cluster* na análise de cocitação

Documento	Referência	Centralidade	Centralidade	Cluster	Tipo	Título
		intermediação $C_B(n_i)$	Proximidade $C_C(n_i)$			
<i>eastman c.</i> <i>2011</i>	Eastman et <i>al.</i> (2011)	12,39	0,027	1	Livro	<i>BIM Handbook: a guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors</i>
<i>chinowsky</i> <i>p. 2008</i>	Chinowsky; Diekmann e Galotti (2008)	38,10	0,029	2	Artigo	<i>Social Network Model of Construction</i>

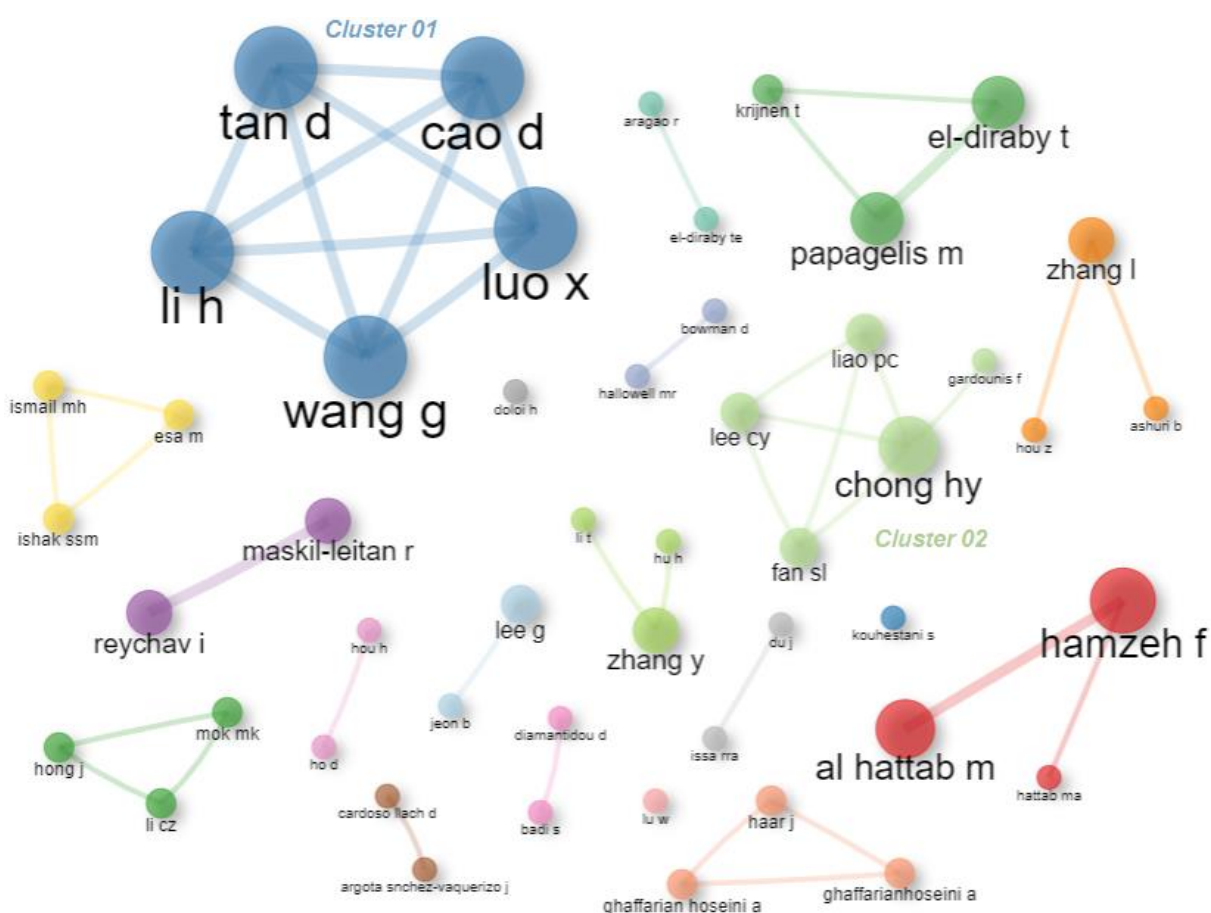
<i>wasserman</i> s. 1994	Wasserman e Faust (1994)	74,67	0,033	3	Livro	<i>Social Network Analysis Methods and Applications</i>
-----------------------------	--------------------------------	-------	-------	---	-------	---

Fonte: Autor

A colaboração entre autores que realizam pesquisas sobre temas similares é essencial para, principalmente: garantir a divisão de esforços de forma equilibrada entre diferentes grupos de pesquisa, aumentar a produtividade das equipes, prevenir a realização de pesquisas redundantes, permitir o compartilhamento de informações e possibilitar a criação de vínculos de parceria entre instituições (VILUTIENE *et al.*, 2019). Nesse sentido, a rede de colaboração entre autores a partir da coautoria dos artigos presentes na amostra foi desenvolvida e está apresentada na Figura 25. Nessa rede, cada nó representou um autor, cujo diâmetro é proporcional à quantidade de coautorias realizadas. A linha de conexão entre dois autores (nós) representa uma relação de coautoria entre eles e a espessura da linha é diretamente proporcional à quantidade de coautorias existentes. A rede foi composta pelos 50 autores com maior incidência de coautoria. Os nós isolados não foram removidos. Dentre os resultados, observa-se uma grande dispersão na rede, composta por diversas díades (8) e tríades (7) isoladas entre si, além de 2 pequenos *clusters* e 3 nós isolados. O evidente isolamento científico na rede reforça a necessidade de maior integração entre os autores que desenvolvem pesquisas sobre as aplicações da ARS ao BIM, o que sugere a possível atual ou futura existência de pesquisas com abordagens similares, ou por outro lado, com interpretações ou metodologias distintas aplicadas à um mesmo contexto, devido à falta de cooperação mútua na rede. A Tabela 10 apresenta os resultados das medidas de centralidade para os 10 autores com maiores valores de centralidade de proximidade e intermediação, listados de forma decrescente. A partir da tabela, pode-se concluir que os autores com maior centralidade de grau estão concentrados entre si em um único *cluster* (**Cluster 01**), mas sem contato com a grande maioria dos autores na rede, estes que realizam curtas cadeias de conexões. Ainda no **Cluster 01**, observa-se o estado de interconexão plena entre os autores, resultando numa densidade $\Delta = 1$, o que mostra um alto grau de colaboração. O **Cluster 02** apresenta características muito similares às encontradas nas redes de colaboração científicas pesquisadas por Newman (2001), no que diz respeito à

centralidade de intermediação. Devido à alta centralidade de intermediação ($C_B(n_i) = 3$) do autor com maior número de coautorias dentro do *cluster* - *Chong Hy* – a grande maioria dos *path* existentes passam por ele, sendo, portanto, o responsável por permitir a troca de informação indireta entre os autores não conectados dentro do *cluster*. A este efeito, dá-se o nome de afunilamento, uma vez que o número de *paths* que passam por um nó dentro da rede é muito maior do que nos demais.

Figura 25 – Rede de colaboração entre autores



Fonte: Autor

Tabela 10 - Medidas de centralidade da rede de colaboração científica entre autores, ordenadas de forma decrescente, para os 10 autores com maiores valores de Centralidade de intermediação (esquerda) e Centralidade de proximidade (direita).

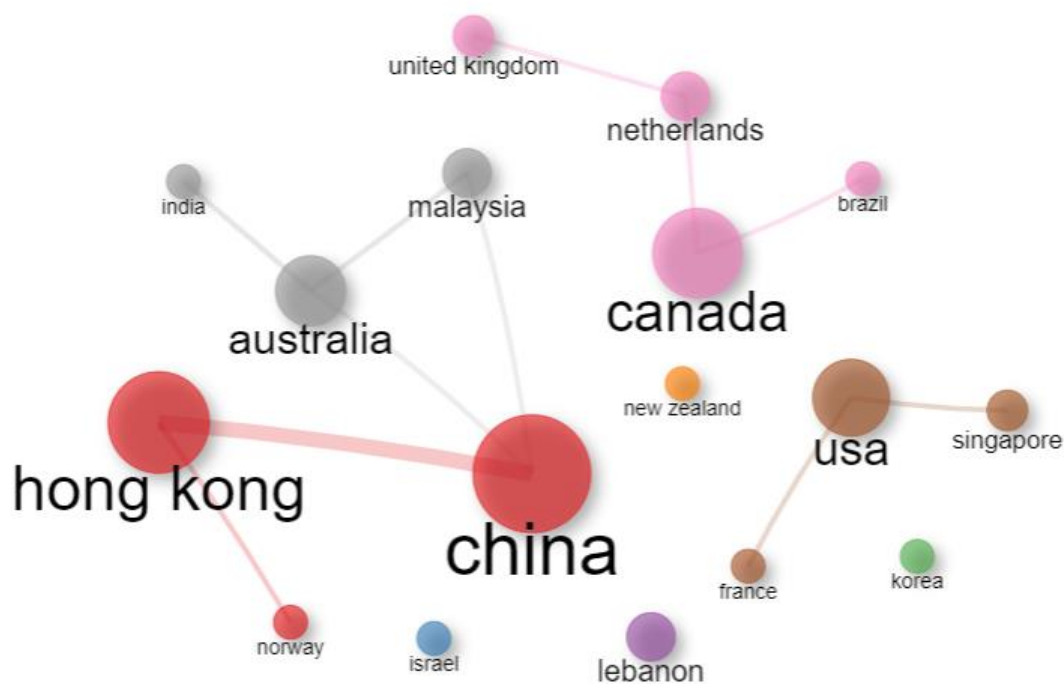
Autor	Centralidade de intermediação $C_B(n_i)$	Autor	Centralidade de proximidade $C_C(n_i)$
chong hy	3	cao d	0,0004437
hamzeh f	1	li h	0,0004437
zhang l	1	luo x	0,0004437
zhang y	1	tan d	0,0004437
al hattab m	0	wang g	0,0004437
hattab ma	0	chong hy	0,0004437
cao d	0	fan sl	0,0004435
li h	0	lee cy	0,0004435
luo x	0	liao pc	0,0004435
tan d	0	gardounis f	0,0004431

Fonte: Autor

A rede de colaboração científica entre países a partir da nacionalidade dos autores está apresentada na Figura 26. Na rede, os nós representam os países e seus diâmetros são proporcionais à quantidade de publicações dentre os artigos selecionados. As linhas que conectam os nós representam a existência de coautoria entre os países e a espessura das linhas é proporcional à quantidade de coautorias existentes entre países. A rede se caracteriza pela presença de 1 *cluster*, 3 tríades e 5 nós isolados. China e Hong Kong se destacam como o par de países com maior colaboração científica entre si, cada um com 4 artigos publicados, conforme apresentado anteriormente. O Líbano, apesar de possuir um número expressivo de publicações quando comparado a outros países (3), não realizou pesquisas em parceria com nenhum outro. A Tabela 11 apresenta os valores das medidas de centralidade de intermediação e centralidade de proximidade para cada país dentro da rede. A China possui a maior centralidade de intermediação ($C_B(n_i) = 6$), exercendo um importante papel de mediação entre nações que ainda não desenvolvem pesquisas em conjunto, o que sugere e facilita a existência de futuras parcerias. A China também possui a maior centralidade de proximidade ($C_C(n_i) = 5.155 \times 10^{-4}$), o que significa que mantém o maior número de conexões com diferentes nações dentro da rede, seguida por Austrália ($C_C(n_i) = 5.128 \times 10^{-4}$) e

Hong Kong ($C_C(n_i) = 5.102 \times 10^{-4}$). É possível observar que dentre os países que compuseram a rede de colaboração, grande parte também compõe a rede de países com maior colaboração na produção científica sobre BIM, conforme apresentado por Hosseini *et al.* (2018).

Figura 26 - Rede de colaboração científica entre países



Fonte: Autor

Tabela 11 - Medidas de centralidade da rede de colaboração científica entre países

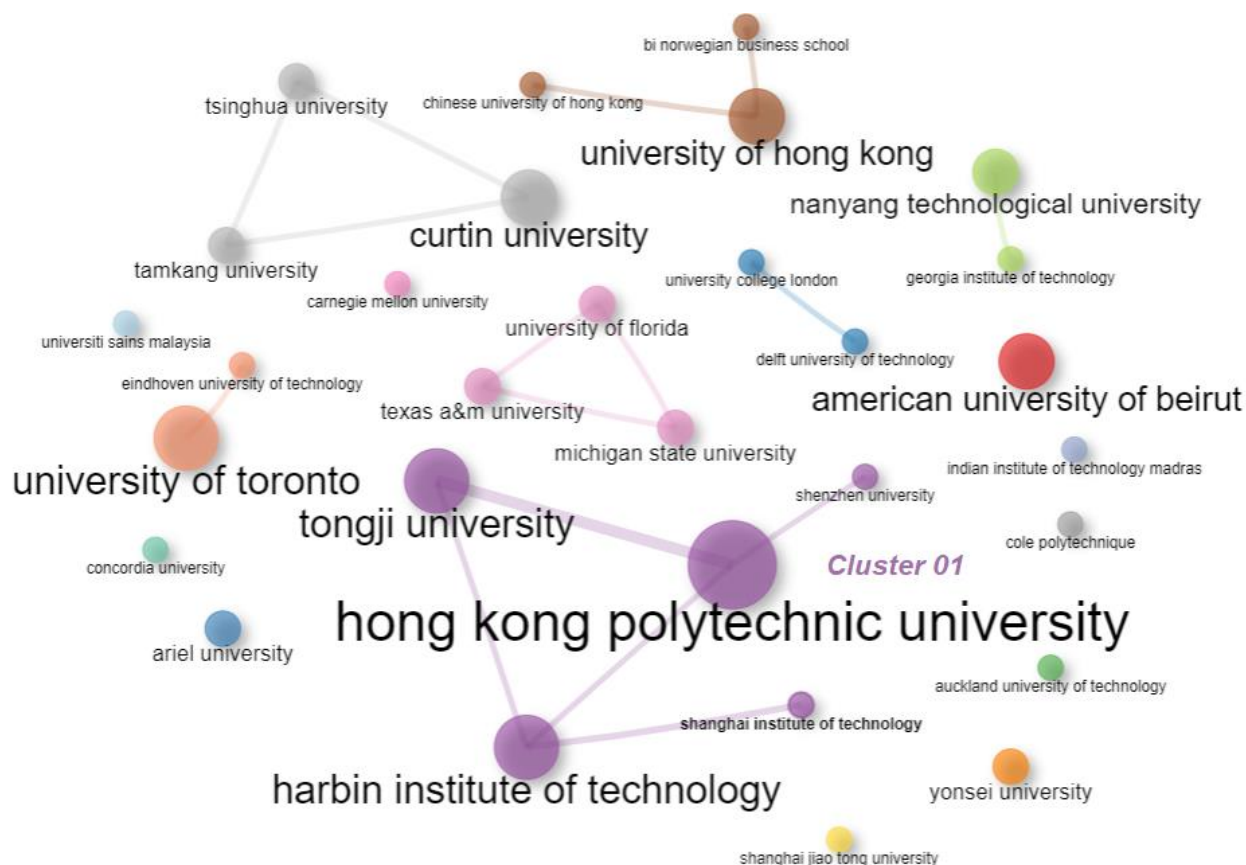
País	Centralidade de intermediação $C_C(n_i)$	Centralidade de Proximidade $C_B(n_i)$	País	Centralidade de intermediação $C_C(n_i)$	Centralidade de Proximidade $C_B(n_i)$
china	6	0,005155	singapore	0	0,004149
hong kong	4	0,005102	france	0	0,004149
norway	0	0,005000	canada	2	0,004444
israel	0	0,003676	netherlands	2	0,004444
korea	0	0,003676	united kingdom	0	0,004405
lebanon	0	0,003676	brazil	0	0,004405
new zealand	0	0,003676	australia	4	0,005128
usa	1	0,004167	malaysia	0	0,005102
india	0	0,005025			

Fonte: Autor

A rede de colaboração entre as Instituições de Ensino Superior (IES) está apresentada na Figura 27. Na rede, os nós representam as 30 instituições com maior número de

autores correspondentes dentre os artigos selecionados e seus diâmetros são proporcionais à quantidade de autores correspondentes. As linhas que conectam os nós representam a existência de coautoria entre instituições, e a espessura das linhas é diretamente proporcional à quantidade de artigos publicados em coautoria. Os nós isolados não foram removidos. A topologia da rede evidencia a existência de um *cluster* (**Cluster 01**), algumas tríades (3) e díades (3), e diversos nós isolados (10). A Tabela 12 apresenta as 10 IES com maiores valores para as medidas de centralidade – intermediação e proximidade – dentro da rede, listadas de forma decrescente. Os resultados destacam a atuação da *Hong Kong Polytechnic University* (Hong Kong) como a IES com maior número de autores correspondentes, e juntamente com o *Harbin Institute of Technology* (China), como as IES com maior centralidade de intermediação ($C_B(n_i) = 3$) e também com maior centralidade de proximidade ($C_B(n_i) = 1.324 \times 10^{-3}$) dentro da rede. Em termos de cooperação, observa-se uma grande dispersão entre as IES, havendo um *cluster* (**Cluster 01**) que concentra as IES com maior número de autores correspondentes e mantém conexões diretas e indiretas entre si, formada por IES asiáticas, que, atrás do Canadá, dominam a produção científica sobre ARS aplicada ao BIM nas primeiras posições, conforme apresentado na Figura 21. A existência do **Cluster 01** reflete como questões relacionadas ao idioma e à distância geográfica ainda podem ser consideradas barreiras para o aumento da integração entre autores, IES e países. Destacam-se ainda IES com alta produção científica dentro da rede, porém, com apenas 1 ou nenhuma parceria firmada, como a *University of Toronto* (Canadá) e a *America University of Beirut* (Líbano), respectivamente.

Figura 27 – Rede de colaboração científica entre as IES



Fonte: Autor

Tabela 12 - Medidas de centralidade da rede de colaboração científica entre IES, ordenadas de forma decrescente, para as 10 IES com maiores valores de Centralidade de intermediação (esquerda) e Centralidade de proximidade (direita).

IES	Centralidade de intermediação $C_B(n_i)$	IES	Centralidade de Proximidade $C_B(n_i)$
harbin institute of technology	3	harbin institute of technology	0,0013245
hong kong polytechnic university	3	hong kong polytechnic university	0,0013245
university of hong kong	1	tongji university	0,0013228
american university of beirut	0	shanghai institute of technology	0,0013193
ariel university	0	shenzhen university	0,0013193
auckland university of technology	0	university of hong kong	0,0012315
tongji university	0	university of florida	0,0012315
shanghai institute of technology	0	michigan state university	0,0012315
shenzhen university	0	texas a&m university	0,0012315
yonsei university	0	curtin university	0,0012315

Fonte: Autor

4.3 Análise de conteúdo das pesquisas

Esta subseção contempla a análise do conteúdo das pesquisas reunidas na RSL com o propósito de responder às questões elencadas no protocolo da RSL. As análises foram realizadas em duas instâncias distintas: macroanálise – reunindo todas as pesquisas – e análise por categoria, cuja definição foi realizada após a leitura completa dos artigos, onde foram identificadas 7 categorias distintas de classificação com base nos métodos adotados, na natureza dos dados coletados e dos indivíduos avaliados. As análises globais exploraram o método de coleta de dados utilizados pelos autores, a natureza dos dados coletados, as métricas utilizadas nas pesquisas e as ferramentas empregadas nas análises, desconsiderando as categorias. As análises por categoria buscaram identificar características ou padrões comuns às pesquisas com abordagens similares a partir dos objetivos declarados, do objeto de estudo utilizado pelos autores, dos resultados obtidos, da topologia das redes analisadas e das métricas utilizadas com foco nas propriedades tanto da rede social como dos indivíduos.

A definição de cada uma das categorias considerou a natureza dos indivíduos que compuseram as redes e a dos seus respectivos elos relacionais. A Tabela 13 reúne as categorias elencadas, suas descrições, a quantidade de trabalhos classificados em cada uma delas e seus respectivos autores. As categorias propostas foram: redes de relacionamento para análise comparativa (Categoria 1), redes de relacionamento entre fatores³⁶ (Categoria 2), métodos conceituais em análise de redes (Categoria 3), redes de relacionamentos baseados na colaboração (Categoria 4), redes de relacionamentos baseados nos cargos BIM (Categoria 5), redes de relacionamento entre termos (Categoria 6) e redes de relacionamento entre objetos BIM (Categoria 7). Os trabalhos cuja abordagem não envolveu a realização de um estudo de caso ou a aplicação da ARS numa rede de relacionamentos específica, foram reunidos na Categoria 3, considerando que, de modo geral, estes trabalhos apresentaram

³⁶ O termo “fatores” foi utilizado para designar quaisquer conjuntos de aspectos elencados a partir de um contexto em comum e utilizados como ponto de partida para a construção das redes, sejam por exemplo, causas, consequências, pontos positivos, pontos negativos, vantagens, desvantagens, dentre outras instâncias de ponderação.

propostas e metodologias para subsidiar pesquisas com ARS em redes de relacionamentos baseados no BIM. Os demais trabalhos foram classificados conforme o enfoque principal do trabalho, e, em alguns casos, quando propuseram mais de uma análise em paralelo, foram classificados em mais de uma categoria. A Figura 28 apresenta as categorias e suas respectivas porcentagens baseadas na quantidade de artigos reunidos em cada uma delas com relação ao total de trabalhos analisados.

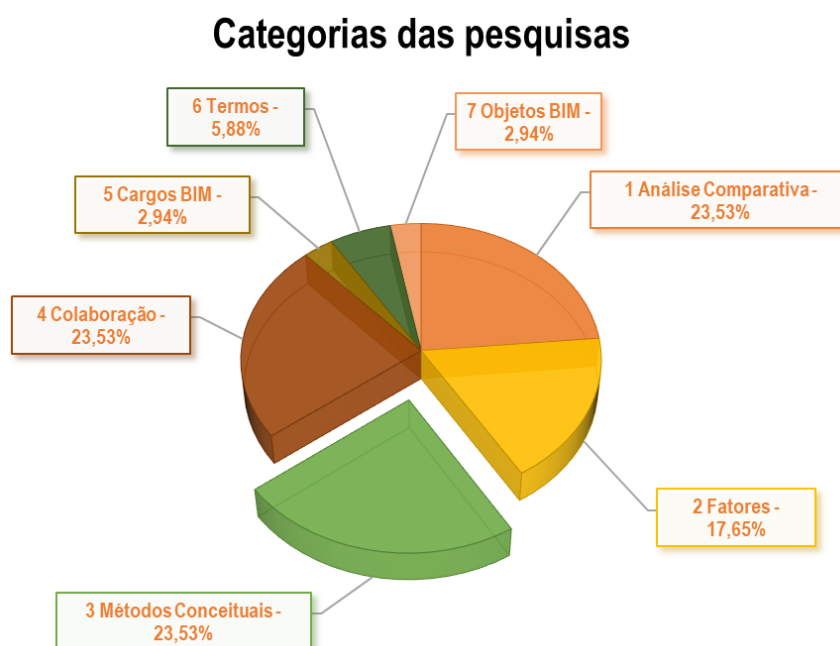
Tabela 13 – Categorias de classificação dos artigos selecionados

Item	Categoria	Descrição	Autores	Total
1	Redes de relacionamento para análise comparativa	Análise comparativa entre redes de relacionamentos baseados e não-baseados no BIM	(AL HATTAB; HAMZEH, 2015; BADI; DIAMANTIDOU, 2017; DU <i>et al.</i> , 2020; LU; XU; SÖDERLUND, 2020; MASKIL-LEITAN; REYCHAV, 2019; OKAKPU <i>et al.</i> , 2019; PARK; LEE, 2017; ZHANG; HU; XU, 2020)	8
2	Rede de relacionamento entre fatores	Redes de relacionamento entre fatores relacionados à diversos aspectos, como: implementação BIM, contratos, segurança do trabalho, riscos de atrasos em entrega de projetos, dentre outros.	(ARAGAO; EL-DIRABY, 2021; DOLOI; VARGHESE; RAPHAEL, 2015; FAN <i>et al.</i> , 2019; LI <i>et al.</i> , 2016; TAI; ZHANG; LI, 2020; TIXIER <i>et al.</i> , 2017)	6
3	Métodos conceituais em análise de redes	Proposta de métodos conceituais baseados em ARS com foco em redes de relacionamentos baseados no BIM.	(EL-DIRABY; KRIJNEN; PAPAGELIS, 2017; GARDOUNIS; CHONG; WANG, 2017; HATTAAB; HAMZEH, 2016; HO; HOU, 2019; ISHAK; ESA; ISMAIL, 2017; REDMOND; EL-DIRABY; PAPAGELIS, 2015; WANG <i>et al.</i> , 2020; ZHANG; ASHURI, 2018)	8
4	Redes de relacionamentos baseados na colaboração	Redes de relacionamentos baseados na colaboração entre indivíduos e suas influências nos processos baseados no BIM.	(AL HATTAB; HAMZEH, 2018; CAO <i>et al.</i> , 2017, 2018; KOUHESTANI; NIK-BAKHT, 2020; MASKIL-LEITAN; REYCHAV, 2018; PAPADONIKOLAKI; VERBRAECK; WAMELINK, 2017; WANG <i>et al.</i> , 2020; ZHANG; ASHURI, 2018)	8
5	Redes de relacionamento	Redes de relacionamento entre diferentes ocupações	(LEE; UHM; JEON, 2017)	1

	s baseados nos cargos BIM	exercidas por profissionais da construção relacionadas ao BIM.	
6	Redes de relacionamento entre termos	Redes de relacionamento entre termos relacionados ao BIM em artigos científicos.	(AL HATTAB, 2021; LLACH; SÁNCHEZ-VAQUERIZO, 2019) 2
7	Redes de relacionamento entre objetos BIM	Redes de relacionamento entre objetos BIM, a partir das suas diferentes correlações: dependência, localização, conflitos, dentre outros.	(LLACH; SÁNCHEZ-VAQUERIZO, 2019) 1

Fonte: Autor

Figura 28 – Categorias de classificação identificadas nas pesquisas utilizando ARS em redes de relacionamentos baseados no BIM e suas respectivas porcentagens de ocorrência com base no número total de trabalhos analisados



Fonte: Autor

Em termos gerais, as Categorias 1, 3 e 4 obtiveram destaque devido ao maior número de trabalhos classificados (8). Considerando o foco em comum das Categorias 1 e 4, pode-se afirmar que 47% das pesquisas exploraram aspectos relacionados à relação

entre profissionais do setor da AECO em redes de relacionamentos baseados no BIM, seja a partir da análise comparativa com as redes tradicionais ou para mensurar os efeitos do uso do BIM para os índices de colaboração entre estes profissionais. Nota-se também um grande interesse da comunidade científica em propor métodos conceituais para a aplicação da ARS em redes de relacionamentos baseados no BIM, o que pode ser verificado devido ao destaque no número de pesquisas agrupadas na Categoria 3. Em seguida, destaca-se a Categoria 2, representando, aproximadamente 18% dos temas abordados nas pesquisas utilizando-se a ARS em redes baseadas no BIM com foco na relação entre fatores de diferentes naturezas que participam dos relacionamentos exercidos nestas redes. Redes de relacionamento entre termos ou palavras-chave representaram aproximadamente 6% das pesquisas, enquanto as redes baseadas no relacionamento entre cargos BIM ou objetos BIM, apresentaram, cada uma, 3% das pesquisas realizadas na área. As discussões relacionadas a cada uma das categorias, as contribuições e conclusões obtidas pelos autores estão apresentadas na seção 4.3.4.

4.3.1 Natureza e coleta dos dados

As etapas de definição do tipo de dados a serem utilizados e a forma como serão coletados são determinantes para se atingir o sucesso nas pesquisas com ARS. A tomada de decisão adequada nessas etapas que antecedem as análises propriamente ditas, pode garantir dados mais precisos e em quantidades adequadas, que, ao mesmo tempo, representem o comportamento real da rede em estudo e viabilizem a realização da pesquisa em tempo hábil. Esta subseção analisou a natureza dos dados utilizados pelos autores nas pesquisas e o método aplicado para a coleta desses dados, buscando identificar os principais benefícios e desvantagens de cada um a partir das conclusões obtidas nas pesquisas e em outras pesquisas anteriores. Os tipos de dados identificados em primeira instância de análise foram: indivíduos, fatores, cargos, empresas/organizações, termos e objetos. Após uma segunda rodada de análise, observou-se que os dados baseados em indivíduos apresentavam particularidades quanto à forma de obtenção que refletiam tanto no tipo de análise empregado quanto na característica dos dados obtidos, o que implicou uma nova subdivisão baseada também no método de coleta para esse tipo de dado, resultando em três tipos distintos de coleta identificados para indivíduos: e-mails,

relatórios/registro de atividades em bancos de dados e questionários sociométricos/entrevistas. A Tabela 14 apresenta o resumo dos tipos de dados utilizados pelos autores conforme a subdivisão adotada, o método de coleta de dados adotado em cada uma das pesquisas e os seus respectivos autores.

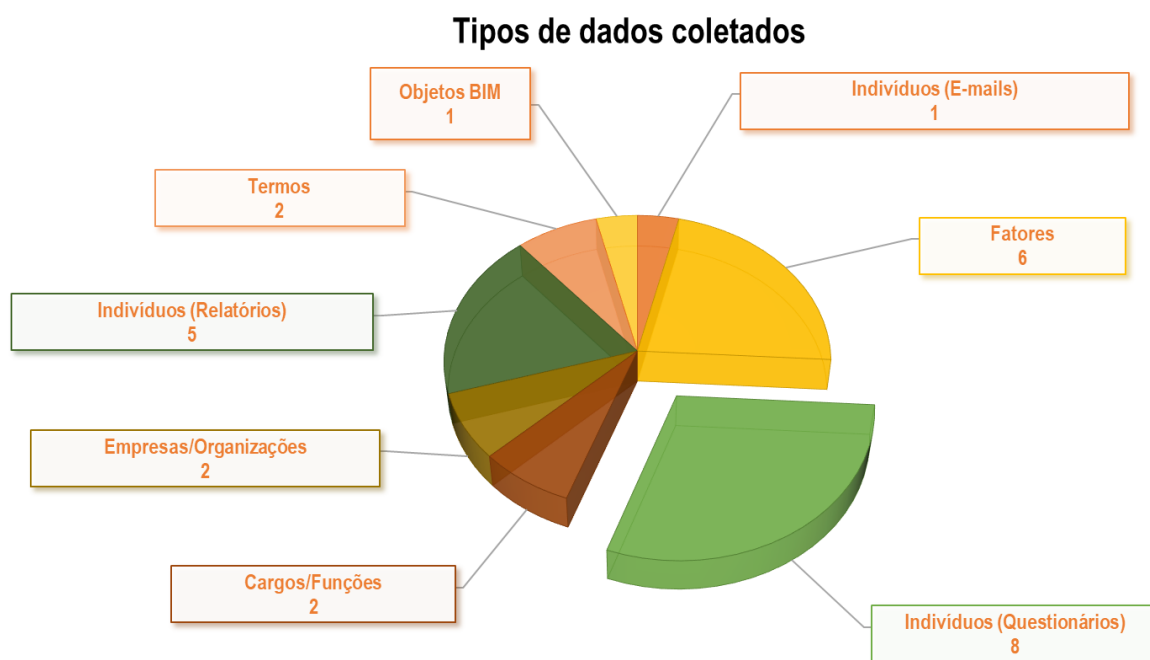
Tabela 14 – Tipos de dados e métodos de coleta utilizados pelos autores nas pesquisas em redes de relacionamentos baseados no BIM utilizando ARS.

Tipo de dados	Método de coleta	Autores	Total
Dados relacionais entre indivíduos (E-mails: método indireto)	Extração dos registros de e-mail trocados entre indivíduos.	(DU <i>et al.</i> , 2020)	1
Dados relacionais entre fatores	Fatores obtidos a partir de revisão bibliográfica baseada em DOLOI; dissertações, artigos, relatórios e livros ou a partir de entrevistas com profissionais do setor da AECO – questionários sociométricos.	(ARAGAO; EL-DIRABY, 2021; VARGHESE; RAPHAEL, 2015; FAN <i>et al.</i> , 2019; LI <i>et al.</i> , 2016; TAI; ZHANG; LI, 2020; TIXIER <i>et al.</i> , 2017)	6
Dados relacionais entre indivíduos (Questionário sociométricos/entrevistas: método direto)	Realização de entrevistas e questionários com atores-chave para obtenção de dados relacionais entre eles.	(AL HATTAB; HAMZEH, 2015, 2018; BADI; DIAMANTIDOU, 2017; MASKIL-LEITAN; REYCHAV, 2018, 2019; OKAKPU <i>et al.</i> , 2019; PAPANIKOLAKI; VERBRAECK; WAMELINK, 2017; WANG <i>et al.</i> , 2020)	8
Dados relacionais entre cargos/funções	Mapeamento das relações esperadas entre diferentes cargos ou funções em ambientes de trabalho baseados no BIM baseados na literatura ou na prática de mercado.	(LEE; UHM; JEON, 2017; ZHANG; HU; XU, 2020)	2
Dados relacionais entre empresas/organizações /entidades	Bancos de dados de órgão públicos ou entidades que contém registros de projetos ou obras realizadas com diversas empresas ou organizações ao longo do tempo.	(CAO <i>et al.</i> , 2017; HO; HOU, 2019)	2
Dados relacionais entre indivíduos –	Dados compartilhados de registros ou relatórios de horas e atividades de	(CAO <i>et al.</i> , 2018; KOUHESTANI; NIK-BAKHT, 2020; LU; XU; SÖDERLUND,	5

(Relatórios: método indireto)	profissionais numa empresa, instituição, setor ou projeto.	2020; PARK; LEE, 2017; ZHANG; ASHURI, 2018)	
Dados relacionais entre termos	Dados obtidos a partir da relação, associação ou sinergia entre palavras-chave em artigos científicos.	(AL HATTAB, 2021; LLACH; SÁNCHEZ-VAQUERIZO, 2019)	2
Dados relacionais entre objetos BIM	Dados obtidos a partir da relação de associação ou conflito entre objetos BIM a partir de análises de interferência entre modelos de diferentes disciplinas.	(LLACH; SÁNCHEZ-VAQUERIZO, 2019)	1

Fonte: Autor

Figura 29 – Tipos de dados coletados nas pesquisas utilizando ARS em redes de relacionamentos baseados no BIM e o respectivo número de artigos com ocorrência de uso



Fonte: Autor

A partir dos dados reunidos nessa etapa de análise, pode-se observar que o tipo de dado mais comum utilizado pelos autores foi baseado em indivíduos, isto é, agentes/atores do setor da AECO, representando mais da metade da ocorrência de uso de algum tipo de dado relacional nas pesquisas (14), a partir de três métodos distintos de coleta, conforme apresentados anteriormente. Dentre estes métodos, a obtenção de dados entre indivíduos a partir de questionários sociométricos (8) – dados

obtidos de forma direta – foi o método de coleta mais comum, seguido de outras duas formas de coleta de dados indiretas - onde não há contato, participação ou influência direta dos indivíduos envolvidos no processo de coleta - sendo eles: e-mails (1) e relatórios/registros (5). Destacam-se também as pesquisas que se utilizaram de dados baseados em fatores, obtidos a partir de revisão bibliográfica ou através de questionários sociométricos (6), seguidas de outras com menor ocorrência, baseadas em dados de naturezas distintas, tais como dados relacionais entre termos (2) obtidos a partir de revisão bibliográfica; dados relacionais entre empresas/organizações (2) obtidos a partir de bancos de dados públicos; dados relacionais entre cargos/funções BIM (2) baseados na literatura ou mercado; e, por fim, dados relacionais entre objetos BIM (1) baseados em relatórios de análise de interferência entre disciplinas – *clash detection and avoidance*³⁷.

Uma questão importante de se destacar está no fato de que apenas dois tipos de dados utilizados pelos autores foram obtidos através do método de questionário sociométricos/entrevistas, sendo eles, dados entre indivíduos (8) e dados entre fatores (5³⁸), totalizando 13 pesquisas. As demais pesquisas utilizaram métodos indiretos de coleta tais como e-mails, relatórios, livros, periódicos ou arquivos. Esta constatação é interessante por três questões. A primeira delas está no fato de que o questionário sociométrico é considerada a forma mais comum e usual de coleta de dados na ARS, portanto não seria incomum se a grande maioria das pesquisas os tivessem adotado como método principal, o que não foi constatado. Este fato, portanto, reforça a afirmação feita por Marsden (1990) quando relata a criatividade metodológica dos pesquisadores durante o processo de obtenção de dados relacionais, buscando alternativas inventivas para obter dados e construir relações entre eles. A segunda questão está na evidência da quantidade reduzida de pesquisas que optaram pela aplicação de questionários, que pode ser justificada a partir a explicação fornecida por Lazega e Higgins (2014), quando afirmam que a coleta de dados baseada em alguns métodos – dentre eles os questionários sociométricos ou entrevistas - pode ser

³⁷ Conforme a classificação proposta por BIMe Initiative (2019).

³⁸ Dentre as 6 pesquisas identificadas na Categoria 2 – Redes de relacionamento entre fatores, 5 utilizaram questionários/entrevistas como método para coleta de dados.

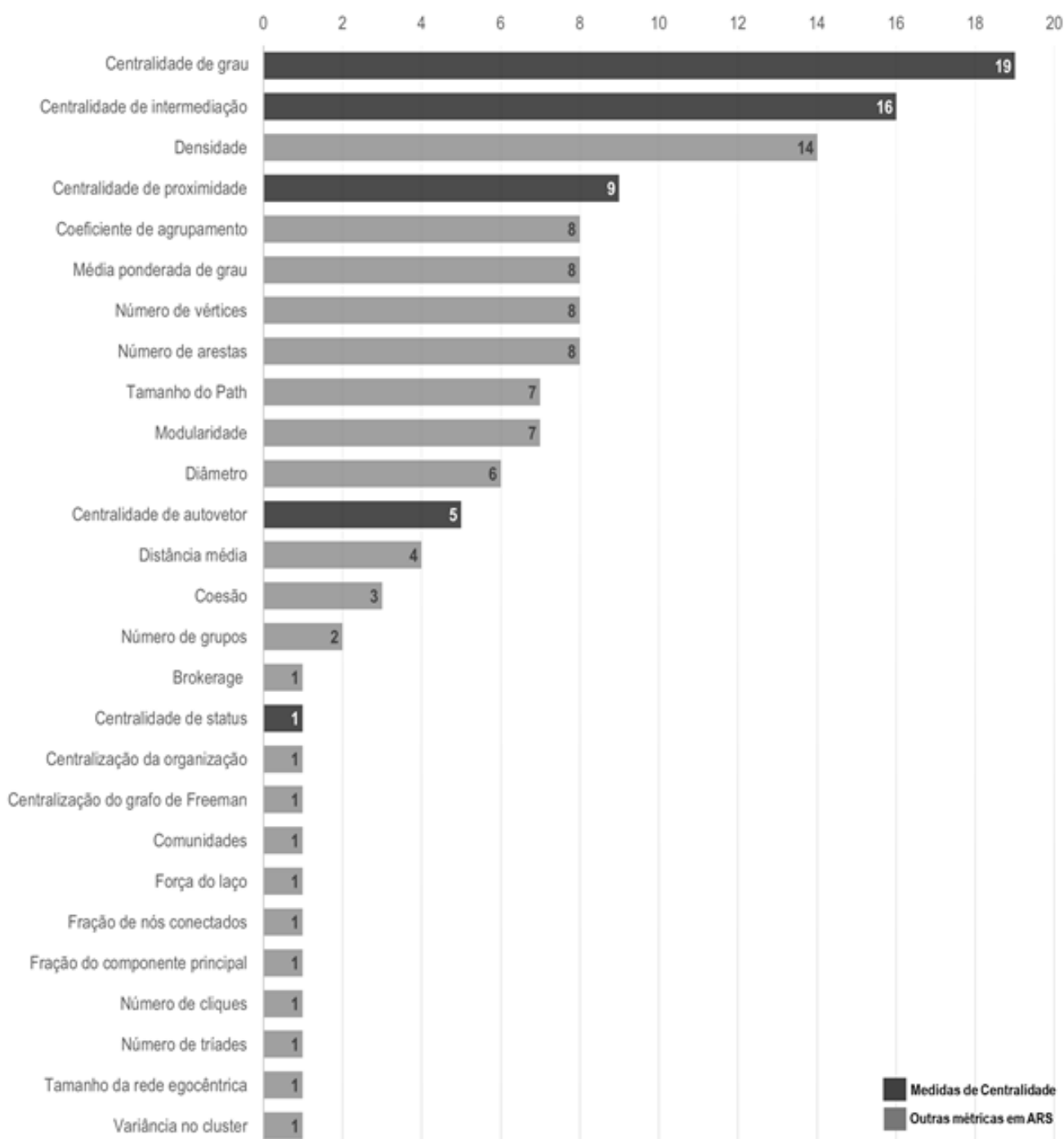
dispendiosa e apresentar riscos de fracasso, uma vez que está suscetível à fatores como disponibilidade e cooperação dos indivíduos que participam da pesquisa, problemas estes que podem ser inertes em outros métodos de coletas baseados em arquivos, mais vantajosos em situações, por exemplo, em que os indivíduos são inacessíveis. Por fim, outra questão que pode dificultar o emprego de questionários, conforme explica Pryke (2012), está relacionada à forma como o *software* de ARS, caso seja utilizado para as análises matemáticas, recebe as informações, o que torna necessário preparar o questionário para fornecer dados adequados e evitar um grande esforço para a manipulação e tratamento dos dados antes das análises propriamente ditas.

4.3.2 Métricas

Outra etapa determinante nas pesquisas com ARS está baseada na seleção das métricas a serem aplicadas a partir dos dados obtidos. A Figura 30 apresenta o resumo das métricas mais utilizadas pelos autores e o respectivo número de pesquisas com ocorrências de uso registradas.

Figura 30 – Métricas mais utilizadas nas pesquisas com ARS em redes de relacionamentos baseados no BIM

Métricas da ARS mais utilizadas em redes de relacionamento baseadas no BIM

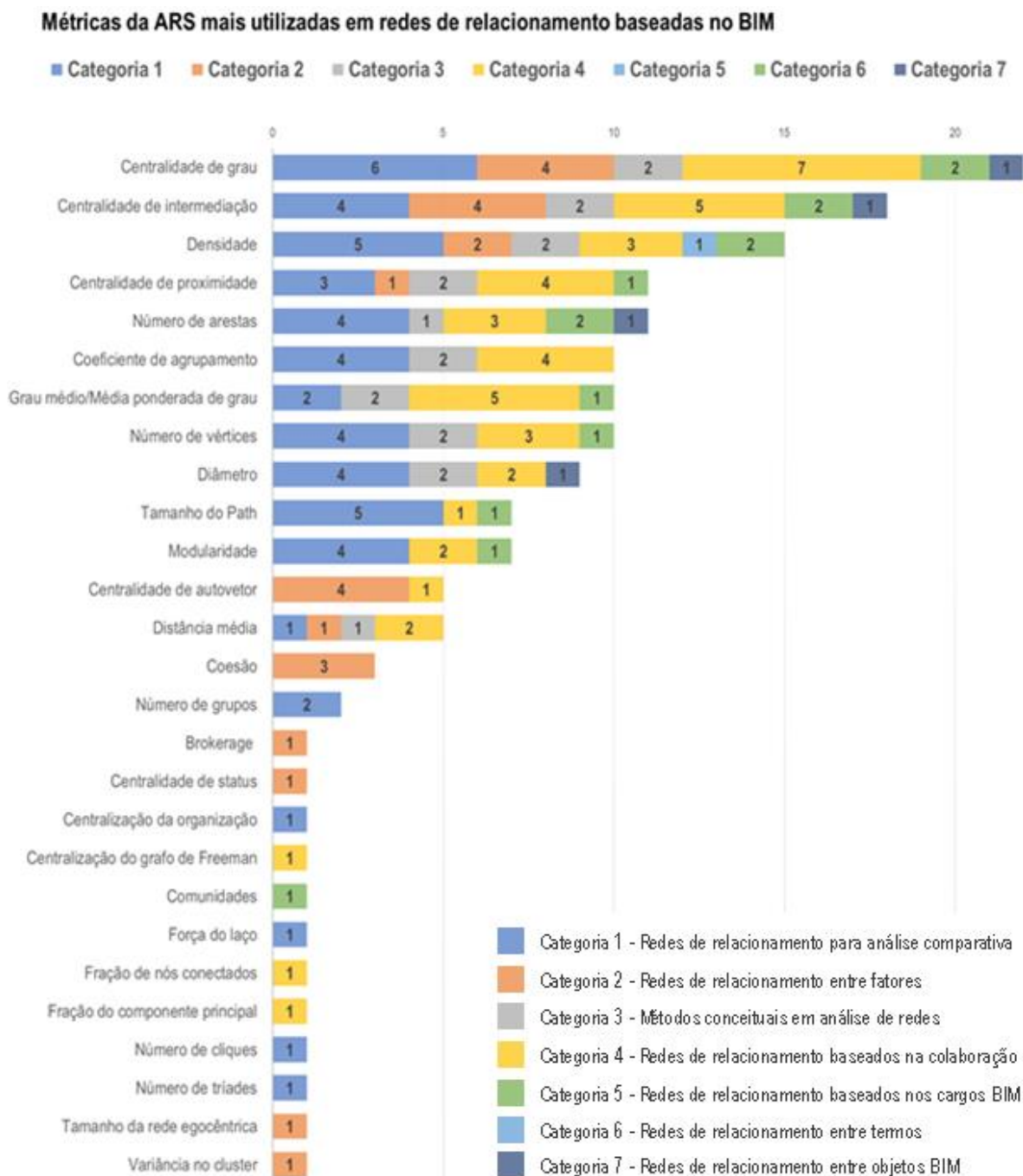


Fonte: Autor

Os resultados obtidos evidenciam o protagonismo no emprego das medidas de centralidade – centralidade de grau, centralidade de intermediação e centralidade de proximidade -, acompanhadas das medidas de densidade e número de arestas ocupando as cinco primeiras posições, dentre as 27 métricas listadas, que juntas, representam quase a metade (66 ou 48%) dentre todas (136) as ocorrências de uso das métricas das pesquisas. Outra questão de destaque está no protagonismo de outras medidas de centralidade junto às que ocuparam as primeiras posições, sendo elas: centralidade de grau, centralidade de intermediação, centralidade de proximidade, centralidade de autovetor e centralidade de *status* – que juntas, representam mais de um terço (36% ou 50) das ocorrências de uso das métricas. De acordo com Pryke (2012), àquela altura, os analistas de redes sociais estavam muito focados no estudo e aplicação das medidas de centralidade nas suas pesquisas, o que pôde ser confirmado como uma preocupação ainda em vigor nas pesquisas com ARS em redes de relacionamentos baseados no BIM. As medidas de centralidade estão preocupadas em analisar o comportamento individual dos atores de uma rede social, principalmente em termos da autonomia do ator, da posição na rede e no papel que ocupa. Além disso, o número expressivo de ocorrências de uso da densidade entre as medidas de centralidade também se confirma como uma prática já consolidada e identificada na literatura que ainda vigora, como explica Pryke (2012), quando afirma que a união entre as medidas de densidade e de centralidade fornecem um meio de comparação e análises que não eram possíveis antes do uso da ARS em redes de relacionamento na indústria da construção. Pode-se observar também como métricas muito simples de serem obtidas não apresentaram valores de ocorrência expressivos, a exemplo do número de arestas (8) e do número de vértices (8). Observou-se ainda, um número expressivo de métricas (12) com ocorrência unitária nas pesquisas, o que evidencia o desinteresse ou desconhecimento dessas métricas pelos autores, o que reflete uma vasta quantidade de métodos de análise a serem explorados tanto de forma isolada como em associação.

A Figura 31 apresenta o número de ocorrências de uso das métricas nas pesquisas em cada uma das categorias de classificação que foram propostas. Devido ao fato de alguns trabalhos pertencerem a mais de uma categoria simultaneamente, o número de ocorrências registrado nessa análise divergiu do número de ocorrências que foram apresentadas na figura anterior.

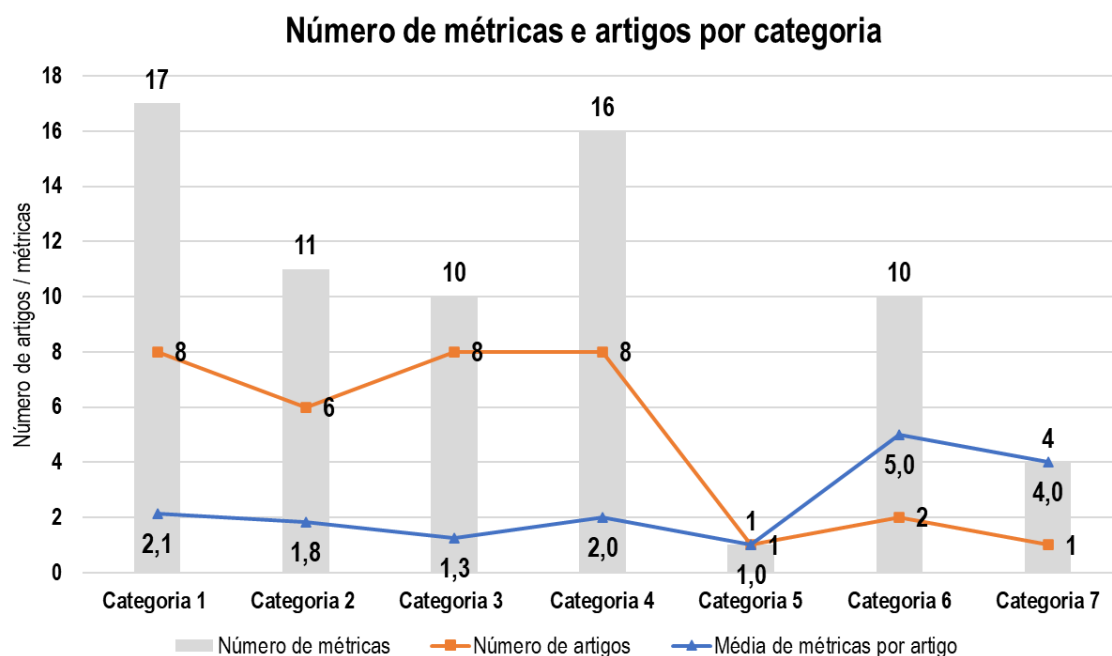
Figura 31 - Métricas mais utilizadas nas pesquisas com ARS em redes de relacionamentos baseados no BIM divididas por categoria de abordagem conforme a classificação dos artigos e a quantidade de ocorrências de uso



Fonte: Autor

Conforme a classificação da ocorrência de uso das métricas por artigo em cada categoria, apresentado na Figura 31, pode-se observar a variabilidade de ocorrências de uso das três métricas mais comuns – centralidade de grau, centralidade de intermediação e densidade – em 6 das 7 categorias propostas, o que permite concluir como as características relacionadas a centralidade dos atores numa rede são informações cuja relevância independe da natureza da relação entre os atores ou das características topológicas da rede. O mesmo pode ser observado para outras métricas, como: número de arestas, coeficiente de agrupamento, grau médio/média ponderada de grau, número de vértices, diâmetro, tamanho do *path*, modularidade e distância média, cuja distribuição de ocorrências esteve baseada em, no mínimo, três categorias distintas, apesar do número menor de ocorrências. Por outro lado, métricas como coesão e número de grupos, parecem ter uma atenção especial em pesquisas com características específicas, devido a ocorrência apenas na categoria que reuniu pesquisas com redes baseadas no relacionamento entre fatores e redes baseadas em análise comparativa, respectivamente.

Figura 32 – Número de métricas distintas e artigos por categoria



Analisando o número de métricas, o número de artigos e a média de métricas por artigo em cada categoria, conforme apresentado na Figura 32, pode-se observar a disparidade entre o número de métricas aplicadas entre categorias com o mesmo número de artigos, como acontece entre as Categorias 1, 3 e 4, com 8 artigos cada,

porém, com a Categoria 3 explorando 7 métricas a menos em relação à Categoria 1 e 6 a menos em relação à Categoria 4. Outra disparidade pode ser observada comparando-se os números das Categorias 3 e 6, estas que obtiveram o mesmo número de métricas distintas empregadas nas pesquisas, mesmo a Categoria 3 possuindo quatro vezes mais artigos que a Categoria 6. Em termos da média de métricas por artigo em cada categoria, observa-se que as redes baseadas em termos (Categorias 6) e em objetos BIM (Categoria 7) possuíram os maiores valores, 5,0 e 4,0, respectivamente. Por outro lado, em termos da quantidade de métricas utilizadas, as redes baseadas em análise comparativa (Categoria 1) e na colaboração entre atores (Categoria 4), possuem os maiores valores de métricas distintas exploradas pelos autores.

4.3.3 Ferramentas

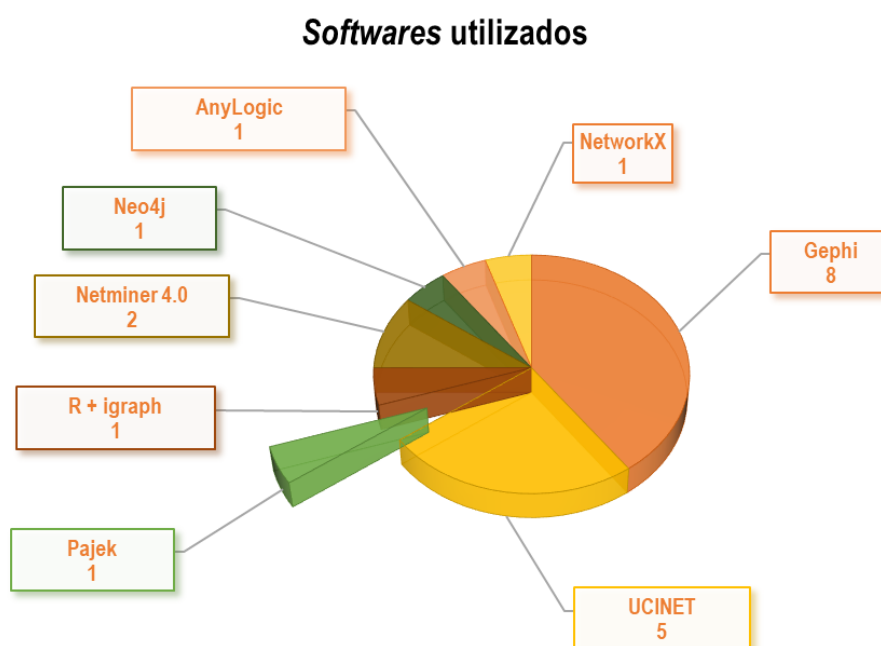
As décadas de 1980 e 1990 trouxeram consigo diversos *softwares* para apoiar os processos de análise nas ciências sociais. Nesse sentido, diversos *softwares* para apoiar tanto a aplicação das métricas da ARS como visualização das redes, foram desenvolvidos. Por outro lado, cada ferramenta traz particularidades específicas, relacionadas tanto à entrada como saída dos dados, o que torna essencial se definir a ferramenta que será utilizada antes mesmo de se definir a forma de coleta de dados, uma vez que diferentes *softwares* podem requerer dados dispostos de formas distintas para que possa ser utilizados da forma adequada (MAJEED *et al.*, 2020; PRYKE, 2012). Assim, entender quais as ferramentas mais utilizadas pelos autores nas pesquisas com ARS em redes de relacionamentos baseados no BIM é essencial para que a escolha da ferramenta mais adequada seja um processo mais preciso, sendo este, portanto, o objetivo dessa subseção. A Tabela 15 apresenta os softwares utilizados nas pesquisas reunidas na RSL, quando declarado pelos autores. A Figura 33 reúne os softwares mais utilizados e sua respectiva quantidade de usos registrados nas pesquisas analisadas.

Tabela 15 – *Software* para realização das análises matemático-estatísticas na ARS utilizados nas pesquisas em redes de relacionamentos baseados no BIM

Software	URL	Autores	Total
Gephi	https://gephi.org/	(AL HATTAB, 2021; AL HATTAB; HAMZEH, 2015, 2018; LU; XU; SÖDERLUND, 2020; MASKILLEITAN; REYCHAV, 2018, 2019; OKAKPU <i>et al.</i> , 2019; PAPADONIKOLAKI; VERBRAECK; WAMELINK, 2017)	8
UCINET	http://www.analytictech.com/archive/ucinet.htm	(ARAGAO; EL-DIRABY, 2021; BADI; DIAMANTIDOU, 2017; CAO <i>et al.</i> , 2017, 2018; ZHANG; HU; XU, 2020)	5
Pajek	http://vlado.fmf.uni-lj.si/pub/networks/pajek/	(ARAGAO; EL-DIRABY, 2021)	1
R + igraph	https://igraph.org/	(TIXIER <i>et al.</i> , 2017)	1
Netminer 4.0	http://www.netminer.com/main/main-read.do	(DOLOI; VARGHESE; RAPHAEL, 2015; TAI; ZHANG; LI, 2020)	2
Neo4j	https://neo4j.com/	(WANG <i>et al.</i> , 2020)	1
AnyLogic	https://www.anylogic.com/	(HATTAAB; HAMZEH, 2016)	1
NetworkX	https://networkx.org/	(EL-DIRABY; KRIJNEN; PAPAGELIS, 2017)	1

Fonte: Autor

Figura 33 – *Softwares* utilizados para apoiar as análises matemático-estatísticas nas pesquisas utilizando ARS em redes de relacionamentos baseados no BIM



Fonte: Autor

A partir dos resultados obtidos, pode-se observar o predomínio dos *softwares Gephi* (8) e *UCINET* (5), dentre as pesquisas, resultado semelhante ao obtido pelos autores Majeed *et al.* (2020), ao analisarem cinco dentre as ferramentas mais utilizadas nas pesquisas em ARS. De acordo com a pesquisa realizada pelos autores, o *Gephi* é mais indicado quando a visualização dos dados é o fator de maior interesse nas análises, uma vez que possui interface e visualização bastante adequadas, mas contempla apenas algumas métricas comuns da ARS. Por outro lado, o *UCINET* foi considerado mais popular em pesquisas acadêmicas, sendo recomendado para qualquer tipo de análise, uma vez que contempla uma grande quantidade de métricas distintas. Portanto, baseando-se nessa afirmação, é possível inferir que, dentre as pesquisas elencadas na RSL, a visualização dos dados foi o fator de maior relevância, em detrimento da variabilidade das métricas aplicadas, o que também explica a ocorrência massiva de métricas comuns nas pesquisas, enquanto outras métricas foram utilizadas em apenas um único trabalho, como mostrado anteriormente.

4.3.4 Análise de conteúdo das pesquisas por categoria

Essa subseção reúne as análises com foco no conteúdo das pesquisas em cada uma das categorias definidas anteriormente. De modo geral, foram analisados aspectos relativos à natureza dos dados, ao tipo de método utilizado, ao *software* adotado e ao objetivo de análise, buscando construir associações entre as pesquisas e comparar os resultados obtidos em trabalhos com abordagens semelhantes.

4.3.4.1 Categoria 1 - Redes de relacionamento para análise comparativa

As relações de trabalho entre profissionais na indústria da construção formam redes de relacionamento sociotécnicas³⁹ primárias de caráter temporário, com ciclos de tempo limitado e objetivos específicos, cujas entregas são atribuições de equipes formadas por diferentes grupos de indivíduos, que por sua vez formam outras redes sociotécnicas secundárias, envolvidos em processos complexos para a resolução de

³⁹ Conforme explicam Leitan e Reychav (2019), a grande quantidade de indivíduos que participam direta e indiretamente dos processos de projeto e construção no setor da AEC exercem relacionamentos envolvidos em diversos fatores técnicos e principalmente, sociais, o que requer uma análise baseada numa visão sociotécnica das relações para entender a forma como organizam-se e trocam informações.

problemas através de relações formais e informais. A adoção do BIM em ambientes de trabalho baseados em outras metodologias resulta numa série de rupturas, cuja incidência recai diretamente sobre estas relações e trazem consigo diversas consequências como o surgimento de novos papéis, responsabilidades, tarefas, alterações na quantidade de pessoas envolvidas e principalmente, novas formas de exercer a comunicação e compartilhar informação. Essas características tornam a análise das relações sociais nestes ambientes uma etapa fundamental para diagnosticar problemas e propor soluções (DU *et al.*, 2020; MASKIL-LEITAN; REYCHAV, 2019; PRYKE; BADI; BYGBALLE, 2017). Nesse sentido, esta categoria reuniu os trabalhos cuja metodologia propôs a aplicação da ARS com o objetivo de realizar uma análise comparativa entre redes de relacionamentos baseados e não baseadas no BIM, buscando identificar as principais mudanças exercidas pela sua adoção, considerando os efeitos nas relações de trabalho com foco em aspectos como colaboração e comunicação. A Tabela 16 reúne os objetivos das pesquisas com relação a aplicação da ARS, o método adotado, o *software* empregado para realização das análises e objetos de análise utilizados pelos autores nesta categoria.

Tabela 16 – Objetivo de análise, objeto e autores das pesquisas reunidas na Categoria 1 – Redes de relacionamento para análise comparativa⁴⁰

Objetivo da análise utilizando ARS	Objeto de análise	Método	Software	Autor
Comparar o efeito da Implementação do BIM na estrutura organizacional, eficiência na comunicação e performance de projeto.	Dois projetos similares formados por edifícios residenciais de habitação pública.	Estudo de caso	<i>Gephi</i>	(LU; XU; SÖDERLUND, 2020)
Comparar o efeito da Implementação do BIM nas características das redes de comunicação de projeto.	Registros de e-mail de projetos fornecidos por oito empresas distintas.	-	-	(DU <i>et al.</i> , 2020)
Comparar o efeito da implementação do BIM sobre o fluxo de informação entre os indivíduos que participam do processo de gestão de mudanças de projeto e construção.	Fluxo de trabalho tradicional adotado para a gestão de mudanças de projeto e construção.	-	<i>UCINET</i>	(ZHANG; HU; XU, 2020)
Comparar e examinar as redes de comunicação interorganizacionais	Projeto de apartamentos residenciais e um edifício corporativo.	Estudo de caso	<i>Gephi</i>	(MASKIL-LEITAN;

⁴⁰ Pesquisas cuja metodologia empregada não foi declarada explicitamente no texto do artigo foram omitidas para evitar a ocorrência de equívocos.

baseadas na troca de informação em relação a implementação do BIM.					REYCHAV, 2019)
Comparar o efeito da implementação do BIM sobre o nível de interação entre as partes interessadas em projetos de reforma.	Projeto de reforma de edifício comercial.	Estudo de caso	<i>Gephi</i>		(OKAKPU <i>et al.</i> , 2019)
Comparar o efeito da implementação do BIM no impacto das redes de comunicação e na interação entre os indivíduos com foco na eliminação de erros de projeto.	Empresa de projetos de pequeno a médio porte.	-	<i>Gephi</i> <i>NetLogo</i>		(AL HATTAB; HAMZEH, 2015)
Investigar o efeito da implementação do BIM na mudança da estrutura das redes de relacionamentos em projetos de construção, examinando os novos papéis que o BIM introduz.	Dois projetos com características similares, o edifício “ <i>National Opera House</i> ” e uma estação subterrânea.	Estudo de caso	<i>UCINET</i>		(BADI; DIAMANTIDOU, 2017)
Comparar o efeito da implementação do BIM no que diz respeito à produtividade da coordenação, qualidade na revisão de projetos e no compartilhamento de informações.	Projeto de dois edifícios de enfermaria de um hospital.	Estudo de caso	-		(PARK; LEE, 2017)

Fonte: Autor

Dentre as pesquisas elencadas, a ARS foi amplamente empregada em consonância com o método de estudo de caso comparativo, conforme apresentado na Tabela 16, cuja aplicação permite realizar um estudo exploratório-investigativo para realizar conclusões empíricas em ambientes não controlados pelo pesquisador, permitindo-se comparar com clareza os efeitos do uso do BIM, a partir de objetos de casos similares, com e sem a sua utilização (BADI; DIAMANTIDOU, 2017; MASKIL-LEITAN; REYCHAV, 2019). O uso da ARS permitiu diversas análises e considerações distintas sobre o comportamento das redes de relacionamentos baseados no BIM em comparação com redes onde o BIM não foi adotado. De modo geral, as análises realizadas podem ser subdivididas em duas instâncias: análises da rede e análises individuais. Em termos das ferramentas, *UCINET* e *Gephi* se destacaram como as mais utilizadas pelos autores para realização das análises e aplicação das métricas da ARS.

As análises da rede estão preocupadas em entender o comportamento da rede como um objeto único. Em termos das redes de relacionamentos baseados no BIM, essas análises contemplam um conjunto de métricas que contribuem para identificar a ocorrência de padrões de distribuição das relações, a ocorrência de grupos ou subgrupos, o fluxo de comunicação entre os indivíduos, dentre outros aspectos globais do sistema social. Dentre as métricas exploradas pelos autores, as redes de relacionamentos baseados no BIM obtiveram valores mais altos de coeficiente de agrupamento global e menores valores de *path length* quando comparada às redes tradicionais – não baseadas no BIM (AL HATTAB; HAMZEH, 2015; DU *et al.*, 2020; LU; XU; SÖDERLUND, 2020; OKAKPU *et al.*, 2019). Conforme explicam Du *et al.* (2020), uma das características mais marcantes das redes de relacionamentos baseados no BIM está na sua topologia similar às redes de mundo pequeno, com alto índice de coeficiente de agrupamento e valores baixos de *path length*. Altos valores de coeficiente de agrupamento indicam uma alta tendência na formação de subgrupos altamente coesos (cliques), ou seja, possuem alta transitividade (TABASSUM *et al.*, 2018). Quanto menor o valor da média do *path length* na rede, mais curta é a distância média entre quaisquer dois indivíduos dentro da rede, tornando-os mais mutualmente acessíveis (PEREZ; GERMON, 2016). Em termos das redes baseadas no BIM, as características de mundo pequeno podem ser traduzidas do ponto de vista que, mesmo grande parte dos indivíduos não estando diretamente conectados entre si, podem alcançar uns aos outros através de caminhos muito curtos, o que torna a colaboração e o fluxo de informação mais eficaz, reduzindo-se também a perda de informação (DU *et al.*, 2020).

Conforme discutido anteriormente, a densidade mede a razão entre quantidade de conexões existentes na rede e a quantidade de conexões possíveis. Nesta categoria, todas as pesquisas obtiveram valores de densidade mais altas em redes de relacionamentos baseados no BIM quando comparadas às redes tradicionais (AL HATTAB; HAMZEH, 2015; BADI; DIAMANTIDOU, 2017; DU *et al.*, 2020; LU; XU; SÖDERLUND, 2020; OKAKPU *et al.*, 2019; ZHANG; HU; XU, 2020). Altos valores de densidade indicam que mais indivíduos possuem conexões diretas entre si, e, portanto, podem trocar informações livremente sem mediação, o que torna a comunicação dentro da rede mais eficaz e a aumenta a fluidez da informação. Um ponto interessante destacado por Lu, Xu e Söderlund (2020) em termos da densidade

foi observado a partir do decréscimo dos valores ao longo do tempo de desenvolvimento do projeto enquanto os valores para as redes não baseadas no BIM se mantiveram praticamente estáticas. Conforme observado pelos autores, esse fenômeno pode estar relacionado às facilidades de acesso, visualização e interpretação dos dados em projetos que adotam o BIM, o que reduz proporcionalmente a frequência na comunicação direta entre profissionais, devido a facilidade de autocompreensão e clareza dos dados compartilhados.

Outra métrica que está diretamente relacionada à comunicação dentro da rede é o diâmetro. Ao calcularem os diâmetros das redes baseadas no BIM, Du *et al.* (2020) e Lu, Xu e Söderlund (2020), verificaram valores menores nessas redes, enquanto Al Hattab e Hamzeh (2015) obtiveram valores análogos às redes tradicionais. Curiosamente, Okakpu *et al.* (2019) obtiveram um valor de diâmetro maior para as redes baseadas no BIM. Diâmetros menores simbolizam caminhos mais curtos para que a informação circule por toda rede. Du *et al.* (2020) e Lu, Xu e Söderlund (2020) também obtiveram valores maiores para a média ponderada de grau em redes baseadas no BIM, o que as caracterizam como redes com maior número de conexões existentes, reforçando as características de alta conectividade das redes baseadas no BIM. A modularidade foi outra métrica comumente explorada pelos autores nessa categoria. Du *et al.* (2020), Al Hattab e Hamzeh (2015) e Okakpu *et al.* (2019) obtiveram valores mais baixos de modularidade em redes baseadas no BIM, enquanto Lu, Xu e Söderlund (2020) obtiveram resultados inversos, com valores mais altos nestas redes. Altos valores de modularidade podem ser interpretados como uma alta tendência de formar grupos altamente coesos dentro da rede, porém com poucas conexões entre eles, enquanto baixos valores estão relacionados a redes mais planas e com conexões distribuídas de forma mais equilibrada dentro da rede.

Em termos das análises individuais realizadas pelos autores, a seguir são apresentados alguns resultados e discussões de destaque sobre as medidas de centralidade e os papéis com posições centrais nas redes estudadas. De modo geral, as redes baseadas no BIM obtiveram valores médios mais altos para a centralidade de grau quando comparadas às redes tradicionais (AL HATTAB; HAMZEH, 2015; DU *et al.*, 2020; OKAKPU *et al.*, 2019; ZHANG; HU; XU, 2020). Valores mais altos para a

centralidade de grau indicam que mais conexões são realizadas com o uso do BIM, aumentando o fluxo de comunicação e reduzindo-se as barreiras de acesso entre atores na rede. Em termos individuais, na rede baseada no BIM estudada por Park e Lee (2017), o Gerente BIM obteve destaque como o papel mais significativo em termos de consolidação e disseminação da informação, cuja posição foi ocupada pelo coordenador de projetos na rede tradicional. Nas redes elaboradas por Maskil-Leitan e Reyhav (2019), o Gerente BIM obteve os mesmos valores para a centralidade de grau dos demais atores na rede, por outro lado, observou-se em uma das redes que o Gerente BIM obteve valores muito mais altos para o índice ponderado de grau. A partir destes resultados, pode-se observar a inserção ascendente em termos de responsabilidade e articulação que o papel de Gerente BIM causa na estrutura das equipes, além da relevância atribuída ao seu papel em diversos aspectos durante o ciclo de vida do projeto ou construção. Nas redes baseadas na relação entre indivíduos e tarefas estudadas por Lu, Xu e Söderlund (2020), observaram-se valores inversos aos obtidos pelos autores anteriormente citados, obtendo-se valores menores para a centralidade de grau na rede baseada no BIM. Diferente das conclusões anteriormente citadas, pode-se inferir, neste caso em particular, que com o uso do BIM, menos indivíduos são necessários para elaborar uma mesma tarefa, ou seja, há um aumento de produtividade nas atividades desempenhadas.

A centralidade de intermediação quantifica o número de vezes que um ator está inserido no *path* mais curto entre dois outros atores, colocando-o na posição de “mediador” entre ambos. Nas redes baseadas no BIM, a média dos valores de centralidade de intermediação, diferente dos obtidos para a centralidade de grau, oscilaram entre as pesquisas. Al Hattab e Hamzeh (2015) e Zhang, Hu e XU (2020) obtiveram, em média, valores mais altos para essa medida nas redes baseadas no BIM em comparação às redes tradicionais, valor oposto ao obtido nas redes estudadas por Okakpu *et al.* (2019). É importante observar que em termos dos valores médios para a centralidade de intermediação, a distribuição equânime dos valores para essa medida entre os atores representa uma alta interconectividade dentro da rede, enquanto altos valores médios indicam alta interdependência entre atores para alcançar determinadas informações dentro da rede. Por outro lado, se um ator possui uma centralidade de intermediação muito alta em relação aos demais na rede, pode-se concluir que ele possui grande controle sobre a informação que circula na rede,

mas, ao mesmo tempo, este mesmo ator pode ser considerado como um ponto de falha no fluxo de informações, devido à sobrecarga de responsabilidade atribuída à esta função (PARK; LEE, 2017; WANG *et al.*, 2020). Em termos individuais, nas redes avaliadas por Badi e Diamantidou (2017), tanto o Gerente BIM como o Coordenador BIM obtiveram valores médios de centralidade de intermediação na rede, não figurando entre as posições de destaque, ocupadas pelos Gerentes de Projeto, porém, exercendo diversos laços importantes para o fluxo de informação entre equipes, tornando-os uma peça chave para garantir o fluxo de informação dentro da rede. Park e Lee (2017) observaram valores de centralidade de intermediação praticamente similares entre os atores na rede baseada no BIM, o que, conforme discutido anteriormente, significa que o fluxo de informações não é governado por um único indivíduo, permitindo que a grande maioria dos atores também o façam de forma independente.

A centralidade de proximidade define a posição geral de um ator na rede e mede a rapidez com que um ator pode alcançar todos os demais. Nesse sentido, Al Hattab e Hamzeh (2015) e Okakpu *et al.* (2019) obtiveram valores médios mais baixos de centralidade de proximidade para as redes baseadas no BIM em comparação às redes tradicionais. De acordo com a interpretação dos autores, valores mais baixos para essa métrica significam que menos conexões são necessárias para que os atores estejam completamente conectados entre si. Por outro lado, Park e Lee (2017) obtiveram valores similares e altos para esta mesma métrica nas redes estudadas, porém, a partir da análise dos autores, foi realizada uma interpretação inversa, considerando-se que quanto maior a centralidade de proximidade, maior a interconectividade entre os atores na rede. De acordo com Okakpu *et al.* (2019), a centralidade de proximidade foi considerada como a medida que calcula o menor *path* médio entre os nós numa rede. Al Hattab e Hamzeh (2015), consideraram-na como a métrica que mede quão próximo um nó está de outros nós. Por fim, Park e Lee (2017) definiram a centralidade de proximidade como uma medida que analisa a acessibilidade de cada ator aos demais. Nesse sentido, pode-se inferir que as métricas tenham sido calculadas de forma distinta nas pesquisas, uma vez que as respectivas formulações matemáticas empregadas para a obtenção dos resultados não foram apresentadas explicitamente nas pesquisas.

A partir dos resultados obtidos nessa categoria podem-se destacar algumas características comuns às redes baseadas no BIM em comparação às redes tradicionais. A primeira delas está relacionada aos aspectos globais da rede, baseados nas métricas de análise da rede. Em termos gerais, as redes de relacionamentos baseados no BIM possuem forte tendência para obter altos valores de coeficiente de agrupamento e baixos valores de *path length*, caracterizando-se com uma topologia de rede similar às redes de mundo pequeno, o que está diretamente ligado à facilidade de comunicação e troca de informação entre os agentes que participam de um projeto ou construção. Pode-se também inferir que estas redes possuem, geralmente, alta densidade e baixos valores de diâmetro e modularidade. Estas características sinalizam aspectos fundamentais que explicam alguns dos principais benefícios do BIM, no que diz respeito ao aumento da colaboração, uma vez que o uso de processos digitais integrados fornece aos participantes mais facilidade de alcance entre si, permitindo-se que a informação seja obtida pelo agente que precisa consumi-la em tempo hábil e formato adequado, reduzindo-se as “ilhas de conhecimento” e favorecendo o cumprimento de prazos e aumento na qualidade das entregas. Em termos das análises individuais, podem-se identificar duas novas características marcantes em redes baseadas no BIM. A primeira delas está relacionada à relevância do papel desempenhado pelos novos cargos que surgem com a adoção do BIM - principalmente os Gerentes e Coordenadores BIM - estes que mesmo não possuindo nenhum papel similar ou precedente nas redes tradicionais, ao surgirem, passam a ocupar um papel relevante dentro da rede, figurando entre os papéis com maior número de relações e responsabilidades, realizando diversas articulações e promovendo a integração e facilitando o acesso à informação entre pessoas e equipes. A segunda característica está relacionada à distribuição mais equilibrada das relações nestas redes, que mesmo mantendo hierarquias similares às redes tradicionais, passam a possuir relações mais distribuídas e de maior abrangência, e como consequência, maior rapidez com que a comunicação flui dentro da rede. Tal característica se dá, principalmente, devido à ausência de atores com destaque substancialmente maior em relação aos demais, o que reduz a responsabilidade única de transmitir informações-chave sobre cargos como coordenadores ou gerentes de projeto. Essa redução está relacionada com o aumento da comunicação entre indivíduos e times, que minimiza as distâncias estruturais,

tornando o fluxo de informação mais equilibrado e diluído em toda a rede (AL HATTAB; HAMZEH, 2015; LU; XU; SÖDERLUND, 2020; PARK; LEE, 2017).

4.3.4.2 Categoria 2 - Redes de relacionamento entre fatores

Pesquisas cuja aplicação da ARS incidu sobre redes de relacionamentos baseada em fatores elencados a partir de diferentes contextos de uso do BIM, foram reunidas nesta categoria. A Tabela 17 apresenta o objetivo das análises realizadas pelos autores, o objeto de análise, o método aplicado e o *software* utilizado para suportar as análises a partir da ARS.

Tabela 17 – Objetivo de análise, objeto e autores das pesquisas reunidas na Categoria 2 – Redes de relacionamento entre fatores⁴¹

Objetivo da análise utilizando ARS	Objeto de análise	Método	Software	Autor
Explorar o uso da ARS no gerenciamento de dados não estruturados e a capacidade de extrair conhecimentos relacionados.	Fatores relacionados à redução do consumo de energia na construção de instalações de óleo e gás.	Estudo de caso	UCINET Pajek	(ARAGAO; EL-DIRABY, 2021)
Identificar a influência dos aspectos legais que podem ser utilizadas como cláusulas contratuais relevantes em contratos baseados no BIM.	Aspectos legais relacionados a contratos BIM, obtidos através da literatura e de questionários aplicados com especialistas.	Estudo de caso	-	(FAN <i>et al.</i> , 2019)
Identificar as potencialidades envolvidas na aplicação da mineração de dados para extrair novos conhecimentos relacionados à segurança do trabalho na AEC.	Conjunto de dados com 5.298 relatórios de lesões em 470 empresas de construção privadas, na área industrial, energia, infraestrutura e mineração.	Mineração baseada em grafos	R + <i>igraph</i>	(TIXIER <i>et al.</i> , 2017)
Propor um modelo para avaliar os riscos relacionados aos <i>stakeholders</i> em quatro processos da construção pré-fabricada, utilizando ARS.	8 grupos de <i>stakeholders</i> envolvidos no processo de construção pré-fabricada e 30 fatores de risco relacionados ao cronograma, ambos obtidos a partir de entrevistas.	ARS	-	(LI <i>et al.</i> , 2016)

⁴¹ Pesquisas cuja metodologia empregada e ou o software empregado nas análises não foram declarados explicitamente no texto do artigo foram omitidos para evitar a ocorrência de equívocos.

Elencar e destacar os principais fatores que motivam e que impedem a adoção do BIM na indústria da construção.	Fatores de motivação (10) e fatores de impedimento (13) relacionados à adoção do BIM, baseados na literatura.	ARS	Netminer 4.0	(DOLOI; VARGHESE; RAPHAEL, 2015)
Identificar os principais fatores que afetam a adoção do BIM na China, utilizando um modelo baseado em ARS.	Fatores que afetam a adoção do BIM na indústria AEC, obtidos a partir de entrevistas com experts e estudantes sobre o tema.	ARS	Netminer 4.0	(TAI; ZHANG; LI, 2020)

Fonte: Autor

Os trabalhos relacionados nesta categoria utilizaram-se de dois métodos em destaque para realização das pesquisas: ARS e estudo de caso. As pesquisas que utilizaram a ARS propuseram, em geral, um modelo dividido em quatro etapas: (1) identificação dos objetos de estudo – fatores, (2) mapeamento das relações entre os objetos levantados, (3) estabelecimento da rede de relacionamento entre os objetos e (4) análise dos resultados obtidos a partir das métricas aplicadas na rede. As pesquisas baseadas em estudo de caso, seguiram um procedimento metodológico similar ao utilizado pela grande maioria dos autores elencados na Categoria 1. Quanto à forma de coleta dos dados para aplicação da ARS, observou-se que 5 dentre as 6 pesquisas reunidas nessa categoria, utilizaram Escala *Likert* como estratégia para ponderar as possíveis respostas nos questionários ou levantamento de dados utilizados (ARAGAO; EL-DIRABY, 2021; DOLOI; VARGHESE; RAPHAEL, 2015; FAN *et al.*, 2019; LI *et al.*, 2016; TAI; ZHANG; LI, 2020). O uso da Escala *Likert* permite ao respondente classificar e mensurar as respostas em 5 categorias com pesos e ou intensidades distintas, padronizando as respostas em intervalos classificatórios pré-definidos pelo pesquisador, geralmente utilizados em redes ponderadas, isto é, onde os laços possuem algum valor atribuído à relação.

Quanto aos dados utilizados pelos autores para definição dos fatores a serem correlacionados nas redes de relacionamento nessa categoria, pode-se observar uma heterogeneidade de abordagens, com fatores associados à redução do consumo de energia em construção de instalações industriais de óleo e gás (ARAGAO; EL-DIRABY, 2021), aspectos legais em contratos em BIM (FAN *et al.*, 2019), lesões causadas por acidentes de trabalho na indústria da AEC (TIXIER *et al.*, 2017), riscos relacionados ao cronograma de obras de construção pré-fabricada (LI *et al.*, 2016) e

relacionados à adoção do BIM (DOLOI; VARGHESE; RAPHAEL, 2015; TAI; ZHANG; LI, 2020). Devido às características particulares de cada uma das pesquisas elencadas nessa categoria e a impossibilidade de correlacionar e ou comparar os resultados obtidos pelos autores, estes dados não foram incluídos nas análises. Dentre os softwares utilizados pelos autores nas pesquisas, destaca-se o *NetMiner* 4.0⁴², utilizado em duas pesquisas.

4.3.4.3 Categoria 3 - Métodos conceituais em análise de redes

A Categoria 3 reuniu pesquisas que desenvolveram e propuseram métodos ou processos sistemáticos para a aplicação da ARS em redes de relacionamentos baseados no BIM. A Tabela 18 apresenta o objetivo principal de cada uma das pesquisas, o software utilizado para apoiar a utilização das métricas da ARS e os autores correspondentes. A seguir os métodos empregados são sucintamente descritos e discutidos ao longo da subseção.

Tabela 18 – Objetivo de análise, *software* utilizado e autores das pesquisas reunidas na Categoria 3 – Métodos conceituais em análise de redes

Objetivo do método proposto utilizando ARS	Software	Autor
Detectar e identificar, de forma confiável, as relações entre <i>stakeholders</i> em projetos no setor da AEC, mensurando a intensidade dessas relações quantitativamente.	<i>Cypher</i> (<i>Neo4j</i> ⁴³)	(WANG <i>et al.</i> , 2020)
Permitir o compartilhamento de conhecimento, otimizar a comunicação, facilitar a troca e obtenção de informações em tempo hábil em ambientes baseados no desenvolvimento de projetos de requalificação do patrimônio histórico edificado utilizando o BIM.	-	(HO; HOU, 2019)
Analisar os processos de projeto e as suas dinâmicas relacionadas às consequências da implementação do BIM, relacionadas à compreensão, medição e análise do fluxo de informações em redes de relacionamentos baseados no BIM com foco na realização de projetos para AEC.	-	(GARDOUNIS; CHONG; WANG, 2017)
Estabelecer um modelo conceitual adequado para incorporar aspectos relacionados à rede social e ao capital social a partir dos fatores-chave que influenciam decisões em ambientes baseados no BIM junto a equipes de projeto para AEC.	-	(ISHAK; ESA; ISMAIL, 2017)

⁴² <http://www.netminer.com/main/main-read.do>

⁴³ <https://neo4j.com/>

Analisar quantitativamente e qualitativamente a troca de informações nos processos de projeto e avaliar os impactos do BIM com relação à melhora do fluxo de trabalho nas equipes.	<i>AnyLogic</i> ⁴⁴	(HATTAAB; HAMZEH, 2016)
Identificar como as redes sociais e os métodos de análise de eficiência energética podem influenciar o desenvolvimento de projetos de construção sustentáveis utilizando o BIM.	-	(REDMOND; EL-DIRABY; PAPAGELIS, 2015)
Disponibilizar um conjunto de dados confiáveis para subsidiar a tomada de decisão entre os principais envolvidos nos processos de planejamento, construção e manutenção de edifícios.	<i>NetworkX</i> ⁴⁵	(EL-DIRABY; KRIJNEN; PAPAGELIS, 2017)
Extrair informações implícitas em processos de projeto a partir de registros de projeto em BIM para mapear a colaboração e a interação entre agentes em redes de relacionamentos baseados no BIM no setor de projetos.	-	(ZHANG; ASHURI, 2018)

Fonte: Autor

A partir de uma pesquisa sistemática qualitativa, Wang *et al.* (2020) buscaram explorar e explicar os fenômenos envolvidos na colaboração entre os *stakeholders* durante o ciclo de vida dos projetos utilizando ARS. Os autores Wang *et al.* (2020) enfatizaram a importância da aplicação de métodos não estáticos nas análises de redes de relacionamento na indústria da construção, uma vez que a colaboração e as interdependências entre os atores que participam dos diversos processos de projeto e construção é dinâmico e sofre diversas alterações durante o seu ciclo de vida. O método foi proposto a partir de quatro etapas: (1) definir a EAP (Estrutura Analítica de Projeto) do projeto a ser realizado utilizando-se o BIM, (2) identificar os stakeholders a partir de entrevistas e *survey*, (3) estabelecer redes sociais com base nas informações obtidas e (4) mapear os resultados obtidos em dois níveis distintos: redes (comunidades) e nós (atores), a partir da aplicação das seguintes métricas: (i) tamanho da rede, (ii) densidade, (iii) média de grau, (iv) diâmetro, (v) coeficiente de agrupamento, (vi) número de nós e (vii) número de ligações (relações).

A partir da realização de um estudo de caso em um projeto de requalificação em Hong Kong cujo resultado foi alvo de diversas discussões populares sobre a capacidade de

⁴⁴ <https://www.anylogic.com/>

⁴⁵ <https://networkx.org/>

manter o valor histórico do edifício após a conclusão do projeto, Ho e Hou (2019), propuseram a elaboração de uma plataforma para projetos baseados no BIM utilizando ARS para apoiar e otimizar a colaboração e a comunicação entre os tomadores de decisão durante os processos de projeto de requalificação. A plataforma conceitual baseada numa abordagem sociotécnica permitiria a troca de conhecimento entre setores públicos e a população diretamente afetada pela intervenção, alinhando as expectativas e as ações a serem realizadas, além de permitir o acesso às atualizações e evolução do projeto e construção. Em termos técnicos, a integração proposta através do uso do BIM permitiria a coleta e divulgação dos metadados baseados no modelo BIM para acesso público, permitindo o desenvolvimento e aprimoramento das ações governamentais.

A partir de um processo sistemático de mineração e análise de arquivos de registros de projetos baseados no BIM, Zhang e Ashuri (2018) propuseram uma abordagem para extrair informações implícitas de processos BIM a partir desses registros para mapear a colaboração entre os agentes, a interações exercidas nesses ambientes e fornecer dados significativos e confiáveis para apoiar a tomada de decisão entre gerentes e coordenadores de projeto, utilizando a ARS como ferramenta para estrutura e analisar estes dados. Para a coleta de informações, foram utilizados *journal files* (arquivos de registro) do *Autodesk Revit®*. O método utilizado pelos autores contemplou três etapas: (i) extração dos dados, (ii) modelagem/concepção das redes sociais e (iii) análise de redes sociais. As relações entre os agentes foram concebidas a partir da frequência em que dois indivíduos trabalham juntos para atingir objetivos específicos de um projeto, cujo peso das relações baseou-se no número de comandos que o par de indivíduos realizaram juntos durante o processo de projeto. A etapa de ARS contemplou duas outras subetapas: macroanálise e microanálise. A macroanálise baseou-se nas características da rede do ponto de vista global e a microanálise baseou-se nas características individuais de cada um dos agentes que conformaram a rede, processo similar ao proposto por Wang *et al.* (2020).

Gardounis, Chong e Wang (2017) propuseram um método conceitual a partir da ARS para capturar e analisar o efeito do uso do BIM na comunicação durante o fluxo de desenvolvimento de projetos. Dois grupos de atributos principais foram considerados

para a estruturação do método: comunicação e troca de informação. Para a comunicação, os atributos foram: tipo de comunicação, natureza do receptor e do emissor e ruído da comunicação. Para a troca de informação, os atributos de análise foram: problemas enfrentados, problemas resolvidos, número de alternativas, especialistas envolvidos, engenharia de valor, taxas de aceitação, atividades afetadas e mudanças causadas por informações contratuais. O método proposto foi baseado em seis variáveis distintas de análise: entrega de dados, interoperabilidade, precisão da informação, tempo de resposta, disciplinas e riqueza dos dados. Quando às fronteiras para a definição da rede, os autores indicaram o uso de uma abordagem nominalista em pesquisas relacionadas à AEC, isto é, quando o próprio pesquisador define as fronteiras da rede em estudo.

A partir da exploração do conceito de capital social, cuja principal preocupação está baseada no valor agregado às relações entre indivíduos numa rede, Ishak, Esa e Ismail (2017) propuseram um método conceitual para aplicação da ARS em redes de relacionamentos baseados no BIM buscando correlacionar a estrutura da rede social e a influência do capital social na difusão do BIM. O método proposto pelos autores foi baseado em cinco fatores-chave determinantes para a difusão do BIM na rede: (1) estrutura das interações, (2) intensidade das interações, (3) exposição das interações, (4) qualidade das interações e (5) recursos, cujos significados abrangem com detalhe as características das redes e a progressão do sucesso da difusão do BIM dentro dela. Os fatores propostos pelo método conceitual são o resultado dos atributos do capital social – estrutura e intensidade das relações sociais, qualidade de conteúdo e compartilhamento de recursos – e da rede social – opinião de líderes ou atores-chave, pares relacionais e afiliações.

A abordagem de modelagem baseada no agente, utilizada na pesquisa dos autores Hattaab e Hamzeh (2016), propõe um novo método para simular o comportamento e as interações de agentes com interdependências complexas em redes de relacionamento. O modelo analítico proposto a partir dessa abordagem buscou integrar a topologia das redes sociais e a dinâmica da informação de projeto, refletindo a complexidade envolvida nos processos de projeto na indústria da construção. A topologia da rede desenvolvida foi representada por nós, a partir de duas unidades de análise distintas: indivíduos (atores) e entregáveis (informações de projeto), e os

laços, que representaram as relações entre os atores. Dentre os principais benefícios relacionados ao uso de métodos que derivam da modelagem baseada no agente, estão a capacidade de capturar e analisar sistemas dinâmicos, coletar as interações entre agentes, mapear os comportamentos, interpretar fenômenos existentes e aplicar melhorias em agentes individuais ou em toda a rede.

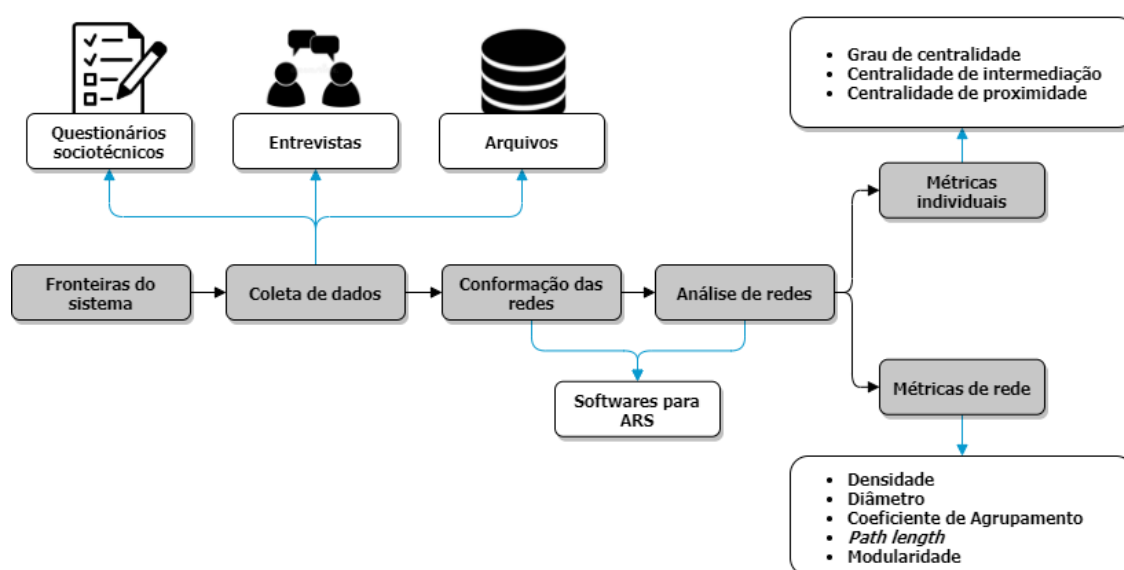
Redmond, El-Diraby e Papagelis (2015) realizaram uma pesquisa exploratória para identificar como as redes sociais e os métodos de análise de eficiência energética podem influenciar o desenvolvimento de projetos de construção sustentáveis a partir de um novo processo de engenharia de sistemas. A pesquisa dos autores baseou-se no projeto do *Green 2.0*, um sistema *online* integrado que explora o uso do BIM, das redes sociais *online* e *Big Data* para fornecer informações para tomada de decisão baseada em dados nas fases de projeto e planejamento da construção. A estrutura do projeto foi subdividida em quatro módulos distintos a partir de uma EAP, cujo módulo 3 foi baseado na ARS. O uso da ARS neste módulo teve como objetivo analisar as redes de discussão em torno dos modelos e objetos BIM, com o intuito de revelar padrões e tendências relacionadas à colaboração e à comunicação, além de permitir o envolvimento das partes interessadas em estágios iniciais do projeto.

Também baseada no sistema *online Green 2.0*, cujo objetivo busca correlacionar o uso do BIM, de ferramentas de simulação de eficiência energética e métodos de análise de redes sociais *online* para fornecer dados confiáveis que auxiliem a tomada de decisão nos processos de planejamento, construção e manutenção de edifícios, a pesquisa desenvolvida pelos autores El-Diraby, Krijnen e Papagelis (2017) abordou o processo de desenvolvimento e otimização da plataforma. Dentre os cinco módulos incorporados pelo *Green 2.0*, destaca-se o intitulado “módulo de análises de redes sociais baseadas no BIM”, responsável por coletar, armazenar, analisar e visualizar os dados relacionados aos processos de projeto em BIM, a partir de três diferentes níveis de operação para conformação das redes de relacionamento. O primeiro nível baseia-se em usuários (nós) e discussões entre eles (laços) sobre elementos específicos dentro do projeto. O segundo nível está relacionado a discussões (laço) entre usuários (nós) sobre elementos dentro de um projeto em comum. O terceiro nível

baseia-se na discussão (laço) entre dois ou mais usuários (nós) em um projeto compartilhado.

As pesquisas reunidas nesta categoria demonstraram uma preocupação comum em estruturar e padronizar o processo de uso da ARS em redes de relacionamentos baseados no BIM com foco em projetos no setor da AEC (GARDOUNIS; CHONG; WANG, 2017; HATTAAB; HAMZEH, 2016; ISHAK; ESA; ISMAIL, 2017; WANG *et al.*, 2020; ZHANG; ASHURI, 2018), aplicado à sustentabilidade na construção (EL-DIRABY; KRIJNEN; PAPAGELIS, 2017; REDMOND; EL-DIRABY; PAPAGELIS, 2015) e em projetos de requalificação do patrimônio histórico edificado (HO; HOU, 2019). A partir dos resultados obtidos nas pesquisas desta categoria, pode-se observar duas características principais entre os métodos empregados que propõem uma abordagem generalizada para a aplicação da ARS em redes de relacionamentos baseados no BIM, conforme exposto na Figura 34. A primeira delas está baseada na subdivisão das análises em duas instâncias distintas: rede e nós, permitindo mapear e avaliar comportamentos e relacionamentos entre pessoas e times separadamente, por meio da aplicação de métricas adequadas. A segunda está baseada na subdivisão das análises em etapas que, de modo geral, se dividem a partir da: definição da fronteira do sistema em análise, coleta de dados, concepção das redes e análise da rede.

Figura 34 – Modelo conceitual para pesquisas em utilizando ARS em redes de relacionamentos baseados no BIM



Fonte: Autor

4.3.4.4 Categoria 4 - Redes de relacionamentos baseados na colaboração

Dentre os diversos modelos de negócio na indústria da construção, uma grande parcela está baseada na realização de projetos ou construções, estes que possuem escopo e prazos definidos, tornando, geralmente, necessária a formação de novas equipes multidisciplinares a cada empreendimento, cuja formação está relacionada a diversos fatores sociotécnicos que podem afetar diretamente aspectos como desempenho, produtividade e qualidade. Essas equipes temporárias formam redes de relacionamento cuja colaboração é um requisito essencial para que conhecimento, informação e inovação possam ser compartilhados entre indivíduos e times e, como consequência, para que a implementação do BIM obtenha sucesso (CAO *et al.*, 2017). Nesse sentido, a Categoria 4 reuniu pesquisas que empregaram a ARS como método para mensurar a influência da adoção do BIM nos índices de colaboração entre equipes multidisciplinares ou mapear o comportamento das redes de relacionamentos baseados na colaboração em diferentes contextos no setor da AEC. A Tabela 19 apresenta o objetivo principal de cada uma das pesquisas, o objeto de análise, o método de pesquisa adotado, o software utilizado para apoiar a utilização das métricas da ARS e os autores correspondentes.

Tabela 19 – Objetivo e objeto de análise, método adotado, ferramenta utilizada e autores das pesquisas reunidas na Categoria 4 – Redes de relacionamentos baseados na colaboração⁴⁶

Objetivo da análise utilizando ARS	Objeto de análise	Método	Software	Autor
Caracterizar a evolução das redes de relacionamentos baseados na colaboração em projetos utilizando o BIM.	Bases de dados de projetos utilizando BIM realizados em Shangai entre 2007-2015.	Pesquisa exploratória	UCINET	(CAO <i>et al.</i> , 2017)
Examinar o efeito da adoção do BIM no fluxo de trabalho, avaliando mecanismos de interação social e compartilhamento de informação.	Profissionais envolvidos no projeto de um aeroporto do Oriente Médio.	Estudo de caso	Gephi	(AL HATTAB; HAMZEH, 2018)
Explorar os aspectos sociais relacionados à implementação do	Profissionais envolvidos no projeto de um Centro	Estudo de caso	Gephi	(MASKIL-LEITAN;

⁴⁶ Pesquisas cuja metodologia empregada e ou o software empregado nas análises não foram declarados explicitamente no texto do artigo foram omitidos para evitar a ocorrência de equívocos.

BIM e à sua integração com processos baseados no IPD.	Cultural utilizando BIM e IPD em Israel.				REYCHAV, 2018)
Investigar, a partir das características estruturais das redes de colaboração, aspectos relacionados a competitividade entre empresas e entre profissionais no setor da AEC.	Bases de dados de projetos utilizando BIM realizados em Shangai entre 2007-2015.	Pesquisa exploratória	UCINET		(CAO <i>et al.</i> , 2018)
Explorar a correlação entre o gerenciamento da cadeia de suprimentos e o BIM a partir de redes sociais interorganizacionais.	Profissionais envolvidos em dois contratos baseados em processos envolvendo BIM e Cadeia de Suprimentos.	Estudo de caso	Gephi		(PAPADONIKO LAKI; VERBRAECK; WAMELINK, 2017)
Avaliar o índice de colaboração das equipes envolvidas em processos de projeto.	Profissionais envolvidos em dois projetos de edifícios, com 2 e 3 pavimentos, respectivamente.	Estudo de caso	-		(KOUHESTANI ; NIK-BAKHT, 2020)
Avaliar as dinâmicas envolvidas na colaboração entre <i>stakeholders</i> ao longo do ciclo de vida do projeto.	Profissionais envolvidos num projeto ferroviário em Cingapura.	Estudo de caso	Neo4j		(WANG <i>et al.</i> , 2020)
Mensurar a rede social de colaboração entre os projetistas para entender as características principais em três instâncias de análise: companhia, times e indivíduos.	Dados de registros de comandos feitos por projetistas no <i>software</i> Autodesk Revit®	Estudo de caso	-		(ZHANG; ASHURI, 2018)

Fonte: Autor

A maior parcela das pesquisas nessa categoria utilizou o método de estudo de caso para desenvolvimento das análises utilizando a ARS. A partir dos diferentes contextos de pesquisa explorados pelos autores nessa categoria, os resultados mais relevantes relacionados à aplicação da ARS nas redes de relacionamentos baseados no BIM são apresentados a seguir. Com relação aos *softwares* utilizados nas análises, o *Gephi* obteve maior ocorrência de uso, seguido pelo *UCINET*, resultados semelhantes aos obtidos nas pesquisas reunidas na Categoria 1, assim como a distribuição das análises, que também foram divididas em duas abordagens distintas, assim como na Categoria 1, sendo a primeira baseada nas métricas para análise dos indivíduos e a segunda, para análise da rede.

Em termos das análises de rede, Cao *et al.*, 2017 observaram, a partir de uma rede entre agentes do setor da AEC que desenvolveram diferentes projetos utilizando BIM ao longo do tempo, um aumento progressivo da densidade na rede, o que sinalizou uma rápida e crescente adoção do BIM entre estes agentes. Na rede estudada por Al Hattab e Hamzeh (2018), formada a partir de profissionais envolvidos no projeto de um aeroporto realizado com uso do BIM, o valor da densidade obtido foi considerado baixo, na ordem de 32%, caracterizando uma rede com um centro mais denso e periferias esparsas. Na rede estudada por Zhang e Ashuri (2018), foi obtido um valor ainda mais baixo para densidade, na ordem de 20%. Wang *et al.* (2020) estudaram redes baseadas no relacionamento entre profissionais envolvidos num projeto ferroviário realizado com o uso do BIM, analisadas em 8 estágios subsequentes, cujos valores de densidade em cada estágio foram relativamente altos, em média, maiores que 40%. Quanto mais densa uma rede, mais facilmente a informação pode fluir entre os agentes, pois existem mais caminhos disponíveis para distribuir o conhecimento e favorecer a colaboração, enquanto redes esparsas, com baixa densidade, tendem a possuir maior índice de perda de informação. A medida de diâmetro quantifica o comprimento do caminho mais longo entre todos os caminhos mais curtos obtidos na rede, o que pode ser entendido como o maior tamanho linear possível da rede, portanto, em termos das redes baseadas no BIM, diâmetros baixos indicam que há uma baixa probabilidade da informação circular por caminhos muito longos antes de ser entregue a determinado agente, o que reduz o ruído e distorção da informação e, por consequência, indica um alto grau de colaboração dentro da rede. Nesse sentido, Zhang e Ashuri (2018) obtiveram valores baixos na rede avaliada, resultado similar ao obtido nas redes estudadas por Wang *et al.* (2020), que obtiveram valores decrescentes em cada um dos estágios analisados.

Quanto às características de mundo pequeno – obtidas pelo coeficiente de agrupamento e pelo *path length* - Zhang e Ashuri (2018) e Wang *et al.* (2020) obtiveram valores altos de coeficiente de agrupamento, o que é uma característica marcante em redes de mundo pequeno, mas não calcularam o *path length* da rede. Cao *et al.*, 2017 obtiveram valores substancialmente altos de coeficiente de agrupamento e baixos valores para distância média entre grupos, quando comparada à valores de redes aleatórias com o mesmo número de nós. Al Hattab e Hamzeh

(2018) obtiveram valores similares, com alto coeficiente de agrupamento e *path length* na ordem de 2, o que significa que um indivíduo na rede, em média, precisa de, no máximo, mais um intermediário para alcançar um outro agente desejado. Os resultados obtidos pelos autores reforçam a hipótese de que as redes de relacionamentos baseados no BIM possuem forte tendência a apresentarem topologia similar às redes de mundo pequeno. Em termos da modularidade, diferente do que foi observado nas pesquisas elencadas na Categoria 1, esta medida não foi amplamente explorada, tendo sido abordada apenas nas redes estudadas por Al Hattab e Hamzeh (2018), que obtiveram valor nulo, simbolizando a ausência de comunidades altamente coesas e isoladas dentro da rede, outra característica marcante das redes baseadas no BIM com resultados similares aos obtidos nas redes da Categoria 1.

Em termos das análises baseadas nas métricas individuais na rede, a seguir são apresentados os resultados obtidos nas redes estudadas pelos autores. A partir da análise da centralidade de grau, Indivíduos com altos valores para esta medida são mais comunicativos e mantêm relação direta com uma quantidade maior de pessoas na rede, sejam integrantes da mesma equipe ou não. Em redes de relacionamentos baseados no BIM, espera-se que as posições relacionadas ao gerenciamento e coordenação BIM ocupem posições com altos valores de centralidade devido às responsabilidades multidisciplinares atribuídas e à colaboração necessária para se comunicar com profissionais de diferentes disciplinas e conhecimentos técnicos principalmente relacionados à AEC e TI. Nesse sentido, quantificar a centralidade de grau dos atores na rede foi uma preocupação comum às pesquisas nessa categoria. Na rede estudada por Papadonikolaki, Verbraek e Wamelink (2017), os cargos relacionados à companhia responsável pela contratação dos projetos – dentre eles o Gerente BIM - obtiveram maior centralidade de grau. Cao *et al.*, 2017 utilizaram a centralidade de grau de Freeman – métrica baseada na centralidade de grau - para mensurar a centralidade dos atores na rede, cujo resultado obteve valores crescentes ao longo dos anos, indicando um crescimento nos índices de colaboração entre as organizações que compuseram a rede. Maskil-Leitan e Reychav (2018) e Al Hattab e Hamzeh (2018) observaram que dentre os profissionais elencados na rede avaliada, o Gerente BIM/Coordenador BIM ocuparam a segunda posição em termos da centralidade de grau, apenas atrás do representante do contratante e do Arquiteto Líder, respectivamente. A partir dos diferentes estágios do ciclo de vida do projeto

estudados por Wang *et al.* (2020), observou-se que o Coordenador BIM e o Modelador BIM obtiveram maiores valores de centralidade nas etapas relacionadas à construção e compatibilização do modelo digital de construção.

A seguir são apresentados os principais resultados obtidos a partir das análises relacionadas à centralidade de intermediação e de proximidade. Maskil-Leitan e Reyhav (2018) observaram que o Gerente BIM obteve o terceiro maior valor para centralidade de intermediação na rede, atrás do Arquiteto-Chefe e do representante do contratante. Al Hattab e Hamzeh (2018) e Wang *et al.* (2020) identificaram uma alta discrepância nos valores de centralidade de intermediação na rede estudada, com o Arquiteto Chefe/Líder ocupando valores muito mais altos que os demais atores na rede, similarmente à rede estudada por Kouhestani e Nik-Bakht(2020), onde mesmo com baixa discrepância, o papel do Arquiteto também apresentou os maiores valores para essa métrica. Com relação ao papel do Gerente BIM, Wang *et al.* (2020) observou que esta posição obteve destaque em estágios específicos principalmente nas etapas de modelagem da edificação, enquanto Al Hattab e Hamzeh (2018) não apresentaram resultados relacionados. Em termos da centralidade de proximidade, Maskil-Leitan e Reyhav (2018) identificaram o Gerente BIM na terceira posição na rede estudada, atrás do Arquiteto-Chefe e do representante do contratante. Al Hattab e Hamzeh (2018) obtiveram um valor médio intermediário para a centralidade de proximidade dentro da rede, nem alto e nem baixo, resultado similar ao apresentado por Wang *et al.* (2020), que observou valores equilibrados para a centralidade de proximidade dentro da rede, com o Gerente BIM obtendo maiores valores em estágios específicos, enquanto o Arquiteto e o Engenheiro Estrutural obtiveram valores mais altos e similares durante todos os estágios do projeto.

Os resultados elencados nesta categoria reafirmaram aspectos característicos das redes de relacionamentos baseados no BIM identificadas na Categoria 1, apresentando também novas propriedades particulares nestas redes. Em termos gerais, o alto grau de colaboração nas redes baseadas no BIM é evidente, principalmente devido aos diâmetros curtos, as densidades dinâmicas e crescentes, altos coeficientes de agrupamento e baixos valores para *path length*. Em termos

individuais, os resultados das redes estudadas revelam uma estrutura de relações fortemente centralizada nos cargos com responsabilidades técnicas e ou gerenciais, ainda que estes papéis não possuam um grande domínio das ferramentas e processos BIM, principalmente devido aos altos índices de centralidade obtidos pelos arquitetos-chefe, engenheiros calculistas e contratantes. Um dos fatores possíveis para essa questão pode estar relacionado à existência de fluxos restritos de informação que não envolvam a participação direta do BIM e dos profissionais relacionados à sua implementação, impedindo que esses profissionais exerçam mais articulações dentro das redes e preencham algumas obrigações sociotécnicas estratégicas dentro da rede perante outros *stakeholders*.

4.3.4.5 Categoria 5 - Redes de relacionamentos baseados nos cargos BIM

A Categoria 5 representou a pesquisa realizada por Uhm, Lee e Jeon (2017). Os autores propuseram uma abordagem baseada nos cargos emergentes na indústria da construção civil relacionados à adoção do BIM pelas empresas de AEC. O objetivo principal da pesquisa baseou-se em responder duas questões:

- Quais são os tipos de trabalhos relacionados ao BIM atualmente na indústria?
- Quais são as competências requisitadas para um desses cargos relacionados ao BIM?

Como ponto de partida para a concepção da rede, os autores analisaram 242 ofertas online de trabalho relacionadas ao BIM nos EUA, Reino Unido e China. Em seguida foram analisadas as descrições das ofertas, com foco nos títulos e nas competências requisitadas, agrupando-as por similaridade com base na equivalência estrutural, isto é, indivíduos que possuem o mesmo padrão de relacionamentos dentro da rede a partir do método CONCOR⁴⁷, baseado na ARS, que utiliza o coeficiente de correlação de *Pearson* para mensurar a equivalência estrutural entre atores na rede. A rede de relacionamento entre os cargos foi criada a partir da relação de hierarquia entre eles ou na coparticipação em atividades conforme as descrições das ofertas de trabalho. Após o mapeamento de 35 cargos diferentes, 8 grupos de cargos baseados no método

⁴⁷ Sigla para “*Context-aware Community-Oriented Routing*”.

CONCOR e 43 tipos de competências requisitadas pelos contratantes, alguns resultados merecem destaque:

- a) O termo BIM não esteve relacionado a cargos como “Arquiteto Sênior” ou “Diretor”, o que implica afirmar que estes cargos desempenham um papel importante nos projetos realizados em BIM, mas não necessariamente lidam diretamente com processos e ferramentas relacionadas ao BIM;
- b) Os oito tipos de cargos identificados na pesquisa foram: Gerente de Projeto BIM, Diretor, Coordenador BIM, Arquiteto Sênior, Gerente BIM, Projetista BIM, Coordenador de Instalações BIM e Técnico BIM;
- c) O cargo de Consultor BIM foi comumente utilizado como sinônimo de Coordenador BIM;
- d) O Especialista BIM foi utilizado como sinônimo de Projetista BIM e Engenheiro BIM;
- e) A categoria de Projetistas BIM reuniu arquitetos projetistas, projetistas estruturais e projetistas de instalações ou engenheiros de instalações;
- f) Dentre os grupos relacionados, o cargo de Gerente BIM esteve na posição central, o que implica dizer que este cargo é o que sustenta o maior número de elos relacionais com os demais cargos BIM.

O software utilizado pelos autores para aplicação das métricas em ARS não foi identificado.

4.3.4.6 Categoria 6 - Redes de relacionamento entre termos

A Categoria 6 reuniu pesquisas que se utilizaram de termos, obtidos a partir de diferentes fontes de dados textuais, para criar redes de relacionamento com o objetivo de representar as ocorrências mais relevantes e as suas respectivas correlações. Para obtenção dos dados de análise, ambas as pesquisas utilizaram o método de mineração textual, o que sugere ser o método mais adequado para a coleta de dados textuais confiáveis para aplicação das métricas de ARS. A mineração textual reúne um conjunto de etapas como processamento, classificação, agrupamento, extração de relações e mapeamento de padrões complexos em grandes volumes de dados

textuais, permitindo-se filtrar e identificar aspectos relevantes a partir desses processos.

No intuito de entender e analisar quantitativamente a dinâmica da evolução da relação entre BIM e sustentabilidade em termos do ciclo de vida das edificações, dos principais agentes envolvidos na indústria e nos processos da AEC, dos *softwares* BIM e das certificações ambientais para suprir o crescimento das necessidades relacionadas à sustentabilidade na indústria da construção, Al Hattab (2021) realizou uma análise cientométrica a partir da coleta de 523 artigos publicados em periódicos durante o intervalo de 15 anos (2005-2020), como base de dados para realização das análises utilizando ARS. O *Gephi* foi utilizado como software para aplicação das métricas de ARS. A definição dos relacionamentos entre os termos para conformação da rede foi baseada na coocorrência dos termos obtidos na etapa de mineração, isto é, dois termos foram conectados se ambos apareciam em um ou mais artigos em comum, cujo o número de coocorrências foi utilizado para ponderar as relações. Dentre os resultados identificados, a autora destacou como os principais temas relacionados ao BIM associados à sustentabilidade sendo: Gerenciamento, Análise e Simulação de dados, Custos e Visualização, com a Colaboração ocupando a 5ª posição.

Com o objetivo de explorar dados obtidos a partir da coordenação de projetos utilizando BIM, os autores Llach e Sanchez-Vaqueizo (2019), utilizaram três diferentes processos para realizar a mineração textual e conformação das redes: contagem de termos-chave, mapeamento textual e análise cúbrica. A partir da contagem de termos-chave, que identifica os termos mais frequentes a partir dos dados-base removendo ruídos entre os dados, como preposições e artigos, para obter os termos mais relevantes e representativos, os autores criaram uma rede estática não-ponderada conectando termos baseados na coocorrência entre eles. O método de mapeamento textual baseou-se nos conceitos e seus significados, produzindo redes semânticas baseada nessa correlação, sendo a primeira delas a partir da classificação cruzada dos conceitos com base no contexto utilizado e a outra baseada na relação entre os conceitos. A análise cúbrica, por sua vez, buscou descrever o poder de comunicação de diferentes conceitos na rede semântica estática, a partir da análise de termos com base em três fatores: frequência, centralidade de intermediação e grau. Todas as redes foram otimizadas em termos da modularidade a partir do coeficiente de

agrupamento de *Louvain*. Dentre os resultados obtidos, os autores sugeriram a possibilidade de utilização do método proposto para identificar e mapear padrões e falhas durante a coordenação dos projetos, permitindo-se estruturar os objetos e elementos digitais da construção e as informações contidas nos relatórios de compatibilização a partir de outros vieses analíticos.

4.3.4.7 Categoria 7 - Redes de relacionamento entre objetos BIM

A Categoria 7 foi representada pela pesquisa dos autores Llach e Sanchez-Vaqueizo (2019), cuja abordagem explorou o uso da ARS para analisar conflitos entre objetos durante a etapa de coordenação em um projeto realizado em BIM. O método utilizado pelos autores baseou-se em três redes distintas, (1) uma rede estática simples com base nos conflitos entre objetos, suas respectivas localizações no projeto e as empresas responsáveis pelas disciplinas correlatas, (2) uma rede dinâmica para avaliar como o processo de projeto evolui ao longo do tempo a partir dos dados de data e hora em que os conflitos foram registrados pela coordenação e, por fim, (3) uma rede de palavras baseada em mineração de texto a partir das descrições dos conflitos identificados nos projetos esta última abordada na Categoria 6. A partir das análises realizadas nas redes estáticas (1), os autores enfatizaram os ganhos na visualização de conflitos entre objetos BIM e suas localizações a partir das redes, proporcionando uma visão holística dos dados, permitindo mapear aspectos relacionados ao estado da coordenação do projeto, apesar de não permitir conclusões diretas a partir dessas análises visuais. A partir das redes dinâmicas (2), a comparação entre a densidade da rede e o número total de laços existentes permitiu uma perspectiva sobre a importância de cada localização dos conflitos e suas interrelações em cada período de tempo, além disso, observou-se que as disciplinas de instalações (mecânica, elétrica e hidráulica) foram responsáveis pelo maior número de conflitos dentro do projeto.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pesquisas recentes demonstram que a adoção do BIM do ponto de vista estritamente técnico não contribui explicitamente para que se obtenham melhorias consistentes em aspectos como fluxo de trabalho, colaboração, aumento de produtividade das equipes ou qualidade dos entregáveis, a menos que outras características sociais fundamentais relacionadas ao comportamento, organização e relação entre profissionais, equipes e setores estejam plenamente satisfeitas. Nesse sentido, essa pesquisa teve como principal objetivo reunir o conhecimento sobre a aplicação de métodos e métricas em análises de redes sociais de ambientes baseados no relacionamento entre profissionais de diferentes setores da AECO envolvidos no uso e adoção do BIM, buscando identificar os principais aspectos relacionados à topologia destas redes e às propriedades particulares dos indivíduos que as conformam. Para tal, foi realizada uma investigação da produção científica internacional a partir de 4 bases de dados, abrangendo o período referente aos últimos 10 anos (2011 a 2021), utilizando termos de referência relacionados à ARS e ao BIM. Os resultados iniciais da busca reuniram 101 publicações, das quais 31 artigos contendo 1535 referências foram selecionados a partir dos critérios de elegibilidade e exclusão aplicados, conforme o protocolo da RSL proposta.

Os resultados da análise bibliométrica evidenciaram um recente e crescente interesse do estudo e aplicação de análises exploratórias com foco no BIM do ponto de vista sociotécnico utilizando a ARS, com mais de 80% das publicações tendo sido produzidas apenas nos últimos 5 anos, o que reflete um vasto campo de estudo a se descobrir. Em termos da produção científica internacional, foi possível identificar os países com maior contribuição nas pesquisas sobre o tema, com destaque para países asiáticos – China e Hong Kong – e norte-americanos – EUA e Canadá – dentre as primeiras posições, o que demonstra uma preocupação já comum em países com alto nível de maturidade BIM.

A macroanálise evidenciou o destaque das pesquisas com foco na comparação entre redes de relacionamentos baseados no BIM com as redes tradicionais, representadas, principalmente pelo uso de metodologias baseadas em ferramentas CAD, com foco

na colaboração entre indivíduos ou equipes e na proposição de métodos conceituais para direcionar e padronizar a aplicação da ARS nestas redes, principalmente em subsetores com características e necessidades específicas na indústria da construção, tais como projetos de infraestrutura, projetos para análises de sustentabilidade e projetos de requalificação do patrimônio histórico edificado. Em termos do tipo de dado utilizado nas pesquisas para conformação das redes, observou-se que indivíduos representados por profissionais do setor – arquitetos, engenheiros, contratantes e empreiteiros – representam o tipo de dado de maior interesse pelos autores devido ao maior número de ocorrências de uso nas pesquisas. Por outro lado, redes de relacionamento formadas por outras unidades de análise tais como organizações, termos, fatores, objetos ou cargos relacionados ao BIM, obtiveram menor número de ocorrências registradas. Quanto ao método de coleta adotado pelos autores, o uso de questionários sociométricos ou entrevistas, classificados como métodos diretos de coleta e considerados mais tradicionais, não obtiveram expressividade na ocorrência de uso pelas pesquisas como era de se esperar com base na literatura sobre o tema. Esse fato revela a preferência dos autores pela exploração de outras fontes indiretas para coleta de dados, tais como e-mails, registros e relatórios gerados por *softwares* BIM, bancos de dados de organizações ou entidades públicas e na literatura. De modo geral, pode-se atribuir a menor ocorrência de uso de dados diretos – questionários e entrevistas – devido à maior suscetibilidade a alguns fatores de risco, a exemplo de possíveis dificuldades de acesso ou disponibilidade dos indivíduos que participam das pesquisas, além da falta de motivação e ou interesse de participação da população sob estudo para contribuir com as análises em tempo hábil. Por outro lado, o uso de métodos indiretos, baseados em arquivos, independe de fatores externos além da disponibilidade dos próprios dados a serem analisados, permitindo-se ampliar as fronteiras da rede tão maior forem os dados disponíveis para análise, além de favorecer o desenvolvimento de automações para coletar, tratar e estruturar os dados para as análises, conforme demonstrado nas pesquisas exploradas na RSL.

A partir do levantamento das métricas utilizadas nas pesquisas, pode-se inferir que, dentre os interesses de análise, os principais estão relacionados ao comportamento, às propriedades e às características individuais dos atores que compõem a rede,

obtidas através das métricas de microanálise, isto é, análises baseadas nos indivíduos, em detrimento das características intrínsecas à rede como um todo, extraídas através das métricas de macroanálise. Este fato se justifica a partir do evidente protagonismo de uso das medidas de centralidade nas pesquisas, principalmente centralidade de grau, centralidade de proximidade e centralidade de intermediação. As medidas de centralidade estão preocupadas em mensurar a importância do ator para o funcionamento da rede, baseando-se no número de relacionamentos que exerce, que intermedia e na distância estrutural que possui em relação ao alcance de toda a rede. Com relação as ferramentas mais utilizadas pelos autores para apoiar a aplicação das métricas de ARS e permitir a visualização das redes, os *softwares Gephi* e *UCINET* obtiveram maior destaque devido a maior ocorrência de uso nas pesquisas. Considerando as principais ferramentas e opções oferecidas por ambos, pode-se concluir que dentre as principais preocupações em termos da escolha da ferramenta, estão a qualidade na visualização dos dados e possibilidade de aplicação de um número maior de métricas de análise.

A análise por categoria permitiu identificar características comuns às redes de relacionamentos baseados no BIM a partir dos resultados obtidos nas pesquisas em duas instâncias distintas de análise: redes e indivíduos. A partir dos resultados obtidos nas análises de rede, observou-se que as redes de relacionamentos baseados no BIM possuem, de fato, características que as distinguem das redes tradicionais. Dentre as principais características, estão os diferentes papéis exercidos pelos atores que participam destas redes, as posições que ocupam, a quantidade de relações que desenvolvem ao longo do tempo e, principalmente, a intensidade da comunicação e a distribuição da informação dentro da rede, fatores que contribuem efetivamente para o aumento da colaboração entre indivíduos e equipes. Nesse sentido, as redes baseadas no BIM caracterizaram-se, principalmente, por possuir topologia similar às redes de mundo pequeno, com alto coeficiente de agrupamento e baixos valores de *path length*, o que as posicionam como uma rede altamente conectada e com maior facilidade de alcance mútuo entre os indivíduos. Estas redes também apresentaram maior densidade quando analisadas de forma estática, porém, quando analisadas ao longo da evolução do projeto, obtiveram densidade decrescente, o que pode ser justificado, principalmente, devido à maior autonomia dos indivíduos para acessar informação ao longo do tempo, característica que não foi constatada nas redes

tradicionais, uma vez que a informação tende a se manter fragmentada. As redes baseadas no BIM também possuíram menor diâmetro e a maior parcela das pesquisas, menor modularidade, o que reforça a presença de caminhos curtos para a fluidez da informação e a formação de grupos com fronteiras conectadas entre si, evitando a formação de “ilhas de informação”.

As análises baseadas nos indivíduos evidenciaram o destaque nos papéis dos Gerentes, Coordenadores e Modeladores BIM, ocupando posições estratégicas dentro da rede, sendo essenciais para permitir o elo, principalmente, entre setores de arquitetura, engenharia, coordenação e TI. Por outro lado, estes papéis não substituíram ou superaram o protagonismo de papéis tradicionais na estrutura hierárquica na indústria da construção, tais como gerentes de projeto, coordenadores de projeto ou contratantes, que, de modo geral, ocuparam as posições de maior destaque nas redes. Outra característica observada está no equilíbrio das posições em redes de relacionamentos baseados no BIM, uma vez que com a descentralização da informação, o uso do BIM contribui para tornar a distribuição das relações mais equilibrada, devido a ausência de indivíduos com destaques substancialmente maiores em relação a outros, reduzindo assim, os possíveis pontos de sobrecarga de responsabilidade para permitir a distribuição da informação e como consequência, evitando possíveis falhas de comunicação.

Em termo dos métodos de aplicação da ARS em redes de relacionamentos baseados no BIM, constatou-se que, de modo geral, as principais etapas metodológicas estão fundamentadas na seguinte estratégia: definição das fronteiras do sistema, coleta de dados, conformação e análise da rede. A definição da fronteira do sistema esteve diretamente relacionada ao tipo de dado sob análise e a população de interesse das pesquisas, geralmente limitada a um setor, organização ou projeto de construção. A coleta de dados esteve comumente baseada em arquivos de diferentes naturezas (dados indiretos) e ou questionários e entrevistas (dados diretos). A conformação das redes esteve fortemente relacionada à utilização de *softwares* de ARS ou sistemas específicos desenvolvidos para estruturar os dados antes das análises. Por fim, as análises da rede, também apoiadas pelos *softwares* de ARS, foram desenvolvidas a partir da aplicação das métricas da ARS em duas instâncias distintas: microanálise –

ou métricas individuais, isto é, baseadas no ator – e macroanálise – ou métricas de rede, isto é, baseadas na rede. As métricas mais comuns para microanálise foram as medidas de centralidade: centralidade de grau, centralidade de proximidade e centralidade de intermediação, enquanto as métricas mais comuns para subsidiar as macroanálises das redes foram: densidade, diâmetro, coeficiente de agrupamento, *path length* e modularidade.

As diversas relações existentes nas redes de relacionamento baseadas no BIM possuem características marcantes que exercem influência direta sobre a forma como se dá a sua adoção, permanência e evolução durante o ciclo de vida de um ativo na indústria da construção, principalmente no que diz respeito à colaboração. Portanto, conhecer a estrutura das relações entre profissionais que participam de um setor ou projeto torna-se essencial para garantir que sejam extraídos os maiores benefícios do BIM. A partir dos resultados obtidos, fica evidente que a aplicação da ARS nestas redes agrega uma contribuição valiosa nesse processo, pois permite mensurar de maneira clara aspectos subjetivos das relações que, de modo geral, podem passar despercebidos ou terem sua relevância subestimada para o sucesso do processo de implementação ou evolução do BIM. Pôde-se, portanto, observar como adoção do BIM agrega novos papéis e responsabilidades às equipes tradicionais que rapidamente se estabelecem junto aos processos vigentes e alteram toda a estrutura das relações, obtendo destaque nos papéis exercidos e nas posições ocupadas, unindo-se à outros papéis de destaque pré-existentes na configuração tradicional e que, de forma geral, se mantém nesta nova configuração. Essa cadeia de ações reforça a necessidade de um monitoramento eficaz que permita identificar o quão ativos, integrados e motivados estão os profissionais que compõem essa estrutura, sendo esse, portanto, a maior contribuição da ARS.

Observa-se também que o protagonismo do BIM nas redes possui, ao mesmo tempo, uma característica inclusiva, uma vez que permite ampliar a participação dos atores que compõem o sistema social, diferente das redes tradicionais, onde os protagonismos existentes reduzem a atividade de outros atores, havendo, portanto, menor atividade na periferia das redes e maior inércia na posição dos atores, que tendem a exercer atividades e papéis estáticos em relação ao tempo. O uso de artefatos como modelos digitais da construção (3D), ambientes comuns de dados

(CDE⁴⁸), gerenciadores de documentos (GED), plataformas para gerenciar apontamentos (*issue tracking platform*) e realidade virtual ou aumentada, permite às redes baseadas no BIM, ampliarem a densidade de informação que é veiculada, requerendo maior participação dos envolvidos, principalmente nas fases iniciais, quando as decisões tomadas possuem maior impacto positivo para o sucesso do projeto⁴⁹. Portanto, pode-se afirmar que os cargos BIM não substituem papéis relevantes pré-existent, uma vez que estes continuam criando articulações e exercendo seu protagonismo de forma similar à realidade observada nas redes tradicionais, pelo contrário, a adoção do BIM requer uma comunicação e integração ainda maior entre estes papéis de destaque com os demais integrantes da rede, uma vez que todos passam a dividir de maneira mais equilibrada as responsabilidades. Esta nova disposição de papéis e responsabilidades fomenta a colaboração através de modelos digitais de construção, plataformas de coordenação e outros canais de comunicação tradicionais, requerendo também maior expertise e participação dos profissionais para subsidiar a tomada de decisão durante as etapas de simulação para concepção, projeto, construção, operação e descomissionamento de um ativo no setor da AECO.

Esta pesquisa apresentou algumas limitações que serão descritas a seguir. Acredita-se que poderia ter sido consultado um número maior de bases de dados, principalmente porque uma delas não entregou resultados consistentes, reduzindo-se ainda mais a amostragem esperada. A definição de idiomas e tipos de documento específicos como critério de exclusão também pode ser considerada uma limitação. Identificou-se ainda que, algumas pesquisas sobre o tema não foram inseridas nas análises por terem sido publicadas fora do período analisado, apesar de terem sido consultadas posteriormente para subsidiar a interpretação e análise dos resultados da RSL. Por fim, outra limitação está no fato das buscas das pesquisas terem sido

⁴⁸ Acrônimo para *Common Data Environment*.

⁴⁹ Conforme apresentado pela Curva de *MacLeamy*, disponível em: <https://www.enr.com/ext/resources/archives/images2/2012/06/fif.1.jpg>

realizadas no primeiro semestre do último ano do período de análise considerado, comprometendo, possivelmente a quantidade de pesquisas neste ano.

Uma exploração sistemática dos métodos propostos pelos autores para a aplicação da ARS em redes sociais foi identificada como um possível viés para trabalhos futuros. A aplicação da ARS possui um amplo universo de possibilidades, o que por um lado favorece a exploração e criatividade do pesquisador, mas por outro, compromete a comparação entre as análises e a aplicação em escala nas redes de relacionamento baseadas no BIM. Portanto, no sentido de estruturar e padronizar um método para subsidiar essas análises, elencando critérios específicos para a definição de fronteira, coleta e análise dos dados, a definição de um método escalável de aplicação pode favorecer tanto a realização de novas pesquisas sobre o tema, como a comparação direta entre os resultados. Além disso, como consequência, seria possível adotar este processo sistêmico no *roadmap* de implementação do BIM em companhias e organizações, apoiando o diagnóstico de implementação a partir do mapeamento da rede vigente, da identificação de problemas estruturais e como resultado, na proposição de novos papéis e posições relacionadas ao BIM ou na identificação de possíveis pontos de falha de comunicação em ambientes onde o BIM já é utilizado.

Os resultados desta pesquisa podem contribuir principalmente para a disseminação do uso da ARS em redes de relacionamentos baseados no BIM em diversos setores da AECO, permitindo a realização de diagnósticos sociotécnicos mais precisos, a implantação de métodos de acompanhamento de projeto baseados no fluxo de informação, na criação de novos critérios para mensurar o nível de colaboração nestas redes e no mapeamento da relação entre elementos digitais da construção para coordenar, compatibilizar e mensurar a qualidade dos modelos. Permitindo, portanto, a partir desse conjunto, exercer a tomada de decisão a partir de dados primários e representativos, otimizando a visualização destes dados e a análise das relações entre os profissionais que atuam na indústria da construção.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **ABDI**: guia 1 - processo de projeto BIM. Brasília, DF. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12006**: construção de edificação - organização de informação da construção. Parte 2: estrutura para classificação de informação. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- ABNT. Avança a Normalização sobre BIM. **boletim ABNT**, v. 17, n. 244, p. 32, 2020.
- ABRAHAM, A.; HASSANIEN, A.-E.; SNÁSEL, V. **Computational Social Network Analysis**. 1. ed. London, UK: Springer, 2010.
- ADAMU, Z. A.; EMMITT, S.; SOETANTO, R. Social BIM: co-creation with shared situational awareness. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 20, p. 230–252, 2015.
- AHUJA, R. *et al.* Factors influencing BIM adoption in emerging markets – the case of India. **International Journal of Construction Management**, v. 20, n. 1, p. 65–76, 2020.
- AIA. **Integrated Project Delivery**: a guide. Disponível em: <<https://www.aia.org/resources/64146-integrated-project-delivery-a-guide>>. Acesso em: 7 mar. 2021.
- AL HATTAB, M. The dynamic evolution of synergies between BIM and sustainability: A text mining and network theory approach. **Journal of Building Engineering**, v. 37, n. October 2020, 2021.
- AL HATTAB, M.; HAMZEH, F. Using social network theory and simulation to compare traditional versus BIM-lean practice for design error management. **Automation in Construction**, v. 52, n. April, p. 59–69, 2015.
- AL HATTAB, M.; HAMZEH, F. Simulating the dynamics of social agents and information flows in BIM-based design. **Automation in Construction**, v. 92, n. March 2018, p. 1–22, 2018.
- ALBA, R. D. A graph-theoretic definition of a sociometric clique. **The Journal of Mathematical Sociology**, v. 3, n. 1, p. 113–126, 1973.
- ALEXANDERSON, G. L. About the cover: Euler and Königsberg’s bridges: a historical view. **Bulletin of the American Mathematical Society**, v. 43, n. 4, p. 567–573, 2006.
- ARAGAO, R.; EL-DIRABY, T. E. Network analytics and social BIM for managing project unstructured data. **Automation in Construction**, v. 122, p. 103512, 2021.
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. bibliometrix: an R-tool for comprehensive science

mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017.

ARIEL CASTILLO. **The State of BIM in Latin America**. Disponível em: <<https://medium.com/autodesk-university/the-state-of-bim-in-latin-america-4a4ac023da14>>. Acesso em: 26 mar. 2021.

ASBEA. Guia ASBEA: Boas práticas em BIM. **Fascículo I. AsBEA.**, v. I, p. 20, 2013.

ASLAM, M.; GAO, Z.; SMITH, G. Integrated Implementation of Virtual Design and Construction (VDC) and Lean Project Delivery System (LPDS). **Journal of Building Engineering**, v. 39, n. January, p. 102252, 2021.

ATUL KHANZODE *et al.* **A Guide to Applying the Principles of Virtual Design and Construction (VDC) to the Lean Project Delivery Process | Center for Integrated Facility Engineering**. Disponível em: <<https://cife.stanford.edu/guide-applying-principles-virtual-design-and-construction-vdc-lean-project-delivery-process>>. Acesso em: 7 mar. 2021.

BADI, S.; DIAMANTIDOU, D. A social network perspective of building information modelling in Greek construction projects. **Architectural Engineering and Design Management**, v. 13, n. 6, p. 406–422, 2017.

BALL, R. **An Introduction to Bibliometrics**. 1. ed. New York, NY: Elsevier, 2018.

BARABÁSI, A.-L.; ALBERT, R. Emergence of Scaling in Random Networks. **Science**, v. 286, n. 5439, p. 509–512, 1999.

BARABÁSI, A. L. The network takeover. **Nature Physics**, v. 8, n. 1, p. 14–16, 2012.

BARABÁSI, A. L.; BONABEAU, E. Scale-free networks. **Scientific American**, v. 288, n. 5, p. 60–69, 2003.

BARISON, M. B.; SANTOS, E. T. An overview of BIM specialists Roles and responsibilities. **Proceedings of the International Conference, Nottingham, UK, Nottingham University Press**, p. 141–147, 2010.

BARNES, J. A. Class and Committees in a Norwegian Island Parish. **Human Relations**, v. 7, n. 1, p. 39–58, 1954.

BARNES, J. A.; HARARY, F. Graph theory in network analysis. **Social Networks**, v. 5, n. 2, p. 235–244, 1983.

BARTLETT, K. *et al.* **Rise of the platform era: the next chapter in construction technology**. Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/industries/private-equity-and-principal-investors/our-insights/rise-of-the-platform-era-the-next-chapter-in-construction-technology>>. Acesso em: 28 fev. 2021.

BAVELAS, A. A Mathematical Model for Group Structures. **Human Organization**, v. 7, n. 3, p. 16–30, 1948.

BAVELAS, A. Communication Patterns in Task-Oriented Groups. **Journal of the**

Acoustical Society of America, v. 22, n. 6, p. 725–730, 1950.

BILAL, M. *et al.* Big Data in the construction industry: a review of present status, opportunities, and future trends. **Advanced Engineering Informatics**, v. 30, n. 3, p. 500–521, 2016.

BIM ACCELERATION COMMITTEE. **The New Zealand BIM handbook**. Disponível em: <<https://www.biminnz.co.nz/nz-bim-handbook>>. Acesso em: 23 nov. 2020.

BIM DICTIONARY. **About the BIM Dictionary**. Disponível em: <<https://bimdictionary.com/about>>. Acesso em: 17 set. 2020.

BIM DICTIONARY. **BIM Dictionary**. Disponível em: <<https://bimdictionary.com/en/building-information-modelling/1>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

BIME INITIATIVE. **301in BIM Maturity Matrix**. Disponível em: <<https://bimexcellence.org/resources/300series/301in/>>. Acesso em: 2 abr. 2021.

BIME INITIATIVE. **211in Model Uses List**. Disponível em: <<https://bimexcellence.org/resources/200series/211in/>>. Acesso em: 21 mar. 2021.

BIMFORUM ARGENTINA. **Presentación Estrategia BIM Argentina**. Disponível em: <<http://www.bimforum.org.ar/novedades/ampliar/presentacin-estrategia-bim-argentina->>. Acesso em: 27 mar. 2021.

BIMMG. **Plano de Implementação**. Disponível em: <<http://www.bim.mg.gov.br/2021-02-16-13-44-18/plano-de-implementacao>>. Acesso em: 28 mar. 2021.

BIOLCHINI, J. *et al.* Systematic Review in Software Engineering. **International Sugar Journal**, v. 107, n. 1273 SPEC. ISS., p. 32–37, 2005.

BOISSEVAIN, J. Network Analysis: A Reappraisal. **Current Anthropology**, v. 20, n. 2, p. 392–394, 1979.

BOJE, C. *et al.* Towards a semantic Construction Digital Twin: directions for future research. **Automation in Construction**, v. 114, n. January, p. 103179, 2020.

BOLLOBÁS, B. **Modern Graph Theory**. 1. ed. New York, NY: Springer Science, 1998.

BOLLOBÁS, B. **Random Graphs**. 2^a ed. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001.

BONACICH, P. Factoring and weighting approaches to status scores and clique identification. **The Journal of Mathematical Sociology**, v. 2, n. 1, p. 113–120, 1972.

BORGES VIANA, V. L.; MARQUES CARVALHO, M. T. Prioritization of risks related to BIM implementation in brazilian public agencies using fuzzy logic. **Journal of**

Building Engineering, v. 36, n. December 2020, p. 102104, 2021.

BORRMANN, A. *et al.* **Building Information Modeling**. 1. ed. Cham, Switzerland: Springer, 2018.

BOSCH-SIJTSEMA, P. M.; GLUCH, P.; SEZER, A. A. Professional development of the BIM actor role. **Automation in Construction**, v. 97, n. October 2018, p. 44–51, 2019.

BRANDES, U.; ERLEBACH, T. **Network Analysis: methodological foundations**. 1. ed. Berlin, Germany: Springer, 2005.

BRANDES, U.; KENIS, P.; WAGNER, D. Communicating centrality in policy network drawings. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, v. 9, n. 2, p. 241–253, 2003.

BRASIL. **Decreto de 5 de junho de 2017**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Dsn/Dsn14473.htm>. Acesso em: 22 out. 2019.

BRASIL. **Decreto nº 9.377 de 17 de Maio de 2018**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2018/Decreto/D9377.htm>. Acesso em: 22 out. 2019.

BRASIL. **Decreto nº 9.983 de 22 de agosto de 2019**. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/d9983.htm>. Acesso em: 22 out. 2019.

BRASIL. **Decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020**. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.306-de-2-de-abril-de-2020-251068946>>. Acesso em: 22 out. 2019a.

BRASIL. **Portaria nº 1.014, de 6 de maio de 2020 - Portaria nº 1.014, de 6 de maio de 2020 - DOU - Imprensa Nacional**. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-1.014-de-6-de-maio-de-2020-256310894>>. Acesso em: 28 mar. 2021b.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 1, de 11 de março de 2021 - Instrução Normativa nº 1, de 11 de março de 2021 - DOU - Imprensa Nacional**. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-normativa-n-1-de-11-de-marco-de-2021-308015372>>. Acesso em: 28 mar. 2021a.

BRASIL. **LEI Nº 14.133**. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.133-de-1-de-abril-de-2021-311876884>>. Acesso em: 24 abr. 2021b.

BUHL, H.; KEROSUO, H.; ANDERSEN, M. SOCIAL BIM as driver for creativity and innovation? In: PROCEEDINGS OF THE 24TH NORDIC ACADEMY MANAGEMENT CONFERENCE – NNF, 2017. **Anais[...]**. Dinamarca: NNF, 2017, n.p.

BUILDINGSMART. **¿Qué es BIM? - BuildingSMART Spanish Chapter**. Disponível em: <<https://www.buildingsmart.es/bim/>>. Acesso em: 14 mar. 2021a.

BUILDINGSMART. **BIM Maturity Assessment**. Disponível em: <<https://www.buildingsmart.org/users/services/bim-maturity-assessment/>>. Acesso em: 2 abr. 2021b.

BUILDINGSMART. **Industry Foundation Classes (IFC) - buildingSMART Technical**. Disponível em: <<https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/>>. Acesso em: 3 abr. 2021c.

BURT, R. S. Positions in networks. **Social Forces**, v. 55, n. 1, p. 93–122, 1976.

BURT, R. S. **Structural Holes: the social structure of competition**. Cambridge: Harvard University Press, 1995.

BURT, R. S. Theory and Research-Structural Holes versus Network Structure as Social Capital. **Social Capital: theory and research**, n. May 2000, p. 31–56, 2001.

BUTTS, C. T. Revisiting the foundations of network analysis. **Science**, v. 325, n. 5939, p. 414–416, 2009.

CAMACHO, D. *et al.* The four dimensions of social network analysis: an overview of research methods, applications, and software tools. **Information Fusion**, v. 63, p. 88–120, 2020.

CAMACOL. **BIM KIT guías para la adopción BIM en las organizaciones | Camacol**. Disponível em: <<https://camacol.co/documentos-bim-forum-colombia>>. Acesso em: 27 mar. 2021.

CAMACOL. **Estrategia BIM Colombia proyecta para 2026 que la totalidad de los proyectos de construcción públicos incorpore BIM | Camacol**. Disponível em: <<https://camacol.co/comunicados/estrategia-bim-colombia-proyecta-para-2026-que-la-totalidad-de-los-proyectos-de>>. Acesso em: 27 mar. 2021.

CAO, D. *et al.* Dynamics of Project-Based Collaborative Networks for BIM Implementation: Analysis Based on Stochastic Actor-Oriented Models. **Journal of Management in Engineering**, v. 33, n. 3, p. 04016055, 2017.

CAO, D. *et al.* Relationship Network Structure and Organizational Competitiveness: Evidence from BIM Implementation Practices in the Construction Industry. **Journal of Management in Engineering**, v. 34, n. 3, p. 04018005, 2018.

CARRINGTON, J. S. AND P. J. **the SAGE handbook of Social Network Analysis**. 1. ed. Bangalore, India: SAGE, 2011.

CARTWRIGHT, D.; HARARY, F. Structural balance: a generalization of Heider's theory. **Psychological Review**, v. 63, n. 5, p. 277–293, 1956.

CASTRO, P. A. de. **Rede Complexa e Criticalidade Auto-Organizada: modelos e aplicações**. 2007. Tese (Doutorado em Ciências: Física Básica) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CATELANI, W. S.; SANTOS, E. T. Normas Brasileiras sobre BIM. **Concreto & Construção**, v. 84, p. 54–59, 2016.

CBIC. Volume 01 - Fundamentos BIM : implementação do BIM para construtoras e incorporadoras. **CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção**, v. 1, p. 124, 2016.

CBIC. **Avança a normalização sobre o BIM no Brasil - Comissão de Materiais, Tecnologia, Qualidade e Produtividade**. Disponível em: <<https://cbic.org.br/inovacao/2020/08/05/avanca-a-normalizacao-sobre-o-bim-no-brasil/>>. Acesso em: 28 mar. 2021.

CBIM-MG. **Estatuto da Câmara Brasileira de BIM de Minas Gerais-MG**. Disponível em: <<https://www.cbim-mg.com/institucional>>. Acesso em: 21 fev. 2021.

CHANG, V. A proposed social network analysis platform for big data analytics. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 130, n. January, p. 57–68, 2018.

CHARTRAND, G.; ZHANG, P. **A first course in Graph Theory**. Mineola, New York: Dover Publications, 2012.

CHEN, Z. *et al.* A Graph Database and Query Approach to IFC Data Management. **Future of Information Exchanges and Interoperability**, v. 1, n. 1, p. 28–36, 2019.

CHINOWSKY, P.; DIEKMANN, J.; GALOTTI, V. Social network model of construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 134, n. 10, p. 804–812, 2008.

CONSTRUCCIÓN LATINOAMERICANA. **Programa que busca modernizar la construcción en Chile - Construcción LatinoAmericana**. Disponível em: <<https://www.construccionlatinoamericana.com/4129840.article>>. Acesso em: 27 mar. 2021.

DERVIS, H. Bibliometric analysis using bibliometrix an R package. **Journal of Scientometric Research**, v. 8, n. 3, p. 156–160, 2019.

DOLOI, H.; VARGHESE, K.; RAPHAEL, B. Drivers and impediments of building information modelling from a social network perspective. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION AND MINING, 32., 2015 Finland. **Anais [...]**. Finlândia: IAARC, 2015. n.p.

DONATO, V. Towards design process validation integrating graph theory into BIM. **Architectural Engineering and Design Management**, v. 13, n. 1, p. 22–38, 2017.

DU, J. *et al.* BIM for Improved Project Communication Networks: Empirical Evidence from Email Logs. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 34, n. 5, p. 04020027, 2020.

DURUGBO, C. *et al.* Modelling collaboration using complex networks. **Information Sciences**, v. 181, n. 15, p. 3143–3161, 2011.

EASTMAN, C. *et al.* **BIM Handbook: a guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors.** Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc, 2008.

EASTMAN, C. *et al.* **BIM Handbook: a guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors.** Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc, 2011.

EGAN, J. **OpenCDE-API - A interface aberta para governar todos eles - Comunidade aecHive.** Disponível em: <<https://www.aechive.net/bimlauncher/opencde-api-the-open-interface-to-rule-them-all-ncf>>. Acesso em: 3 abr. 2021.

EL-DIRABY, T.; KRIJNEN, T.; PAPAGELIS, M. BIM-based collaborative design and socio-technical analytics of green buildings. **Automation in Construction**, v. 82, n. September 2016, p. 59–74, 2017.

ERDÖS, P.; RÉNYI, A. On random graphs. **Publicationes Mathematicae**, v. 6, p. 290–297, 1959.

ERDÖS, P.; RÉNYI, A. On the evolution of random graphs. **The Structure and Dynamics of Networks**, v. 5, p. 343–347, 1960.

EYNON, J. **Construction Manager's BIM Handbook.** 1. ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc, 2016.

FAN, S. L. *et al.* Latent Provisions for Building Information Modeling (BIM) Contracts: A Social Network Analysis Approach. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 23, n. 4, p. 1427–1435, 2019.

FILIFE BARBOSA *et al.* **Reinventing Construction: a route to higher productivity.** McKinsey Global Institute, 2017.

FRANK, K. A. Identifying cohesive subgroups. **Social Networks**, v. 17, n. 1, p. 27–56, 1995.

FREEMAN, L. C. A Set of Measures of Centrality Based on Betweenness. **Sociometry**, v. 40, n. 1, p. 35, 1977.

FREEMAN, L. C. Centrality in Social Networks Conceptual Clarification. **Social Networks**, v. 1, n. 3, p. 215–239, 1979.

FREEMAN, L. C. **The Development of Social Network Analysis.** Vancouver, BC Canada: Empirical Press, 2014.

GABARDO, A. C. **Análise de Redes Sociais Uma visão Computacional.** 1ª ed. São Paulo, SP: Editora Novatec, 2015.

GARDOUNIS, F.; CHONG, H. Y.; WANG, X. A conceptual framework for Social Network Analysis of Building Information Modelling in construction projects.

International Conference on Research and Innovation in Information Systems, ICRIS, n. October, 2017.

GASPAR, J. A. da M. **O significado atribuído ao BIM ao longo do tempo**. 2019. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.

GEORGIADOU, M. C. An overview of benefits and challenges of building information modelling (BIM) adoption in UK residential projects. **Construction Innovation**, v. 19, n. 3, p. 298–320, 2019.

GRANOVETTER, M. The strenght of weak ties. **American Journal of Sociology**, v. 78, n. 6, p. 1360–1380, 1973.

GSA. **GSA Building Information Modeling Guide Series 01 – Overview**. Disponível em: <<https://www.gsa.gov/real-estate/design-construction/3d4d-building-information-modeling/bim-guides/bim-guide-01-bim-overview>>. Acesso em: 25 fev. 2021.

GUSENBAUER, M.; HADDAWAY, N. R. Which academic search systems are suitable for systematic reviews or meta-analyses? Evaluating retrieval qualities of Google Scholar, PubMed, and 26 other resources. **Research Synthesis Methods**, v. 11, n. 2, p. 181–217, 2020.

HAGE, P.; HARARY, F. **Structural Models in Anthropology**. 2. ed. New York, NY: Cambridge University Press, 2007. v. 53

HANNEMAN, R. A; RIDDLE, M. **Introduction to Social Network Methods**. 1. ed. California, EUA: University of California, Riverside, 2005.

HANSEN, D. L. *et al.* Calculating and visualizing network metrics. **Analyzing Social Media Networks with NodeXL**, p. 79–94, 2020.

HARARY, F. **Graph Theory**. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Company, 1969.

HARDIN, B.; MCCOOL, D. **BIM and Construction Management**. Second ed. Indianapolis, Indiana: John Wiley & Sons, Inc, 2015.

HATTAAB, M. AL; HAMZEH, F. Analyzing Design Workflow: an Agent-based Modeling Approach. **Procedia Engineering**, v. 164, p. 510–517, 2016.

HEIDER, F. Attitudes and cognitive organization. **The Journal of Psychology**, v. 21, p. 107–112, 1946.

HIGGINS, S. S.; RIBEIRO, A. C. **Análise de Redes em Ciências Sociais**. Brasília, DF: Enap, 2018.

HO, D.; HOU, H. Enabling sustainable built heritage revitalisation from a social and technical perspective: a case study. **Facilities**, v. 37, n. 11–12, p. 704–722, 2019.

HOSSEINI, M. R. *et al.* Analysis of Citation Networks in Building Information Modeling Research. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 144, n. 8, p. 1–13, 2018.

HULST, R. C. VAN DER. Introduction to Social Network Analysis (SNA) as an investigative tool. **Trends in Organized Crime**, v. 12, n. 2, p. 101–121, 2009.

ISAAC, S.; SADEGHPOUR, F.; NAVON, R. Analyzing Building Information using Graph Theory. **Journal of Food System Research**, v. 14, n. 2, p. 70–75, 2013.

ISHAK, S. S. M.; ESA, M.; ISMAIL, M. H. Social capital, social network and diffusion of BIM practices. In: Proceeding of the 33rd Annual ARCOM Conference. **Anais[...]**. Association of Researchers in Construction Management, p. 73–82, 2017.

ISMAIL, A.; NAHAR, A.; SCHERER, R. Application of graph databases and graph theory concepts for advanced analysing of BIM models based on IFC standard. **Digital Proceedings of the 24th EG-ICE International Workshop on Intelligent Computing in Engineering 2017**, p. 146–157, 2017.

ISO. **ISO 29481-1, Building information models — Information delivery manual — Part 1: methodology and format**. Disponível em: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:29481:-1:ed-2:v1:en>>. Acesso em: 24 abr. 2021.

ISO. **ISO 19650-1:2018, Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: concepts and principles**. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/68078.html>>. Acesso em: 14 mar. 2021a.

ISO. **ISO 16739-1:2018 - Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries — Part 1: data schema**. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/70303.html>>. Acesso em: 3 abr. 2021b.

ISO. **ISO - 93.010 - Civil engineering in general**. Disponível em: <<https://www.iso.org/ics/93.010/x/>>. Acesso em: 24 mar. 2021.

JERRY LAISERIN. **Comparing Pommés and Naranjas**. Disponível em: <<http://www.laiserin.com/features/issue15/feature01.php>>. Acesso em: 10 mar. 2021.

JIN, C. *et al.* Exploring BIM Data by Graph-based Unsupervised Learning. In: PROCEEDINGS OF THE 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON PATTERN RECOGNITION APPLICATIONS AND METHODS. **Anais[...]**. Science and Technology Publications, 2018. p. 582–589.

JIN, R. *et al.* Comparisons of students' perceptions on BIM practice among Australia, China and UK. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 26, n. 9, p. 1899–1923, 2019.

JOSÉ DE OLIVEIRA, O. *et al.* **Bibliometric Method for Mapping the State-of-the-Art and Identifying Research Gaps and Trends in Literature**: an essential instrument to support the development of scientific projects. Disponível em: <<https://www.intechopen.com/books/scientometrics-recent-advances/bibliometric-method-for-mapping-the-state-of-the-art-and-identifying-research-gaps-and-trends-in-lit>>. Acesso em: 2 out. 2020.

KARLSHOJ, J.; SCHERER, R. **eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction**. 1. ed. Copenhagen, DN: CRC PRes, 2018.

KASSEM, M.; SUCCAR, B. Macro BIM adoption: comparative market analysis. **Automation in Construction**, v. 81, n. April, p. 286–299, 2017.

KENSEK, K. Visual programming for building information modeling: energy and shading analysis case studies. **Journal of Green Building**, v. 10, n. 4, p. 28–43, 2015.

KENSEK, K. M. **Building Information Modeling**. 1. ed. New York, NY: Routledge, 2014.

KENSEK, K. M.; NOBLE, D. E. **Building Information Modeling**. 1. ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc, 2014.

KILDUFF, M.; TSAI, W. **Social Networks Organizations**. 1. ed. London, UK: SAGE Publications, 2003.

KITCHENHAM, B. **Procedures for Performing Systematic Reviews**. Keele, UK: Keele University, 2004.

KITCHENHAM, B. **Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering**. Keele, UK: Keele University, 2007.

KITCHENHAM, B. A.; MENDES, E.; TRAVASSOS, G. H. Cross versus within-company cost estimation studies: a systematic review. **IEEE Transactions on Software Engineering**, v. 33, n. 5, p. 316–329, 2007.

KOÇAK, N. G. Social Networks and Social Network Analysis. **Social Network Analysis**: an introduction with an extensive implementation to a large-scale online network using Pajek, v. 5, n. 2, p. 3–35, 2014.

KOCH, C. **Building Information Standards for Innovation in Public Procurement of buildings**. Gothenburg, Sweden: Chalmers University of Technology, 2017.

KOLACZYK, E. D.; CSÁRDI, G. **Statistical Analysis of Network Data with R**. New York, NY: Springer, 2014.

KOSANKE, K. ISO Standards for Interoperability: a comparison. *In*: INTEROPERABILITY OF ENTERPRISE SOFTWARE AND APPLICATIONS, 2006. **Anais[...]**. Böblingen, Germany: Springer, 2006. p. 55-64.

KOUHESTANI, A. S.; NIK-BAKHT, M. IFC-based process mining for design

authoring. **Automation in Construction**, v. 112, n. June 2019, p. 103069, 2020.

KYMMELL, W. **BIM - planning and managing construction projects with 4D CAD and simulations**. 1^a ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2008.

LAZEGA, E.; HIGGINS, S. S. **Redes Sociais e Estruturas Relacionais**. 1. ed. ed. Belo Horizonte, MG: Fino Traço, 2014.

LEAVITT, H. J. Some effects of certain communication patterns on group performance. **Journal of Abnormal and Social Psychology**, v. 46, n. 1, p. 38–50, 1951.

LEE, G.; BORRMANN, A. BIM policy and management. **Construction Management and Economics**, v. 38, n. 5, p. 413–419, 2020.

LEE, G.; UHM, M.; JEON, B. An analysis of BIM jobs and competencies based on the use of terms in the industry. **Automation in Construction**, v. 81, n. March, p. 67–98, 2017.

LI, C. Z. *et al.* Schedule risks in prefabrication housing production in Hong Kong: a social network analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 134, n. Part B, p. 482–494, 2016.

LIBERATI, A. *et al.* The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. **Journal of clinical epidemiology**, v. 62, n. 10, p. 1–35, 2009.

LIU, B. *et al.* Review and Prospect of BIM Policy in China. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 245, n. 2, 2017.

LLACH, D. C.; SÁNCHEZ-VAQUERIZO, J. A. Using Network Analytics to Explore the Data of Building Design. **An Ecology of Conflict**, p. 198–212, 2019.

LU, W.; LAI, C. C.; TSE, T. **Big data for construction cost management**. 1. ed. New York, NY: Routledge, 2019.

LU, W.; XU, J.; SÖDERLUND, J. Exploring the Effects of Building Information Modeling on Projects: longitudinal Social Network Analysis. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 146, n. 5, p. 4020037, 2020.

LU, W.; ZHANG, D.; ROWLINSON, S. BIM collaboration: a conceptual model and its characteristics. *In: Procs 29th Annual ARCOM Conference*. **Anais[...]**. Reading, UK: Association of Researchers in Construction Management, 2013. p. 25–34.

LUCE, R. D.; PERRY, A. D. A method of matrix analysis of group structure. **Psychometrika**, v. 14, n. 2, p. 95–116, 1949.

MACHADO, F. A.; DELATORRE, J. P. M.; RUSCHEL, R. C. BIM in Latin American Countries: an analysis of regulation evolution. *In: PROCEEDINGS OF THE 18TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING*

ENGINEERING. **Anais[...]**. Springer, Cham, 2020. p. 425-451.

MAJEED, S. *et al.* Social Network Analysis Visualization Tools: a Comparative Review. In: Proceedings - 2020 23rd IEEE International Multi-Topic Conference, INMIC 2020. **Anais[...]**. IEEE, n.p. 2020.

MARIANO, D. C. B. *et al.* **A guide to performing systematic literature reviews in bioinformatics**. Belo Horizonte, MG: Departamento de Ciência da Computação, 2017.

MARSDEN, P. Network Data And Measurement. **Annual Review of Sociology**, v. 16, n. 1, p. 435–463, 1990.

MASKIL-LEITAN, R.; REYCHAV, I. A sustainable sociocultural combination of building information modeling with integrated project delivery in a social network perspective. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 20, n. 5, p. 1017–1032, 2018.

MASKIL-LEITAN, R.; REYCHAV, I. BIM's social role in building energy modeling. **Clean Technologies and Environmental Policy**. v. 21, n. 2, p 307-338, 2019.

MDIC. **Estratégia BIM BR**. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/images/REPOSITORIO/sdci/CGMO/26-11-2018-estrategia-BIM-BR-2.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2020.

MESSNER, J. *et al.* **BIM Project Execution Planning Guide**. 2.2 ed. PA, USA: Penn State University, 2019.

MILGRAM, S. The Small-World Problem. **Psychology Today**, v. 1, n. 1, p. 61–67, 1967.

MINAS GERAIS. **Decreto Nº 48146 DE 02/03/2021 - Estadual - Minas Gerais**. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=410247>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

MIZRUCHI, M. S. Análise de redes sociais: avanços recentes e controvérsias atuais. **Rae**, v. 48, n. 3, p. 72–86, 2006.

MOHER, D. *et al.* Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **Journal of clinical epidemiology**, v. 62, n. 10, p. 1006–1012, 2009.

MORAL-MUÑOZ, J. A. *et al.* Software tools for conducting bibliometric analysis in science: An up-to-date review. **Profesional de la Informacion**, v. 29, n. 1, p. 1–20, 2020.

MUSTAFFA, N. E.; SALLEH, R. M.; ARIFFIN, H. L. B. T. Experiences of Building Information Modelling (BIM) adoption in various countries. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON RESEARCH AND INNOVATION IN INFORMATION SYSTEMS (ICRIIS). **Anais[...]**. IEEE: 2017. p. 1-7.

NATSPEC CONSTRUCTION INFORMATION. **NATSPEC National BIM Guide**. Disponível em: <<https://bim.natspec.org/documents/natspec-national-bim-guide>>. Acesso em: 20 mar. 2021.

NEWMAN, M. E. J. Small Worlds: the structure of social networks. **Random Structures and Algorithms**, v. 19, n. 1, 1999.

NEWMAN, M. E. J. Scientific collaboration networks. II. Shortest paths, weighted networks, and centrality. **Physical Review E - Statistical Physics, Plasmas, Fluids, and Related Interdisciplinary Topics**, v. 64, n. 1, p. 7, 2001.

NEWMAN, M. E. J. Random graphs as models of networks. **Handbook of Graphs and Networks**, n. 1, p. 35–68, 2002.

NEWMAN, M. E. J. The structure and function of complex networks. **SIAM Review**, v. 45, n. 2, p. 167–256, 2003.

NEWMAN, M. E. J.; GIRVAN, M. Finding and evaluating community structure in networks. **Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics**, v. 69, n. 2, p. 1–15, 2004.

NIBS. **National Building Information Modeling Standard**. Disponível em: <<http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2019.

NIBS. **Minimum BIM**. Disponível em: <https://www.nationalbimstandard.org/files/NBIMS-US_V3_5.2_Minimum_BIM.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2021.

NIBS. **National BIM Guide for Owners**. Disponível em: <https://www.nibs.org/files/pdfs/NIBS_BIMC_NationalBIMGuide.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2021.

NIGHTINGALE, A. A guide to systematic literature reviews. **Surgery**, v. 27, n. 9, p. 381–384, 2009.

OKAKPU, A. *et al.* An optimisation process to motivate effective adoption of BIM for refurbishment of complex buildings in New Zealand. **Frontiers of Architectural Research**, v. 8, n. 4, p. 646–661, 2019.

OLIVA, R. Model structure analysis through graph theory: partition heuristics and feedback structure decomposition. **System Dynamics Review**, v. 20, n. 4, p. 313–336, 2004.

OLIVEIRA, M.; GAMA, J. An overview of social network analysis. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery**, v. 2, n. 2, p. 99–115, 2012.

ORAE, M. *et al.* Collaboration in BIM-based construction networks: a bibliometric-qualitative literature review. **International Journal of Project Management**, v. 35, n.

7, p. 1288–1301, 2017.

ORAE, M. *et al.* Collaboration barriers in BIM-based construction networks: A conceptual model. **International Journal of Project Management**, v. 37, n. 6, p. 839–854, 2019.

OTTE, E.; ROUSSEAU, R. Social network analysis: a powerful strategy, also for the information sciences. **Journal of Information Science**, v. 28, n. 6, p. 441–453, 2002.

PAPADONIKOLAKI, E.; VERBRAECK, A.; WAMELINK, H. Formal and informal relations within BIM-enabled supply chain partnerships. **Construction Management and Economics**, v. 35, n. 8–9, p. 531–552, 2017.

PARK, J. H.; LEE, G. Design coordination strategies in a 2D and BIM mixed-project environment: social dynamics and productivity. **Building Research and Information**, v. 45, n. 6, p. 631–648, 2017.

PARSONS, T. **The Social System**. London, England: Routledge, 2005.

PAUL SHILLCOCK. **From BS 1192 to ISO 19650 and everything in between | NBS**. Disponível em: <<https://www.thenbs.com/knowledge/from-bs-1192-to-iso-19650-and-everything-in-between>>. Acesso em: 24 mar. 2021a.

PAUL SHILLCOCK. **ISO 19650: When you should adopt it and why | BIM+**. Disponível em: <<https://www.bimplus.co.uk/analysis/iso-19650-timetable-implementation/>>. Acesso em: 24 mar. 2021b.

PENTEADO, R.; SCHROEDER, R.; HOSS, D. Um Estudo sobre Bancos de Dados em Grafos Nativos. **X ERBD-Escola Regional de Banco de Dado**, v. 1, n. 1, p. 1–10, 2013.

PEREIRA, S. M. S. DE A.; CORREIA, M. C. Implementação da abordagem e tecnologia BIM no processo de gestão na FIOCRUZ. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 10, n. mar, p. e019014, 2019.

PEREZ, C.; GERMON, R. Graph Creation and Analysis for Linking Actors: application to social data. *In*: LAYTON, R.; WATTERS, P. A. (org.). **Automating Open Source Intelligence**. Boston: Syngress, 2016. p. 103–129.

PERÚ. **Plan BIM Perú**. Disponível em: <https://www.mef.gob.pe/es/?option=com_content&language=es-ES&Itemid=102594&lang=es-ES&view=article&id=5897>. Acesso em: 27 mar. 2021.

PETTICREW, M.; ROBERTS, H. **Systematic Reviews in the Social Sciences: A Practical Guide**. 1. ed. Victoria, Australia: Blackwell Publishing, 2008.

PLANBIM. **PlanBIM**. Disponível em: <<https://planbim.cl/what-is-planbim/?lang=en>>. Acesso em: 27 mar. 2021.

PRYKE, S. **Social Network Analysis in Construction**. 1. ed. Noida, India: John

Wiley & Sons, Inc, 2012.

PRYKE, S.; BADI, S.; BYGBALLE, L. Editorial for the special issue on social networks in construction. **Construction Management and Economics**, v. 35, n. 8–9, p. 445–454, 2017.

RECUERO, R. Contribuições da Análise de Redes Sociais para o estudo das redes sociais na Internet: o caso da hashtag #Tamojuntodilma e #CalaabocaDilma. **Fronteiras - estudos midiáticos**, v. 16, n. 2, p. 60–77, 2014.

REDMOND, A.; EL-DIRABY, T.; PAPAGELIS, M. Employing an exploratory research stage to evaluate green building technologies for sustainable systems. In: Proceedings of the International Conference on Civil, Structural and Transportation Engineering. **Anais[...]**. Ottawa, Canada, n. 291, p. 291-1-291-9, 2015.

RIBEIRINHO, M. J. *et al.* **The next normal in construction**. Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/the-next-normal-in-construction-how-disruption-is-reshaping-the-worlds-largest-ecosystem#:~:text=The next normal in construction,reshaping the world's largest ecosystem&text=The COVID-19 crisis looks,for the next normal ahead.>>. Acesso em: 28 fev. 2021.

SABIDUSSI, G. The Centrality Index of a Graph. **Psychometrika**, v. 31, n. 4, p. 581–603, 1966.

SACKS, R. *et al.* **BIM Handbook: a guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers**. 3. ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc, 2018.

SCOTT, J. **Social Network Analysis: a handbook**. 2. ed. London, UK: SAGE Publications, 2000.

SHOU, W. *et al.* A Comparative Review of Building Information Modelling Implementation in Building and Infrastructure Industries. **Archives of Computational Methods in Engineering**, v. 22, n. 2, p. 291–308, 2015.

SKANDHAKUMAR, N. *et al.* Graph theory based representation of building information models for access control applications. **Automation in Construction**, v. 68, p. 44–51, 2016.

STEHLING, M. P.; ARANTES, E. M. Análise do processo de implantação de BIM em empresas de projetos industriais e arquitetônicos em Belo Horizonte. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 5, n. 1, p. 35, 2014.

STEKETEE, M.; MIYAOKA, A.; SPIEGELMAN, M. Social Network Analysis. **International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences: Second Edition**, v. 22, n. 2, p. 461–467, 2015.

SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery

foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, n. 3, p. 357–375, 2009.

SUCCAR, B.; SHER, W.; WILLIAMS, A. Measuring BIM performance: five metrics. **Architectural Engineering and Design Management**, v. 8, n. 2, p. 120–142, 2012.

SUCCAR, B.; SHER, W.; WILLIAMS, A. An integrated approach to BIM competency assessment, acquisition and application. **Automation in Construction**, v. 35, p. 174–189, 2013.

SURWASE, G. *et al.* Co-citation Analysis : an Overview. In: BOSLA national conference proceedings, CDAC. **Anais[...]**. p. 179-185, 2011.

SUWAL, S.; JÄVÄJÄ, P.; PORKKA, J. Social BIM Perspectives. In: Proceedings of the 30th CIB W78 International Conference. **Anais[...]** Beijing, China, 2013. p. 400-408.

TABASSUM, S. *et al.* Social network analysis: an overview. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery**, v. 8, n. 5, 2018.

TAI, S.; ZHANG, Y.; LI, T. Factors affecting BIM application in China: a social network model. **Journal of Engineering, Design and Technology**, n.p., 2020.

TILLMANN, P. A. Using the last planner system to tackle the social aspects of BIM-enabled MEP coordination. **Canadian Journal of Civil Engineering**. v. 47, n. 2, p. 140-152.

TIXIER, A. J. P. *et al.* Construction Safety Clash Detection: Identifying Safety Incompatibilities among Fundamental Attributes using Data Mining. **Automation in Construction**, v. 74, n. November, p. 39–54, 2017.

UHM, M.; LEE, G.; JEON, B. An analysis of BIM jobs and competencies based on the use of terms in the industry. **Automation in Construction**, v. 81, n. October, p. 67–98, 2017.

UNESP. **Tipos de revisão de literatura**. Faculdade de Ciências Agronomicas UNESP, 2015.

VAN BERLO, L. **The curious case of the MVD**. Disponível em: <<https://blog.buildingsmart.org/blog/the-curious-case-of-the-mvd>>. Acesso em: 3 abr. 2021.

VILUTIENE, T. *et al.* Building information modeling (BIM) for structural engineering: A bibliometric analysis of the literature. **Advances in Civil Engineering**, v. 2019, p. 1-19, 2019.

WANG, Y. *et al.* Collaborative relationship discovery in BIM project delivery: a social network analysis approach. **Automation in Construction**, v. 114, n. February, p. 103147, 2020.

WASSERMAN, S.; FAUST, K. **Social Network Analysis Methods and**

Applications. 1. ed. New York, NY: Cambridge University Press, 1994.

WATTS, D. J.; STROGATZ, S. H. Collective dynamics of “small-world” networks. **Nature**, v. 393, n. 2, p. 440–442, 1998.

WELLMAN, B. Network Analysis: some basic principles. **Sociological Theory**, v. 1, p. 155–200, 1983.

WHITE, H. C.; BOORMAN, S. A.; BREIGER, R. L. Social structure from multiple networks. I. Blockmodels of roles and positions. **American Journal of Sociology**, v. 81, n. 4, p. 730–780, 1976.

WILSON, R. J. **Introduction to Graph Theory**. 4^aWilson ed. Harlow, England: Prentice Hall, 1996.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Naming the coronavirus disease (COVID-19) and the virus that causes it**. Disponível em: <[https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-\(covid-2019\)-and-the-virus-that-causes-it](https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/naming-the-coronavirus-disease-(covid-2019)-and-the-virus-that-causes-it)>. Acesso em: 11 mar. 2021.

ZHANG, L.; ASHURI, B. BIM log mining: discovering social networks. **Automation in Construction**, v. 91, n. September 2017, p. 31–43, 2018.

ZHANG, L.; LIU, H.; WANG, G. Social relation cognitive model on virtual prototyping technology in construction project. **International Journal of Online Engineering**, v. 9, n. 3, p. 98–102, 2013.

ZHANG, M. Handbook of Social Network Technologies and Applications. In: **Handbook of Social Network Technologies and Applications**. Boston, MA: Springer, 2010. p. 3–21.

ZHANG, Y.; HU, H.; XU, F. Social network visual simulation for process reengineering of construction change management under building information modelling technology. **Journal of Intelligent and Fuzzy Systems**, v. 39, n. 2, p. 1471–1480, 2020.

ZHAO, X.; WU, P.; WANG, X. Risk paths in BIM adoption: empirical study of China. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 25, n. 9, p. 1170–1187, 2018.

ZHENG, X. *et al.* Review of the application of social network analysis (SNA) in construction project management research. **International Journal of Project Management**, v. 34, n. 7, p. 1214–1225, 2016.

ZLATAR, T.; RAHNEMAY, E. K. R.; BARKOKÉBAS JR, B. **Aplicações do método PRISMA para revisão sistemática da literatura na construção civil**. 1. ed. Recife, PE: EDUPE, 2019.

APÊNDICE A – AMOSTRAGEM GERAL DA RSL

A seguir são elencadas todas as pesquisas obtidas a partir das buscas nas respectivas bases de dados selecionadas. São também apresentados os resultados obtidos a partir com base nos critérios de seleção das pesquisas para inclusão na RSL.

Base de dados	Id	Título da pesquisa	Etapas de triagem das pesquisas		
			Remoção dos duplicados	Critérios de seleção	Critérios PICO
Web of Science	1	<i>Scientometric analysis of BIM adoption by SMEs in the architecture, construction and engineering sector</i>	✓	✗	✗
	2	<i>A neural network approach to predicting the net costs associated with BIM adoption</i>	✓	✗	✗
	3	<i>BIM for Improved Project Communication Networks: Empirical Evidence from Email Logs</i>	✓	✓	✓
	4	<i>Factors affecting BIM application in China: a social network model</i>	✓	✓	✓
	5	<i>Collaborative relationship discovery in BIM project delivery: A social network analysis approach</i>	✓	✓	✓
	6	<i>Exploring the Effects of Building Information Modeling on Projects: Longitudinal Social Network Analysis</i>	✓	✓	✓
	7	<i>Social network visual simulation for process reengineering of construction change management under building information modelling technology</i>	✓	✓	✓
	8	<i>Dynamics of Project-Based Collaborative Networks for BIM Implementation: Analysis based on Stochastic Actor-Oriented Models</i>	✓	✓	✓
	9	<i>Enabling sustainable built heritage revitalisation from a social and technical perspective A case study</i>	✓	✓	✓
	10	<i>Latent Provisions for Building Information Modeling (BIM) Contracts: A Social Network Analysis Approach</i>	✓	✓	✓
	11	<i>BIM's social role in building energy modeling</i>	✓	✓	✓
	12	<i>A Decision Support System for Multi-Criteria Assessment of Large Building Stocks</i>	✓	✗	✗
	13	<i>Simulating the dynamics of social agents and information flows in BIM-based design</i>	✓	✓	✓
	14	<i>Analysis of Citation Networks in Building Information Modeling Research</i>	✓	✓	✗
	15	<i>Using Network Analysis and BIM to Quantify the Impact of Design for Disassembly</i>	✓	✓	✗
	16	<i>BIM log mining: Discovering social networks</i>	✓	✓	✓
	17	<i>A sustainable sociocultural combination of building information modeling with integrated project delivery in a social network perspective</i>	✓	✓	✓

	18	<i>Relationship Network Structure and Organizational Competitiveness: Evidence from BIM Implementation Practices in the Construction Industry</i>	✓	✓	✓
	19	<i>The structure and knowledge flow of building information modeling based on patent citation network analysis</i>	✓	✓	✗
	20	<i>An analysis of BIM jobs and competencies based on the use of terms in the industry</i>	✓	✓	✓
	21	<i>Dynamics of Project-Based Collaborative Networks for BIM Implementation: Analysis Based on Stochastic Actor-Oriented Models</i>	✗	✗	✗
	22	<i>Construction Safety Clash Detection: Identifying Safety Incompatibilities among Fundamental Attributes using Data Mining</i>	✓	✓	✓
	23	<i>Design coordination strategies in a 2D and BIM mixed-project environment: social dynamics and productivity</i>	✓	✓	✓
	24	<i>A social network perspective of building information modelling in Greek construction projects</i>	✓	✓	✓
	25	<i>Formal and informal relations within BIM-enabled supply chain partnerships</i>	✓	✓	✓
	26	<i>Schedule risks in prefabrication housing production in Hong Kong: a social network analysis</i>	✓	✓	✓
	27	<i>A new systemic approach to improve the sustainability performance of office buildings in the early design stage</i>	✓	✗	✗
	28	<i>Using social network theory and simulation to compare traditional versus BIM-lean practice for design error management</i>	✓	✓	✓
	29	<i>The application of geometric network models and building information models in geospatial environments for fire-fighting simulations</i>	✓	✗	✗
	30	<i>Towards cloud Augmented Reality for construction application by BIM and SNS integration</i>	✓	✓	✗
	31	<i>A cloud approach to unified lifecycle data management in architecture, engineering, construction and facilities management: Integrating BIMs and SNS</i>	✓	✗	✗
Scopus	32	<i>The dynamic evolution of synergies between BIM and sustainability: A text mining and network theory approach</i>	✓	✓	✓
	33	<i>Scientometric analysis of BIM adoption by SMEs in the architecture, construction and engineering sector</i>	✗	✗	✗
	34	<i>A neural network approach to predicting the net costs associated with BIM adoption</i>	✗	✗	✗
	35	<i>BIM for Improved Project Communication Networks: Empirical Evidence from Email Logs</i>	✗	✗	✗
	36	<i>Collaborative relationship discovery in BIM project delivery: A social network analysis approach</i>	✗	✗	✗
	37	<i>Exploring the Effects of Building Information Modeling on Projects: Longitudinal Social Network Analysis</i>	✗	✗	✗

38	<i>Promoting BIM adoption in construction organizations based on social network analysis</i>	✓	✗	✗
39	<i>Factors affecting BIM application in China: a social network model</i>	✗	✗	✗
40	<i>Social network visual simulation for process reengineering of construction change management under building information modelling technology</i>	✗	✗	✗
41	<i>Budgeted Influence Maximization with Tags in Social Networks</i>	✓	✗	✗
42	<i>BIM-based visualization research in the construction industry: A network analysis</i>	✓	✓	✗
43	<i>Enabling sustainable built heritage revitalisation from a social and technical perspective: A case study</i>	✗	✗	✗
44	<i>A review of global lean construction during the past two decades: analysis and visualization</i>	✓	✓	✗
45	<i>Latent Provisions for Building Information Modeling (BIM) Contracts: A Social Network Analysis Approach</i>	✗	✗	✗
46	<i>BIM's social role in building energy modeling</i>	✗	✗	✗
47	<i>A Systematic Methodology for Change Management. Proposal for a Digital Transformation Support</i>	✓	✗	✗
48	<i>An Ecology of Conflicts: Using Network Analytics to Explore the Data of Building Design</i>	✓	✓	✓
49	<i>Using network analysis and BIM to quantify the impact of Design for Disassembly</i>	✗	✗	✗
50	<i>Simulating the dynamics of social agents and information flows in BIM-based design</i>	✗	✗	✗
51	<i>Analysis of Citation Networks in Building Information Modeling Research</i>	✗	✗	✗
52	<i>A sustainable sociocultural combination of building information modeling with integrated project delivery in a social network perspective</i>	✗	✗	✗
53	<i>BIM log mining: Discovering social networks</i>	✗	✗	✗
54	<i>Relationship Network Structure and Organizational Competitiveness: Evidence from BIM Implementation Practices in the Construction Industry</i>	✗	✗	✗
55	<i>The structure and knowledge flow of building information modeling based on patent citation network analysis</i>	✗	✗	✗
56	<i>Bibliometric analysis of published studies in ASCE construction research congress USA</i>	✓	✗	✗
57	<i>A social network perspective of building information modelling in Greek construction projects</i>	✗	✗	✗
58	<i>Early Transcriptional Divergence Marks Virus-Specific Primary Human CD8+ T Cells in Chronic versus Acute Infection</i>	✓	✗	✗
59	<i>Formal and informal relations within BIM-enabled supply chain partnerships</i>	✗	✗	✗
60	<i>An analysis of BIM jobs and competencies based on the use of terms in the industry</i>	✗	✗	✗

	61	<i>Design coordination strategies in a 2D and BIM mixed-project environment: social dynamics and productivity</i>	✗	✗	✗
	62	<i>A conceptual framework for Social Network Analysis of Building Information Modelling in construction projects</i>	✓	✓	✓
	63	<i>Dynamics of Project-Based Collaborative Networks for BIM Implementation: Analysis Based on Stochastic Actor-Oriented Models</i>	✗	✗	✗
	64	<i>Construction Safety Clash Detection: Identifying Safety Incompatibilities among Fundamental Attributes using Data Mining</i>	✗	✗	✗
	65	<i>Social capital, social network and diffusion of BIM practices</i>	✓	✓	✓
	66	<i>Schedule risks in prefabrication housing production in Hong Kong: a social network analysis</i>	✗	✗	✗
	67	<i>Vertical and horizontal convergences of targeting pathways in combination therapy with baicalin and jasminoidin for cerebral ischemia</i>	✓	✗	✗
	68	<i>Green2.0: Enabling complex interactions between buildings and people</i>	✓	✗	✗
	69	<i>Analyzing Design Workflow: An Agent-based Modeling Approach</i>	✓	✓	✓
	70	<i>Dynamical computations of a complex social collaboration network to building information modeling-based construction projects</i>	✓	✗	✗
	71	<i>Drivers and impediments of building information modelling from a social network perspective</i>	✓	✓	✓
	72	<i>Using social network theory and simulation to compare traditional versus BIM-lean practice for design error management</i>	✗	✗	✗
	73	<i>A new systemic approach to improve the sustainability performance of office buildings in the early design stage</i>	✗	✗	✗
	74	<i>Employing an exploratory research stage to evaluate green building technologies for sustainable systems</i>	✓	✓	✓
	75	<i>Full PEEC modeling of EMI filter inductors in the frequency domain</i>	✓	✗	✗
ScienceDirect	76	<i>The structure and knowledge flow of building information modeling based on patent citation network analysis</i>	✗	✗	✗
	77	<i>Analyzing Design Workflow: An Agent-based Modeling Approach</i>	✗	✗	✗
	78	<i>The dynamic evolution of synergies between BIM and sustainability: A text mining and network theory approach</i>	✗	✗	✗
	79	<i>Construction Safety Clash Detection: Identifying Safety Incompatibilities among Fundamental Attributes using Data Mining</i>	✗	✗	✗
	80	<i>Network analytics and social BIM for managing project unstructured data</i>	✓	✓	✓
	81	<i>A neural network approach to predicting the net costs associated with BIM adoption</i>	✓	✗	✗

82	<i>Structure and spatial consistency of network-based space layouts for building and product design</i>	✓	✗	✗
83	<i>An analysis of BIM jobs and competencies based on the use of terms in the industry</i>	✗	✗	✗
84	<i>BIM-based collaborative design and socio-technical analytics of green buildings</i>	✓	✓	✓
85	<i>Using social network theory and simulation to compare traditional versus BIM-lean practice for design error management</i>	✗	✗	✗
86	<i>A new systemic approach to improve the sustainability performance of office buildings in the early design stage</i>	✗	✗	✗
87	<i>Collaborative relationship discovery in BIM project delivery: A social network analysis approach</i>	✗	✗	✗
88	<i>Simulating the dynamics of social agents and information flows in BIM-based design</i>	✗	✗	✗
89	<i>Holistic clash detection improvement using a component dependent network in BIM projects</i>	✓	✗	✗
90	<i>BIM log mining: Discovering social networks</i>	✗	✗	✗
91	<i>A cloud approach to unified lifecycle data management in architecture, engineering, construction and facilities management: Integrating BIMs and SNS</i>	✓	✗	✗
92	<i>Towards cloud Augmented Reality for construction application by BIM and SNS integration</i>	✗	✗	✗
93	<i>IFC-based process mining for design authoring</i>	✓	✓	✓
94	<i>Schedule risks in prefabrication housing production in Hong Kong: a social network analysis</i>	✗	✗	✗
95	<i>ComBIM: A community-based solution approach for the Budgeted Influence Maximization Problem</i>	✓	✗	✗
96	<i>Earned benefit maximization in social networks under budget constraint</i>	✓	✗	✗
97	<i>Integrated Ecological Assessment of Engineering Projects Based on Energy Analysis</i>	✓	✗	✗
98	<i>ViBR – Conceptualising a Virtual Big Room through the Framework of People, Processes and Technology</i>	✓	✗	✗
99	<i>Efficient network seeding under variable node cost and limited budget for social networks</i>	✓	✗	✗
100	<i>An optimisation process to motivate effective adoption of BIM for refurbishment of complex buildings in New Zealand</i>	✓	✓	✓
101	<i>The application of geometric network models and building information models in geospatial environments for fire-fighting simulations</i>	✗	✗	✗