



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**



**LISSETH ROCÍO ESPINOZA TAYPE**

**DIRETRIZES PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO BIM NA SEGURANÇA DO TRABALHO**

***GUIDELINES FOR BIM IMPLEMENTATION IN WORK SAFETY***

**Limeira**

**2019**

**LISSETH ROCÍO ESPINOZA TAYPE**

**DIRETRIZES PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO BIM NA SEGURANÇA DO TRABALHO**

**GUIDELINES FOR BIM IMPLEMENTATION IN WORK SAFETY**

*Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestra em Tecnologia, na área de Ciência dos Materiais.*

*Dissertation presented to the School of Technology of the University of Campinas in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of technology, in the area of Material Science.*

**Orientadora: Profa. Dra. Eloisa Dezen-Kempter**

Este trabalho corresponde à versão final dissertação defendida pela aluna Lisseth Rocío Espinoza Taype, e orientada pela Profa. Dra. Eloisa Dezen-Kempter

**Limeira**

**2019**

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Faculdade de Tecnologia  
Felipe de Souza Bueno - CRB 8/8577

T219d Taype, Lisseth Rocío Espinoza, 1993-  
Diretrizes para a implementação do BIM na segurança do trabalho / Lisseth Rocío Espinoza Taype. – Limeira, SP : [s.n.], 2019.

Orientador: Eloisa Dezen-Kempter.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia.

1. Modelagem de informação da construção. 2. Construção civil - Medidas de segurança. 3. Riscos ocupacionais. 4. Acidentes de trabalho - Prevenção. I. Dezen Kempter, Eloisa, 1963-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Tecnologia. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Guidelines for BIM implementation in work safety

**Palavras-chave em inglês:**

Building information modeling

Building - Safety measures

Occupational risks

Industrial accidents - Prevention

**Área de concentração:** Ciência dos Materiais

**Titulação:** Mestra em Tecnologia

**Banca examinadora:**

Eloisa Dezen-Kempter [Orientador]

Patricia Stella Pucharelli Fontanini

Sheyla Mara Baptista Serra

**Data de defesa:** 19-12-2019

**Programa de Pós-Graduação:** Tecnologia

**Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)**

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0001-5038-0863>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/6151909321611481>

**LISSETH ROCÍO ESPINOZA TAYPE**

**DIRETRIZES PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO BIM NA SEGURANÇA DO TRABALHO**

**GUIDELINES FOR BIM IMPLEMENTATION IN WORK SAFETY**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestra em Tecnologia.

Limeira, 19 de dezembro 2019.

**Banca examinadora:**

Eloisa Dezen Kempter – Orientadora \_\_\_\_\_

Doutora em História pela Universidade Estadual de Campinas  
Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

Patricia Stella Pucharelli Fontanini \_\_\_\_\_

Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas - Unicamp  
Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

Sheyla Mara Baptista Serra \_\_\_\_\_

Doutora em Engenharia de Construção Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Universidade Federal de São Carlos – UFSCar

*A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação e na secretaria de pós-graduação da Faculdade de Tecnologia da UNICAMP.*

**Dedico esse trabalho a Deus, por sempre ter o controle de tudo. A minha querida orientadora pela seus ensinamentos. A minha família por seu grande afeto e a meus preciosos amigos por ser um apoio incondicional.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço profundamente a Deus por ser meu amigo, meu fiel amigo. Agradeço a todos que fizeram parte desse sonho profissional e que tiveram palavras de bênção para me animar.

Em especial, agradeço a minha querida orientadora Dra. Eloisa Kempter, por sua compreensão, dedicação e ideias magníficas que me guiaram ao longo deste trabalho.

À CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, por permitir o desenvolvimento desse trabalho através do financiamento da bolsa, Código de Financiamento 001.

Também agradeço ao professor colaborador Dr. Xavier Bioso, da Pontifícia Universidade Católica do Perú - PUCP, por sua generosa disposição em reforçar ideias.

Aos meus queridos pais, Cipriano Espinoza e Clara Taype pelos valores que me ensinaram e pelas palavras de incentivo ao largo da minha vida. À minha querida irmã por ser um exemplo para minha vida.

Agradeço também aos meus amigos e irmãos que conheci neste período, obrigado pelas palavras de encorajamento e conforto que me deram na hora oportuna.

*“Se algum de vocês tem falta de sabedoria,  
peça-a a Deus, que a todos dá livremente, de  
boa vontade; e lhe será concedida”.*

*Tiago 1:5 NVI*

## RESUMO

O BIM (Building Information Modeling) aplicado à segurança do trabalhador começou a assumir um papel importante, na medida em que se desenvolveram várias aplicações específicas para a segurança laboral. No entanto, a construção civil continua a lidar com uma alta taxa de acidentes em comparação com outras indústrias. Isso revela a necessidade de vincular o gerenciamento de segurança tradicional às ferramentas BIM no estágio inicial de planejamento do processo de construção. Nesse cenário, a pesquisa visa criar diretrizes para integrar o gerenciamento de segurança laboral na fase do planejamento e controle do projeto, utilizando ferramentas BIM. A abordagem metodológica é através do estudo de caso, e está baseado na observação empírica, permitindo fazer uma descrição das barreiras para implementação do BIM-4D, do cuidado da segurança laboral e da produtividade. Após comparar o que foi observado no estudo empírico com o identificado na literatura, propõem-se um passo de atividades usando a visualização 4D e o VANT para o planejamento e controle da segurança. Como resultado obtivemos diretrizes destinadas a auxiliar médias e pequenas empresas na implementação de BIM para a segurança laboral.

Palavras-chave: Modelagem da Informação da Construção, Construção Segura, Riscos ocupacionais, Prevenção através do Projeto.

## **ABSTRACT**

BIM (Building Information Modeling) applied to worker safety has begun to play an important role as a number of specific occupational safety applications have developed. However, construction continues to deal with a high rate of accidents compared to other industries. This reveals the need to link traditional security management to BIM tools in the early stages of building process planning. In this scenery, the research aims to create guidelines with practices to integrate occupational safety management into the planning and control phase of the project using BIM tools. The methodological approach shown through a Case Study and based on empirical observation, describe the barriers and limitations in tree aspects; the implementation of BIM-4D, occupational safety, and productivity care. Was compared points observed at the case study with the empirical study identified at the literature. Our proposal is include the activity to use 4D visualization and UAV for security planning and control. As a result, we design a guideline to help, media and small businesses implement BIM for job security.

**Keywords:** Building Information Modeling, Construction Safety, Occupational Risk, Prevention Through Design.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Protocolo de pesquisa .....	24
Figura 2. Estrutura da dissertação.....	27
Figura 3. Etapas da pesquisa .....	31
Figura 4. As três etapas de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) .....	36
Figura 5. <i>String</i> de busca para base de dados.....	38
Figura 6. Diagrama de fluxo PRISMA.....	39
Figura 7. Número de Publicações por ano .....	40
Figura 8. Número de publicações por país.....	42
Figura 9. País de origem da instituição que os autores estão vinculados.....	43
Figura 10. Distribuição dos autores por continente de filiação .....	44
Figura 11. Palavras-chave com maior frequência .....	45
Figura 12. Principais barreiras mencionadas na literatura .....	56
Figura 13. Principais oportunidades mencionadas na literatura .....	58
Figura 14. Torre do estudo de caso, Limeira São Paulo. ....	67
Figura 15. Área construída e área de terreno .....	68
Figura 16. Organograma da empresa.....	69
Figura 17. Funcionalidade da plataforma ContruManager .....	71
Figura 18. Funcionalidade do aplicativo Construpoint .....	71
Figura 19. Principais barreiras observadas no estudo de caso .....	75
Figura 20. Primeiros passos adotados para o planejamento e controle da segurança com BIM .....	83
Figura 21. Modelo 3D em Revit 2018.....	84
Figura 22. Características do balancim elétrico .....	86
Figura 23. Dimensão dos balancins elétricos .....	88
Figura 24. Localização dos balancins.....	89
Figura 25. Ordem das paredes para o revestimento da fachada.....	90
Figura 26. Modelo 3D com EPC à esquerda e foto tirada da realidade com EPC à direita, em destaque o EPC.....	91
Figura 27. Visualização 4D da fachada e as atividades programadas .....	92
Figura 28. Sequenciamento das atividades para o revestimento da fachada .....	93
Figura 29. Simulação do Avanço da obra .....	94
Figura 30. Simulação 4D do processo construtivo e do avanço da obra .....	95
Figura 31. Etapas para o monitoramento da segurança com VANT .....	96
Figura 32. Nuvem de Pontos .....	105
Figura 33. Descrição da integração no modelo BIM 4D .....	105
Figura 34. Integração de dados da nuvem e da simulação 4D.....	106
Figura 35. Trabalhador com o cinto não fixado na linha de vida .....	107
Figura 36. Inspeção de trabalhos de revestimento na fachada .....	108

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Protocolo de Pesquisa da RSL .....	37
Quadro 2. Número de artigos por categorias e principais problemas abordados pelos autores .....	46
Quadro 3. Fases do projeto segundo PMBOK® .....	52
Quadro 4. Principais tecnologias associadas ao BIM, categorizadas e agrupadas segundo o ciclo de vida do projeto.....	53
Quadro 5. Principais trabalhos futuros divididos em categorias e indicados na RSL.....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Informações do voo .....	97
Tabela 2. Visão geral da qualidade da captura de imagens .....	98

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Incertezas no processamento das imagens capturadas.....	98
Gráfico 2. Distância para posições de entrada.....	99
Gráfico 3. Cobertura de cena .....	100
Gráfico 4. Incertezas da posição do ponto de amarração .....	101
Gráfico 5. Número de fotos observando os pontos de amarração.....	102
Gráfico 6. Erro de reprojeção.....	103
Gráfico 7. Resolução do ponto de amarração.....	104

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

4D (3D + Tempo)

AR - Realidade Aumentada

ASRC - *Automated Safety Rule Checking*

BBS - *Behavior-based safety*

CoSMoS - *Confined Space Monitoring System*

DfS - Desenho para a Segurança

DVF - *Dynamic Virtual Fences*

EPI – Equipe de Proteção Individual

EPC – Equipe de Proteção coletivo

GPS - *Global Positioning System*

IoT - *Internet of Things*

LPS – *Last Planner System*

MCMV - Minha Casa Minha Vida

PCM - Programa de Controle de Trabalho

PSP - Projeto do Sistema de Produção

PtD - Prevenção através do Desenho

PMEs - Pequenas e Médias Empresas

RBS - *Risk Breakdown Structure*

RFID - *Radio Frequency Identification*

RTLS - *Real-Time Location System*

SPG - *Scaffolding Planning Generator*

SRL - *Semantic Role Labeling*

TICs - *Tecnologias da Informação e Comunicação*

UAS - *Unmanned Aerial System*

VANTs - *Veículo aéreo não tripulado*

VP - *Virtual Prototyping*

VR - *Realidade Virtual*

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	21
1.1.	CONTEXTO .....	21
1.2.	JUSTIFICATIVA .....	24
1.3.	OBJETIVOS.....	26
1.4.	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	26
2.	MÉTODO DE PESQUISA .....	30
2.1.	ESTRATÉGIA DE PESQUISA .....	30
2.2.	DELINEAMENTOS DA PESQUISA .....	31
2.3.	REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA .....	31
2.4.	ESTUDO DE CASO.....	32
2.5.	PROPOSIÇÃO DE DIRETRIZES .....	32
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEORICA.....	35
3.1.	REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA – FASES E PROTOCOLO .....	35
3.1.1.	Fase1: Planejamento e Formalização da Pesquisa .....	36
3.1.2.	Fase 2: Execução da pesquisa.....	38
3.1.3.	Fase 3: Sumarização dos dados coletados .....	39
3.2.	REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA - ANÁLISE QUANTITATIVA.....	40
3.2.1.	Classificação dos artigos por ano de publicação .....	40
3.2.2.	Número de Publicações por país .....	41
3.2.3.	País de origem das instituições que os autores estão vinculados.....	42
3.2.4.	Autores por continente .....	43
3.2.5.	Palavras chave com maior frequência.....	44
3.3.	REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA - ANÁLISE QUALITATIVA.....	45
3.3.1.	Categorias e principais problemas abordados .....	45
3.3.2.	Tecnologias Associadas à BIM .....	51
3.3.3.	Barreiras do uso da visualização 4D na literatura. ....	56
3.3.4.	Oportunidades do uso da visualização 4D na literatura .....	58
3.3.5.	Segurança e Produtividade.....	60
3.3.6.	Segurança e Lean Construction .....	60
3.3.7.	Segurança e BIM (building information modeling) .....	62

3.3.8.	Tecnologias BIM na segurança e produtividade .....	62
3.3.9.	Principais trabalhos futuros classificados por categorias.....	63
4.	ESTUDO DE CASO .....	66
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO .....	66
4.2.	MODELOS 4D E TECNOLOGIAS .....	69
4.3.	IMPLEMENTAÇÃO DE TECNOLOGIA .....	70
4.4.	SEGURANÇA LABORAL .....	72
4.5.	PRODUTIVIDADE .....	73
4.6.	BARREIRAS DO USO DA VISUALIZAÇÃO 4D - ESTUDO DE CASO .....	74
4.6.1.	Barreiras na Implementação de BIM.....	75
4.6.2.	Barreiras na Gestão da segurança.....	76
4.6.3.	Barreiras na produtividade.....	77
4.6.4.	Barreiras em BIM e na segurança do trabalhador .....	78
4.6.5.	Barreiras em BIM e na Produtividade .....	78
4.6.7.	Barreiras na implementação de BIM, segurança do trabalho e produtividade .....	79
5.	PROPOSIÇÃO DAS DIRETRIZES.....	81
5.1.	OPORTUNIDADES OBSERVADAS NO ESTUDO DE CASO .....	81
5.2.	PASSOS DE ATIVIDADES BASEADAS NO USO BIM NA SEGURANÇA LABORAL.....	82
5.2.1.	Passo 1: Modelo 3D.....	83
5.2.2.	Passo 2: Identificação de atividades.....	84
5.2.3.	Passo 3: Planejamento da segurança segundo a norma regulamentadora NR-35. ....	85
5.2.4.	Passo 4: Planejamento do processo construtivo incluindo EPC.....	88
5.2.5.	Passo 5: Modelagem 3D com EPC .....	90
5.2.6.	Passo 6: Sequenciamento das atividades – Modelo 4D .....	91
5.2.7.	Passo 7: Controle do avanço das atividades .....	93
5.3.	MONITORAMENTO DA SEGURANÇA E DA PRODUTIVIDADE.....	96
5.3.1.	Pré-Captura: .....	96
5.3.2.	Captura: .....	97
5.3.3.	Pós-Captura: .....	97
5.4.	DIRETRIZES .....	108
6.	CONCLUSÕES.....	114

6.1. Resumo e contribuições .....	114
6.2. Futuras Pesquisas .....	117
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	118
Bibliografia [artigos classificados pela RSL].....	122
Apêndice A: Diagrama de Gantt da atividade de REBOCO – Parede 1B: primeira parede.....	135
Apêndice B: Diagrama de Gantt da atividade de REBOCO – Parede 16E: última parede.....	136

CAPÍTULO I

# INTRODUÇÃO

## 1. INTRODUÇÃO

A presente dissertação de mestrado trata a questão da segurança laboral na construção civil e a contribuição da tecnologia BIM nas fases iniciais do processo de projeto para aumentar a segurança do trabalhador, assim como a produtividade.

Neste capítulo são apresentados o contexto da segurança na construção civil no Brasil e no panorama internacional, que motivaram esta pesquisa, assim como as justificativas para responder à questão de pesquisa, os objetivos, as limitações, um resumo da abordagem metodológica, e finalmente a estrutura do trabalho.

### 1.1. CONTEXTO

A indústria da construção civil é marcada por alguns traços negativos, como a baixa produtividade, custos/tempo excessivos, escassez de mão-de-obra qualificada e pouca segurança na execução do trabalho. A falta de segurança no trabalho é um problema crescente, mesmo quando existem normas e profissionais que exigem o seu cumprimento (ZULKIFLI; TAKIM; NAWAWI, 2016).

Nowotarskia, Paśławska e Mielcareka (2017a) destacam que a indústria da construção é conhecida como uma das indústrias com maior número de acidentes com mortes. O Observatório Digital de Saúde e Segurança do Trabalho - OSST (SMARTLAB, 2017) aponta que:

- Em apenas 6 anos, no período de 2012 a 2018, o Brasil teve 149 mil trabalhadores acidentados em atividades de construção.
- No mesmo período, houve 288 mortes por acidentes de quedas de altura.
- Apesar dos dados relativos à indústria da construção civil brasileira serem assustadores, a mesma encontra-se em segundo lugar da indústria mais letal, disputando o pódio com o serviço hospitalar.

Getuli et al. (2017) destacam, que entre as principais causas desta problemática encontram-se: a falta de coordenação entre o planejamento e a execução da obra; o plano

de segurança ineficaz; e escolha inadequada dos métodos construtivos. Fatores que afetam a execução saudável de uma obra, permitindo grandes falhas.

A colaboração e comunicação entre os profissionais que fazem parte da equipe de uma obra, inclusive gestores de segurança e pedreiros, é fundamental para que o método de construção e o cronograma da obra tornem o planejamento de segurança mais inteligente e eficaz (ZHANG; 2012; GETULI, 2017).

O uso de métodos tradicionais como desenhos 2D, diagramas e *Checklist* de normas de segurança em papel, tornam a observação do supervisor de segurança exaustiva, dificultando a identificação de todos os perigos potenciais de uma área de trabalho no mesmo instante que acontecem (KASIROSSAFAR; SHAHBODAGHLOU, 2013; ZHANG et al., 2015a; CHOE; LEITE, 2017).

Entre outras causas, destaca-se a exigência do cumprimento das normas de segurança pelos trabalhadores, tendo em vista que nem todo trabalhador tem conhecimento de todas as normas e procedimentos de segurança e precisa aprender em um curto período como cumpri-las (KASIROSSAFAR; SHAHBODAGHLOU, 2013).

Portanto, para evitar acidentes e dar suporte à gestão da segurança, novas técnicas de análise para identificar riscos têm sido propostas, no entanto, permanecem sendo desenvolvidas manualmente e de forma estatísticas (ALAEEDDINI; DOGAN, 2011). Por outro lado, o uso de *Building Information Modeling* (BIM) vem sendo incorporado em diferentes setores da construção civil, adquirindo relevância na programação, controle de custos, gestão da qualidade, entre outros (SULANKIVI; MÄKELÄ; KIVINIEMI, 2009; KASIROSSAFAR e SHAHBODAGHLOU, 2013). Nos últimos anos, BIM passou a ser introduzido na segurança no trabalho a partir do desenvolvimento de aplicativos específicos para isso (ZOU; KIVINIEMI; JONES, 2017).

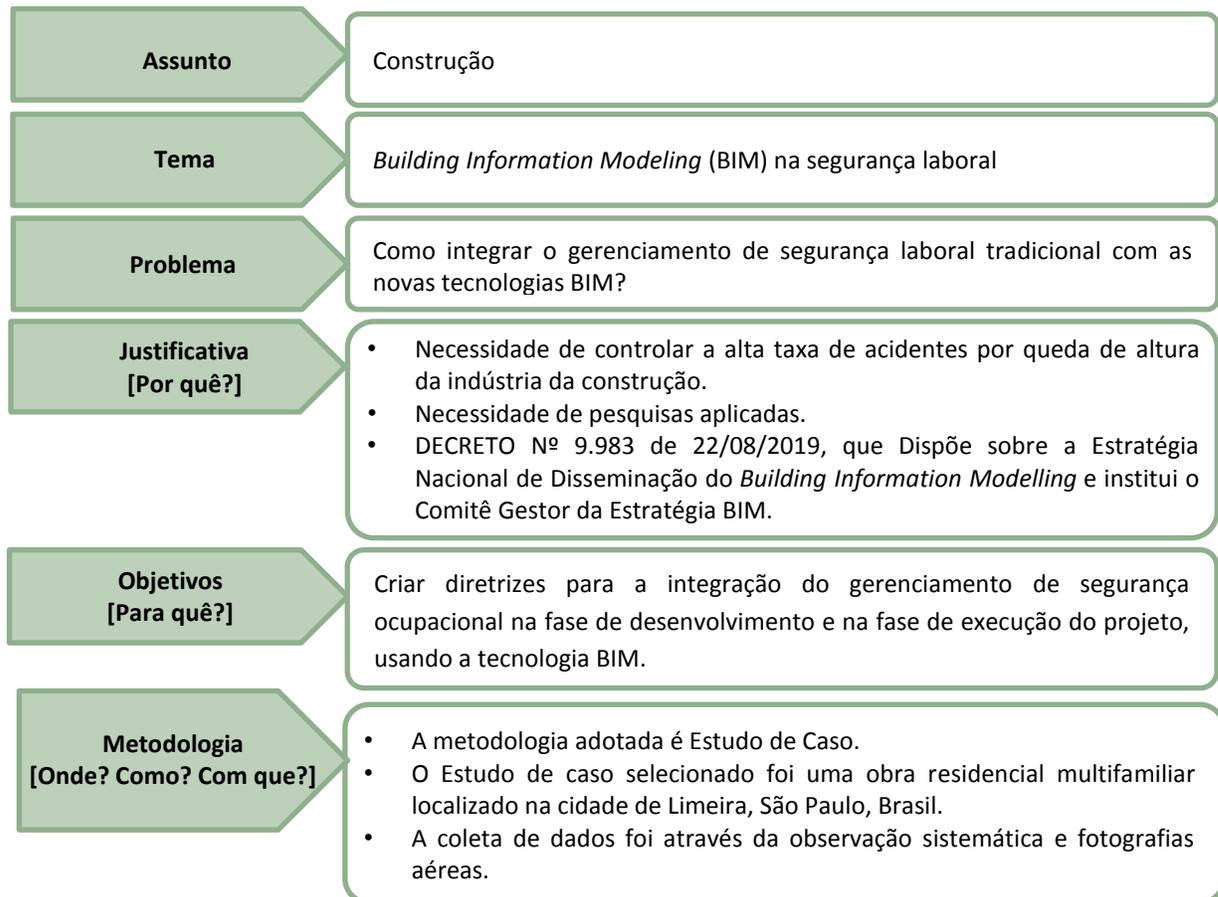
No entanto, Kasirossafar e Shahbodaghloou (2013) e Ahmad, Thaheem e Maqsoom (2018) mencionam que a integração da gestão da segurança tradicional com as novas tecnologias de gestão é praticamente inexistente. Nesse sentido, Zulkifli, Takim e Nawaw

(2016) indicam que entre as tecnologias que suportariam essa integração estão os modelos 4D (3D + tempo), baseados na identificação de riscos na fase de Projeto (Prevenção através do Design). Além disso, a aplicação de modelos 4D no gerenciamento de segurança é uma oportunidade de incluir o gerenciamento da produtividade (SULANKIVI; MÄKELÄ; KIVINIEMI, 2009).

Entender o panorama de segurança na construção civil norteou a pergunta desta pesquisa: “Como o processo de prevenção através do projeto - *Prevention Through Design* (PtD) - baseado em BIM, pode integrar o gerenciamento da segurança laboral no processo do projeto e melhorar as condições de segurança no trabalho e conseqüentemente a produtividade?”

Para esse fim, o objetivo da pesquisa é criar diretrizes para integrar o gerenciamento de segurança ocupacional na fase de desenvolvimento do projeto e na fase da execução, usando as tecnologias BIM.

A Figura 1 ilustra de forma sintética, e para maior compreensão, o protocolo de pesquisa adotado neste trabalho.

**Figura 1. Protocolo de pesquisa**

Fonte: Autoria própria adaptada de Dresch, Lacerda e Antunes JR (2015)

Quanto às principais limitações, pode-se apontar que nesta pesquisa a implementação das diretrizes propostas ocorreu a partir da avaliação e análise de uma atividade de trabalho em andamento. Portanto, recomenda-se que para o futuro essas diretrizes sejam implementadas durante todo o processo de execução da obra.

## 1.2. JUSTIFICATIVA

Segundo Sulankivi, Mäkelä e Kiviniemi (2009), o BIM pode ajudar na identificação de riscos e aperfeiçoar os processos de construção. A literatura mostra a evidência de tecnologias BIM desenvolvidas que apontam para o cumprimento da normativa de segurança, no entanto, nem sempre os acidentes têm a ver com o não cumprimento da norma, pois existem também outros fatores (MALEKITABAR et al., 2016).

Por outro lado, os princípios de *Last Planner System* (LPS) têm por objetivo a redução de desperdícios, levando de forma natural à redução de riscos laborais (ENSHASSI; ZAITER, 2014). Isso acontece pela redução de passos não necessários no processo, e a restrição de materiais perigosos, limitando assim a probabilidade de um trabalhador entrar em uma zona de perigo (NAHMENS; IKUMA, 2009). Com isso, explica-se a relação existente entre a segurança e a produtividade, no entanto Nahmens e Ikuma (2009) e Bashir (2011) destacam a pouca evidência empírica desta relação e ressaltam a importância de avaliá-la na prática construtiva em pesquisas futuras.

Nahmens e Ikuma (2009) afirmam que o uso de LPS, tem como resultado um cuidado de segurança efetiva, sendo possível medi-la pelo menor índice de acidentes. Bashir (2011) apoia esta ideia mencionando que a aplicação de ferramentas como LPS podem auxiliar minimizando perigos, prevenindo erros e incentivando a participação dos trabalhadores.

No entanto as oportunidades de melhorar a segurança com a ajuda da tecnologia BIM ainda requer desenvolvimento adicional de programas, ferramentas e métodos de trabalho. E é necessário obter experiência prática do planejamento de segurança usando a tecnologia BIM, assim como competências na etapa de projeto que empregam métodos e programas BIM.

No Brasil, BIM ainda está numa etapa de implementação em obras privadas, não obstante em obras públicas espera-se que dentro de pouco tempo seja um requisito obrigatório, em vista que o dia 22 de agosto do ano 2019 estabeleceu-se uma Estratégia Nacional de Disseminação do BIM e se instituiu o Comitê Gestor da Estratégia do BIM Brasil (2019). Portanto, ao tornar-se esta uma exigência, existe a necessidade de mais pesquisas e estudos de casos de aplicação de BIM na segurança Laboral.

### **1.3. OBJETIVOS**

O objetivo geral desta dissertação é desenvolver um conjunto de diretrizes, visando a melhor integração do gerenciamento de segurança ocupacional na fase de desenvolvimento e na fase de execução do projeto de infraestrutura, usando a tecnologia BIM.

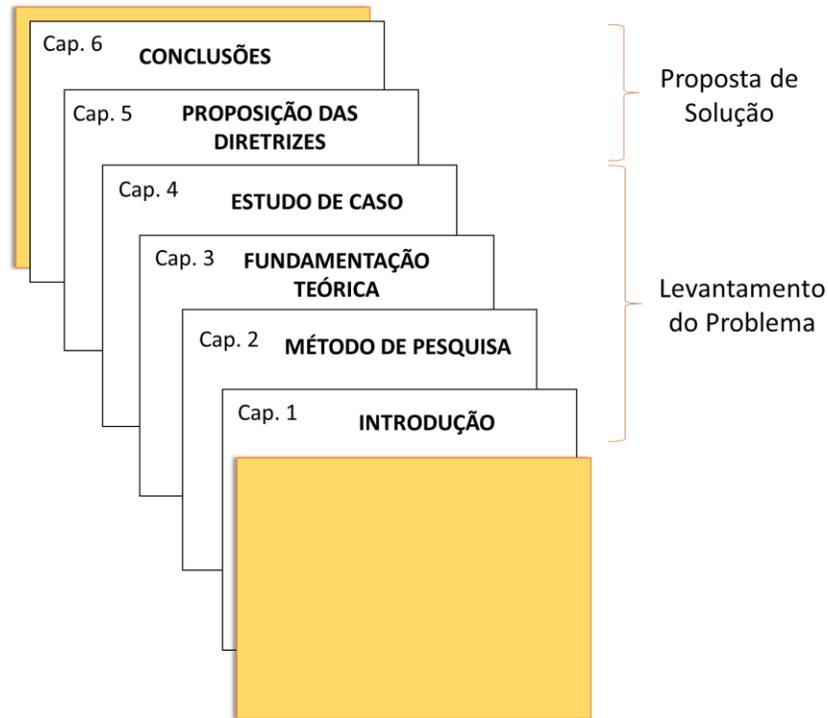
Tendo o objetivo geral da pesquisa como horizonte, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Realizar uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) para avaliar o estado da arte da temática abordada e investigar como está sendo proposta a integração da gestão de segurança e as novas Tecnologias da informação e comunicação (TICs), especialmente BIM.
- Verificar a gestão de segurança num estudo de caso selecionado através de uma observação empírica direcionada aos principais atores envolvidos no processo;
- Verificar a aplicação de normas de segurança em uma etapa do processo construtivo do estudo de caso, com o uso de tecnologias de visualização e monitoramento de projeto.

### **1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO**

Esta dissertação é composta de seis capítulos como se indica na Figura 1.

Figura 2. Estrutura da dissertação



Fonte: Autoria própria.

O **capítulo 1** apresenta a introdução, incluindo o contexto, a justificativa, os objetivos da pesquisa, e a estrutura da dissertação.

O **capítulo 2** descreve a abordagem metodológica empregada e os delineamentos adotados.

No **capítulo 3** se apresenta a Fundamentação teórica, incluindo uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), na qual serão apresentados a conceituação das temáticas abordadas, o estado da arte das pesquisas e os principais pesquisadores.

O **capítulo 4** descreve o estudo de caso e o acompanhamento da etapa da obra selecionada.

No **capítulo 5** se descreve as diretrizes propostas para adoção de BIM na segurança laboral e as perspectivas de sua aplicação e avaliação a partir da literatura e do estudo de caso selecionado.

O **capítulo 6** apresenta as conclusões e as recomendações para pesquisas futuras pertinentes ao tema estudado nesta dissertação.

O último capítulo apresenta as referências empregadas no desenvolvimento desta pesquisa, assim como a específica da RSL.

## CAPÍTULO II

# MÉTODO DE PESQUISA



## **2. MÉTODO DE PESQUISA**

Um dos tópicos trabalhados na RSL apresentado no Capítulo 3 foi o uso das tecnologias BIM para a identificação e monitoramento de riscos, tanto nas etapas de projeto quanto de execução. Baseados nestas premissas, esta pesquisa propõem a formulação de diretrizes para o planejamento e controle da segurança nas etapas de projeto (PtD) e na de monitoramento, com o emprego do modelamento em 4D e a varredura digital com VANTs respectivamente.

Este capítulo descreve a estratégia de pesquisa adotada e o seu delineamento com o detalhamento de cada uma de suas etapas.

### **2.1. ESTRATÉGIA DE PESQUISA**

Esta pesquisa é de caráter empírico com observação direta, o que a classifica como pesquisa qualitativa. Segundo Kaplan e Duchon (1988), em uma pesquisa qualitativa o pesquisador tem o papel de interpretar a realidade com a intenção de inserir na discussão questões práticas, que podem não ter sido descritas nas publicações acadêmicas, ou reforçar pontos encontrados nestas publicações. As pesquisas qualitativas podem ser classificadas em: exploratórias, descritivas e explanatórias. Os objetivos desta pesquisa a classifica como uma pesquisa descritiva.

A estratégia adotada nesta pesquisa é o Estudo de Caso, visto que se trata de estudar profunda e exaustivamente um ou poucos objetos, permitindo um amplo conhecimento, propiciando maior familiaridade com o objeto (GIL, 2002). Entre as principais características de um estudo de caso, segundo Trauth e O'Connor (2000), é que este baseia-se na observação de um fenômeno no ambiente natural, e está focado em eventos contemporâneos.

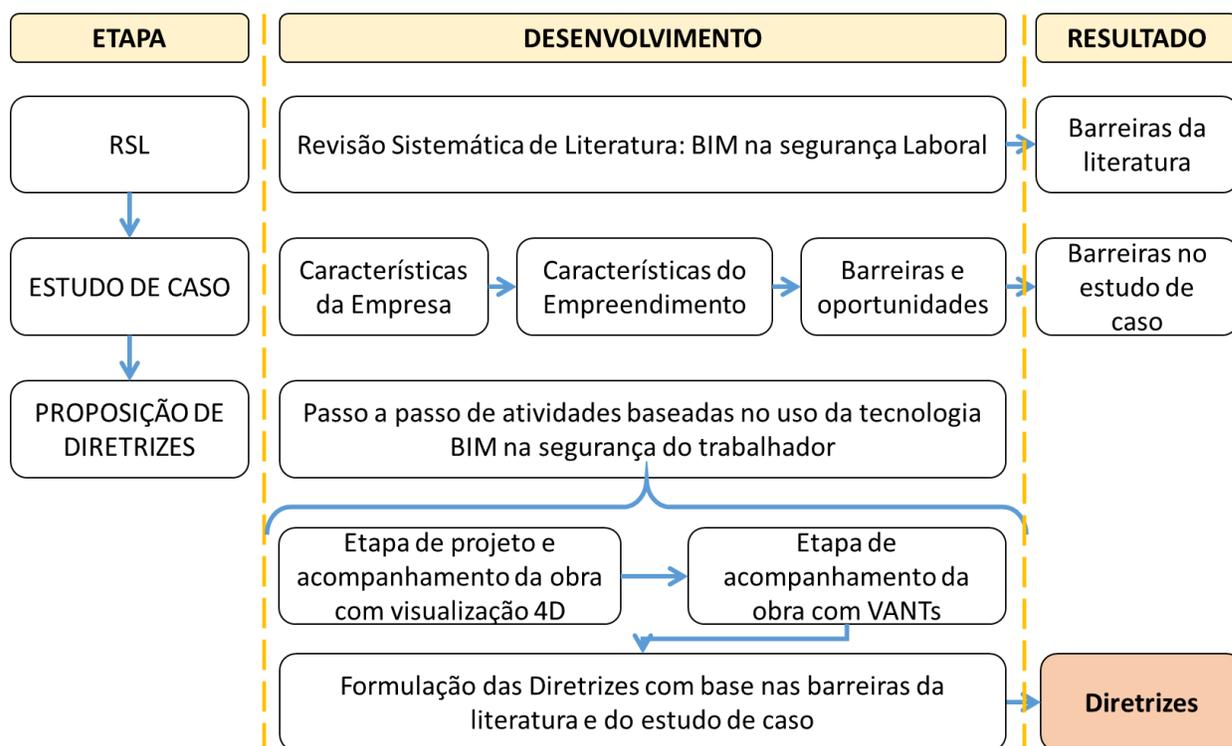
Portanto, a definição da estratégia baseia-se na natureza empírica do estudo, na qual para o desenvolvimento de diretrizes para o uso de tecnologias BIM no planejamento e controle da segurança, nas etapas de projeto e execução, é necessária a observação e experiência de como esta tecnologia pode ser implementada no sistema de gerenciamento

de segurança. Além disso, o tema proposto caracteriza-se como um fenômeno contemporâneo, amplamente discutido atualmente, entretanto, carece de estudos empíricos da adoção da tecnologia BIM no contexto real em relação à segurança do trabalhador, de forma específica na etapa de projeto e execução das obras.

## 2.2. DELINEAMENTOS DA PESQUISA

A Figura 3 apresenta às três etapas desta pesquisa: o levantamento do problema a partir de uma revisão sistemática da literatura; a definição do estudo de caso e a proposta de solução realizada pela proposição de diretrizes.

Figura 3. Etapas da pesquisa



Fonte: Autora

## 2.3. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A RSL mostra o entendimento de BIM no tocante à segurança laboral na indústria da construção civil, assim como sua aplicação. Para esse fim, foi levantado o estado da arte de abordagens e tecnologias empregadas na área de segurança laboral, bem como lacunas que

abrem espaço para futuras pesquisas nesta área. Estudos confirmaram que uma tendência atual é identificar precocemente os riscos, principalmente no processo de projeto colaborativo. Portanto, a RSL apresenta um panorama mundial, e aponta direções para o desenvolvimento de pesquisas futuras.

#### **2.4. ESTUDO DE CASO**

O estudo de caso selecionado está localizado na cidade de Limeira – São Paulo, e sua escolha justifica-se por ser o único empreendimento residencial multifamiliar na cidade que utilizou a tecnologia BIM. A análise deste estudo de caso está centrada na execução do revestimento de fachada.

Foram analisadas práticas adotadas de implementação de BIM na empresa em estudo, assim como o acompanhamento do estágio inicial da obra, através da observação direta em um projeto real. Foram também observados as barreiras e os benefícios do uso de BIM nesse projeto.

Utilizou-se a observação direta por ter a característica de proporcionar informação adicional sobre o tópico estudado (Yin, 2014). Se o estudo de caso for sobre uma nova tecnologia, como é o caso, as observações da tecnologia em funcionamento são valiosas para o entendimento dos seus verdadeiros usos e de qualquer problema encontrado.

#### **2.5. PROPOSIÇÃO DE DIRETRIZES**

A observação da execução dos trabalhos na fachada e o análises das barreiras encontradas no estudo de caso levou a uma análise preditiva de como poderia ter sido feito para melhorar tanto a segurança como a produtividade, gerando assim um passo a passo de atividades.

Para o passo a passo de atividades, em uma etapa se usou os modelos de visualização 4D para o monitore-o e controle do projeto e em outra etapa se usou VANTs para o monitoramento da segurança e a produtividade.

A combinação desta análise preditiva e do estado da arte proporcionado pelo RSL, levou a proposição de diretrizes para implementação do BIM na segurança do trabalho em Pequenas e Médias Empresas (PMEs) de engenharia no Brasil.

**CAPÍTULO III**

**FUNDAMENTAÇÃO  
TEORICA**



### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

O presente capítulo apresenta a Revisão Sistemática de Literatura (RSL) acerca do entendimento de BIM no tocante à segurança laboral na indústria da construção civil, assim como sua aplicação.

Descrevem-se também uma categorização dos problemas abordados, e se mostra o emprego de tecnologias e processos associados ao BIM na área de segurança laboral.

Mostra-se também as barreiras e oportunidades associadas ao BIM e a segurança laboral. E por fim, se apresenta um panorama mundial, mostrando possibilidades de desenvolvimento de pesquisas futuras.

#### 3.1. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA – FASES E PROTOCOLO

Na presente pesquisa mostrou-se oportuno realizar uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) sobre avanços de BIM na área de segurança no trabalho. O objetivo foi mapear o desenvolvimento existente de abordagens metodológicas e tecnologias BIM empregadas para diminuir a quantidade de acidentes na construção civil e desta forma, também, identificar avanços na área de pesquisa e os desafios que ainda persistem.

Uma RSL procura estabelecer um levantamento formal do estado da arte de forma consistente e planejada. Além disso, visa implementar critérios para seleção de pesquisas que possam ser úteis e trazer informações relevantes sobre o assunto em estudo. Ademais, uma RSL é uma estratégia para reduzir predisposições e erros aleatórios que podem ocorrer em uma revisão tradicional (MEDINA; MAURICIO; PAILAQUILÉN, 2010). Segundo Gough, Oliver e Thomas (2017) uma RSL consiste na identificação e descrição de pesquisas anteriores; avaliação sistemática de pesquisas seguindo protocolos rigorosos; e coleta sintética e coerente de evidências no universo de pesquisas selecionado.

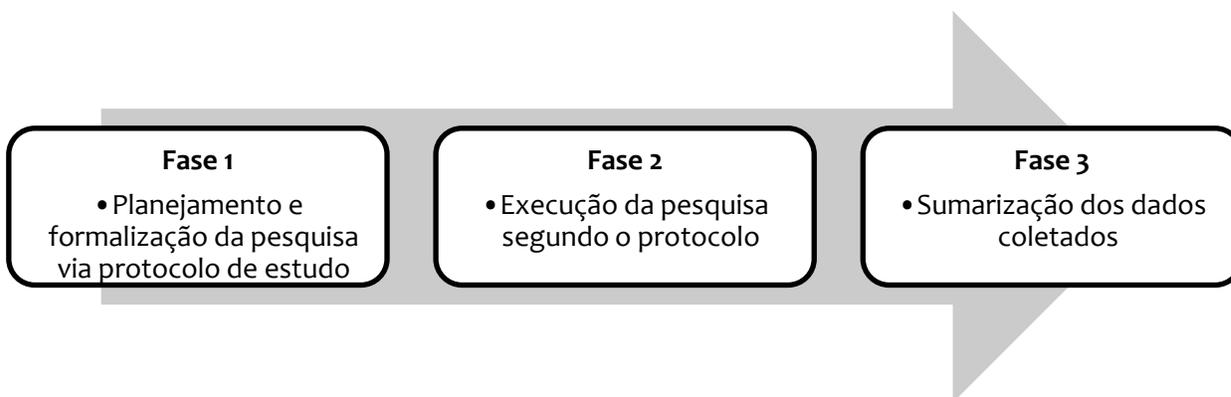
Ferramentas facilitadoras para a realização da RSL têm sido empregadas, como o fluxograma de informação *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA), conforme descrição de Moher e Shamser (2015), e o *Software State of the Art through Systematic Review* (StArt) criado exclusivamente para revisões sistemáticas.

O StArt foi desenvolvido no Brasil pelo Laboratório de Engenharia e Software da Universidade Federal de São Carlos disponível em [http://lapes.dc.ufscar.br/tools/start\\_tool](http://lapes.dc.ufscar.br/tools/start_tool).

Neste trabalho, o fluxograma PRISMA foi utilizado como um guia para a seleção de pesquisas e o StArt auxiliou na organização dos dados facilitando o processo laborioso e repetitivo de uma RSL.

As três fases essenciais da RSL estão ilustradas na Figura 4, sendo efetuadas sequencialmente e por vezes de forma interativa, com o objetivo final de que o protocolo guie fielmente a execução do estudo incluindo todos os ajustes ocorridos no processo (MUNZLINGER; NARCIZO; DE QUEIROZ, 2012).

**Figura 4. As três etapas de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL)**



Fonte: baseado em Munzlinger; Narcizo; de Queiroz, (2012, pg. 52).

### **3.1.1. Fase1: Planejamento e Formalização da Pesquisa**

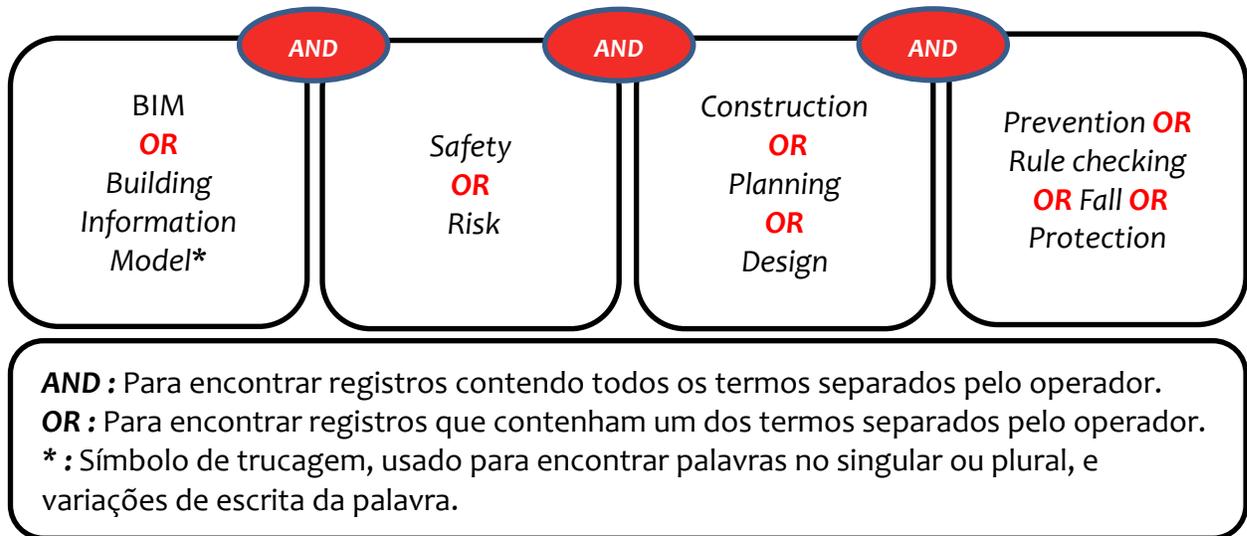
Com a intenção de aprofundar e contextualizar como BIM vem sendo implementado na gestão da segurança do trabalhador, foram identificados estudos primários (KAMARDEEN, 2010; SULANKIVI, MELZNER, ZHANG, 2013; ZHANG, 2015; KIM, MALEKITABAR, 2016 e ZOU, 2017). Esses estudos foram essenciais para uma análise preliminar, servindo como uma fonte de informação para identificar palavras-chave, definir objetivos e estabelecer as perguntas de pesquisa para orientar a RSL. Com essas informações, definiu-se o protocolo de pesquisa apresentado no Quadro 1.

**Quadro 1. Protocolo de Pesquisa da RSL**

Item	Conteúdo
Objetivos	Levantamento do estado da arte sobre a aplicação de BIM na segurança no trabalho, através da revisão e análise de publicações científicas.
Resultados	Obter quais são as áreas de estudo existentes e quais ainda não foram estudadas dentro da segurança na construção em um ambiente BIM.
Palavras-Chave ( <i>String de Busca</i> )	(BIM OR "Building Information Model*") AND (safety OR Risk) AND (construction OR planning OR design) AND (prevention OR "rule checking" OR fall OR protection).
Idioma	Inglês, Espanhol, Português.
Base de Dados	Proquest, Engineering Village, Science Direct, Scielo, Scopus, Web of Science, BDTD, CAPES.
Crítérios de Inclusão	(I) 2007- 2019; (I) Arquitetura e Construção Civil; (I) Inglês, espanhol, português; (I) Usam tecnologias relacionadas ao BIM; (I) Usa BIM.
Crítérios de Exclusão	(E) Texto indisponível; (E) Outras áreas (medicina, ambiental, informática e outras); (E) Educacional, (E) Segurança contra incêndios; (E) Não inclui segurança no trabalho; (E) Estudos de Revisão; (E) Não propõem uso de tecnologias relacionadas ao BIM como solução.
Questões de Pesquisa	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Quais são os problemas em relação à segurança do trabalhador na indústria civis já abordados com BIM?</li> <li>▪ Quais são os métodos e as tecnologias usadas para gerenciar riscos de acidente no trabalho com BIM?</li> <li>▪ Quais são as oportunidades para pesquisas futuras</li> </ul>

Fonte: Autoria própria.

A Figura 5 apresenta a combinação das palavras-chave em *strings* de busca. Essa busca foi realizada nos campos "*title/ Abstract / Keyword*", pretendendo-se eliminar artigos que não mencionam a segurança do trabalhador, tratando apenas de outros tipos de segurança, como, por exemplo, segurança estrutural, riscos financeiros, entre outros. Além disso, a *string* de busca foi adaptada para cada uma das bases de dados selecionadas citadas no Quadro 1.

Figura 5. *String* de busca para base de dados

Fonte: Autoria própria.

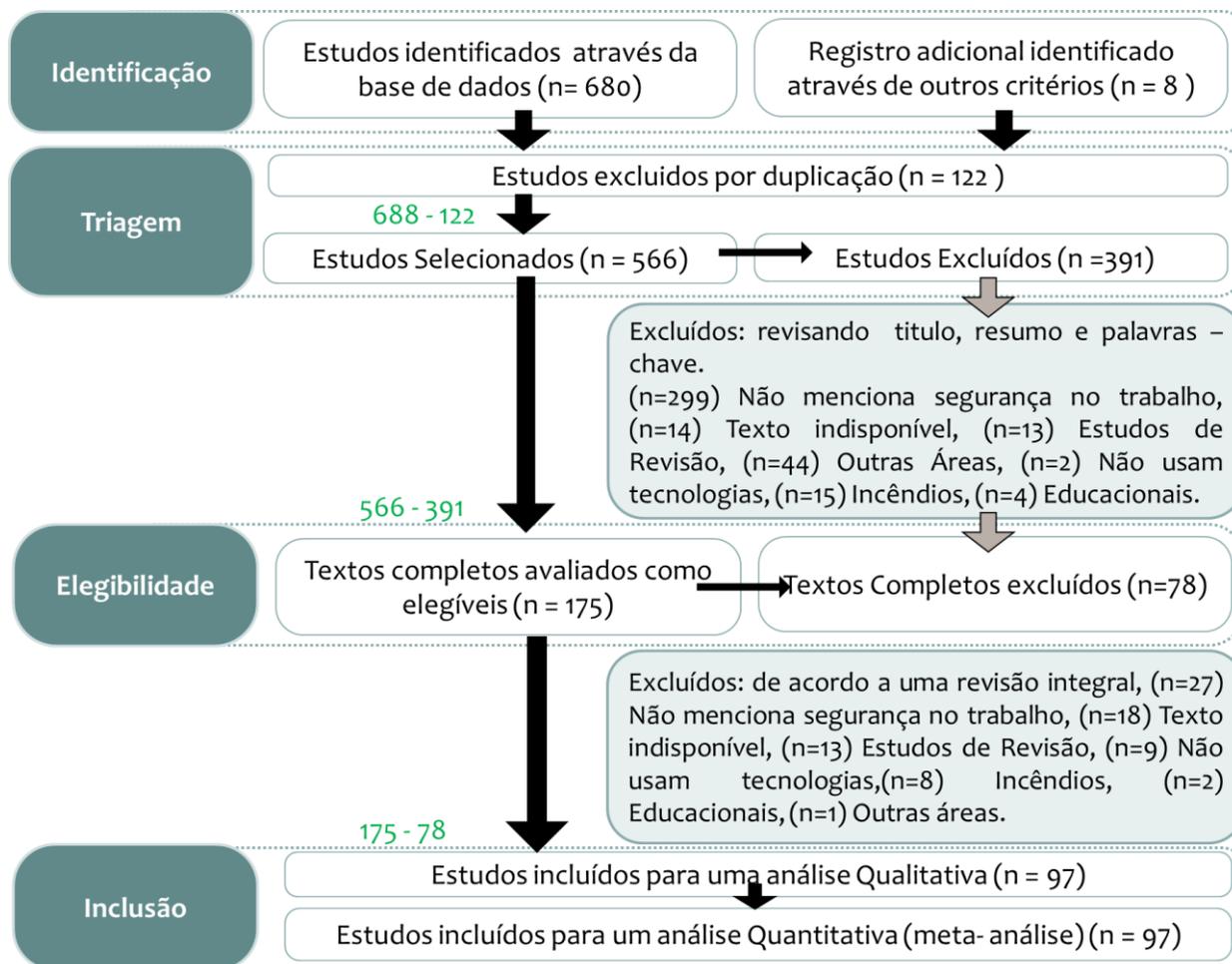
O intervalo temporal definido foi de 2007 a 2019. A escolha do período foi baseada no estudo de Yalcinkaya e Singh (2015), no qual afirmam que não existem estudos relacionando BIM e gerenciamento de segurança antes do ano 2007.

### 3.1.2. Fase 2: Execução da pesquisa

Após calibração e adaptação da *string* de busca para as diferentes bases de dados realizadas as buscas, foram encontrados 680 trabalhos, os quais foram importados para o StArt e mais 8 foram adicionados por meio de uma busca manual, somando-se um total de 688 estudos. A Figura 6 apresenta o processo baseado no fluxograma PRISMA para a identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos artigos encontrados na busca, resultando numa amostra de 97 referências bibliográficas para revisão.

Na etapa de Triagem o filtro utilizado é baseado no título, resumo e palavras-chave. Enquanto que na etapa de Elegibilidade os artigos passam por uma leitura integral.

Figura 6. Diagrama de fluxo PRISMA



Fonte: Adaptação do Processo do sistema de Revisão (PRISMA flow diagram).

### 3.1.3. Fase 3: Sumarização dos dados coletados

Como última fase, análises quantitativa e qualitativa foram elaboradas mediante uma leitura integral dos 97 estudos. Os artigos foram agrupados segundo os seguintes critérios quantitativos: ano de publicação; país de publicação; origem dos autores; Autores por continente; palavras-chave com maior frequência.

A análise qualitativa buscou classificar os artigos por categorias, objetivando evidenciar o foco das pesquisas desenvolvidas entre 2007 e 2019. A categorização considerou a semelhança na problemática abordada, padrões e tendências entre o universo

de artigos da RSL. Foram observados: problemática abordada, aplicação de tecnologias associadas ao BIM, e sugestões de pesquisas futuras.

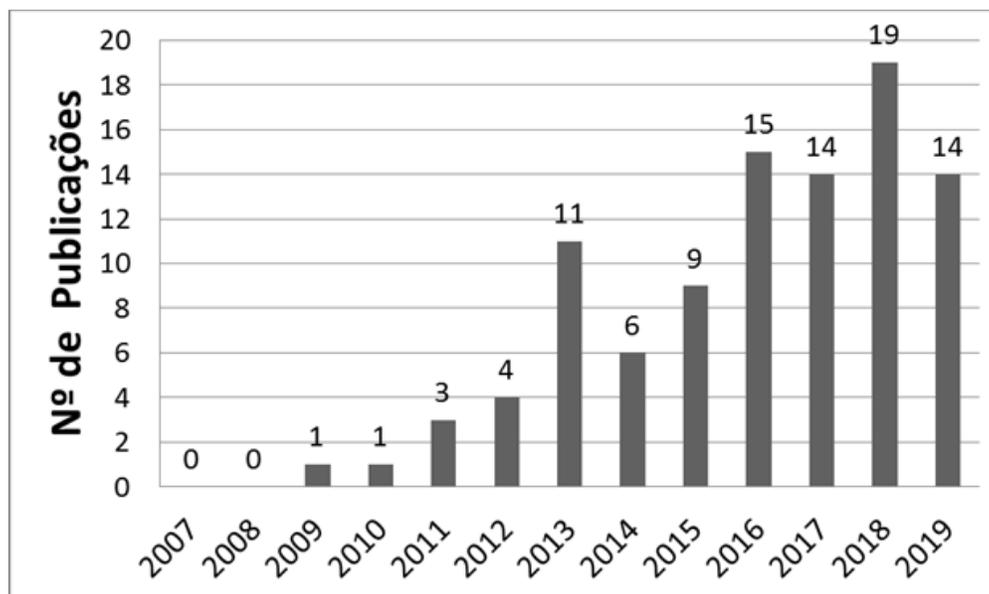
### 3.2. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA - ANÁLISE QUANTITATIVA

As informações extraídas dos textos incluídos pela RSL foram divididas em dados quantitativos e qualitativos. Na análise quantitativa explorou-se o número de trabalhos relacionados com o tipo e ano de publicação, país de origem do periódico e dos autores.

#### 3.2.1. Classificação dos artigos por ano de publicação

A classificação dos artigos por ano de publicação está representada na Figura 7. Observa-se um aumento crescente das publicações abordando BIM e segurança do trabalho a partir de 2011-2012, não entanto, é importante destacar que houve um grande crescimento de publicações não somente relacionando BIM à segurança, mas BIM em geral, tanto veiculados em periódicos internacionais (GASPAR; RUSCHEL, 2017; SANTOS et al., 2017; HOSSEINIETAL et al., 2018) como em nacionais (MACHADO; RUSCHEL; SCHEER, 2017).

Figura 7. Número de Publicações por ano



Fonte: Autoria própria.

A RSL também constatou também alguns picos nos anos de 2013 (11 artigos), com quase o triplo de publicações com relação ao ano anterior, e em 2016 (15 estudos) e 2018 (19

estudos). As publicações de 2013 abordam principalmente o uso de verificação de regras, identificadores de risco, e percebe-se o surgimento de uma preocupação com a relação entre produtividade do trabalho e segurança do trabalhador, presente nos artigos de Zhang (2013) e Forman (2013), entre outras grandes contribuições ao tema.

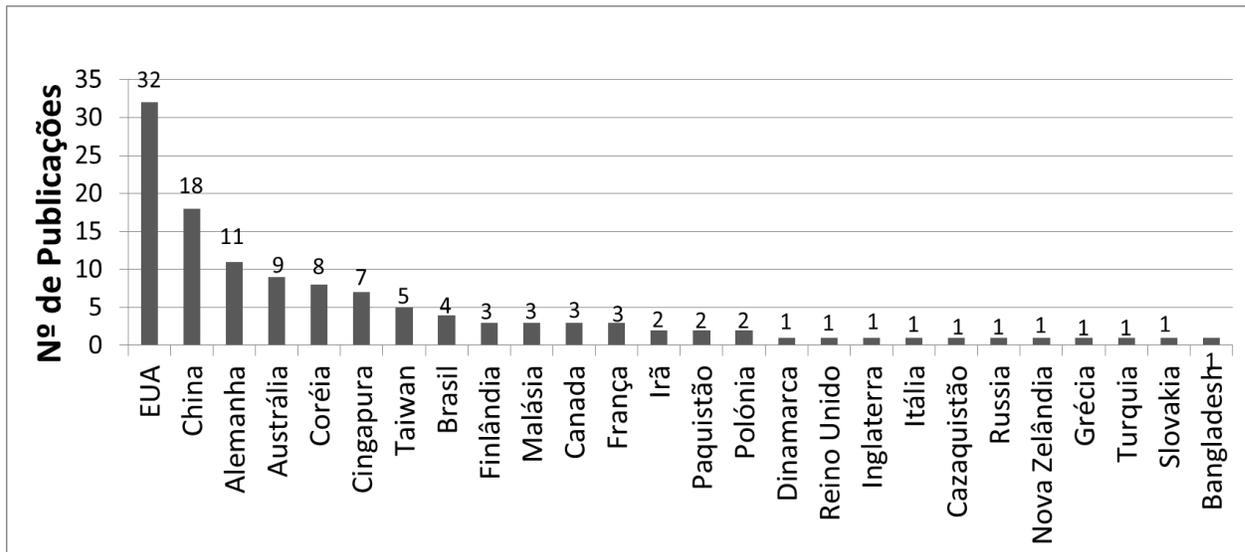
Não se encontraram publicações nos anos 2007 e 2008, embora Yalcinkaya e Singh (2015) mencionem o contrário. Isso pode ser justificado pelo fato de algumas publicações não cumprirem com os critérios definidos no protocolo de seleção.

Observa-se, também, uma tendência de crescimento no número de publicações. Assim, pode-se constatar o aumento do interesse em pesquisas de BIM e segurança no trabalho.

### **3.2.2. Número de Publicações por país**

A Figura 8 mostra o número de artigos segundo o país de publicação, considerando o país no qual a revista ou congresso está sediado. É nítido o destaque dos EUA com 32 publicações (33% do total pesquisado), seguidos pela China e Alemanha, em segundo e terceiro lugar respectivamente. Observa-se também que o Brasil possui 4 publicações sobre BIM aplicado à segurança do trabalhador, ficando na oitava posição de 26 países, destacando-se por ser o único país com publicações na América Latina.

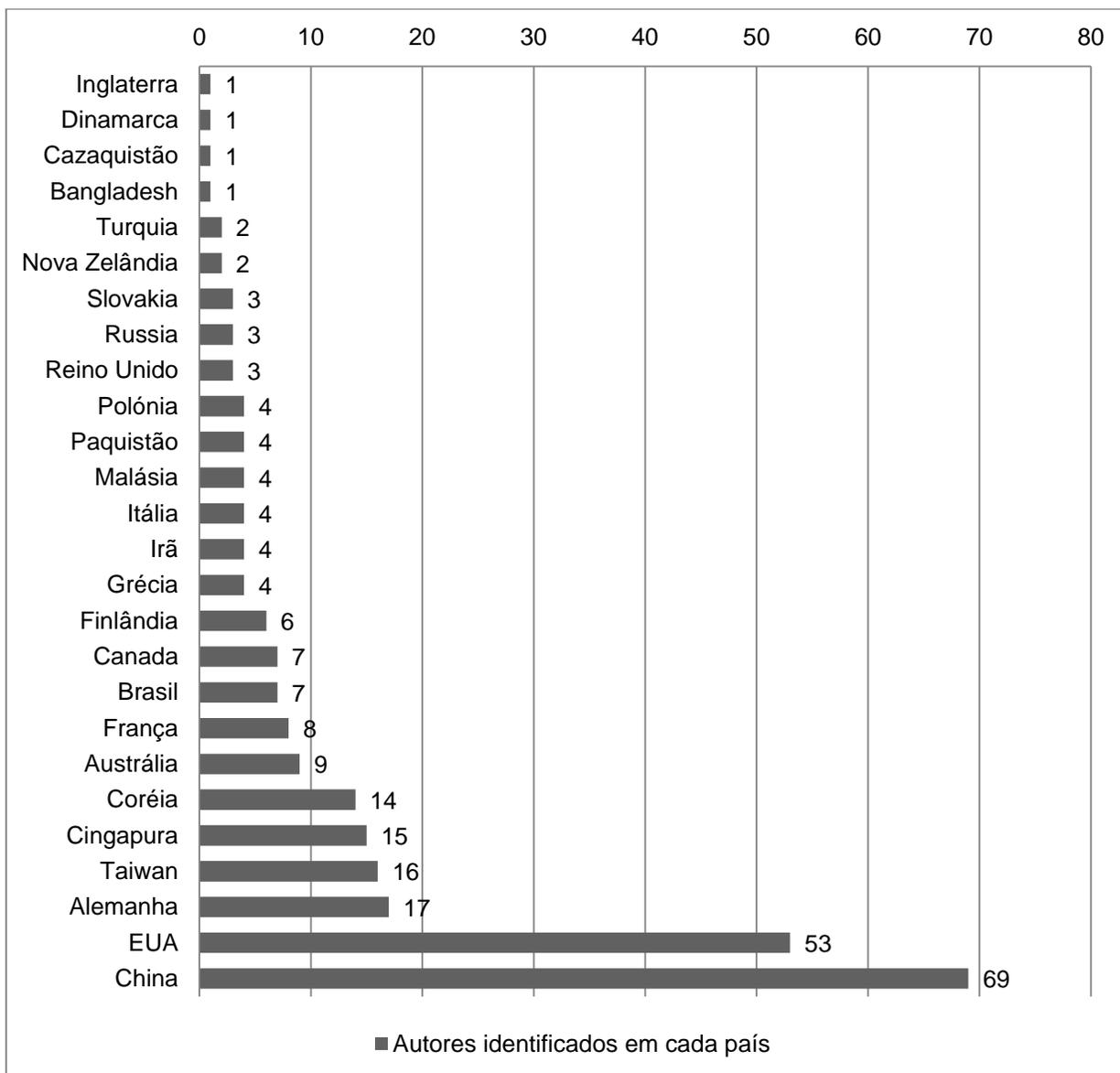
Figura 8. Número de publicações por país



Fonte: Autoria própria.

### 3.2.3. País de origem das instituições que os autores estão vinculados

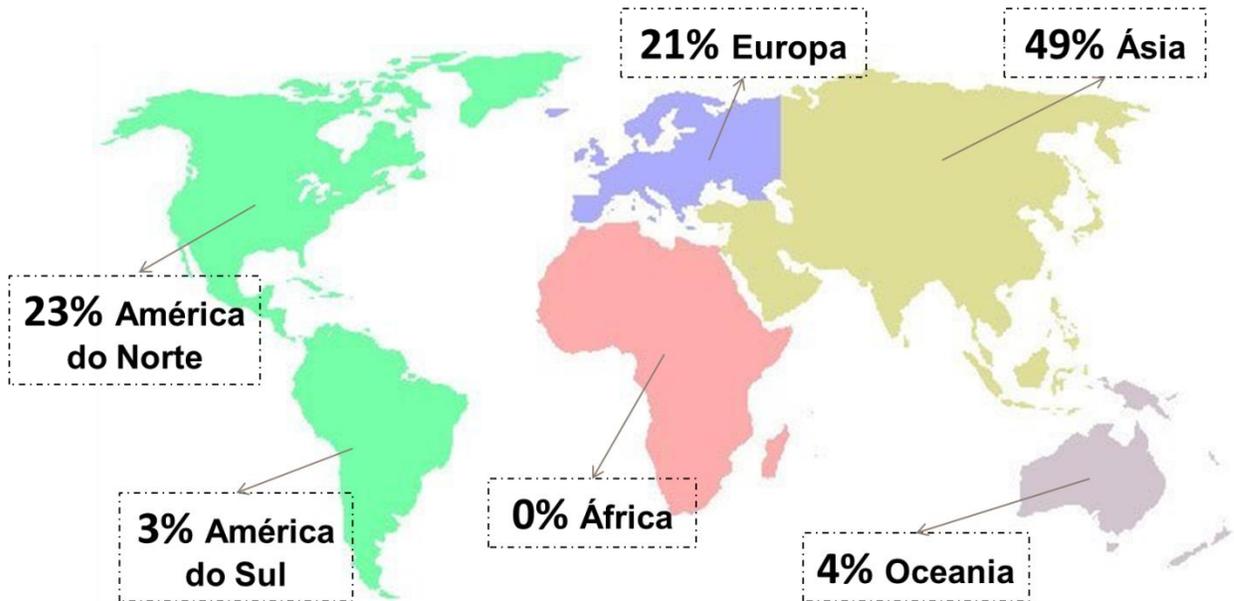
A Figura 9 mostra o número de autores identificados em cada país, onde há claramente maior interesse na pesquisa sobre segurança do trabalhador e BIM de autores sediados em universidades e instituições na China e nos EUA, com 69 e 53 autores respectivamente. A diferença de posição com a análise regional anterior está fundamentada no número de autores que cada estudo tem em relação aos outros.

**Figura 9. País de origem da instituição que os autores estão vinculados**

Fonte: Autoria própria.

### 3.2.4. Autores por continente

Nota-se o destaque da Ásia com 49% dos autores, seguido pela América do Norte e pela Europa, com 23% e 21% respectivamente (Figura 10). No entanto, os EUA se destacam em número de publicações e de autores. Considerando a China e os outros países de seu continente, aumenta-se força de pesquisa da Ásia.

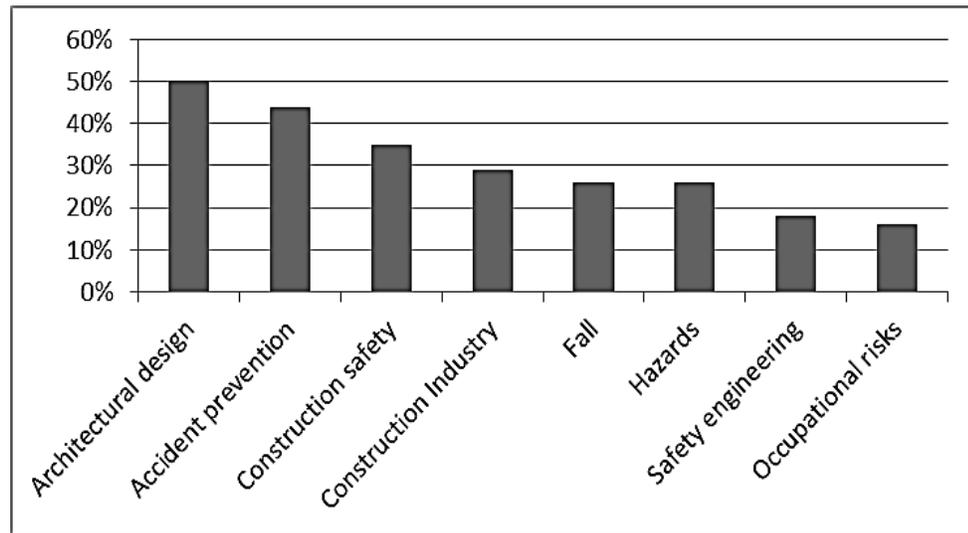
**Figura 10. Distribuição dos autores por continente de filiação**

Fonte: Autoria própria.

### 3.2.5. Palavras chave com maior frequência

A Figura 11 apresenta as palavras-chave com maior frequência (retirando as ocorrências de “BIM” e “Building Information Modeling” da análise), destacando-se “Architectural Design” com 50%, sendo uma evidencia da ênfase dos artigos na fase de projeto da edificação. As palavras-chave “construction safety” (35%) e “construction industry” (29%) aparecem com frequência, enfatizando a fase da obra, aparentando um equilíbrio na preocupação com a segurança do trabalhador. As demais temáticas abordadas são, quedas, perigo e risco ocupacional.

Os termos “Accident prevention”, “Construction safety”, “Fall”, e entre outras, foram palavras-chave também mencionados com grande frequência. No entanto, o termo “BIM” não era um critério indispensável, porque muitos dos artigos mencionam tecnologias como uma solução sem mencionar “BIM” no título, resumo e palavras-chave.

**Figura 11. Palavras-chave com maior frequência**

Fonte: Autoria própria.

### 3.3. REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA - ANÁLISE QUALITATIVA

Na análise qualitativa foram identificados e categorizados os principais problemas abordados nos artigos selecionados. Foram identificadas também as tecnologias BIM citadas pelos autores.

#### 3.3.1. *Categorias e principais problemas abordados*

Foram identificadas 15 categorias de problemas abordados pelos autores (Quadro 2). É importante esclarecer que o mesmo artigo pode relacionar mais de uma categoria de problema, por esse motivo, a soma dos elementos do Quadro 2 não é 97. Por outro lado, o percentual indica a relação de artigos dentro de uma categoria com o número total de artigos.

**Quadro 2. Número de artigos por categorias e principais problemas abordados pelos autores**

Nº	Categoria	Quant.	%	Referências	Principais problemas abordados
1	Identificação de Riscos	25	26	[8] [15] [17] [27] [31] [39] [41] [53] [54] [55] [57] [58] [59] [62] [41] [70] [71] [72] [79] [81] [82] [83] [92] [93] [96]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Falta de dados verídicos para o planejamento de segurança.</li> <li>▪ Atenuação acerca da verdadeira seriedade dos riscos de queda.</li> <li>▪ Não existência de um método eficiente para a verificação das medidas de segurança.</li> <li>▪ Carência de monitoramento automatizado em segurança.</li> <li>▪ Carência de análises efetivas das operações de construção no âmbito de atividade.</li> <li>▪ Existência de potenciais de deslizamento de terra, tornando as atividades de escavação mais perigosas.</li> <li>▪ Escassez de formas de medição do rendimento da segurança.</li> </ul>
2	Prevenção através do Desenho (PtD)/Desenho para a Segurança (DfS)	15	15	[4] [9] [26] [32] [34] [35] [36] [37] [38] [40] [65] [66] [67] [77] [89]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Falta de eficiência na implementação do DfS, o qual é um enfoque eficaz para a segurança da construção.</li> <li>▪ Limitação do conhecimento dos projetistas, podendo afetar a segurança da construção.</li> <li>▪ Escassez de métodos de análises e de controle de riscos para avaliar o grau do risco de segurança para diferentes opções de projeto.</li> <li>▪ Escassez de ferramentas que coloquem o projeto da segurança em prática.</li> </ul>
3	Quedas	10	10	[18] [19] [21] [25] [47] [52] [56] [75] [84] [85]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Escassez de casos aplicáveis para verificação automática de normas de segurança.</li> <li>▪ Não utilização do prendedor de segurança pelos trabalhadores, seja intencionalmente ou por esquecimento.</li> <li>▪ Dependência da inspeção de segurança das condições e comportamentos, os quais em grande medida estão atrelados aos esforços humanos, que muitas vezes são limitados.</li> </ul>
4	Monitoramento de segurança	10	10	[11] [12] [13] [24] [42] [47] [61] [63] [69] [87]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dificuldade em reconhecer as situações inseguras em ambientes dinâmicos.</li> <li>▪ Limitação do monitoramento através de sensores para trabalhos com escavação e operação de maquinário pesado.</li> </ul>
5	Verificação de regras	7	7	[23] [56] [73] [86] [90] [91] [97]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dependência da tecnologia obsoleta do 2D em papel para a execução da planificação tradicional.</li> <li>▪ Limitação de ferramentas BIM para verificar cláusulas das normas de segurança.</li> </ul>
6	Espaços de trabalho	6	6	[31] [41] [46] [60]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Proximidade do maquinário com os trabalhadores; Necessidade de modelos 4D</li> </ul>

Nº	Categoria	Quant.	%	Referências	Principais problemas abordados
				[64] [93]	e o desenvolvimento de ferramentas de modelagem, assim como biblioteca de objetos, registro e armazenamento de dados dos espaços de trabalho.
7	Reutilização do conhecimento de risco	6	6	[1] [5] [14] [80] [94]	▪ Escassez de pesquisas que combinem BIM, ontologia e tecnologia semântica para a gestão de riscos da construção.
8	Comportamentos inseguros	6	6	[2] [3] [29] [48] [49] [51]	▪ Escassez de pesquisas sobre o comportamento dos trabalhadores.
9	Estruturas temporárias	5	5	[10] [43] [44] [45] [95]	▪ Desconsiderar as estruturas temporais na etapa do planejamento do projeto.
10	Maquinários	5	5	[6] [7] [20] [28] [33]	▪ Distração do operador de grua. Limitação da visibilidade do operador da grua.
11	Produtividade	4	4	[22] [74] [77] [78]	▪ Deficiência da segurança e rendimento da produtividade. Não incorporação dos parâmetros de produtividade e segurança combinados
12	Uso de Equipamento de Proteção Individual (EPI)	3	3	[16] [50] [61]	▪ Supervisão e monitoramento de uso de capacete de segurança; Ineficiências dos métodos para detectar se os trabalhadores usam o EPI de forma correta.
13	Fatores de risco	3	3	[10] [30] [60]	▪ Identificação dos fatores que produzem acidentes de trabalho.
14	Capacitação	2	2	[52] [88]	▪ Escassez de oportunidades para capacitação e aquisição de experiência prática.
15	Espaços confinados	2	2	[64] [68]	▪ Ocorrência de mortes e lesões graves em espaços fechados devido à exposição a fatores de risco.

Fonte: Autoria Própria.

O foco de 26% dos artigos está no desenvolvimento de soluções para a **identificação de riscos**, o que era esperado considerando que os autores utilizam modelos 4D, localização em tempo real, GPS e outras tecnologias como soluções.

Artigos que abordam **Prevention trough Design (PtD)** e **Design for Safety (DfS)** representam 15%, do universo estudado. Esse tema considera a segurança durante o período de desenvolvimento do projeto, sendo que o objetivo principal é minimizar o não cumprimento de segurança durante a fase de projeto, informando e orientando os projetistas sobre as opções de projeto e práticas alternativas para reduzir situações perigosas na fase de construção, além de verificar o projeto e retificar não cumprimento em uma situação específica (QI et al., 2014).

As **quedas** constituem uma abordagem significativa, representando o problema abordado em 10% das referências bibliográficas da amostra desta RSL. Queda apresenta-se como uma das principais causas de mortes na construção civil, e as pesquisas buscam a aplicação de tecnologias de monitoramento de segurança visando minimizar esse impacto. Fang e Dzung (2017) enfatizam o emprego de IoT (*Internet of Things*), sensores e smartphones como tecnologias possíveis para monitorar o comportamento do trabalhador e detectar condições inseguras, alertando o trabalhador e o supervisor. Fang et al. (2018) propõem o monitoramento a partir de cinturões de segurança e tecnologia de *Radio Frequency Identification* (RFID). Na mesma linha de abordagem, Kolar, Chen e Luo, (2018) desenvolvem um sistema de monitoramento de segurança em tempo real para identificar ausência de corrimãos em um sistema de proteção existente, alertando o responsável de segurança.

O **monitoramento de segurança**, com 10%, ficou em terceiro lugar, destacando a necessidade de adotar novas abordagens, como o uso de veículos e sistemas aéreos não tripulados (VANTS) (DE MELO e COSTA, 2019), assim como o monitoramento e controle dos equipamentos de segurança com a aplicação de sensores RFID (OLIVEIRA e SERRA, 2017). Esta categoria ainda é incipiente, mas com acelerado e crescente interesse de vários pesquisadores.

Com 7%, estão as **regras de verificação automática**, que substituem a verificação tradicional, manual e trabalhosa. Essa abordagem mostra-se muito promissora dentro do processo BIM, principalmente se considerar a dificuldade do gerente de segurança em dominar todos os riscos potenciais em uma zona de trabalho complexa e de grande escala (ZHANG et al., 2015b).

Os **espaços de trabalho** representam o mesmo percentual, 6%, de problemas abordados nas referências da amostra que as quedas. Zhang (2015b) afirma que o planejamento do espaço de trabalho melhora muito a segurança e a produtividade. A abordagem descreve um método que reconhece o espaço de trabalho ativo, obtendo seus parâmetros geométricos e o exibindo no modelo BIM com a finalidade de detectar conflitos espaciais.

Também com 6%, a **reutilização do conhecimento** aborda a ontologia para armazenar, organizar e reutilizar conhecimento do risco, a fim de integrá-lo em um ambiente de trabalho com melhores práticas e conhecimentos (ZHANG; BOUKAMP; TEIZER, 2015; DING, 2016). Em outra linha, a pesquisa de Tixier (2017) propõe a extração de dados e seu agrupamento hierárquico que pode ser utilizado para identificar associações de atributos de segurança em grandes conjuntos de dados.

Representando 6% da RSL, os **Comportamentos inseguros** são causas de 80% de todos os acidentes na construção, motivo pelo qual Li (2015), Arslan (2018) e Lee (2019) propõem uma segurança proativa baseada no comportamento dos trabalhadores, enquanto que Guo (2014) e Li (2018) propõem a utilização de sensores que detectam comportamentos inseguros.

As **estruturas temporárias** representam 5% da RSL. Sobre esse tema, Kim e Teizer (2014) colocam que na maioria dos projetos existe falta de planejamento antecipado e eficaz das instalações temporárias (incluindo sistemas de andaimes), o que afeta grandemente a segurança do trabalhador. Para avaliar e monitorar a produtividade e o status de segurança dos trabalhadores, Kim e Teizer (2014b) usaram sensores de localização e captura de movimento.

Estudos sobre **maquinários** representam 5%. Hilfert (2016) analisa o comportamento dos trabalhadores que realizam tarefas perto de maquinários pesados. Enquanto Cheng, e Teizer (2014) e Yihai, Yong e Jingdao (2016) focam na utilização de sensores em tempo real para a reconstrução de movimentos críticos quando da operação das gruas, a fim de evitar a atenuação dos erros humanos durante a operação de elevação.

A **produtividade** representa também 4% da RSL. Forman (2013) alerta sobre a conexão entre Segurança e Produtividade. Lin et al. (2017) aplicaram algumas ferramentas e tecnologias como *Last Planner System (LPS)*, *Revit*, *Sistema Inteligente de Produtividade e Segurança (IPASS)* para relacionar essas duas áreas.

Sulankivi (2009) menciona que o planejamento de produtividade em 4D (3D + tempo) é uma oportunidade para integrar o gerenciamento de segurança mais detalhadamente, e que a conexão entre as tarefas e a segurança no modelo 4D serve como uma ferramenta para revisar e avaliar a segurança como parte da produção da construção. Na mesma linha, Zhang e Teizer (2015b) afirmam que a representação e análise 4D de espaços de trabalho podem minimizar o congestionamento, contribuindo assim para o fluxo de trabalho e mantendo a equipe trabalhando de forma segura e produtiva.

Setayeshgar (2013), referindo-se ao ambiente de trabalho, menciona que um ambiente seguro aumenta a moral dos trabalhadores e, portanto, aumenta a produtividade e a qualidade do trabalho. Nesse caso, segurança no trabalho e produtividade se beneficiam mutuamente. Entre as ferramentas que relacionam segurança do trabalho e produtividade está o LPS (*Last Planner System*) de *Lean Construction* que elimina principalmente o retrabalho e foca em um planejamento mais detalhado (FORMAN, 2013). Por outro lado, os modelos 4D e as visualizações do espaço de trabalho suportam a precisão da logística, o que gera um aumento na produtividade e segurança no trabalho (ZHANG et al., 2015c).

O uso de **Equipamentos de proteção Individual (EPI)** apresenta-se com 4% dos artigos. Guo (2014) e Li (2015a) propõem um sistema de alarme para controlar comportamentos inseguros. As pesquisas de Dong, Li e Yin (2018) e Li et al. (2017) centram-se no controle da utilização de EPI e no uso correto do capacete adequado.

Os **fatores de risco** representam 3% dos artigos selecionados. Alguns autores (GUO; LI; LI, 2013; COLLINS et al., 2014; NOWOTARSKI; PASŁAWSKI; MIELCAREK, 2017b) mencionam que o avanço das pesquisas na área têm melhorado a segurança, no entanto, cobrem apenas alguns dos fatores que causam acidentes e é preciso uma análise posterior para conhecer as causas subjacentes que possibilitariam a proposição de possíveis mitigações vinculadas à tecnologia BIM.

A **Capacitação**, com 2%, foca no trabalhador com pouca experiência, indicando que é um obstáculo não só para a produtividade, mas também para a segurança laboral (LI et al., 2015b).

A última categoria, com 2%, aborda o alto número de mortes e lesões graves que acontecem em **espaços confinados**.

De acordo com essa categorização, pode-se afirmar que no período de 2007 a 2019 a identificação de Riscos tem recebido atenção crescente por parte dos pesquisadores.

### 3.3.2. *Tecnologias Associadas à BIM*

A Quadro 4 mostra as principais tecnologias associadas à BIM, que foram identificadas nos 97 artigos analisados. Observa-se que parte das tecnologias são utilizadas em mais de uma categoria. Além disso, as tecnologias também foram agrupadas seguindo o ciclo de vida do projeto na qual são empregadas. Segundo PMBOK® (*Project Management Body of Knowledge*) um projeto tem 5 fases: iniciação, planejamento, execução, controle e encerramento Quadro 3.

É importante esclarecer que não existe uma definição única e satisfatória de BIM (MIETTINEN; PAAVOLA, 2014). Succar (2009) definiu BIM como um conjunto de tecnologias, processos e políticas que permitem aos múltiplos interessados de um empreendimento trabalhar de forma colaborativa para projetar, construir e operar uma construção no espaço virtual. Assim, tomando como ponto de partida essa definição, as tecnologias associadas à BIM identificadas não são necessariamente um *software*, pelo contrário, podem ser diversificadas para dar suporte a um conjunto de processos, como *Last Planner System*, *Real-*

*Time Location System*, plataformas que são usadas para identificar o desenho seguro e automatizar processos.

Identifica-se também uma gama de dispositivos de sensoriamento que trabalham integrando os deslocamentos humanos no canteiro de obras ao ambiente virtual de construção BIM, possibilitando acompanhar em tempo real as zonas de risco.

**Quadro 3. Fases do projeto segundo PMBOK®**

Iniciação	Planejamento	Execução	Monitoramento	Encerramento
Identificação do objetivo, Definição preliminar e autorização formal;	Definir a linha de ação necessária, fase do projeto;	Levar a cabo o planejamento do projeto;	Medir e supervisionar regularmente o avanço;	Formalizar a aceitação com o cliente.

Fonte: Adaptado do PMBOK®

Quadro 4. Principais tecnologias associadas ao BIM, categorizadas e agrupadas segundo o ciclo de vida do projeto

Categoria	INICIAÇÃO	PLANEJAMENTO	EXECUÇÃO	MONITORAMENTO	ENCERRAMENTO
Identificação de riscos	Navisworks; (RBS) Risk Breakdown Structure. Realidade Virtual e Aumentada (VR / AR)	Data base de perigos; Navisworks; (ASRC) Automated Safety Rule Checking; Modelo 4D (3D + Tempo); (RBS) Risk Breakdown Structure. Realidade Virtual e Aumentada (VR / AR)	Navisworks; (ASRC) Automated Safety Rule Checking; Modelo 4D (3D+Tempo); RFID (Radio Frequency Identification); (RBS) Risk Breakdown Structure. Realidade Virtual e Aumentada (VR / AR)	(ASRC) Automated Safety Rule Checking; RFID (Radio Frequency Identification); (IoT) internet of things; (GPS) Global Positioning System. Realidade Virtual e Aumentada (VR / AR)	Navisworks; (ASRC) Automated Safety Rule Checking; 4D (3D + Tempo). Realidade Virtual e Aumentada (VR / AR)
Prevenção através do Desenho (PtD)/Desenho para a Segurança (Dfs)	(ASRC) Automated Safety Rule Checking - BIM server; Modelamento 4D (3D + Tempo).	Dicionário para armazenar sugestões; Biblioteca de conhecimentos de segurança; Modelamento 4D (3D + Tempo); Revit; Solibri Model Checker; Tekla Structures; ArchiCAD.	(ASRC) Automated Safety Rule Checking; 4D (3D+ Tempo); Revit; Solibri Model Checker; Tekla Structures; ArchiCAD.	(ASRC) Automated Safety Rule; Checking; 4D (3D + Tempo); Revit; Solibri Model Checker; Tekla Structures; ArchiCAD.	Modelo 4D; Revit; Solibri; ArchiCAD.
Quedas	(ASRC) Automated Safety Rule Checking	(ASRC) Automated Safety Rule Checking; RFID (Radio Frequency Identification).	(ASRC) Automated Safety Rule Checking; RFID (Radio Frequency Identification); Realidade virtual;(CBR) case-based reasoning.	(ASRC) Automated Safety Rule Checking; RFID (Radio Frequency Identification).	(ASRC) Automated Safety Rule Checking

<b>Categoria</b>	<b>INICIAÇÃO</b>	<b>PLANEJAMENTO</b>	<b>EXECUÇÃO</b>	<b>MONITORAMENTO</b>	<b>ENCERRAMENTO</b>
Monitoramento de segurança		Revit (UAS) Unmanned Aerial System	Visual Estudio 2010; Revit; Optimus VU. (UAS) Unmanned Aerial System	Visual Estudio 2010; Revit; Optimus VU. (UAS) Unmanned Aerial System	Revit (UAS) Unmanned Aerial System
Verificação de regras	(ASRC) Automated Safety Rule Checking.	(ASRC) Automated Safety Rule Checking;	(RFID) Radio Frequency Identification;(BBS) Behavior-based safety (ASRC) Automated Safety Rule Checking;	(RFID) Radio Frequency Identification;(BBS) Behavior-based safety (ASRC) Automated Safety Rule Checking;	(ASRC) Automated Safety Rule Checking;
Espaços de trabalho	-	(SRL) Semantic Role Labeling. (DVF) Dynamic Virtual Fences; Modelo 4D.	(SRL) Semantic Role Labeling. (RTLS)Real-Time Location System;(DVF) Dynamic Virtual Fences; Modelos 4D; Sensores de movimento.	(SRL) Semantic Role Labeling. (RTLS)Real-Time Location System;(DVF) Dynamic Virtual Fences; Modelos 4D	(RTLS)Real-Time Location System; Modelos 4D
Reutilização do conhecimento de risco	Ontologia; Tecnologia web semântica.	Ontologia; Tecnologia web semântica.	Tecnologia web semântica; Captura de informação de quase acidentes.	Captura de informação de quase acidentes.	
Comportamentos inseguros		(RFID) Radio Frequency Identification	(RFID) Radio Frequency Identification;(BBS) Behavior-based safety.	(RFID) Radio Frequency Identification; (BBS) Behavior-based safety.	
Estruturas temporárias	-	(ASRC) Automated Safety Rule Checking; (SPG) scaffolding planning generator; 4D-turba BIM.	(ASRC) Automated Safety Rule Checking; (SPG) scaffolding planning generator; 4D-turba BIM.	(ASRC) Automated Safety Rule Checking;  4D-turba BIM.	(ASRC) Automated Safety Rule Checking, 4D-turba BIM.

<b>Categoria</b>	<b>INICIAÇÃO</b>	<b>PLANEJAMENTO</b>	<b>EXECUÇÃO</b>	<b>MONITORAMENTO</b>	<b>ENCERRAMENTO</b>
Maquinários e Produtividade		4D-turba BIM;	Escâner Laser, (RTLS) Real-Time Location System, Realidade Aumentada, Tele operação. 4D-turba BIM;	Escâner Laser, (RTLS) Real-Time Location System, Realidade Aumentada, Tele operação. 4D-turba BIM;	Revit;
Uso de (EPI) Fatores de Risco	(RBS) Risk Breakdown Structure	LPS; Revit; Archicad (VP) virtual Pototyping; Modelo 4D	LPS; Revit; Archicad Sensores de movimento; (RTLS) Real-Time Location System; (EOP) Eye on Project. (VP) Virtual Prototyping; Modelos 4D	LPS; Revit; Archicad. (RTLS) Real-Time Location System. (VP) Virtual Prototyping; Modelos 4D	Archicad. (RTLS) Real-Time Location System.  Modelos 4D
Capacitação	Realidade Virtual; Revit.	Realidade Virtual; Revit.	Realidade Virtual; Revit.	Revit	
Espaços confinados	(RBS) Risk Breakdown Structure	(CoSMoS) Confined Space Monitoring System; Realidade Virtual	(CoSMoS) Confined Space Monitoring System; Realidade Virtual	(CoSMoS) Confined Space Monitoring System; Realidade Virtual	

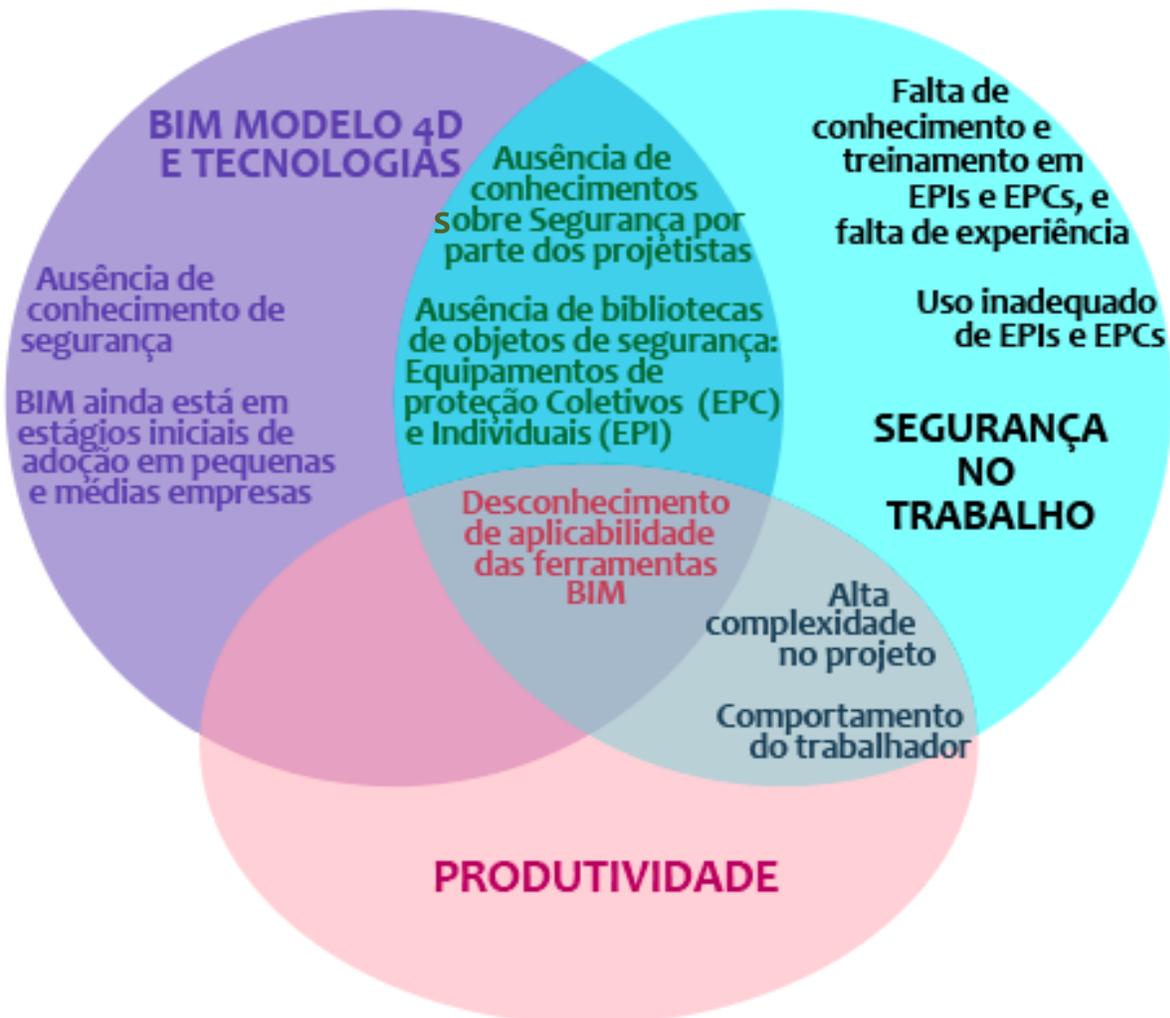
Fonte: Autoria própria.

### 3.3.3. Barreiras do uso da visualização 4D na literatura.

Na Figura 11 mostra as principais barreiras identificadas através da RSL. Todas as barreiras citadas foram divididas em 3 tópicos principais: implementação de BIM, cuidado com a segurança e o incremento da produtividade. Existem outras barreiras encaixadas em mais de um tópico.

A produtividade foi considerada por ter uma ligação com a segurança como mencionado no capítulo 3.3.5.

Figura 12. Principais barreiras mencionadas na literatura



Fonte: Autoria própria.

**BIM encontra-se ainda em fase inicial de adoção em pequenas e médias empresas:** Segundo TEO (2017), uma das principais barreiras para implementação do BIM na segurança do trabalho, é que a indústria da construção ainda está em uma etapa de transição para a implementação de BIM.

**Ausência de conhecimento sobre segurança por parte dos projetistas:** Kamardeen (2010) menciona que o limitado conhecimento da segurança por parte dos projetistas é uma barreira que impede gerenciá-la na etapa de projeto, sendo uma barreira tanto para o cuidado da segurança na etapa do projeto, como uma barreira para implementação de BIM.

Hossain, et al. (2018), no entanto, apontam que a falta de conhecimento sobre segurança e um sistema inadequado para ajudar o projetista a identificar riscos dificultou o tratamento dos riscos na fase de projeto.

Sulankivi et al. (2019) alertam sobre a **Ausência de bibliotecas de objetos de segurança como equipamentos de proteção coletivas (EPCs) e individual (EPIs)**. Os equipamentos e utilidades de segurança temporário no canteiro necessário para o planejamento baseado em BIM receberam pouca atenção nas bibliotecas de objetos incluídas nos *softwares* de modelagem.

**Desconhecimento de aplicabilidade das ferramentas BIM:** Choe e Leite (2017) mencionam que os gestores de segurança não estão bem informados sobre programas de *software*, para programar e simular em 4D. Portanto, é preciso capacitar os gestores de segurança para obter adequadamente tais habilidades para permitir a integração perfeita do cronograma de obra e o planejamento de segurança.

**Comportamento do trabalhador:** Golabchi et al. (2018) apontam que mais do 80% dos acidentes na construção ocorrem como resultado de comportamentos e atos inseguros por parte do trabalhador, inerentes aos processos de fluxo e ambiente de trabalho regulados pelo projeto do sistema de produção (PSP).

**Alta complexidade no projeto:** Hardison e Hallowell, (2018) dizem que a complexidade tem a ver com a dificuldade de visualizar e reconhecer perigos no projeto. Como também o

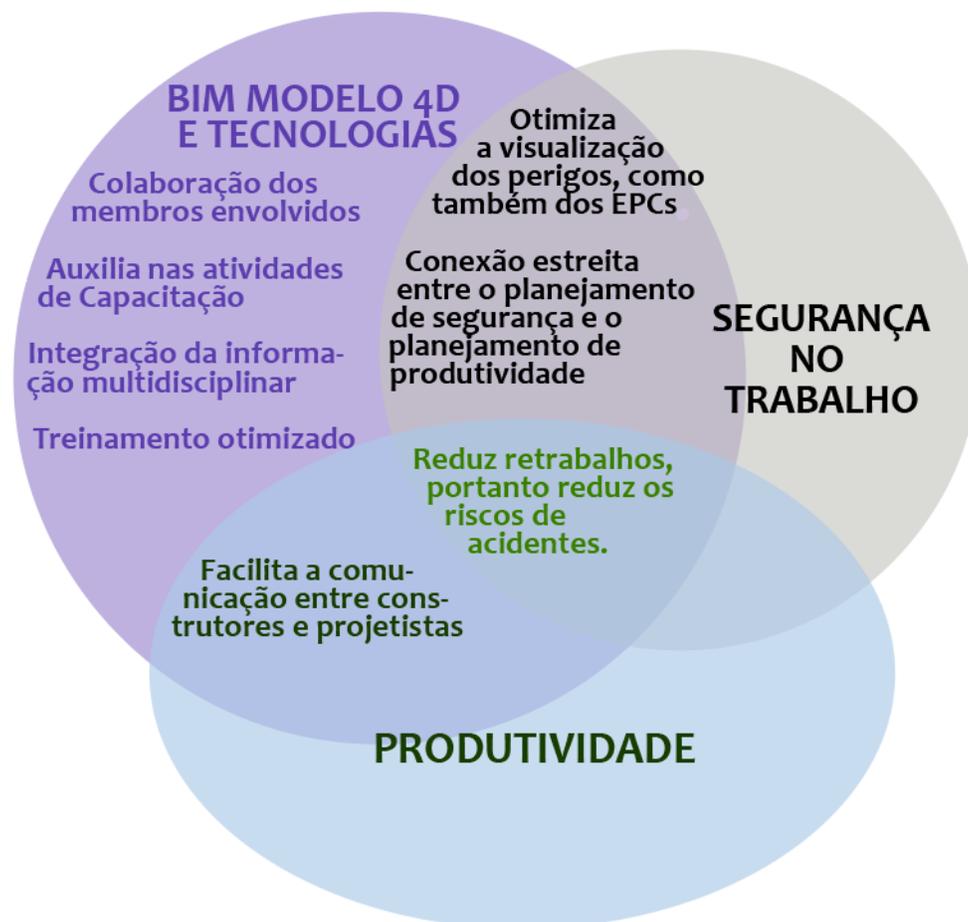
desempenho dos diferentes modos de informação usados no projeto, que muitas vezes não são eficientes, pois não auxiliam em uma melhor visualização do projeto.

**Uso inadequado de EPI:** Segundo Ahmed e Shakil (2019), baseados em pesquisa em Bangladesh sobre o uso inadequado de EPI, afirmam que a falta de conhecimento e treinamento no uso de EPIs e EPCs, assim como a falta de experiência, são barreiras para uma melhor performance de segurança no canteiro de obra.

### 3.3.4. Oportunidades do uso da visualização 4D na literatura

Do mesmo modo que as barreiras, as oportunidades foram divididas em 3 principais tópicos: implementação do BIM, cuidado da segurança e o incremento da produtividade, e outras oportunidades que afetam mais de um destes tópicos (Figura 13).

**Figura 13. Principais oportunidades mencionadas na literatura**



Fonte: Autoria própria.

**Integração da informação multidisciplinar:** Segundo Kamardeen (2010), a sofisticação no desenvolvimento do modelo de informação da construção criou oportunidades de integrar informação multidisciplinar em um único repositório digital, que por consequência otimizou os projetos.

**Conexão estreita entre o planejamento de segurança e o planejamento de produtividade:** Segundo Kiviniemi (2011) e Sulankivi (2019), a dimensão 4D de BIM conecta a segurança de forma mais próxima com o planejamento da produção, proporcionando planos de segurança atualizados, permitindo também fazer simulações, melhorando a comunicação e cooperação. Reforçando o vínculo entre a produtividade e o desempenho da seguridade (TEO et al, 2017).

**Facilita a comunicação entre construtores e os projetistas:** BIM pode facilitar o intercâmbio da informação entre construtores e projetistas através de formulários automatizados e listas de verificação de fatores de segurança baseados em regras, como códigos e informação regulamentadora (KASIROSSAFAR; ARDESHIR; SHAHANDASHTI, 2012).

**Otimiza a visualização dos perigos, e por consequência a visualização dos EPC:** ZHUANG et al. (2016) afirmam que a visualização 4D de BIM, em comparação com os desenhos tradicionais em 2D, permite o planejamento eficaz das instalações da segurança, planejando antecipadamente os EPCs.

**Reduz retrabalhos, portanto reduz os riscos de acidentes:** Teo et al. (2016) mencionam que quanto mais cedo for incorporado a segurança laboral no projeto, menor será o número de acidentes e fatalidades. Este enfoque de antecipação também reduz retrabalhos através do planejamento efetivo do projeto.

**Auxilia nas atividades de Capacitação:** Os materiais resumidos de incidentes, assim como a visualização dos objetos de segurança dentro do projeto, podem ajudar na capacitação da segurança dos trabalhadores e consequentemente impactar positivamente na comunicação da segurança e na conscientização dos trabalhadores sobre os riscos específicos do canteiro de obras (CHOE e LEITE, 2017).

**Treinamento otimizado e Colaboração dos membros envolvidos:** Golabchi et al. (2018) afirmam que, devido ao importante papel dos gerentes e trabalhadores, o treinamento adequado da equipe do projeto, bem como a colaboração e o envolvimento contínuo de todos os articuladores, é essencial para alcançar operações seguras.

### **3.3.5. Segurança e Produtividade**

Autores indicam que os acidentes, por vezes, ocorrem pela pressão excessiva para produzir mais em menos tempo, provocando a infração de medidas preventivas de forma consciente e semiconsciente (NAHMENS; IKUMA, 2009; WETZEL; THABET, 2015).

Tendo isso em vista, boa parte dos autores mostra a segurança como uma etapa fundamental em processos de produção, sendo que um planejamento rigoroso do fluxo de trabalho que inclua as medidas preventivas de segurança pode ser uma grande estratégia para a redução de acidentes (NAHMENS; IKUMA, 2009; FORMAN, 2013). Nesse contexto, uma boa alternativa para conseguir um fluxo de trabalho eficiente, eficaz e seguro seria a utilização de *Lean Construction*.

### **3.3.6. Segurança e Lean Construction**

Uma das grandes contribuições de *Lean Construction* é a otimização dos processos através do melhoramento contínuo dos mesmos, bem como da eliminação de tudo aquilo que não agrega valor, como atividades redundantes e processos desnecessários, os quais implicam em desperdícios (BASHIR, 2011; ENSHASSI; ZAITER, 2014).

Dessa forma, em vista que os acidentes interrompem o fluxo de trabalho. Pode-se colocar como um dos objetivos de *Lean Construction* evitar a ocorrência desses acidentes, considerados também como desperdício implicando perda de tempo e recursos (nahmens; IKUMA, 2009; ENSHASSI; ZAITER, 2014).

Temos alguns autores como Forman (2010) e Awada (2016) que entendem o conceito de *Lean Construction* como algo que proporciona uma melhoria no ambiente a fim de que o fluxo de trabalho seja otimizado, evitando-se assim acidentes e lesões. Isso porque *Lean Construction* traz um planejamento do processo de produção, recrudescendo a infraestrutura de segurança, o que

minimiza a exposição dos trabalhadores a situações perigosas e denuncia possíveis riscos (FORMAN 2010; BASHIR et al., 2011).

Assim, Forman (2010) e Bashir (2011) indicam que *Lean Construction* possibilitaria a redução dos riscos, uma vez que essa filosofia, de acordo com a visão abordada, traz empoderamento ao trabalhador através do desenvolvimento de habilidades, como a tomada de decisões e a promoção de uma melhor comunicação com a equipe. Contudo, Bashir (2011), Enshassi e Zaiter (2014), colocam uma ressalva quanto a essa questão, uma vez que existem poucas evidências concretas para embasar esse argumento.

*Last Planner System* (LPS) é uma ferramenta de *Lean Construction*, que ajuda na melhoria do fluxo de atividades programadas, reduzindo a variabilidade e incentivando o cumprimento do que realmente foi planejado (BRIOSO, 2017), tendo como principal função substituir o planejamento otimista por um planejamento realista, avaliando o desempenho dos trabalhadores com base na capacidade de alcançar os compromissos de maneira confiável (PORWAL; LAVY; RYBKOWSKI, 2010; BASHIR 2011 ENSHASSI; ZAITER, 2014; OLIVIERI; GRANJA; PICCHI, 2016; BRIOSO; HUMERO; CALDERON-HERNANDEZ, 2018).

Segundo Brioso (2017), LPS pode incorporar facilmente o planejamento de segurança ao plano de produtividade com sinergia e compatibilidade, conseguindo ser implementadas nas suas três etapas: plano mestra, etapa de antecipação de seis semanas e etapa semanal. No planejamento de seis semanas e semanal do LPS, o controle dos riscos pode atuar de forma eficiente, permitindo aos trabalhadores participar de atividades que se relacionam com suas próprias capacidades, ajudando a identificar os diferentes riscos que enfrentam durante a construção, eliminando, assim, os perigos por trabalhos desconhecidos (BASHIR et al., 2011 e FORMAN, 2013).

Segundo uma pesquisa de Awada (2016), a participação dos trabalhadores na fase de projeto proporciona uma exposição mínima aos perigos influenciando positivamente na segurança.

### **3.3.7. Segurança e BIM (*building information modeling*)**

Apesar de alguns conceitos contidos dentro da metodologia de Lean Construction poderem ser estendidos para o planejamento de segurança, faz-se ainda necessário um sistema que seja capaz de monitorar a segurança durante todo ciclo de vida do projeto Lin et al. (2017), permitindo visualizações da construção e informação do projeto em tempo real. Assim, o sistema mais propício para a execução de tal função seria o BIM.

BIM tem desenvolvido ferramentas para o gerenciamento da segurança. Entre as ferramentas, pode-se citar planejamento 4D, integração de *Lean Construction* e BIM para planejamento de segurança, uso de GPS, verificação de regras e sistemas de segurança proativos baseados em TI e outros. (ZHANG et al., 2015; TEO et al., 2016; LIN et al., 2017).

Segundo Lin et al. (2017), BIM oferece ferramentas para antecipar problemas de desenho durante as primeiras etapas de um projeto, permitindo assim minimizar ou eliminar atividades não necessárias na fase de construção. No entanto, não existem estudos empíricos suficientes visando a implementação das ferramentas de produtividade em 4D com o intuito de minimizar os acidentes de trabalho.

### **3.3.8. Tecnologias BIM na segurança e produtividade**

Dentre as tecnologias BIM que foram desenvolvidas para a segurança laboral, pode-se citar o trabalho de Lin et al. (2017) quem integrou *Last Planner System* (LPS) e Revit em um Sistema Inteligente de Produtividade e Segurança (IPASS).

Pode-se ainda citar o trabalho de Sulankivi, Mäkelä e Kiviniemi (2009) no desenvolvimento de uma biblioteca de objetos de canteiro para o planejamento de produtividade em 4D, integrando o gerenciamento de segurança mais detalhadamente.

Se tem também o trabalho de Zhang, Boukamp e Teizer (2015), que desenvolveram modelagem semântica de segurança da construção baseada em ontologia para automação de análise de risco de trabalho através de visualização e simulação 4D.

### 3.3.9. Principais trabalhos futuros classificados por categorias.

Foram identificados na RSL lacunas de pesquisa, mencionadas pelos autores (Quadro 5). Destaca-se a falta de pesquisa aplicada, em vista que algumas soluções propostas pelos autores ainda não foram provadas ou implementadas em estúdios pilotos, seja para validar seu desempenho, seja para obter informações reais, ou para analisar a aceitação dos usuários.

**Quadro 5. Principais trabalhos futuros divididos em categorias e indicados na RSL**

Categoria	Principais trabalhos futuros
Identificação de Riscos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Considerar detalhes e atualizações em tempo real das áreas de trabalho, no momento de identificar riscos (SETAYESHGAR, 2013).</li> <li>▪ Criar um banco de dados de risco e extrair atributos de relatórios de lesões (TIXIER, 2016).</li> <li>▪ Implementar as tecnologias em um caso real e analisar a aceitação por parte dos trabalhadores (ZOU; KIVINIEMI; JONES, 2017,2016).</li> </ul>
Prevention through Design /Design for Safety	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Relacionar a gestão de segurança 3D/4D através do BIM com componentes de construção, equipamentos de produção e estruturas temporárias (KASIROSSAFAR; ARDESHIR; SHAHANDASHTI, 2012).</li> <li>▪ Monitorar a segurança do trabalho em BIM (KASIROSSAFAR; SHAHBODAGHLOU, 2012).</li> <li>▪ Usar um modelo 4D para mostrar o progresso diário da construção (QI, 2014).</li> </ul>
Quedas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Desenvolver um sistema de monitoramento automático que reconheça um comportamento inseguro (FANG, 2018).</li> <li>▪ Usar o modelo BIM para inspecionar a instalação correta de cinto de segurança (KOLAR, CHEN, LUO; 2018).</li> </ul>
Monitoramento de Segurança	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aplicar o sistema de alerta de risco com base em tempo real para validar seu desempenho (KIM; PARK, 2013).</li> <li>▪ Aprofundar estudos sobre a seleção dos limites de uma zona de perigo (PARK; KIM; CHO, 2017).</li> <li>▪ Ampliar estúdios para o monitoramento com RFID para outros tipos de equipamentos e ferramentas, como furadeiras, serras circulares, parafusadeiras, etc., usualmente presentes nos canteiros de obras (GUO, 2014).</li> <li>▪ Pesquisas futuras precisam medir e avaliar questões de custo e redução de tempo de inspeção resultantes do uso de VANTs para monitoramento de segurança (DE MELO; COSTA, 2019).</li> </ul>
Verificação de regras	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Avaliar a aplicação do verificador de regras em outros tipos de riscos além de quedas (Melzner, 2013).</li> </ul>
Espaços de Trabalho	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Analisar tecnologias novas e emergentes que podem ser usadas em conjunto com modelos 3D/4D BIM para melhorar a comunicação de segurança (KIVINIEMI, 2011).</li> </ul>
Reutilizando o conhecimento de risco.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aprofundar a compatibilidade da ontologia com o BIM existente através do IFC (ZHANG, 2015; DING, 2016).</li> </ul>

<b>Categoria</b>	<b>Principais trabalhos futuros</b>
Comportamentos inseguros	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Realizar um estudo longitudinal de grande escala durante um longo período para medir os efeitos Proactive Behavior-Based Safety (PBBS) (LI, 2015).</li> </ul>
Estruturas temporais	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Desenvolver regras mais completas para detectar os sistemas de andaimes necessários a partir da geometria de edifícios complexos (KIM; TEIXER, 2014).</li> <li>▪ Aplicar em estudos de caso com uma variedade de andaimes e outras estruturas temporárias (KIM; CHO; ZHANG, 2016).</li> </ul>
Maquinários	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Desenhar interfaces de usuário de gruas teleoperadas no futuro (CHEN, 2015).</li> </ul>
Produtividade	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Incluir aspectos da segurança em um modelo de Produtividade 4D (SULANKIVI, 2009).</li> <li>▪ Usar modelos dinâmicos 4D (ZHANG, 2015c).</li> <li>▪ Demonstrar na prática o link de segurança e produtividade (LIN, 2017).</li> </ul>
Uso de EPI	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Continuar os experimentos do sistema para detecção de uso de EPI (tempo real e sensores), em outros locais de construção, com outros climas para conhecer a precisão do sistema (DONG; LI; YIN, 2018).</li> <li>▪ Analisar os fatores que induzem a não utilização de EPI, fatores individuais e fatores contribuintes (condições do local, supervisão, gerenciamento de projetos)(LI, 2017).</li> </ul>
Fatores de risco	Não foi mencionado.
Capacitação	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Usar os resultados da análise de risco para treinamento de trabalhadores (Li, 2015).</li> </ul>
Espaços confinados	Não foi mencionado.

Fonte: Autoria Própria



**CAPÍTULO IV**

**ESTUDO DE CASO**

#### **4. ESTUDO DE CASO**

Neste estudo realizou-se um diagnóstico geral, começando pela caracterização da empresa e do empreendimento. Também foram descritos tópicos como o uso de ferramentas para o incremento da produção, tecnologias utilizadas, uso de modelos 4D, e aspectos de segurança, e a seguir foi criado um relatório das barreiras e das oportunidades observadas.

##### **4.1. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO**

A empresa estudada, é uma empresa brasileira de pequeno porte que atua há mais de um ano e meio em diversos segmentos da indústria da construção civil.

A empresa é a proprietária do empreendimento estudado. E o empreendimento é a primeira obra de grande porte construída pela empresa, no entanto a diretoria e os funcionários possuem muito anos de experiência em empresas de grande porte. Sendo esse um dos principais motivos para o empreendimento ter sido escolhido como piloto para a implementação de BIM na empresa.

O estudo de caso desta pesquisa é em edifício residencial multifamiliar, subsidiado pelo programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), localizado na cidade de Limeira, São Paulo.

Trata-se de torre única (Figura 14), com 13 pavimentos e 4 apartamentos por andar, totalizando 56 unidades. O edifício tem uma área construída de 3.783 m<sup>2</sup> e está implantado em um terreno de 2.252m<sup>2</sup> (Figura 15).

**Figura 14. Torre do estudo de caso, Limeira São Paulo.**



Fonte: Arquivo da Empresa em estudo.

**Figura 15. Área construída e área de terreno**

Fonte: Arquivo da empresa em estudo.

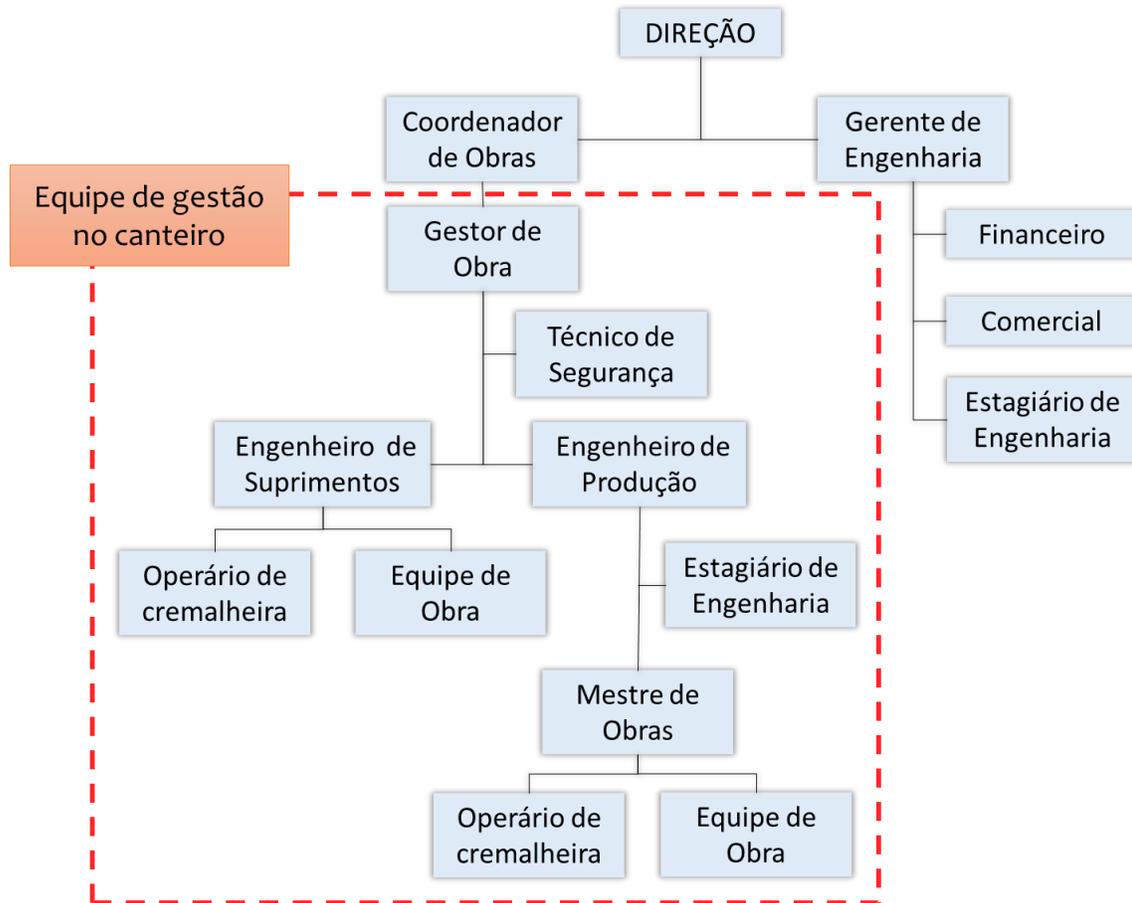
O edifício não tem subsolo e no pavimento térreo estão localizadas as 60 vagas de estacionamento, incluindo as vagas para visitantes.

A obra iniciou em novembro de 2018 e tem prazo de finalização em janeiro de 2020, com um prazo de execução de 15 meses e um orçamento inicial de R\$ 6.083.400,00.

A incorporadora é uma construtora com atividades recentes na cidade e bastante empenhada na implementação de BIM na empresa. Nesse empreendimento, a empresa dedicou-se prioritariamente à gestão, terceirizando todas as atividades de produção.

A empresa mantém no canteiro uma equipe de gestão enxuta, conforme o organograma seguinte (Figura 16).

Figura 16. Organograma da empresa



Fonte: Arquivo da empresa em estudo

#### 4.2. MODELOS 4D E TECNOLOGIAS

A incorporadora decidiu usar este empreendimento como piloto para a implementação de BIM na empresa. Portanto, um dos objetivos era usar o modelo 4D, para o gerenciamento da obra, o que serviria para fazer conexão entre o planejamento da construção com objetos 3D do projeto. A modelagem 3D em um nível LOD-300 foi desenvolvida pelos técnicos da própria empresa, e a modelagem 4D em um nível LOD-400 foi contratada por empresa especializada em São Paulo.

No entanto, devido a atraso na entrega da modelagem contratada por motivos fora do projeto 3D, a obra começou antes da conclusão do modelo 4D do empreendimento.

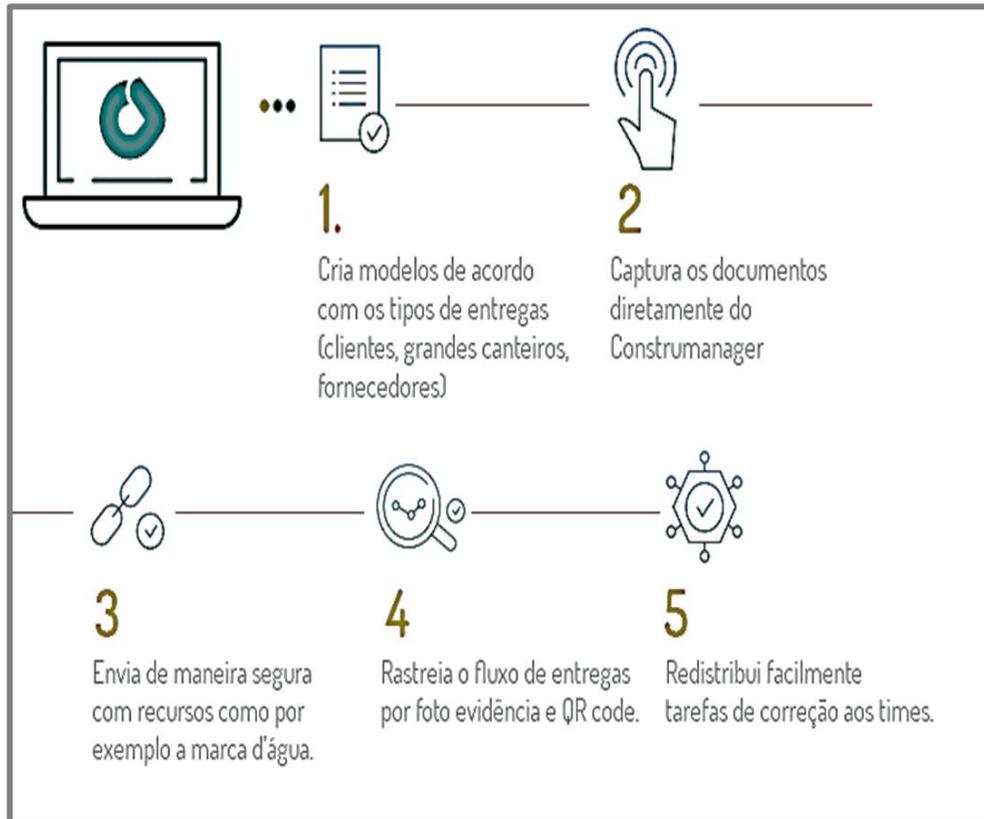
Desta forma, o modelo 4D só foi utilizado como visualização das etapas previstas e realizadas por parte dos diretores e investidores do empreendimento.

Foi usado o *software* MS-Project para definir o cronograma de execução da obra, que foi integrado à plataforma de modelagem 4D para a definição de etapas e tempo, portanto, os avanços foram ratificados no modelo com o planejamento no MS-Project.

Como os modelos BIM só foram utilizados pela alta direção, a comunicação com o mestre-de-obras foi de forma tradicional usando o projeto em papel em 2D. Assim, entre a equipe somente o gestor de obra utilizou a ferramenta Navisworks de Autodesk, contudo um objetivo da empresa é consolidar um setor especial de BIM, no qual a coordenação e o controle das etapas da obra serão realizados virtualmente.

#### **4.3. IMPLEMENTAÇÃO DE TECNOLOGIA**

Neste empreendimento foi implementado o uso de algumas TICs, tanto para a gestão de qualidade como para a gestão da produção. Foi utilizada a plataforma ConstruManager, para facilitar a colaboração e a gestão do projeto, tendo como principais funções organizar e entregar informações reais atualizadas. A Figura 17, explica a funcionalidade da plataforma.

**Figura 17. Funcionalidade da plataforma ContruManager**

Fonte: Página web de ContruManager.

Outra tecnologia usada foi o aplicativo Construpoint, utilizada pela empresa em estudo para acompanhamento de obras. Este aplicativo conecta as equipes de obra, facilitando a programação das atividades e o controle de qualidade. A Figura 18 mostra a funcionalidade do aplicativo.

**Figura 18. Funcionalidade do aplicativo Construpoint**

Fonte: Pagina web de Construpoint.

Contudo, os responsáveis pelo preenchimento afirmaram que tinham dificuldades de usá-la, pois alegaram que o processo era muito trabalhoso e preferiam o uso de métodos tradicionais.

Foi utilizado um VANT para obtenção de imagens, mas não para os potenciais usos que estes equipamentos oferecem para a indústria da construção.

#### **4.4. SEGURANÇA LABORAL**

O empreendimento possui níveis de planejamentos de segurança, baseados nas normas regulamentadoras de segurança NR18 e na NR35:

- No planejamento de longo prazo, estão identificados os principais riscos de acidentes, para tal são utilizados desenho de plantas em 2D do edifício de forma impressa. Neste planejamento participa o gestor de obra, o gestor de segurança e o mestre-de-obras;
- No planejamento de curto prazo, este é realizado uma semana antes de começar a atividade, e permite identificar e mitigar riscos com o uso de equipamentos de proteção individual (EPI) e coletivo (EPC).

O trabalho do Técnico de segurança está baseado, principalmente, na adequação de cenários com o objetivo de mitigar riscos de acidentes em todos os andares do empreendimento. Esta atividade fundamenta-se mais na fiscalização dos trabalhos do que no preenchimento de documentos, portanto ele monitora os trabalhos, no entanto o técnico tem limitações, pois ele não consegue monitorar todo o empreendimento ao mesmo tempo.

A segurança no canteiro é contínua do início ao fim e está embasada na norma NR18, pois antes de começar qualquer trabalho são usadas diretrizes do Programa de Controle de Trabalho (PCM).

##### **4.4.1. Capacitação e conscientização**

Com o intuito de capacitar e conscientizar os trabalhadores da obra em temas de segurança o trabalho, são programadas duas reuniões por semana, com uma duração de 15 minutos cada, nas quais são tratados temas relacionados ao uso adequado de EPIs e EPCs, chamando-se a atenção para atitudes inseguras que não deveriam ser repetidas. No entanto, no transcurso dos trabalhos são identificados comportamentos inseguros por parte dos trabalhadores, os quais os colocam em situações de risco, sendo um dos principais comportamentos a ausência do uso de EPIs por parte dos trabalhadores.

#### **4.4.2. Inspeção Atual**

O corpo técnico de segurança da obra é composto apenas por um técnico de segurança. A obra não possui procedimentos padronizados de inspeção e monitoramento das atividades, logo, o monitoramento e atividades de inspeção são apenas visuais, sem nenhuma documentação. É realizado um *checklist* de verificação de equipamentos para grua e elevador.

No período da observação do estudo de caso, se constatou um incumprimento ao uso de EPI, pois ainda com a presença do técnico de segurança a uns poucos metros, um trabalhador não estava utilizando os óculos de segurança quando estava fazendo trabalhos com soldadura. Demonstrando assim que a inspeção tradicional nem sempre permite cuidar da segurança de forma efetiva.

#### **4.5. PRODUTIVIDADE**

Sendo que a produtividades e segurança do trabalho estão vinculadas entre si, segundo a RSL. Neste estudo de caso, a maneira como a produtividade é gerenciada no ciclo de vida do projeto foi considerada como parte da observação.

Neste empreendimento, o planejamento e controle da produção foram realizados com a ferramenta *Last Planner System* de *Lean Constrution*, contemplando as etapas de planejamento de longo, médio e curto prazo. O planejamento foi realizado colaborativamente entre o gestor de obra e o diretor da construtora, quem possui vasta experiência em obras internacionais que utilizaram a tecnologia BIM.

O planejamento de Longo Prazo foi feito de acordo com a viabilidade e o planejamento inicial de contrato, considerando-se um sequenciamento padrão estratégico de atividades sucessoras e predecessoras, o que gerou um cronograma base. Esse planejamento é uma atividade inicial do empreendimento e é elaborado pelo engenheiro coordenador da empresa (setor administrativo) e pelo gestor de obra (setor operacional).

No planejamento de médio prazo, foi um planejamento para 3 meses, e participaram o engenheiro responsável, o engenheiro de suprimentos e o engenheiro de produção, e foi empregado o planejamento por restrições para a execução das atividades, o que contribuiu para a definição de indicadores para a avaliação da melhoria do projeto.

O Planejamento mensal foi elaborado pelo gestor de obra juntamente com o mestre-de-obras, o assistente técnico e o engenheiro de produção. Neste planejamento avalia-se os empecilhos que possam restringir seu cumprimento, e somente então é apresentado ao fornecedor.

#### **4.6. BARREIRAS DO USO DA VISUALIZAÇÃO 4D - ESTUDO DE CASO**

As barreiras destacadas foram classificadas como barreiras na implementação de BIM considerando dentre estas o modelo 4D e as tecnologia empregadas. Outras classificações foram as barreiras na segurança e as barreiras da produtividade. Dentre estas barreiras existem aquelas que são barreiras tanto para a implementação de BIM como para o gerenciamento da segurança do trabalho mais eficiente, da mesma forma barreiras tanto na produtividade como na segurança, e outras barreiras que interferem as três classificações (Figura 19).

Figura 19. Principais barreiras observadas no estudo de caso



Fonte: Autoria própria.

#### 4.6.1. Barreiras na Implementação de BIM

No Brasil, está-se em um momento em que o BIM começa a aparecer no mercado e que muitas empresas ainda não estão preparadas para aproveitar todo o potencial dessa nova metodologia, pois exige uma mudança radical de procedimentos, desde o projeto até a execução. E não é diferente no estudo de caso, pois foram observadas barreiras que confirmam aquelas mencionadas na literatura, pode se destacar as seguintes:

- Existe ausência de recursos humanos com experiência no uso de tecnologias, pois no estudo de caso, ainda quando existem as melhores intenções pelos diretores e gestores da obra para a implementação de BIM, existem funcionários que pela facilidade e costume vão optar pelo uso de ferramentas tradicionais.
- Outra barreira é o não aproveitamento do potencial das tecnologias adquiridas (modelos 4D, plataforma ConstruManager, aplicativo Construpoint, VANT), pois como consequência da barreira antes mencionada, facilmente se incorre no uso das tecnologias só para funções básicas, como exemplo está o uso de modelo 4D como uma maquete.
- A intolerância às mudanças por parte de alguns funcionários na hora de usar novas tecnologias é também uma barreira para a implementação de BIM, pois a tendência é usar aquilo com que tem mais familiaridade e costume, levando os funcionários a usar métodos tradicionais, e no lugar do BIM ajudar, pode-se tornar um processo burocrático. Por exemplo, no uso do aplicativo Construpoint ele foi descarregado num dispositivo tablet, que foi utilizado para verificar a qualidade dos trabalhos no canteiro de obra mediante um *checklist*. No entanto os funcionários faziam essas atividades num papel e depois colocavam as informações no tablet, impedindo a disseminação do BIM. É natural que os profissionais seguissem pelo caminho mais fácil e rápido ao qual estão acostumados.

#### **4.6.2. Barreiras na Gestão da segurança**

Compreender as barreiras da gestão de segurança, e também as potencialidades da tecnologia BIM nesta área, permite a proposição de modificações para alcançar a melhoria do processo.

Nesse sentido, como ponto de partida, tomou-se o estudo de caso, e a perspectiva da equipe de trabalho sobre questões de segurança. Além disso, buscou-se os principais fatores que influenciam a ocorrência de um acidente, no entanto, entre todos os fatores que podem

ser causadores de acidentes, esta pesquisa limita-se àqueles que são gerados na etapa de projeto e no canteiro de obras.

Houve diferentes pontos de vista entre os comentários do grupo participante, principalmente por cada um cumprir funções diferentes no empreendimento. Entre todos os fatores relatados, os que mais sobressaíram e que puderam ser confirmados pela RSL são os seguintes:

- Ausência de noção de perigo e excesso de autoconfiança por parte dos trabalhadores do canteiro de obra vem sendo uma barreira difícil de mudar, pois na atualidade a única forma para lutar contra ela é com um monitoramento de segurança otimizado e com a conscientização através de reuniões periódicas.
- Outra barreira é a dificuldade em identificar perigos, pois os métodos tradicionais, usando modelos 2D não permitem a identificação de todos os riscos eminentes, portanto não é possível mitigá-los.

#### **4.6.3. Barreiras na produtividade**

Entender o gerenciamento da produtividade no estudo de caso permitiu identificar barreiras que causam entrave tanto no cuidado com a segurança como com o incremento da produtividade. Entre as barreiras encontradas pode-se mencionar:

- Gerenciar a produtividade e a segurança como processos separados vem sendo uma barreira da indústria da construção há muito tempo. Fazer mais em menor tempo permite negligenciar o cuidado com a segurança do trabalhador.
- Mudança do produto, por conseguinte, mudanças no processo construtivo. Essa é uma barreira que impede um planejamento detalhado, estimulando a improvisação, permitindo não identificar todos os perigos possíveis.

#### **4.6.4. Barreiras em BIM e na segurança do trabalhador**

- A ausência de procedimento para o uso das ferramentas BIM adquiridas para gerenciar a segurança do trabalhador foi uma barreira encontrada no estudo de caso, pois embora se tenha disponibilidade de tecnologias e ferramentas, como a modelagem 4D e o VANT, o modo de utilizá-las para obter o máximo de benefícios foi equivocado.

#### **4.6.5. Barreiras em BIM e na Produtividade**

- Como mencionado anteriormente, a ausência de procedimento para o uso das ferramentas BIM adquiridas também foi uma barreira para gerenciar a produtividade, pois o modelo 4D podia ser usado para planejar e controlar o avanço das atividades, da mesma forma o VANT, que teve o uso limitado de fotografar.

#### **4.6.6. Barreiras na segurança e na produtividade**

- A desorganização do espaço de trabalho é uma barreira que prejudica o gerenciamento eficaz tanto da segurança como da produtividade, dado que um ambiente ordenado permite um fluxo de trabalho eficaz e sem interrupções. Da mesma forma para a segurança, um ambiente organizado reduz os riscos de tropeçar em materiais perigosos.
- Outra barreira é a carência do conhecimento aprofundado na complexidade da edificação, visto que a representação gráfica tradicional em 2D dificulta a visualização do projeto em seus detalhes.
- Falta de treinamento nos processos de construção e seus riscos, também é uma barreira que está ligada à falta de experiência do trabalhador.

Segundo o Observatório Digital de Saúde e Segurança do Trabalho - OSST (SMARTLAB, 2017) a ocupação mais frequentemente citada nas notificações de acidentes de trabalho na indústria da construção nos últimos anos aponta o servente de obra em 6479 mil acidentes, no estado de São Paulo.

Visto que o servente participa de diversas tarefas em uma obra como a preparação do canteiro, da massa de concreto, e outras, e que na maioria das vezes o servente não tem nenhum tipo de preparo técnico. O aprendizado vem da experiência, sendo essa uma dificuldade para identificar situações perigosas e para conhecimento dos processos construtivos, pois não se pode depender só da experiência.

É possível que o servente ingresse no mercado sem nenhum tipo de preparo técnico. Nesse caso, ele aprenderá sua função à medida que trabalha e observa a atuação do pedreiro.

#### **4.6.7. Barreiras na implementação de BIM, segurança do trabalho e produtividade**

- A dificuldade para o monitoramento eficiente da segurança e da produtividade no canteiro de obra permite passar batido por atividades não seguras e comportamentos inseguros.

A 3D architectural rendering of a modern apartment building complex. The buildings are tall and rectangular, with many windows. In the foreground, there is a parking lot with several parking spaces marked. A road or driveway runs along the side of the buildings. The entire scene is rendered in a monochromatic orange and brown color scheme.

**CAPÍTULO V**

**PROPOSIÇÃO DAS  
DIRETRIZES**

## 5. PROPOSIÇÃO DAS DIRETRIZES

A RSL juntamente com o estudo de caso criou a possibilidade de propor diretrizes para implementação do BIM na segurança laboral em PMEs no Brasil. Para obter estas diretrizes primeiro foram observadas oportunidades presentes no caso de estudo.

### 5.1. OPORTUNIDADES OBSERVADAS NO ESTUDO DE CASO

No estudo de caso foram identificadas algumas oportunidades, que servem como potencialidades para a implementação do BIM na segurança do trabalhador, e um indutor para o cuidado com a segurança e a produtividade. Entre eles pode-se citar:

- Uso de ferramentas de planejamento para otimização da produtividade em obra: No estudo de caso foram adotadas algumas boas práticas da *Lean Construction*, trazendo como resultado um trabalho mais planejado, e com menos atrasos no período de execução das atividades;
- Equipe Colaborativa: Foi observado durante o tempo da pesquisa, a colaboração das áreas envolvidas com a segurança. Por exemplo, o mestre-de-obra participava das reuniões de segurança ativamente. Também se observou uma equipe de trabalho comunicativa;
- Uso de EPI: O empreendimento terceirizou todas as atividades de serviços, portanto o fornecimento dos EPIs estavam a cargo de terceiros, ainda assim observou-se os trabalhadores com os respectivos EPI durante as atividades;
- Cumprimento da normativa NR35 para queda de altura: A empresa responsável pelo empreendimento cumpriu com os requisitos mínimos da norma NR 35;
- Interesse da alta gerência pela implementação de BIM: Um dos principais potenciais deste empreendimento é que a empresa responsável tinha o interesse de começar com a implementação do BIM nas obras. Em vista que o diretor com a experiência que tinha em outros empreendimentos tinha observado os distintos benefícios que BIM oferecia nos empreendimentos.

- Existência de ferramentas para o monitoramento da segurança (VANTs): Como consequência do interesse da alta gerencia pela implementação de BIM, foram adquiridas algumas ferramentas, como o VANT.
- Visualização do modelo em 3D: Outra grande vantagem e oportunidade foi a visualização do modelo em 3D federado, mesclando todas as disciplinas: estrutura, arquitetura, instalações hidráulico-sanitárias e as instalações elétricas. O modelo foi empregado como verificador de interferências. Considerando que modelar as instalações elétricas não é uma prática comum, especificamente por dois motivos, primeiro pelo nível de dificuldade que este exige e segundo pela existência de poucos profissionais experientes na modelagem BIM desta área.

## **5.2. PASSOS DE ATIVIDADES BASEADAS NO USO BIM NA SEGURANÇA LABORAL**

Como base para as diretrizes, foi desenhado um passo a passo das atividades baseadas no uso da tecnologia BIM na segurança laboral, a partir das principais barreiras e potencialidades mencionadas no capítulo anterior. Este passo a passo foi aplicado para as atividades de trabalhos verticais, que apresentam alto risco de queda em altura.

A abordagem proposta para o planejamento e controle da segurança com BIM, consistiu nos passos apresentados na Figura 20.

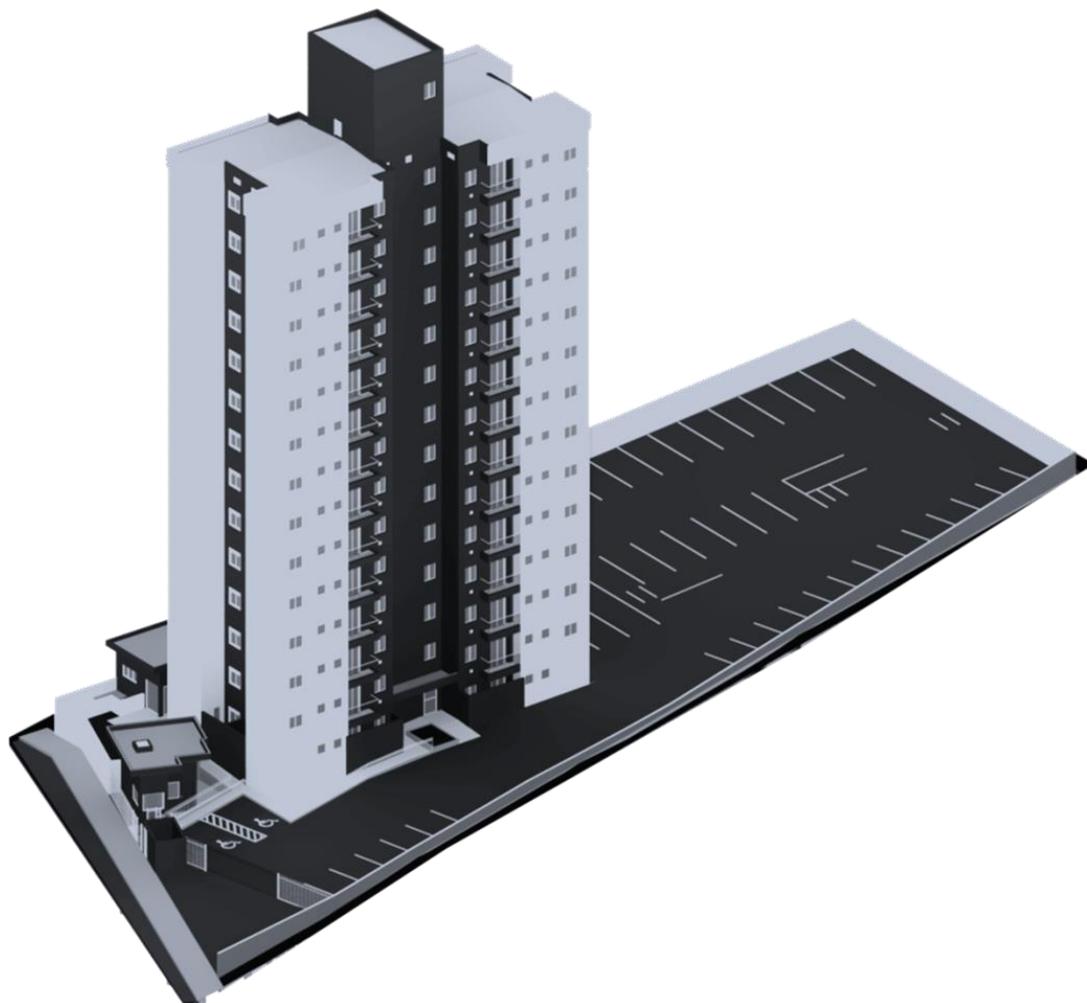
Figura 20. Primeiros passos adotados para o planejamento e controle da segurança com BIM



Fonte: Autoria própria.

### 5.2.1. Passo 1: Modelo 3D

A empresa responsável do empreendimento forneceu o modelo 3D em Revit 2018. O modelo compreendia as disciplinas de arquitetura, estrutura, elétrica e hidráulico-sanitárias da edificação, Figura 21.

**Figura 21. Modelo 3D em Revit 2018**

Fonte: fornecido pela empresa construtora.

### **5.2.2. Passo 2: Identificação de atividades**

Entre todas as atividades do empreendimento, as atividades verticais de revestimento da fachada foram identificadas como as mais arriscadas em comparação a outras atividades do projeto, pois estas apresentavam maior probabilidade de queda de altura.

Quanto ao revestimento da fachada, poucos dias antes do início dos trabalhos de acabamento ainda havia incertezas sobre qual método de aplicação de argamassa seria

utilizado, o método de argamassa projetada ou a chapada à mão. Cada método tem procedimentos de aplicação diferenciados.

Optou-se pela argamassa projetada em função da produtividade, devido à diminuição no tempo gasto para a conclusão dos serviços e menor número de profissionais envolvidos.

### **5.2.3. Passo 3: Planejamento da segurança segundo a norma regulamentadora NR-35.**

A segurança foi planejada em duas oportunidades, no começo da obra, com um planejamento de alto nível, e a outra, um planejamento mais detalhado uma semana antes da atividade da fachada começar. Este último planejamento foi feito em conjunto com o técnico de segurança, na qual foi analisada a norma NR35, que se trata dos requisitos mínimos para trabalhos em altura.

A NR 35 visa diminuir o número de acidentes com queda, para tal, exige que o empregador ofereça aos seus trabalhadores condições mínimas, tais como: treinamento e capacitação; equipamentos de proteção individual, acessórios e sistemas de ancoragem; equipe de emergência; desenvolvimento de planejamento para organização e execução das atividades.

Considerando que o empreendimento terceirizou todas as atividades da etapa da construção, a NR 35 com objetivo de evitar quedas de altura estabelece as seguintes responsabilidades aos empregadores:

- Garantir que o dimensionamento dos andaimes, parte de fixação na laje, seja realizado por um profissional legalmente habilitado;
- Garantir que os projetos de fabricação e montagem possuam Análise de Risco (AR);
- Garantir que os andaimes sejam identificados quanto a seus fabricantes e instruções;
- Assegurar que os trabalhadores sejam treinados para montagem e desmontagem dos andaimes, e para a operação e uso;
- Assegurar o uso obrigatório de EPIS (capacete, calçado de segurança, cinto de segurança tipo paraquedista duplo talabarte com abertura de 55 mm);

- Garantir que trabalhadores possuam um treinamento da NR 35, como também garantir aos trabalhadores informações atualizadas sobre riscos e medidas de controle;
- Assegurar que os andaimes possuam placas indicando a carga máxima aplicada;
- Assegurar a suspensão dos trabalhos em altura quando verificar situação ou condição de risco não prevista e que não possa ser eliminado;
- Garantir que o cinto de segurança possua trava quedas ligado ao cabo guia independente;
- Manter plataforma de proteção contra quedas de materiais até o término do revestimento;
- Garantir a verificação diária dos itens de segurança, quanto às condições de uso;
- Assegurar a organização e o arquivamento da documentação previstas pela NR 35.

Nesse sentido, para garantir a segurança e para maior praticidade nos trabalhos de revestimento da fachada, a empresa optou pela contratação de balancins elétricos. A Figura 22 mostra o tipo de balancim contratado junto com seus detalhes respectivos.

**Figura 22. Características do balancim elétrico**



**Caraterísticas:**

- Comprimento de 1,5 m a 8 m, variando a cada 0,5 m. Largura de 0,8 m;
- Cabo de aço de 8,5 mm passante disponível para qualquer altura;
- Fixações por ganchos, vigas, afastadores e contrapesos;
- Montagem sobre a laje ou sobre cavaletes metálicos;
- Capacidade de carga de 398 a 595 kg, de acordo com o tamanho da plataforma;
- Velocidade de trabalho da ordem de 10m; min. 220 V ou 380 V trifásico;

Fonte: Catalogo Técnico de URBE.

O uso do balancim elétrico, também conhecido como andaime suspenso motorizado, significa ganho de produtividade para a realização de serviços que exigem mais velocidade de movimentação. O balancim elétrico é um andaime suspenso por cabos de aço, que pode ser utilizado para reforma, pintura, lavagem, manutenção, instalação de tubulações, colocação de caixilhos e vidros, além de outros serviços em fachadas. Entre seus principais benefícios, estão:

- Aumento da produtividade e redução do prazo da obra;
- Alta capacidade de carga nas plataformas;
- Mobilidade, agilidade e segurança operacional;
- Comando simples de subida e descida;
- Auxilia o trabalho do operário com segurança;
- Atende todos os requisitos da NR-18;
- Sistema anti queda instantâneo;
- Instalação simples.

Por todas essas características do balancim elétrico, a empresa decidiu sua contratação. Nesse sentido, as medidas a contratar podiam variar de 1,5 a 8 m, para este caso particular e, considerando o comprimento das paredes, contrataram 5 balancins de diferentes medidas, a Figura 23 mostra os balancins com suas respectivas medidas.

Figura 23. Dimensão dos balancins elétricos



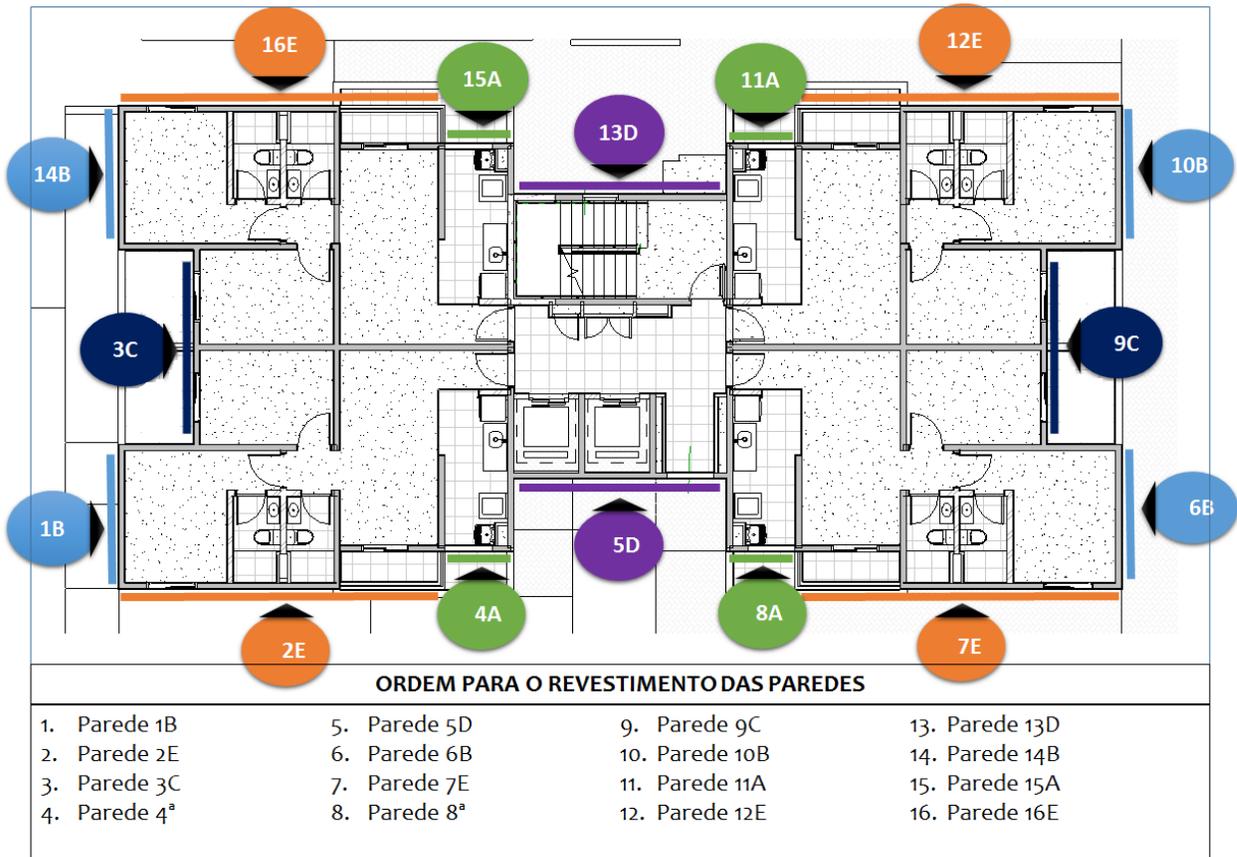
Fonte: Arquivo da Empresa em estudo.

#### 5.2.4. Passo 4: Planejamento do processo construtivo incluindo EPC

Com base no cronograma físico inicial e o modelo 3D, foram planejadas detalhadamente todas as atividades de fachada no MS Project, permitindo planejar também os EPC. Assim, esta etapa teve como resultado um fluxo de trabalho colaborativo entre a área produtiva (Gestor de obra e mestre) e a área responsável da segurança (Técnico de segurança), o que não é comum em construções tradicionais.

A localização dos balancins foi correspondente ao comprimento de cada parede, como mostra a Figura 24.

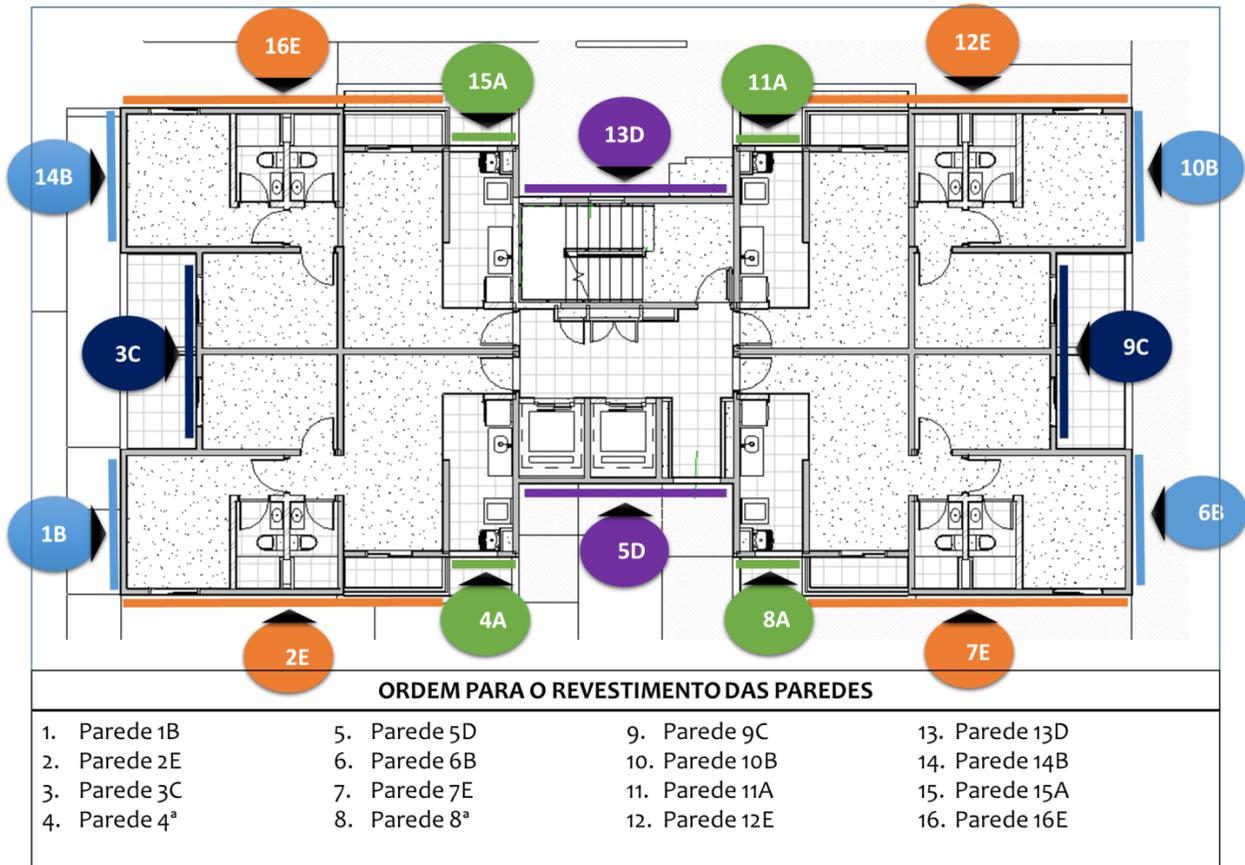
Figura 24. Localização dos balancins



Fonte: Autoria própria

Como a quantidade de balancins está limitada a 5 unidades, foram realizadas de 05 em 05 conforme se visualiza na Figura 25, na qual cada parede está codificada por uma letra e um número. O número é a ordem e a letra é o tipo de balancim, exemplo “16E”, trata-se da parede em posição 16 a ser construída em que será utilizado o balancim do tipo E.

Figura 25. Ordem das paredes para o revestimento da fachada



Fonte: Autoria própria.

#### 5.2.5. Passo 5: Modelagem 3D com EPC

No modelo BIM-3D da edificação foram inseridos os EPC contra quedas identificados no passo 3, no entanto, houve dificuldade para encontrar famílias de objetos de EPC adequadas e, para atender essa demanda, foi necessário modelar os componentes que não estavam disponíveis previamente.

Ao final, obteve-se como resultado um modelo 3D da edificação com o EPC integrado (balancins elétricos), como mostra a Figura 26, na mesma figura do lado direito mostra a imagem do prédio na etapa de execução.

**Figura 26. Modelo 3D com EPC à esquerda e foto tirada da realidade com EPC à direita, em destaque o EPC**

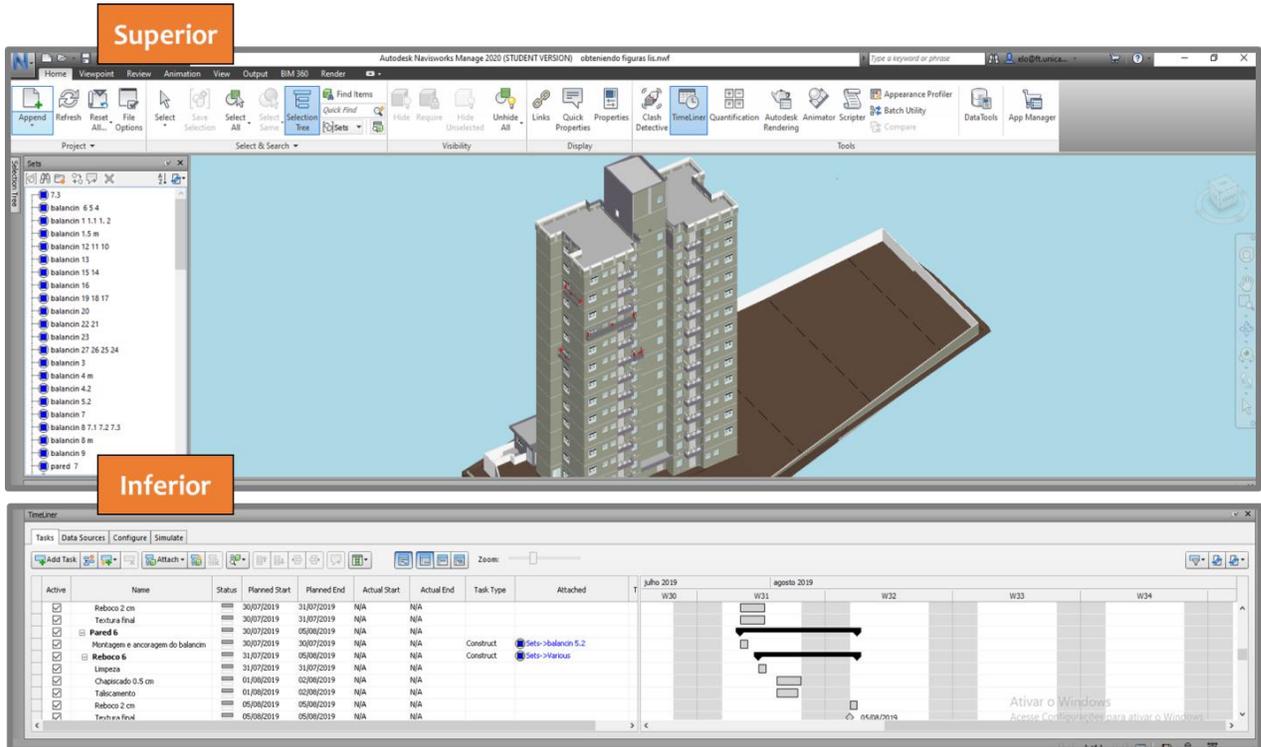


Fonte: Autoria própria

#### **5.2.6. Passo 6: Sequenciamento das atividades – Modelo 4D**

O modelo 3D desenvolvido no *software* Revit de Autodesk e o fluxo de trabalho em MS-Project foram exportados para o *software* Navisworks também de Autodesk, para desenvolver um modelo 4D (3D + Tempo). O modelo 4D, como a Figura 27 mostra na tela superior, permite a visualização 4D da atividade de fachada conforme é construído e, na tela inferior, o modelo sequenciando todas as atividades programadas.

Figura 27. Visualização 4D da fachada e as atividades programadas



Fonte: Extraído do *software* Navisworks.

O sequenciamento das atividades foi feito em conjunto com o mestre-de-obras e o gestor da obra, a Figura 28 mostra a sequência do processo construtivo, começando pela montagem e ancoragem do balancim elétrico, a movimentação do balancim foi de baixo para cima. Logo da montagem se começou com as atividades da parede propriamente dita. O procedimento começou pela limpeza, logo o chapiscado de meio cm, seguido pelo taliscamento, reboco de 2 cm e por último a textura final branca e cinza, respectivamente.

No apêndice A e B se visualiza o diagrama de Gantt da atividade de Reboco, como a atividade é repetitiva para todas as paredes, só se apresenta a primeira (parede 1B) e a última parede (parede 14B).

**Figura 28. Sequenciamento das atividades para o revestimento da fachada**

Active	Name	Status	Planned Start	Planned End
<input checked="" type="checkbox"/>	Cob Reservatorio		23/07/2019	24/07/2019
<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Fachada</b>		24/07/2019	22/08/2019
<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Pared 1</b>		24/07/2019	29/07/2019
<input checked="" type="checkbox"/>	Montagem e ancoragem do balancim		24/07/2019	24/07/2019
<input checked="" type="checkbox"/>	<b>REBOCO 1</b>		25/07/2019	29/07/2019
<input checked="" type="checkbox"/>	Limpeza		25/07/2019	25/07/2019
<input checked="" type="checkbox"/>	Chapiscado 0.5 cm		26/07/2019	26/07/2019
<input checked="" type="checkbox"/>	Taliscamento		26/07/2019	26/07/2019
<input checked="" type="checkbox"/>	Reboco 2 cm		29/07/2019	29/07/2019
<input checked="" type="checkbox"/>	Textura final		29/07/2019	29/07/2019
<input checked="" type="checkbox"/>	<b>Pared 2</b>		24/07/2019	29/07/2019
<input checked="" type="checkbox"/>	Montagem e ancoragem do balancim		24/07/2019	24/07/2019
<input checked="" type="checkbox"/>	<b>REBOCO 2</b>		25/07/2019	29/07/2019
<input checked="" type="checkbox"/>	Limpeza		25/07/2019	25/07/2019
<input checked="" type="checkbox"/>	Chapiscado 0.5 cm		26/07/2019	26/07/2019
<input checked="" type="checkbox"/>	Taliscamento		26/07/2019	26/07/2019
<input checked="" type="checkbox"/>	Reboco 2 cm		29/07/2019	29/07/2019
<input checked="" type="checkbox"/>	Textura final		29/07/2019	29/07/2019

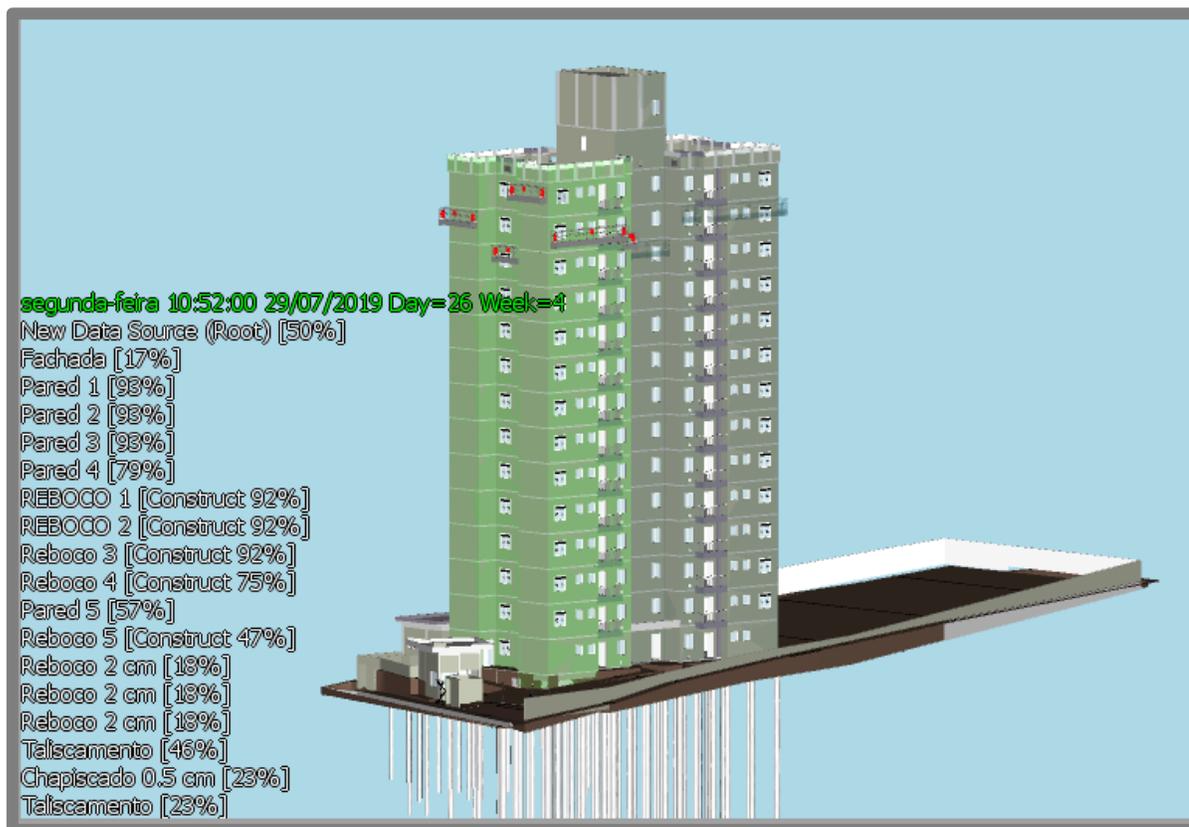
Fonte: Extraído do Navisworks.

### 5.2.7. Passo 7: Controle do avanço das atividades

Com o modelo 4D desenvolvido no software Navisworks é possível ter um controle visual do avanço das atividades em tempo real, possibilitando um maior entendimento pelos envolvidos.

A Figura 29 apresenta a simulação do avanço do projeto. A cor cinza apresenta o que ainda não está construído e a cor verde clara o que está sendo construído. Do lado direito da Figura 29 também se visualiza o percentual de avanço das atividades com a data respectiva, o que possibilita ao gestor de obra a fazer um controle do avanço da obra em tempo real.

Figura 29. Simulação do Avanço da obra



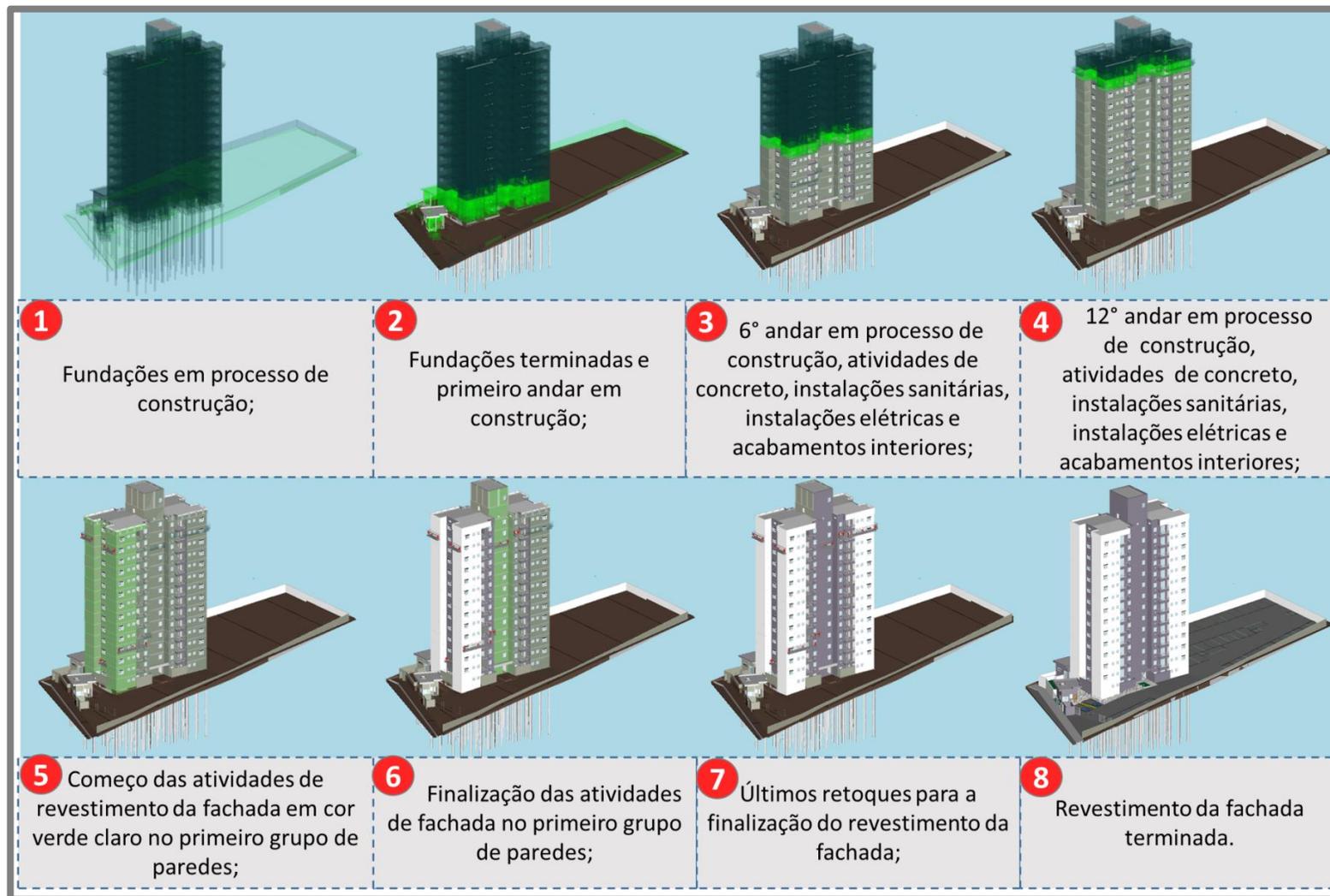
Fonte: Extraído do Navisworks.

A Figura 30 mostra uma simulação do processo construtivo, com enfoque no revestimento da fachada. A Figura 30.1 mostra as etapas iniciais com a construção das fundações do prédio, continuando apresenta-se a construção do prédio a partir do térreo até o 13º andar, como é observado na Figura 30.2-3-4. A Figura 24.5 mostra o começo da construção do revestimento da fachada, previamente incluído os andaimes. A Figura 24.8 mostra o prédio com todas as atividades finalizadas.

Também é possível visualizar a simulação 4D, assistindo um vídeo acessando o link: <https://youtu.be/fqgAoqmmoPo>



Figura 30. Simulação 4D do processo construtivo e do avanço da obra



Fonte: Extraído do Navisworks.

### 5.3. MONITORAMENTO DA SEGURANÇA E DA PRODUTIVIDADE

O monitoramento foi feito com o uso de VANTs, para tal, foram planejadas duas visitas no canteiro com o propósito de aquisição de dados fotográficos. Para cumprir este objetivo, foram definidas 3 etapas: Pré-Captura, Captura e Pós-Captura, Na Figura 31 especifica se as atividades de cada etapa.

**Figura 31. Etapas para o monitoramento da segurança com VANT**

<b>Pré-Captura:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definição do trajeto do voo;</li> <li>• Definição da distância para a captura das imagens;</li> </ul>
<b>Captura:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificação da bateria e o cartão de memória SD onde será armazenada a informação;</li> <li>• Ajuste de tempo entre tomadas fotográficas;</li> <li>• Ajuste de ângulo vertical e horizontal do equipamento durante o voo;</li> <li>• Ajuste de câmara no suporte aéreo;</li> <li>• Montagem e ajuste da câmera no suporte aéreo;</li> <li>• Sincronização do GPS (<i>Global Positioning System</i>);</li> <li>• Verificação do controle manual;</li> <li>• Verificação de interferências e local de decolagem;</li> </ul>
<b>Pós-Captura:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transformação das imagens em nuvem de pontos com software Bentley;</li> <li>• Importação para o ambiente BIM com software RECAP (Autodesk);</li> <li>• Montagem da informação no modelo 4D em Navisworks;</li> <li>• Análises da conformidade dos itens de segurança;</li> </ul>

Fonte: Autoria própria.

#### 5.3.1. Pré-Captura:

Trata-se do planejamento do processo da captura de imagens. Nesta etapa foi definido o trajeto do voo, optando-se por voos circulares e por voos com formato longitudinal e transversal com eixo a 90°.

Também foi definida a distância para a captura das imagens de 50 m a partir do nível do terreno.

### 5.3.2. Captura:

Dentre as informações registradas durante o voo, por meio do App DJI FC220, destacam-se as mostradas na Tabela 1.

**Tabela 1. Informações do voo**

Data	Quant. de Fotos	Cobertura do solo (m2)	Resolução média do solo	Escala	Modelo de Câmera	Duração dos voos (min)
27/07/2019, 15:57	248	88205	24,84647 mm / pixel	1:75	DJI FC220	12 min 1s
08/08/2019 10:45	345	148243.5	15.69831 mm/pixel	1:47	DJI FC220	40 min 6s

Fonte: Extraído de Bentley.

### 5.3.3. Pós-Captura:

Após a aquisição das imagens, estas foram levadas ao laboratório para o respectivo processamento de dados. Esta etapa foi definida pelas seguintes atividades:

#### 5.3.3.1. De imagens à nuvem de pontos no software ContextCapture da Bentley

O processamento da informação do primeiro voo do dia 27/07/2019 durou 3h35', e gerou um arquivo no formato 3DMxh para ser utilizado em aplicativos da plataforma Bentley. A recopilação do segundo voo do dia 08/08/2019 durou 11'11".

Foi dividida a produção da nuvem de pontos em 7 partes, para otimizar o uso da memória RAM de 32G do notebook usado neste processo. As 7 partes juntas totalizaram 6,72GB. As características do notebook usado foram: notebook Avell, com processador intel® CORE™ i7-7700HQ, com CPU @ 2,80Ghz, com memória RAM de 32GB e placa gráfica NVIDIA GeForce GTX 1070, Windows 10. A Tabela 2 fornece mais informações sobre a qualidade das capturas obtidas pelo processamento da informação no software ContextCapture da Bentley.

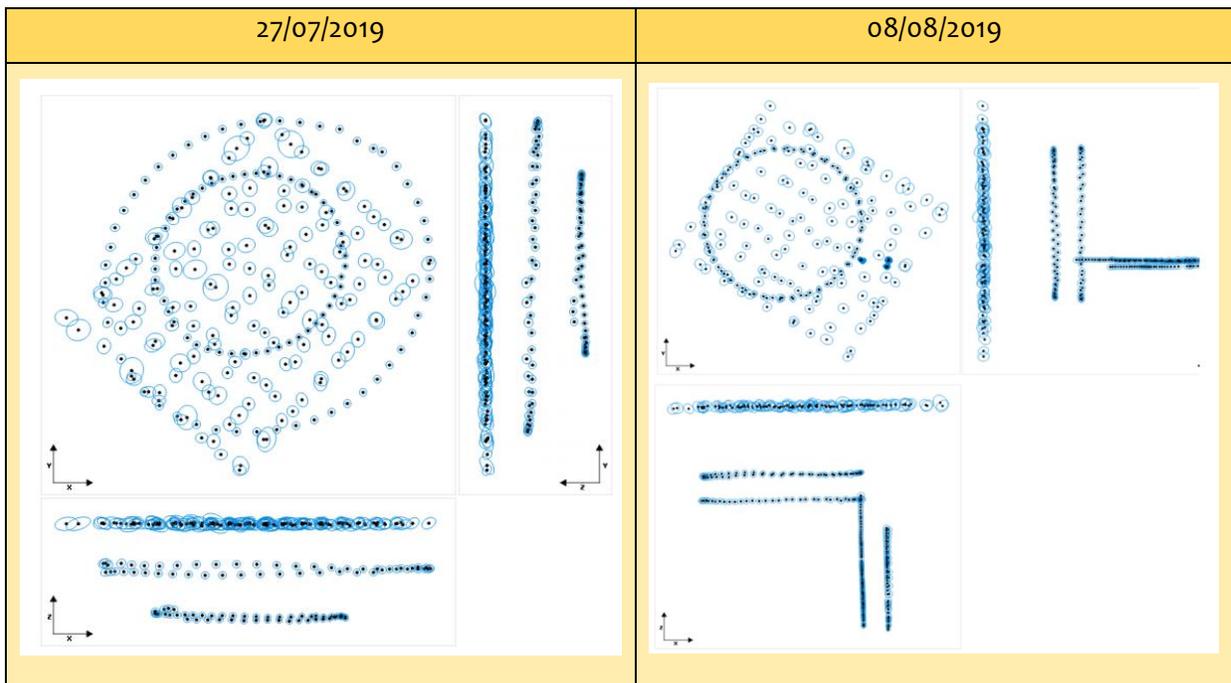
**Tabela 2. Visão geral da qualidade da captura de imagens**

Conjunto de dados	Postos-chaves	Pontos de empate	Erro de projeção (RMS)	Posicionamento / dimensionamento
248 de 248 fotos calibradas (100%)	Mediana de 43481 postos-chave por imagem	51307 pontos, com mediana de 753 pontos por foto.	0,74 pixels	Georreferenciado usando metadados de fotos, não usando ponto de controle.
342 of 345 fotos calibradas (99%)	Mediana de 40210 postos-chave por imagem	76130 pontos, com mediana de 1167 pontos por foto.	0.73 pixels	

Fonte: Extraído de Bentley

#### ▪ Incertezas da posição da foto

Incertezas da posição: vista superior (plano XY), vista lateral (plano ZY) e vista frontal (plano XZ) das posições computadas da foto (pontos pretos). Elipses azuis indicam a incerteza de posição, dimensionada para facilitar a leitura. Os valores mínimo e máximo, bem como o valor médio, podem ser encontrados no Gráfico 1 abaixo.

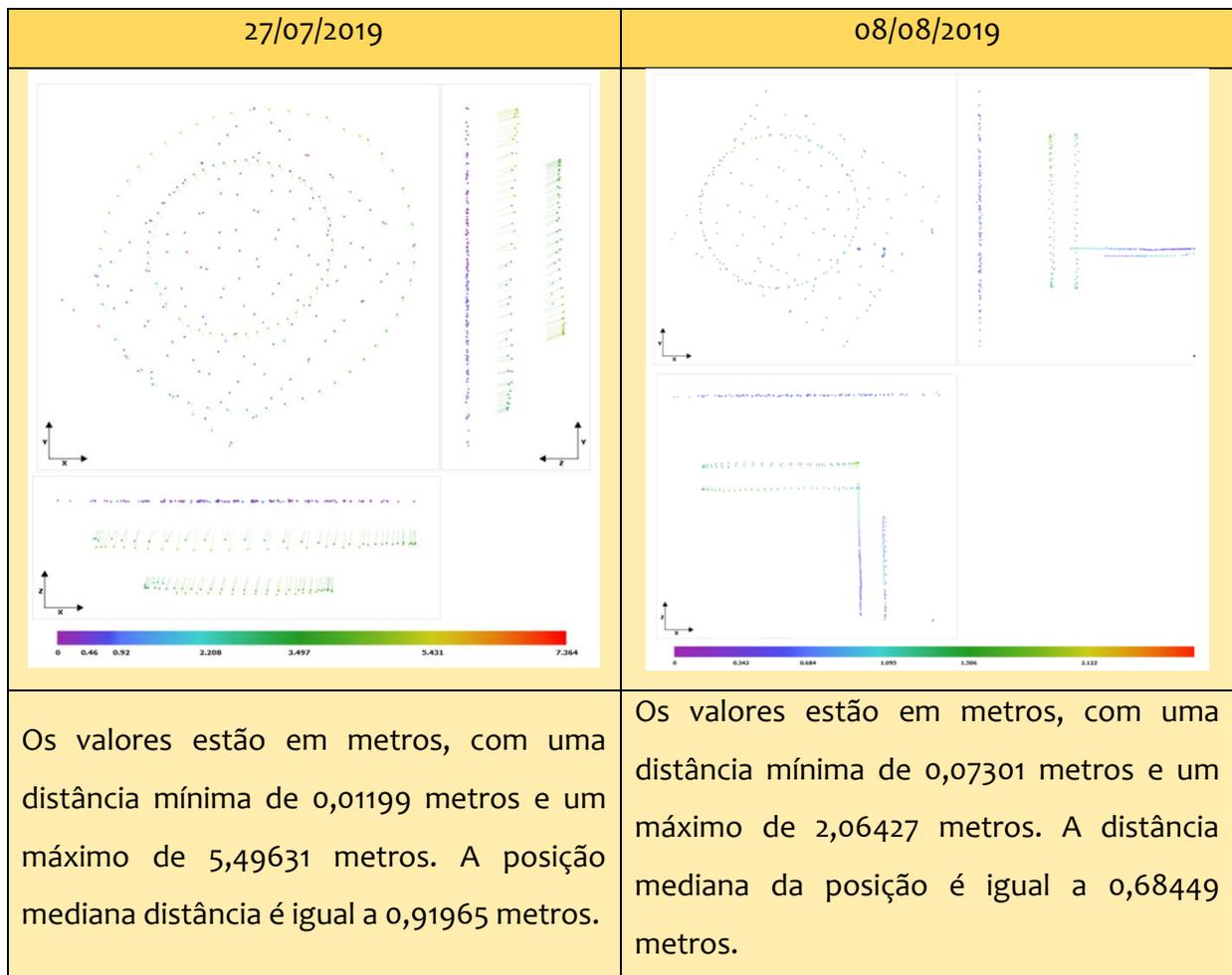
**Gráfico 1. Incertezas no processamento das imagens capturadas**

Fonte: Extraído de Bentley.

- **Distância para posições de entrada**

Distância da posição até os metadados: vista superior (plano XY), vista lateral (plano ZY) e vista frontal (plano XZ), com setas indicando o set entre as posições de metadados e as posições de foto computadas; todas as setas começam nas posições e pontos de metadados em direção às posições calculadas. Os pontos roxos indicam fotos não calibradas que possuem metadados. Pontos cor de rosa indicam calibração de fotos que não possuem metadados (Gráfico 2).

**Gráfico 2. Distância para posições de entrada**



Fonte: Extraído de Bentley.

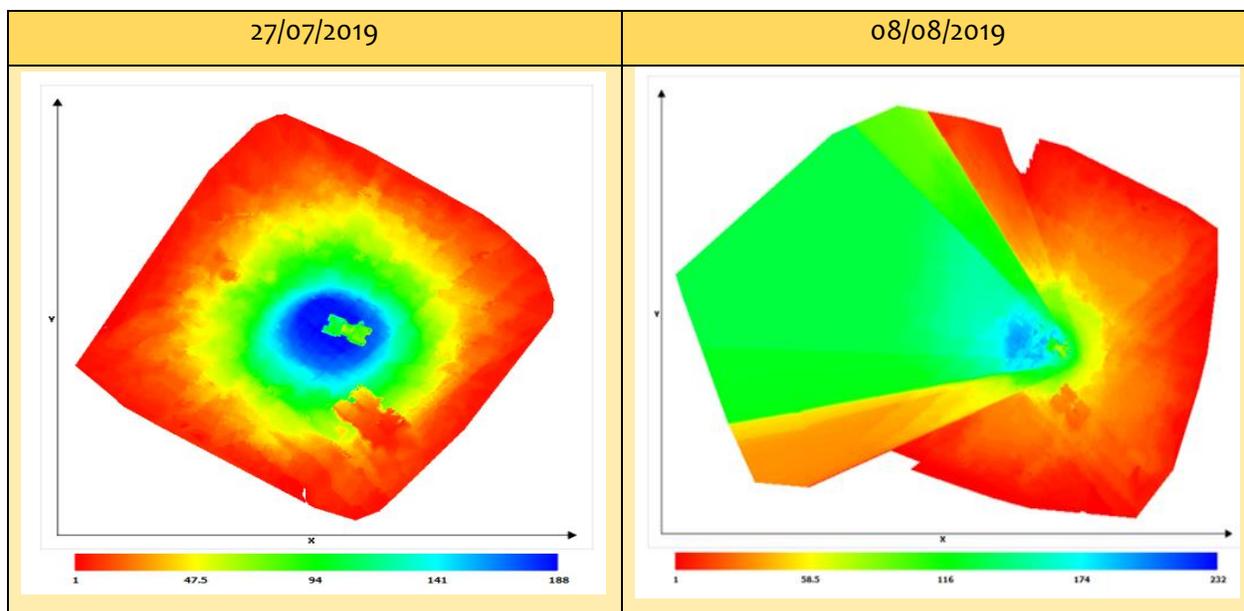
- 

-

- **Cobertura de cena**

O Gráfico 3 mostra o número de fotos que veem a cena, exibindo a cena na parte superior (plano XY), com cores indicando o número de fotos que potencialmente veem cada área.

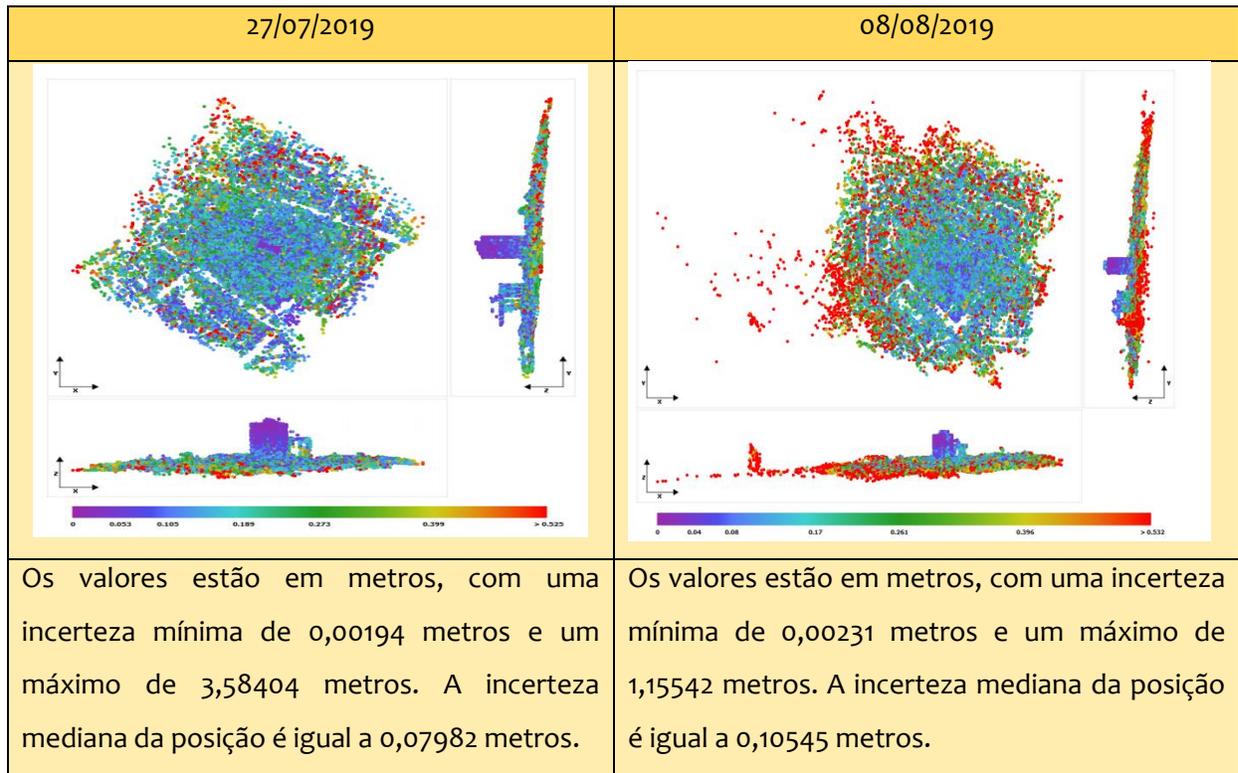
**Gráfico 3. Cobertura de cena**



Fonte: Extraído de Bentley.

- **Incertezas da posição do ponto de amarração**

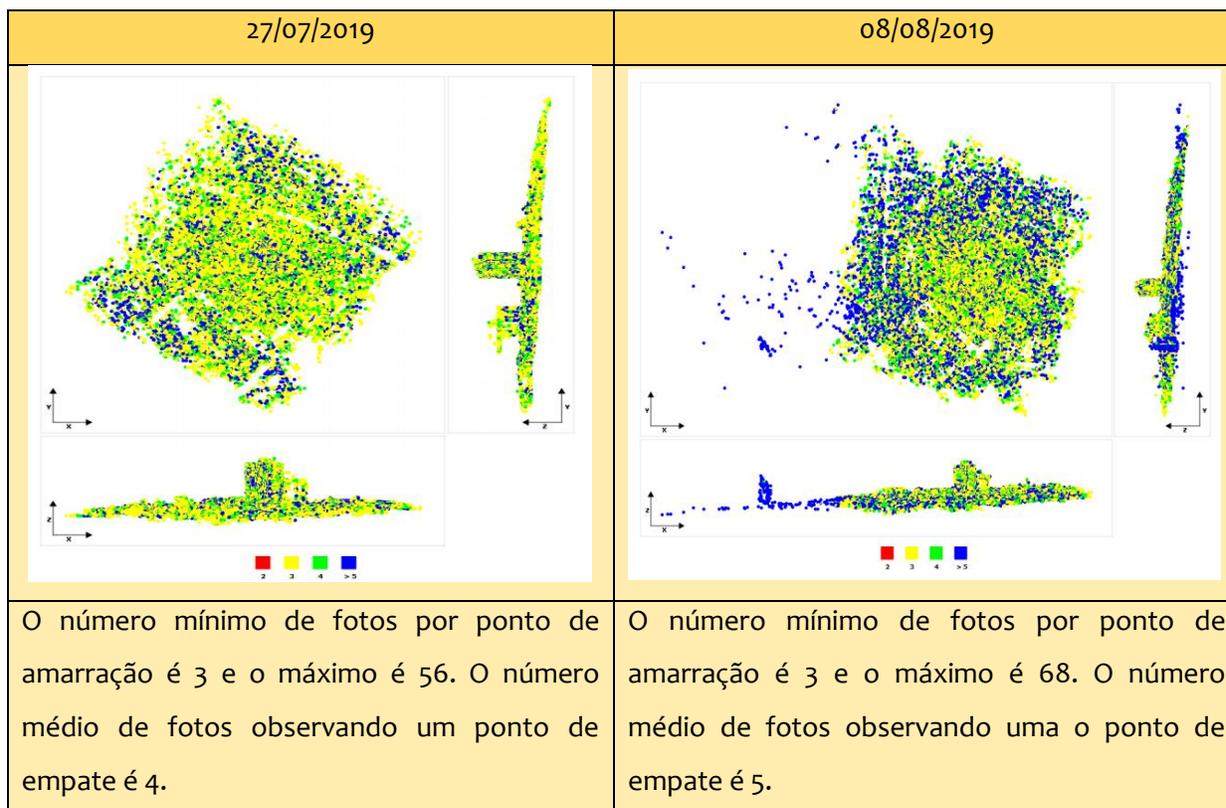
O Gráfico 4 mostra as incertezas da posição: exibição de vista superior (plano XY), vista lateral (plano ZY) e vista frontal (plano XZ) de todos os pontos de amarração, com cores representando incerteza no indivíduo posição do ponto.

**Gráfico 4. Incertezas da posição do ponto de amarração**

Fonte: Extraído de Bentley.

- **Número de fotos observando os pontos de amarração**

Número de observações por ponto de amarração: exibições da vista superior (plano XY), vista lateral (plano ZY) e vista frontal (plano XZ) de todos os pontos de amarração, com cores representando o número de fotos que foram usadas para definir cada ponto (Gráfico 5).

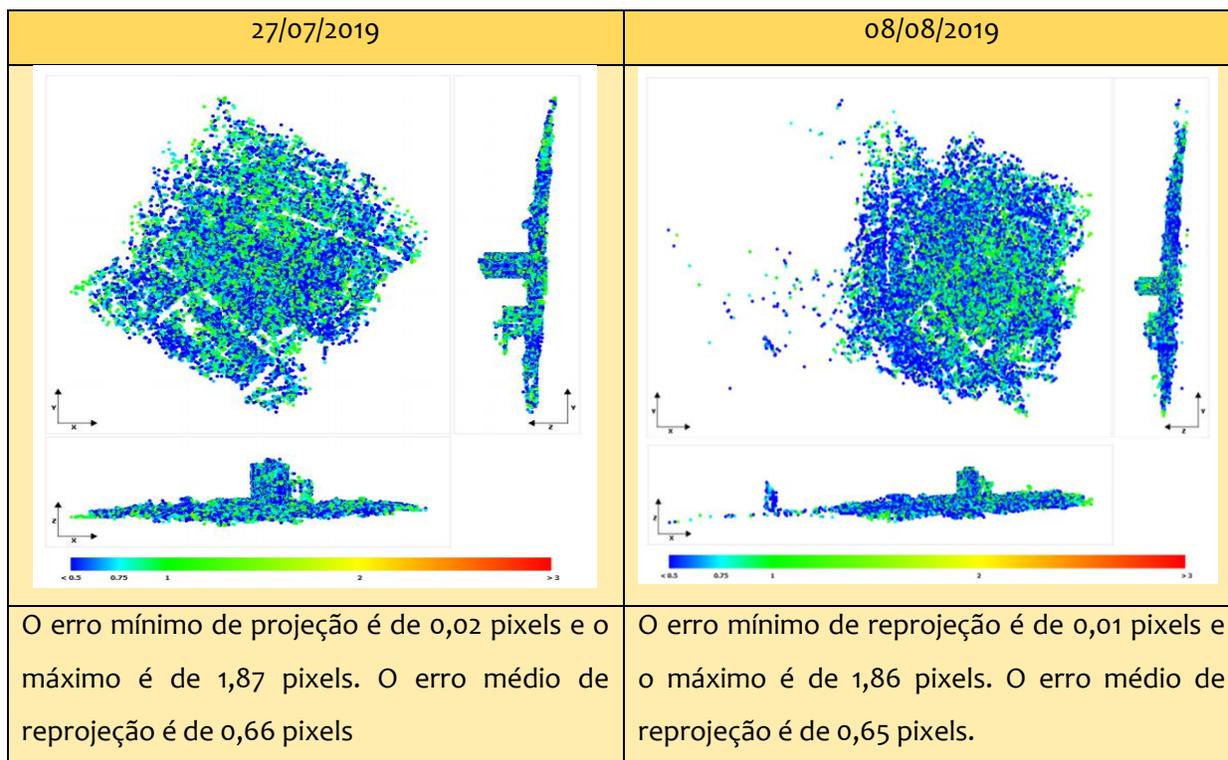
**Gráfico 5. Número de fotos observando os pontos de amarração**

Fonte: Extraído de Bentley.

#### ▪ Erro de reprojeção

Erros de reprojeção por ponto de ligação: exibição de vista superior (plano XY) vista lateral (plano ZY) e vista frontal (plano XZ) de todos os pontos de ligação, com cores representando o erro de reprojeção em pixels. O erro mínimo de reprojeção é de 0,02 pixels e o máximo é de 1,87 pixels. O erro médio de reprojeção é de 0,66 pixels (Gráfico 6).

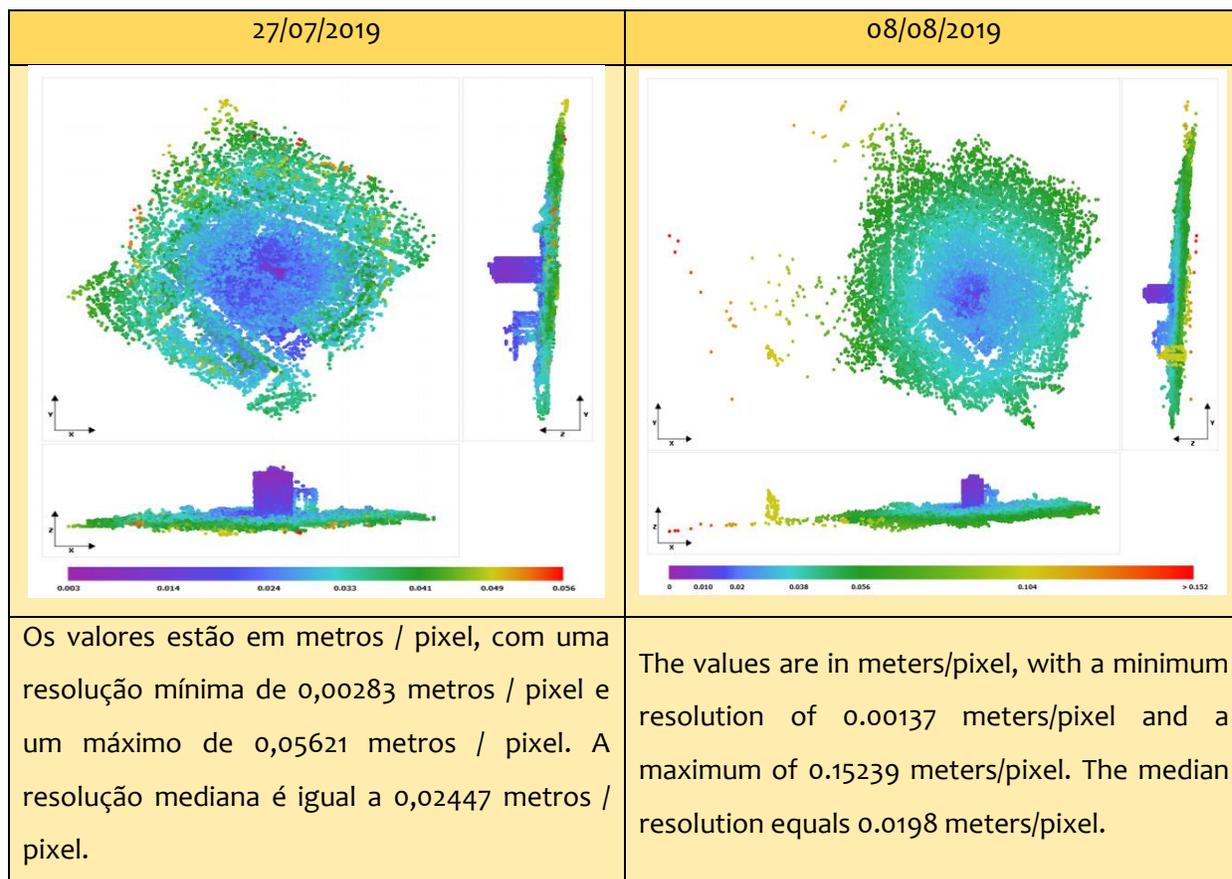
Gráfico 6. Erro de reprojeção



Fonte: Extraído de Bentley.

#### ▪ Resolução do ponto de amarração

O Gráfico 7, mostra na cor azul os lugares onde foi possível capturar maior quantidade de imagens. Identificando assim que a captura de imagens onde esta localizada a torre foi maior, portanto o modelo 3D teve maior precisão. A tabela mostra também que nos arredores da torre a quantidade de imagens foi menor por tanto o modelo 3D dessa zona teve menor precisão.

**Gráfico 7. Resolução do ponto de amarração**

Fonte: Extraído de Bentley.

### 5.3.3.2. Modelagem da Realidade

A partir das fotos foi gerado um modelo denso de superfície, utilizando o *software* ContextCapture (Figura 32). Este *software* é utilizado para gerar modelos em 3D altamente detalhados da realidade, tendo como um dos objetivos fornecer um contexto real e preciso para decisões de projeto, construção e operação.

**Figura 32. Nuvem de Pontos**

Fonte: Extraído do *software* Context Capture.

#### 5.3.3.3. Montagem da informação no modelo 4D

Em vista que o modelo virtual 4D do prédio em estudo estava no *software* Navisworks, de Autodesk, foi utilizado o *software* RECAP para exportar a informação do modelo 3D, do ContextCapture da Bentley, para um arquivo compatível com Autodesk. Isso foi realizado com o objetivo de ter um modelo integrador do padrão virtual e da realidade, que foi utilizado para conformidade e controle do avanço do trabalho (Figura 33).

**Figura 33. Descrição da integração no modelo BIM 4D**

Fonte: Autoria própria.

A Figura 34 mostra a modelagem que integra a informação virtual e real, o prédio é parte da modelagem 4D e o contorno é parte da modelagem 3D da realidade.

**Figura 34. Integração de dados da nuvem e da simulação 4D**

Fonte: Autoria própria

- **Conformidade dos Itens de Segurança**

Para a atividade de reboco da fachada, foi possível identificar e registrar situações perigosas e situações produtivas através de imagens capturadas com VANT, este grupo de capturas podem se observar no link: <https://youtu.be/qhATwollgrE>



Na Figura 35, com a VANT foi possível capturar imagens onde é possível ver um trabalhador na cobertura do último andar do prédio, com o cinto não fixado na linha de vida. Tal fato chama atenção para a ineficácia do monitoramento e verificação por parte do uso da inspeção tradicional que não permite registrar situações perigosas com eficiência, motivo para ressaltar a necessidade de novas tecnologias que colabore com a detecção de atos e condições inseguras que possam vir a provocar acidentes.

**Figura 35. Trabalhador com o cinto não fixado na linha de vida**



Fonte: Autoria própria

Por outro lado, também foi possível inspecionar trabalhos, verificando a qualidade e produtividade, neste caso como se mostra na Figura 36, referente ao revestimento da fachada observa-se que atividade vem se realizando de forma satisfatória.

**Figura 36. Inspeção de trabalhos de revestimento na fachada**

Fonte: Autoria própria

#### 5.4. DIRETRIZES

Diretrizes são utilizadas aqui no sentido de instruções ou indicações para se estabelecer um plano, uma ação, ou no caso, a implementação do BIM na segurança do trabalho no Brasil.

Analisando as barreiras da literatura e do caso de estudo, e uma previa comparação, foram definidas diretrizes para se ultrapassar cada barreira evitando grandes dificuldades, essas diretrizes foram definidas em base ao passo a passo criado para a implementação de BIM na segurança laboral.

As diretrizes são orientações para serem observadas antes de começar a implementação da metodologia BIM. Elas foram pensadas fundamentalmente para PMEs de

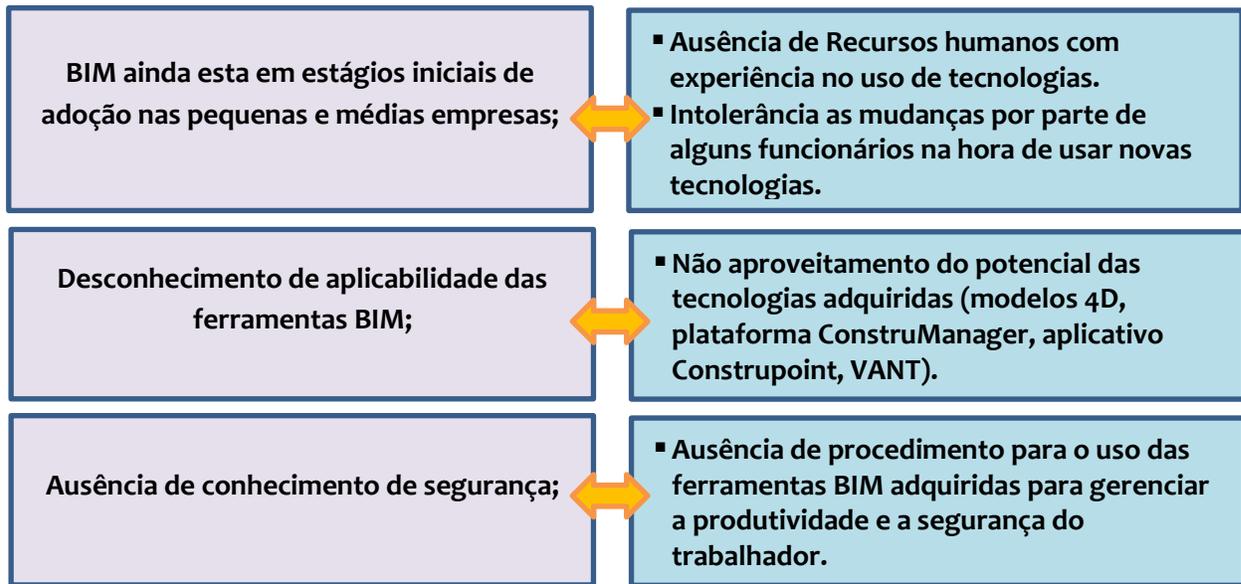
engenharia no Brasil, que terão menores investimentos, mas que podem sim se beneficiar do BIM. São observações para não cair nas mesmas limitações do caso de estudo observado.

As empresas de grande porte no foram consideradas pelo fato de ter no caso de estudo uma empresa com características similares a empresas de mediano e pequeno porte, e portanto ter focado as soluções para este tipo de empresas.

A seguir se apresentam as Diretrizes propostas. Inicialmente se faz um agrupamento das barreiras da literatura e do caso do estudo com relação as suas semelhanças, seguindo com a recomendação de diretriz.



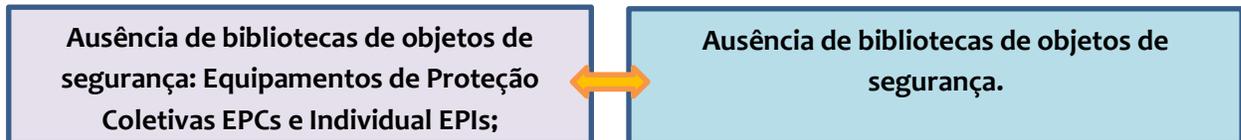
**5.4.1. Investir no treinamento de equipe de trabalho nas diferentes aplicações do uso e dos benefícios de BIM como um todo. Assim como também treinamento em ferramentas para uso práticas.**



Embora a empresa tenha invertido em treinamento e capacitação da equipe de trabalho em temas relacionados ao BIM, é preciso fazer uma capacitação mais especifica em diferentes aplicações e softwares relacionados ao BIM.

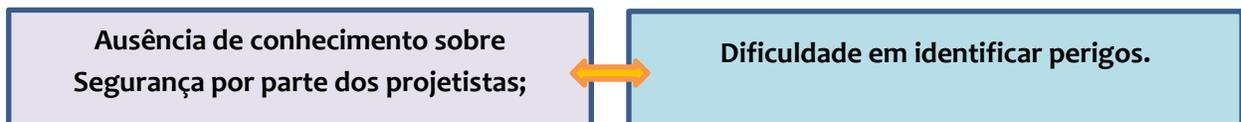
Em vista que BIM na seguridade laboral trata-se basicamente de cuidar pessoas que trabalham no canteiro. As capacitações não somente tem se dirigir ao gestor de obra, mas sim, para a equipe todo, considerando os mestres de obra e trabalhadores de canteiro.

**5.4.2. Padronizar e criar uma biblioteca com objetos que possam ser usados para os diferentes empreendimentos que a empresa realize;**



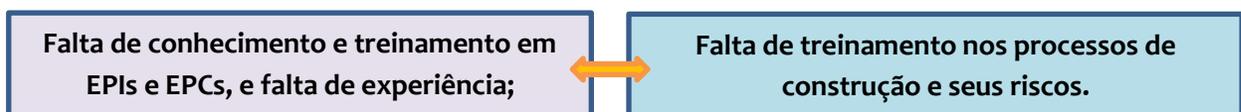
Especificamente objetos como andaimes, torres grua, ascensores e plataformas para evitar riscos com queda de objetos.

**5.4.3. Criar um ambiente colaborativo, com reuniões que facilitem a integração da equipe do projeto e da equipe de canteiro;**



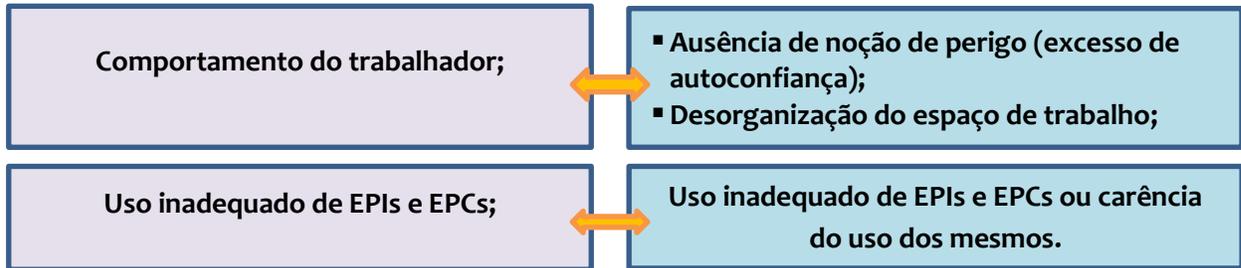
Embora empreiteiros tem se esforçado para criar um ambiente colaborativo com reuniões, estas reuniões tem que continuar se fazendo e com temas bem específicos na identificação de riscos em projeto e em canteiro.

**5.4.4. Usar a recompilação dos recursos visuais para o treinamento da segurança, selecionando exemplos de atos e condições inseguras registrados no canteiro de obra;**



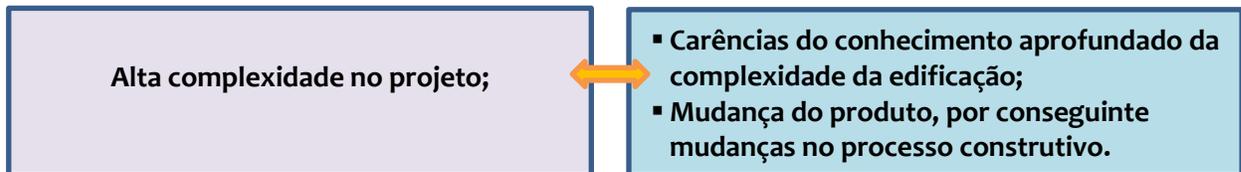
O uso de imagens reais de incidentes e acidentes que aconteceram no projeto ou em projetos similares tem um maior impacto maior na capacitação de segurança para trabalhadores de canteiro.

**5.4.5. Comunicar com transparência os incidentes de trabalho, e usa-los como exemplos durante as reuniões de segurança, propondo soluções com medidas corretivas e preventivas;**



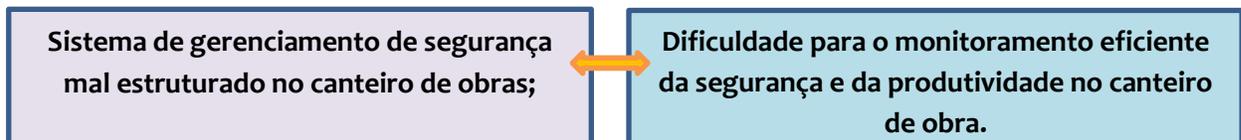
Em muitas situações é preferível comunicar transparentemente os incidentes de trabalho, pois eles ajudam aos trabalhadores a tomar consciências dos seus comportamentos, corrigindo processos e melhorando a produtividade e segurança do trabalhador.

**5.4.6. Aproveitar o uso da visualização 4D do projeto, para conhecer os espaços interiores, tomar decisões antecipadas e prever situações de perigo segundo os processos construtivos definidos;**



Com os modelos 4D, é possível ter uma visualização do projeto, ajudando na toma de decisão antecipada antes diferentes perigos.

**5.4.7. Definir indicadores de segurança para medir a efetividade da gestão da segurança particularmente para cada projeto, assim também gerar registros das não conformidades e boas práticas observadas, por meio de relatórios de inspeção;**



Os indicadores de segurança de LEAN podem ser uma ótima ferramenta para medir a efetividade da gestão, e se fosse necessário tomar decisões apropriadas com antecedência.

**5.4.8. Intensificar o uso da visualização 4D e a captura de imagens com VANTs durante o processo de construção;**

**Dificuldade para o monitoramento eficiente da segurança e da produtividade no canteiro de obra.**

Na atualidade estas novas tecnologia tem demonstrado ser eficiente para o monitoramento de atividades de construção em comparação a uso da inspeção por parte de um engenheiro de segurança, como se tem explicado no passo de atividades apresentadas nesta pesquisa (Item 5.2).



CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES

## 6. CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta as conclusões e recomendações para futuros trabalhos, destacando-se as contribuições da visualização 4D e de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) como ferramentas de suporte no processo de planejamento e controle de segurança laboral.

Primeiro, apresenta-se um breve resumo com as contribuições, e a seguir as sugestões para pesquisas futuras.

### 6.1. Resumo e contribuições

O processo para implementação de BIM é complexo. Sendo assim, sua implementação no tocante à segurança laboral também é, uma vez que está em estágios iniciais de implantação em PMEs no Brasil.

Dessa forma, esse seria um dos principais motivos para que a integração da gestão da segurança com as novas tecnologias de gestão presentes na literatura não seja concretizada. Nesse sentido, autores afirmam que entre as tecnologias BIM que auxiliam essa integração estaria a visualização 4D (3D + tempo).

Com a visualização 4D do projeto é possível identificar riscos de forma antecipada. Com esse enfoque, o objetivo geral desta dissertação foi desenvolver um conjunto de diretrizes, visando a melhor integração do gerenciamento de segurança ocupacional na fase de desenvolvimento e na fase de execução do projeto, usando a tecnologia BIM.

Para alcançar esse objetivo, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) avaliando o estado da arte da integração da gestão de segurança e as novas Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs), especialmente BIM.

Na RSL foram selecionados e analisados 97 estudos em um intervalo de tempo de 2007 a 2019. A amostra analisada constatou um crescimento no número de publicações a partir do ano 2011 e os dados endossam a previsão de que nos próximos anos a frequência de estudos continue em ascensão, intensificando o interesse de pesquisa em BIM e segurança do trabalhador.

Este estudo traçou um panorama mundial das pesquisas com enfoque em BIM e segurança no trabalho, sendo possível identificar 4 estudos na América Latina, gerando atenção para futuras pesquisas nesta área, principalmente porque a atividade da construção civil brasileira foi responsável por 97 mil acidentes no período de 2012 e 2017, sendo um número grande quando comparado à outras indústrias.

A contribuição principal da RSL foi sintetizar os argumentos teóricos, em 15 categorias: (1) Identificação de riscos, (2) *Prevention through Design (PtD)/Design for Safety (DfS)*, (3) verificação de regras, (4) quedas, (5) espaços de trabalho, (6) estruturas temporais, (7) produtividade, (8) maquinários, (9) fatores de risco, (10) reutilização do conhecimento de risco, (11) comportamentos inseguros, (12) uso de equipamento de proteção individual (EPI), (13) monitoramento de segurança, (14) capacitação e (15) espaços confinados. Ademais, estabeleceu-se três abordagens principais para as 15 categorias, sendo elas: as principais problemáticas, as evidências de tecnologias associadas à BIM e, as principais pesquisas futuras.

Foi possível a identificação de tecnologias como verificação automática de regras, localização em tempo real, incorporação de medidas de segurança na simulação 4D, utilização de tecnologias de monitoramento e entre outras. Assim, constatou-se que BIM tem um grande potencial de aplicação para a segurança do trabalho. É necessário, porém, fazer a ressalva de que alguns autores, porém, apontam para a necessidade de aplicação das tecnologias em estudos de caso para validar seu uso e a eficácia.

Evidenciou-se a existência de ligação entre segurança do trabalhador e a produtividade na execução da obra, demonstrando que um ambiente seguro tem influência direta no desempenho do trabalhador.

Claramente, tal área de pesquisa encontra-se em ascensão, o que garante ênfases no uso integrado do BIM e *Lean Construction* como um grande potencial de aplicação para a segurança do trabalho.

No entanto, também se identificou que ainda é necessário considerar a ampliação de pesquisas aplicadas e estudos de caso para validar o mencionado vínculo.

Algumas das tecnologias BIM para integrar a segurança laboral e a produtividade identificadas foram: ALICE, utilizando o modelo BIM e inteligência artificial para gerar milhões de soluções e variações de sequências construtivas, informando o melhor planejamento em tempo real, reduzindo desperdícios e acidentes de trabalho. Assim também, tecnologias como *Sistema Inteligente de Produtividade e Segurança (IPASS)*, Turba BIM e *Last Planner System (LPS)*.

A principal contribuição foi que, através do estudo de caso real, foram identificadas 12 barreiras no processo de implementação do BIM, do cuidado da segurança laboral e da produtividade. Essas barreiras confirmaram as barreiras mencionadas na literatura.

(1) Ausência de recursos humanos com experiência no uso de tecnologias, (2) não aproveitamento do potencial das tecnologias adquiridas (modelos 4D, plataforma Construmanager, aplicativo Construpoint, VANT), (3) Intolerância às mudanças por parte de alguns funcionários na hora de usar novas tecnologias, (4) Ausência de noção de perigo e excesso de autoconfiança por parte dos trabalhadores no canteiro de obra, (5) Dificuldade em identificar perigos, (6) Gerenciar a produtividade e a segurança como processos separados, (7) Mudança do produto, por conseguinte mudanças no processo construtivo, (8) Ausência de procedimento para o uso das ferramentas BIM adquiridas para gerenciar a segurança do trabalhador, (9) Desorganização do espaço de trabalho, (10) Carência do conhecimento aprofundado da complexidade da edificação, (11) Falta de treinamento nos processos de construção e seus riscos e (12) Dificuldade para o monitoramento eficiente da segurança e da produtividade no canteiro de obra.

Um conjunto de captura de imagens foi realizado para avaliar a aplicabilidade da tecnologia VANT para inspeção de segurança em canteiros de obras.

As capturas apresentaram resultados em relação à falta de uso de EPC, especificamente as proteções contra queda, como o cinto não estar fixado na linha de vida.

Sobre a aplicabilidade do VANT, a principal associação se dá com uso e a experiência com a tecnologia, pois é preciso conhecimento para o manejo e para o processamento dos dados.

Em vista disso, a capacitação dos técnicos de segurança contribuiria enormemente na eficiência de inspeção no canteiro.

## **6.2. Futuras Pesquisas**

Foram extraídas as pesquisas futuras propostas pelos autores dos artigos que formaram parte da revisão sistemática da literatura. Cada uma delas foi categorizada e colaborou na construção do capítulo 3. Entre as principais, pode-se citar:

- Implementar tecnologias para identificação de riscos em casos reais;
- Aplicar o modelamento 4D, para o planejamento da segurança, para planejar espaços de trabalho e fluxo do trabalho;
- Desenvolver de um sistema de monitoramento automático que reconheça os comportamentos inseguros;
- Avaliar a aplicação do verificador de regras baseado em algoritmos desenvolvidos na literatura;
- Analisar quais são os fatores que induzem a não utilização de EPI por parte dos trabalhadores no canteiro de obras.

A partir do desenvolvimento desta pesquisa, também são sugeridos como trabalhos futuros:

- Produzir estudos que abordem profundamente o potencial do BIM para o aumento da produtividade junto à segurança do trabalhador;
- Avaliar as diretrizes propostas, em um caso real;
- Desenvolver biblioteca de objetos com equipamentos de proteção coletiva, assim como objetos com estruturas temporais.



# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, Z.; THAHEEM, M. J.; MAQSOOM, A. Building information modeling as a risk transformer: An evolutionary insight into the project uncertainty. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 92, n. March, p. 103–119, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.03.032>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NR 18: Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção. Brasil, 2011. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/seguranca-e-saude-no-trabalho/normatizacao/normas-regulamentadoras/norma-regulamentadora-n-18-condicoes-e-meio-ambiente-de-trabalho-na-industria-da-construcao>, Acesso em: 09/09/2018

DA MOTTA GASPARGASPAR, João Alberto; RUSCHEL, Regina Coeli. A evolução do significado atribuído ao acrônimo BIM: Uma perspectiva no tempo. In: SIGraDi 2017, XXI Congreso de la Sociedad Ibero-americana de Gráfica Digital 22 – 24 Noviembre, 2017 – Concepción, Chile. **Anais[...]**. Concepción, Chile: SiGraDi 2017.

BRASIL. Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling . REPÚBLICA, P. D. BRASIL. Brasília, DF p. 2019. \_\_\_\_\_. Estratégia Nacional de Disseminação - Estratégia BIM BR. BRASIL.. Brasília, DF, p.. 2018b

BRIOSOXAVIER. Synergies between Last Planner System and OHSAS 18001-A general overview Sinergias entre el Last Planner System y la OHSAS 18001-Una visión general. **Building & Management**, v. 1, n. 2, p. 24-35, 2017. Disponível em: [http://polired.upm.es/index.php/building\\_management/article/view/3551](http://polired.upm.es/index.php/building_management/article/view/3551)

HOSSEINI, M. Reza et al. Analysis of citation networks in building information modeling research. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 144, n. 8, p. 04018064, 2018. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0001492>

GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 1993. GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

KAPLAN, Bonnie; DUCHON, Dennis. Combining qualitative and quantitative methods in information systems research: a case study. **MIS quarterly**, p. 571-586, 1988. Doi: <http://dx.doi.org/10.2307/249133>

MACHADO, Fernanda Almeida; RUSCHEL, Regina Coeli; SCHEER, Sergio. Análise da produção científica brasileira sobre a Modelagem da Informação da Construção. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 4, p. 359-384, 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000400202>

MEDINA, E. U.; MAURICIO, R.; PAILAQUILÉN, B. A revisão sistemática e a sua relação com a prática baseada na evidência em saúde. **Revista Latino-Americana de Enfermagem** [s. l.], v. 18, n. 4, 2010. Disponível em: [http://www.scielo.br/pdf/rlae/v18n4/pt\\_23](http://www.scielo.br/pdf/rlae/v18n4/pt_23)

MIETTINEN, R.; PAAVOLA, S. Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 43, p. 84–91, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.03.009>

Ministério de trabalho Brasil. **Norma Regulamentadora N° 18 - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção**. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/seguranca-e-saude-no-trabalho/normatizacao/normas-regulamentadoras/norma-regulamentadora-n-18-condicoes-e-meio-ambiente-de-trabalho-na-industria-da-construcao>

MUNZLINGER, E.; NARCIZO, F. B.; DE QUEIROZ, J. E. R. Sistematização de revisões bibliográficas em pesquisas da área de IHC. **Brazilian Computer Society**, [s. l.], v. 5138, p. 51–54, 2012. Disponível em: <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2400099>

NAHMENS, I.; IKUMA, L. H. An Empirical Examination of the Relationship between Lean Construction and Safety in the Industrialized Housing Industry. **Lean Construction Journal**, v. 1, p. 1–12, 2009. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/pdf/248566.pdf>

Project Management Institute.(PMI). **A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide)** 6ed.2017. Newton Square, PA: Project Management Institute.

TRAUTH, Eileen M.; O'CONNOR, Barbara. A study of the interaction between information technology and society: An illustration of combined qualitative research methods.

**Information Systems Research: Contemporary approaches and emergent traditions**, p. 131-144, 1991.

SANTOS, Rúben; COSTA, António A.; GRILLO, António. Bibliometric analysis and review of Building Information Modelling literature published between 2005 and 2015. **Automation in Construction**, v. 80, p. 118-136, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.03.005>

YIN, R. K. Yin, Robert K.: Case Study Research. Design and Methods. *Zeitschrift Für Personalforschung*, v. 26, p. 93-96, 2012.

SMARTLAB, **Observatório Digital de Saúde e Segurança no Trabalho (MPT-OIT)**: Disponível em: <http://observatoriosst.mpt.mp.br>, Brasil, 2017 acesso em: 18/08/2018

SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 357-375, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>

WETZEL, E. M.; THABET, W. Y. The use of a BIM-based framework to support safe facility management processes. **Automation in Construction**, v. 60, p. 12-24, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.09.004>

ZOU, Y.; KIVINIEMI, A.; JONES, S. W. A review of risk management through BIM and BIM-related technologies. **Safety Science**, [s. l.], v. 97, p. 88-98, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.12.027>

**Bibliografia [artigos classificados pela RSL]**

- [1] AHMED, Shakil. Causes of Accident at Construction Sites in Bangladesh. Organization, Technology and Management in Construction: an International Journal, v. 11, n. 1, p. 1933-1951, 2019. Doi: <https://doi.org/10.2478/otmcj-2019-0003>
- [2] ARSLAN, Muhammad et al. Spatio-temporal analysis of trajectories for safer construction sites. **Smart and Sustainable Built Environment**, v. 7, n. 1, p. 80-100, 2018. Disponível: <https://hal-univ-bourgogne.archives-ouvertes.fr/hal-01874491>
- [3] ARSLAN, Muhammad; CRUZ, Christophe; GINHAC, Dominique. Visualizing intrusions in dynamic building environments for worker safety. **Safety Science**, v. 120, p. 428-446, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.07.020>
- [4] ASALM, MD Hossain; ABBOTT, Ernest LS; CHUA, David KH Design for safety knowledge-based bim-integrated risk register system. In: 9th International Structural Engineering and Construction Conference: Resilient Structures and Sustainable Construction, ISEC 2017 - Valencia, Spain. **Anais[...]**. Valencia, Spain: ISECPress 2017, p. 1-6, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819506004>
- [5] BILIR, Senem; GÜRCANLI, G. Emre. A Method For Determination of Accident Probability in Construction Industry. **Teknik Dergi**, v. 29, n. 4, p. 8537-8561, 2018. Doi: <https://doi.org/10.18400/tekderg.363613>
- [6] CHENG, Tao; TEIZER, Jochen. Modeling tower crane operator visibility to minimize the risk of limited situational awareness. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 28, n. 3, p. 04014004, 2012. Doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000282](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000282)
- [7] CHEN, Yi-Chen et al. Attention-based user interface design for a tele-operated crane. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 30, n. 3, p. 04015030, 2015. Doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000489](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000489)
- [8] CHEUNG, Weng-Fong; LIN, Tzu-Hsuan; LIN, Yu-Cheng. A real-time construction safety monitoring system for hazardous gas integrating wireless sensor network and building

information modeling technologies. **Sensors**, v. 18, n. 2, p. 436, 2018. Doi:

<https://doi.org/10.3390/s18020436>

[9] CHOE, Sooyoung; LEITE, Fernanda. Construction safety planning: Site-specific temporal and spatial information integration. **Automation in Construction**, v. 84, p. 335-344, 2017. Doi:

<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.007>

[10] COLLINS, Rachel et al. Integration of safety risk factors in BIM for scaffolding construction. In: Computing in Civil and Building Engineering (2014). **Anais[...]**. ©ASCE 2014. p. 307-314. Disponível em: <http://itc.scix.net/pdfs/w78-2014-paper-039.pdf>

[11] DE MELO, Roseneia RS et al. Applicability of unmanned aerial system (UAS) for safety inspection on construction sites. **Safety science**, v. 98, p. 174-185, 2017.

<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.06.008>

[12] DE MELO, Roseneia RS et al. Analysis of the potential use of point cloud collected from uas for bim modeling and safety systems analysis. In: 6th international workshop - When Social Sciences meets Lean and BIM 2018. **Anais[...]**. University of Huddersfield, Huddersfield, Reino Unido 2018

[13] DE MELO, Roseneia RS; COSTA, Dayana B. Integrating resilience engineering and UAS technology into construction safety planning and control. **Engineering, Construction and Architectural Management**, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1108/ECAM-12-2018-0541>

[14] DING, L. Y. et al. Construction risk knowledge management in BIM using ontology and semantic web technology. **Safety science**, v. 87, p. 202-213, 2016. Doi:

<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.04.008>

[15] DING, L. Y. et al. Real-time safety early warning system for cross passage construction in Yangtze Riverbed Metro Tunnel based on the internet of things. **Automation in construction**, v. 36, p. 25-37, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.08.017>

[16] DONG, Shuang; LI, Heng; YIN, Qin. Building information modeling in combination with real time location systems and sensors for safety performance enhancement. **Safety science**, v. 102, p. 226-237, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.10.011>

- [17] ESMAEILI, Behzad; HALLOWELL, Matthew. Attribute-based risk model for measuring safety risk of struck-by accidents. In: Construction Research Congress. American Society of Civil Engineers West Lafayette, Indiana, 2012. **Anais[...]**. © ASCE 2012. p. 289-298 Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784412329.030>
- [18] FANG, Weili et al. Falls from heights: A computer vision-based approach for safety harness detection. **Automation in Construction**, v. 91, p. 53-61, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.018>
- [19] FANG, Yi-Cho; DZENG, Ren-Jye. Accelerometer-based fall-portent detection algorithm for construction tiling operation. **Automation in Construction**. v. 84, p. 214-230, 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.015>
- [20] FANG, Yihai; CHO, Yong K.; CHEN, Jingdao. A framework for real-time pro-active safety assistance for mobile crane lifting operations. **Automation in Construction**, v. 72, p. 367-379, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.025>
- [21] FANG, Qi et al. Computer vision aided inspection on falling prevention measures for steeplejacks in an aerial environment. **Automation in Construction**, v. 93, p. 148-164, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.022>
- [22] FORMAN, Marianne. Inertia and change: lean construction and health and safety work on construction sites. *Construction Management and Economics*, v. 31, n. 6, p. 647-660, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.765953>
- [23] GETULI, Vito et al. BIM-based code checking for construction health and safety. **Procedia engineering**, v. 196, p. 454-461, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.224>
- [24] GHEISARI, Masoud; ESMAEILI, Behzad. Applications and requirements of unmanned aerial systems (UASs) for construction safety. **Safety Science**, v. 118, p. 230-240, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.05.015>

- [25] GOH, Yang Miang; GUO, Brian HW. FPSWizard: A web-based CBR-RBR system for supporting the design of active fall protection systems. **Automation in Construction**, v. 85, p. 40-50, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.020>
- [26] GOLABCHI, Alireza; HAN, SangUk; ABOURIZK, Simaan. A simulation and visualization-based framework of labor efficiency and safety analysis for prevention through design and planning. **Automation in Construction**, v. 96, p. 310-323, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.10.001>
- [27] GOLOVINA, Olga; TEIZER, Jochen; PRADHANANGA, Nipesh. Heat map generation for predictive safety planning: Preventing struck-by and near miss interactions between workers-on-foot and construction equipment. **Automation in construction**, v. 71, p. 99-115, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.03.008>
- [28] GOLOVINA, Olga et al. Algorithm for quantitative analysis of close call events and personalized feedback in construction safety. **Automation in Construction**, v. 99, p. 206-222, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.014>
- [29] GUO, H. et al. A BIM-RFID unsafe on-site behavior warning system. In: Proceedings of the International Conference on Construction and Real Estate Management (ICCREM 2014), Kunming, China. 2014. **Anais[...]**. © ASCE 2014. p. 330-339. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784413777.040>
- [30] GUO, H. L.; LI, Heng; LI, Vera. VP-based safety management in large-scale construction projects: A conceptual framework. **Automation in Construction**, v. 34, p. 16-24, 2013. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.10.013>
- [31] HAMMAD, Amin et al. Automatic generation of dynamic virtual fences as part of BIM-based prevention program for construction safety. In: Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC), 9-12 December 2012, Berlin, Germany. **Anais[...]**. Berlin, Germany: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2013. p. 1-10. Doi : <http://dx.doi.org/10.1109/WSC.2012.6465164>

- [32] HARDISON, Dylan; HALLOWELL, Matthew. Identifying Safety Hazards in Design: Evaluating the Difference between BIM and 2D CAD Drawings. In: Construction Research Congress, New Orleans, Louisiana. 2018 **Anais[...]**. © ASCE 2015. p. 154-163.  
<https://doi.org/10.1061/9780784481288.016>
- [33] HILFERT, Thomas; TEIZER, Jochen; KÖNIG, Markus. First person virtual reality for evaluation and learning of construction site safety. In: ISARC. 33rd International Symposium on Automation and Robotics in Construction. **Anais[...]**. Vilnius Gediminas Technical University, Department of Construction Economics & Property, 2016. p. 1.
- [34] HONGLING, Guo et al. BIM and safety rules based automated identification of unsafe design factors in construction. **Procedia engineering**, v. 164, p. 467-472, 2016. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.646>
- [35] HOSSAIN, Md Aslam et al. Design-for-safety knowledge library for BIM-integrated safety risk reviews. **Automation in Construction**, v. 94, p. 290-302, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.010>
- [36] KAMARDEEN, Imriyas. 8D BIM modelling tool for accident prevention through design. In: 26th Annual ARCOM Conference, 6-8 September 2010.. **Anais[...]**. Leeds: Association of Researchers in Construction Management, 2010. p. 281-289.
- [37] KASIROSSAFAR, Mohammad; ARDESHIR, Abdollah; SHAHANDASHTI, Reza Latifi. Developing the sustainable design with PtD using 3D/4D BIM Tools. In: Proceedings of the World Environmental and Water Resources Congress 2012. **Anais[...]**. © ASCE 2012. p. 20-24. Doi: <https://doi.org/10.1061/9780784412312.279>
- [38] KASIROSSAFAR, Mohammad; SHAHBODAGHLOU, Farzad. Application of Visualization Technologies to the Design for Safety Concept. In: Forensic Engineering 2012: Gateway to a Safer Tomorrow. 2013. **Anais[...]**. © ASCE. 2012. p. 370-377. Doi: <https://doi.org/10.1061/9780784412640.040>
- [39] KASIROSSAFAR, Mohammad; SHAHBODAGHLOU, Farzad. Building information modeling or construction safety planning. In: ICSDEC 2012: Developing the Frontier of

Sustainable Design, Engineering, and Construction. 2013. **Anais[...]**. © ASCE, 2013. p. 1017-1024. Doi: <https://doi.org/10.1061/9780784412688.120>

[40] KHAN, Numan et al. Excavation Safety Modeling Approach Using BIM and VPL. **Advances in Civil Engineering**, v. 2019, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1155/2019/1515808>

[41] KIM, Hyunsoo et al. Automated hazardous area identification using laborers' actual and optimal routes. **Automation in Construction**, v. 65, p. 21-32, 2016. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2016.01.006>

[42] KIM, Hyeon Jin; PARK, Chan Sik. Smartphone based real-time location tracking system for automatic risk alert in building project. In: Applied Mechanics and Materials. **Anais[...]**. Trans Tech Publications, 2013. p. 2794-2797. Doi: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.256-259.2794>

[43] KIM, Jonghoon et al. Semiautomated scaffolding planning: development of the feature lexicon for computer application. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 29, n. 5, p. 04014079, 2014. Doi: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000399](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000399)

[44] KIM, K.; CHO, Y.; ZHANG, S. Integrating work sequences and temporary structures into safety planning: Automated scaffolding-related safety hazard identification and prevention in BIM. **Automation in Construction**, v. 70, p. 128–142, 2016. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2016.06.012>

[45] KIM, K.; TEIZER, J. Automatic design and planning of scaffolding systems using building information modeling. **Advanced Engineering Informatics**, v. 28, n. 1, p. 66–80, 2014. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2013.12.002>

[46] KIVINIEMI, Markku et al. BIM-based safety management and communication for building construction. **VTT Technical Research Centre of Finland**, 2011. Disponível em: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2011/T2597.pdf>

[47] KOLAR, Z.; CHEN, H.; LUO, X. Transfer learning and deep convolutional neural networks for safety guardrail detection in 2D images. **Automation in Construction**, v. 89, n. May 2017, p. 58–70, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.01.003>

- [48] LEE, Pin-Chan et al. Dynamic Analysis of Construction Safety Risk and Visual Tracking of Key Factors based on Behavior-based Safety and Building Information Modeling. **KSCE Journal of Civil Engineering**, p. 1-13, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12205-019-0283-z>
- [49] LI, Binyong et al. Research on Engineering Construction Safety Integration based on BIM and RFID. *In: MATEC Web of Conferences 2018. Anais[...]*. EDP Sciences, 2018. p. 03035. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201824603035>
- [50] LI, H. et al. Investigation of the causality patterns of non-helmet use behavior of construction workers. **Automation in Construction**, v. 80, p. 95–103, 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2017.02.006>
- [51] LI, H. et al. Proactive behavior-based safety management for construction safety improvement. **Safety Science**, v. 75, p. 107–117, 2015 a. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2015.01.013>
- [52] LI, Heng et al. Proactive training system for safe and efficient precast installation. **Automation in Construction**, v. 49, p. 163-174, 2015. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.10.010>
- [53] LI, Xiao et al. A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety. **Automation in Construction**, v. 86, p. 150-162, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.11.003>
- [54] MALEKITABAR, Hassan et al. Construction safety risk drivers: A BIM approach. **Safety Science**, v. 82, p. 445-455, 2016. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2015.11.002>
- [55] MELZNER, Jürgen. Acquisition and processing of input data for an object—Oriented safety risk simulation in building construction. *In: 2017 Winter Simulation Conference (WSC). Anais[...]*. Crystal City, VA: IEEE, 2017. p. 2425-2435 Doi: <http://dx.doi.org/10.1109/WSC.2017.8247972>
- [56] MELZNER, Jürgen et al. A case study on automated safety compliance checking to assist fall protection design and planning in building information models. **Construction**

**Management and Economics**, v. 31, n. 6, p. 661-674, 2013. Doi:

<http://dx.doi.org/10.1080/01446193.2013.780662>

[57] MELZNER, Jürgen et al. Model-based construction work analysis considering process-related hazards. In: 2013 Winter Simulations Conference (WSC). **Anais[...]**. Washington, DC, USA: IEEE, 2013. p. 3203-3214. Disponível: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6721686>

[58] MESAROS, P.; SPISAKOVA, M.; MACKOVA, D. Analysis of safety risks on the construction site. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. **Anais[...]**. IOP Publishing, 2019. p. 012012. Doi: <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/222/1/012012>

[59] NIU, Yuhan et al. Towards the “third wave”: An SCO-enabled occupational health and safety management system for construction. **Safety science**, v. 111, p. 213-223, 2019 Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.07.013>

[60] NOWOTARSKI, Piotr; PASŁAWSKI, Jerzy; MIELCAREK, Dawid. Accuracy of BLE systems in the H&S improvement aspects in construction. **Procedia Engineering**, v. 208, p. 98-105, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.11.026>

[61] OLIVEIRA, Victor Hugo Mazon de; SERRA, Sheyla Mara Baptista. Controle de obras por RFID: sistema de monitoramento e controle para equipamentos de segurança no canteiro de obras. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 61-77, 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000400185>

[62] PARK, Chan-Sik; KIM, Hyeon-Jin. A framework for construction safety management and visualization system. **Automation in Construction**, v. 33, p. 95-103, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.09.012>

[63] PARK, JeeWoong; KIM, Kyungki; CHO, Yong K. Framework of automated construction-safety monitoring using cloud-enabled BIM and BLE mobile tracking sensors. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 143, n. 2, p. 05016019, 2016. Doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001223](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001223)

- [64] PARN, Erika A. et al. Engineering-out hazards: digitising the management working safety in confined spaces. **Facilities**, v. 37, n. 3/4, p. 196-215, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1108/F-03-2018-0039>
- [65] QI, Jia et al. Integoratin of safety in design through the use of building information modeling. In: Reston, VA: ASCEProceedings of the 2011 ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering, Miami, Florida, June 19-22, 2011| d 20110000. ). **Anais[...]**. Miami, Florida, USA: American Society of Civil Engineers, 2011. Doi: [http://dx.doi.org/10.1061/41182\(416\)86](http://dx.doi.org/10.1061/41182(416)86)
- [66] QI, Jia et al. Use of building information modeling in design to prevent construction worker falls. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 28, n. 5, p. A4014008, 2013. Doi: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000365](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000365)
- [67] QI, Jia. Integration of construction worker fall safety in design through the use of building information modeling. **University of Florida**, 2011. Doi: [https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-981-287-655-3\\_11.pdf](https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-981-287-655-3_11.pdf)
- [68] RIAZ, Zainab et al. CoSMoS: A BIM and wireless sensor based integrated solution for worker safety in confined spaces. **Automation in construction**, v. 45, p. 96-106, 2014. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.010>
- [69] SAKHAKARMI, Sayan; PARK, JeeWoong; CHO, Chunhee. Enhanced Machine Learning Classification Accuracy for Scaffolding Safety Using Increased Features. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 145, n. 2, p. 04018133, 2018. Doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001601](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001601)
- [70] SETAYESHGAR, S. et al. Real time safety risk analysis of construction projects using BIM and RTLS. In: ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction. **Anais[...]**. IAARC Publications, 2013. p. 1.
- [71] SHARMANOV, V. V.; SIMANKINA, T. L.; MAMAIEV, A. E. BIM in the assessment of labor protection. **Magazine of Civil Engineering**, v. 69, n. 1, 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.18720/MCE.69.7>

- [72] SHEN, X.; MARKS, E. Near-Miss Information Visualization Tool in BIM for Construction Safety. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 142, n. 4, 2016. Doi: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001100](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001100)
- [73] TANG, Shuai; GOLPARVAR-FARD, Mani. Joint Reasoning of Visual and Text Data for Safety Hazard Recognition. In: Computing in Civil Engineering 2017. **Anais[...]**. Seattle, Washington, USA: ASCE 2017, p. 450-457. Doi: <https://doi.org/10.1061/9780784480847.056>
- [74] SULANKIVI, Kristiina; MAKELA, T.; KIVINIEMI, Markku. BIM-based site layout and safety planning. In: First International Conference on Improving Construction and Use through Integrated Design Solutions 2019. **Anais[...]**. 2019. p. 125-140. Disponível: <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB16678.pdf>
- [75] TAKIM, Roshana; ZULKIFLI, Muhammad Hanafi; NAWAWI, Abdul Hadi. Integration of Automated Safety Rule Checking (ASRC) System for safety planning BIM-based projects in Malaysia. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 222, p. 103-110, 2016.: Doi: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.195>
- [76] TEIZER, Jochen; CHENG, Tao. Proximity hazard indicator for workers-on-foot near miss interactions with construction equipment and geo-referenced hazard areas. **Automation in Construction**, v. 60, p. 58-73, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.09.003>
- [77] TEO, Ai Lin Evelyn et al. Design for safety: theoretical framework of the safety aspect of BIM system to determine the safety index. **Construction Economics and Building**, v. 16, n. 4, p. 1-1, 2016. Doi: <http://dx.doi.org/10.5130/AJCEB.v16i4.4873>
- [78] TEO AI LIN, Evelyn et al. Framework for productivity and safety enhancement system using BIM in Singapore. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 24, n. 6, p. 1350-1371, 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.1108/ECAM-05-2016-0122>
- [79] TIXIER, A. J.-P. et al. Application of machine learning to construction injury prediction. **Automation in Construction**, v. 69, p. 102-114, 2016. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.016>

- [80] TIXIER, A. J.-P. et al. Construction Safety Clash Detection: Identifying Safety Incompatibilities among Fundamental Attributes using Data Mining. **Automation in Construction**, v. 74, p. 39–54, 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2016.11.001>
- [81] TRIANTAFYLLOU, Dimitra; KRINIDIS, Stelios. A real-time, multi-space incident detection system for indoor environments. **Safety and Security Studies**, p. 83, 2018. Doi: <https://doi.org/10.2495/SAFE-V8-N2-266-275>
- [82] UMER, Waleed et al. Development of a tool to monitor static balance of construction workers for proactive fall safety management. **Automation in Construction**, v. 94, p. 438–448, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.024>
- [83] WANG, J.; ZHANG, S.; TEIZER, J. Geotechnical and safety protective equipment planning using range point cloud data and rule checking in building information modeling. **Automation in Construction**, v. 49, p. 250–261, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.09.002>
- [84] WANG, Qian. Automatic checks from 3D point cloud data for safety regulation compliance for scaffold work platforms. **Automation in Construction**, v. 104, p. 38–51, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.04.008>
- [85] WANG, Ting-Kwei; QIN, Chang. Integration of BIM, Bayesian Belief Network, and Ant Colony Algorithm for Assessing Fall Risk and Route Planning. In: Construction Research Congress 2018. **Anais[...]**. Nueva Orleans, Louisiana, USA: ASCE. 2010. p. 207–220. Doi: <https://doi.org/10.1061/9780784481288.021>
- [86] WETZEL, Eric M.; THABET, Walid Y. A case study towards transferring relevant safety information for facilities maintenance using BIM. 2018. Disponível: <http://www.itcon.org/2018/3>
- [87] XU, Qingwen; CHONG, Heap-Yih; LIAO, Pin-Chao. Collaborative information integration for construction safety monitoring. **Automation in Construction**, v. 102, p. 120–134, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.004>

- [88] XU, Sheng; ZHANG, Mengge; HOU, Lei. Formulating a learner model for evaluating construction workers' learning ability during safety training. **Safety science**, v. 116, p. 97-107, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.03.002>
- [89] YUAN, Jingfeng et al. Accident prevention through design (PtD): Integration of building information modeling and PtD knowledge base. **Automation in Construction**, v. 102, p. 86-104, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.015>
- [90] ZHANG, Sijie et al. A framework for automatic safety checking of building information models. *In: Construction Research Congress*. ASCE West Lafayette, IN, USA, 2012. **Anais[...]**. ASCE West Lafayette, IN, USA, 2012 p. 574-581. Doi: <http://dx.doi.org/10.1061/9780784412329.058>
- [91] ZHANG, S. et al. BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning. **Safety Science**, v. 72, p. 31-45, 2015. a. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2014.08.001>
- [92] ZHANG, S. et al. Building Information Modeling (BIM) and Safety: Automatic Safety Checking of Construction Models and Schedules. **Automation in Construction**, v. 29, p. 183-195, 2013 Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.05.006>
- [93] ZHANG, S. et al. Workforce location tracking to model, visualize and analyze workspace requirements in building information models for construction safety planning. **Automation in Construction**, v. 60, p. 74-86, 2015.b. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.09.009>
- [94] ZHANG, S.; BOUKAMP, F.; TEIZER, J. Ontology-based semantic modeling of construction safety knowledge: Towards automated safety planning for job hazard analysis (JHA). **Automation in Construction**, v. 52, p. 29-41, 2015. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.02.005>
- [95] ZHUANG, R. L. et al. Investigating Safety Passage Planning for System Shoring Supports with BIM. *In: ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*. **Anais[...]**. Vilnius Gediminas Technical University, Department of Construction Economics & Property, 2016. p. 1.

[96] ZOU, Y.; KIVINIEMI, A.; JONES, S. W. Developing a tailored RBS linking to BIM for risk management of bridge projects. **Engineering, Construction and Architectural Management**. v. 23, n. 6, p. 727–750, 2016 Doi: <http://dx.doi.org/10.1108/ECAM-01-2016-0009>

[97] ZULKIFLI, M. H.; TAKIM, R.; NAWAWI, A. H. A proposed initial framework of ASRC system for BIM-based projects in Malaysia. *Jurnal Teknologi*, v. 78, n. 5–2, p. 61–67, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1113/jt.v78.8491>

**Apêndice A: Diagrama de Gantt da atividade de REBOCO – Parede 1B: primeira parede.**

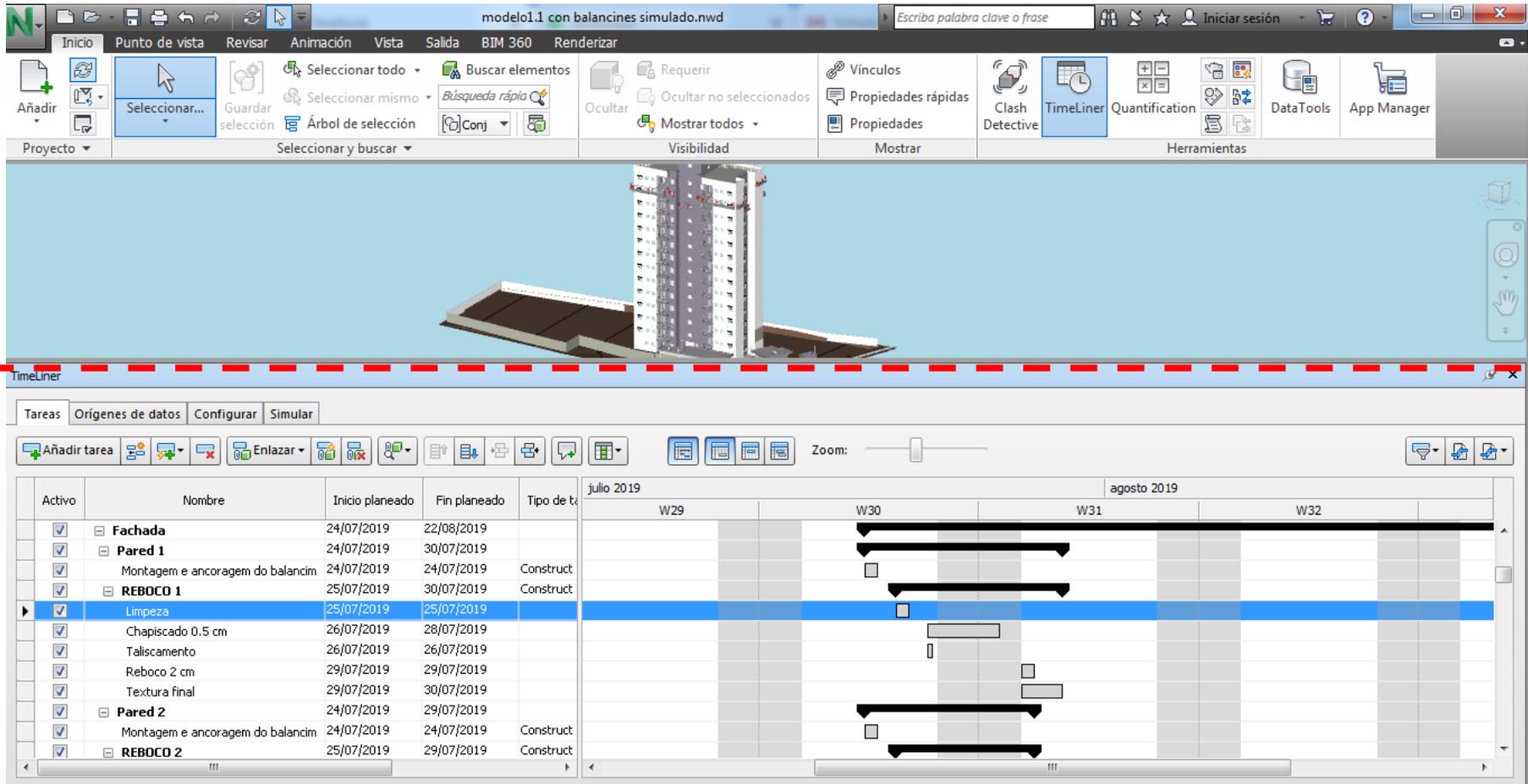


Diagrama de Gantt, com datas de início e fim de cada atividade.

### Apêndice B: Diagrama de Gantt da atividade de REBOCO – Parede 16E: última parede.

