



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ROSENEIA RODRIGUES SANTOS DE MELO

**MODELO PARA DESENVOLVIMENTO E APERFEIÇOAMENTO DOS
POTENCIAIS PARA RESILIÊNCIA ASSISTIDO POR MEIO DO
MONITORAMENTO DA SEGURANÇA COM VANT**

Salvador
2020

ROSENEIA RODRIGUES SANTOS DE MELO

**MODELO PARA DESENVOLVIMENTO E APERFEIÇOAMENTO DOS
POTENCIAIS PARA RESILIÊNCIA ASSISTIDO POR MEIO DO
MONITORAMENTO COM VANT**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Dayana Bastos Costa

Agência Financiadora: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES

Salvador

2020

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA),
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Rodrigues Santos de Melo, Roseneia
MODELO PARA DESENVOLVIMENTO E APERFEIÇOAMENTO DOS
POTENCIAIS PARA RESILIÊNCIA ASSISTIDO POR MEIO DO
MONITORAMENTO COM VANT / Roseneia Rodrigues Santos de
Melo. -- Salvador, 2020.
264 f. : il

Orientadora: Dayana Bastos Costa.
Tese (Doutorado - Programa de Pós Graduação em
Engenharia Civil) -- Universidade Federal da Bahia,
Escola Politécnica, 2020.

1. Gestão das construções. 2. Segurança do trabalho.
3. Monitoramento de segurança. 4. Engenharia de
Resiliência. 5. VANT. I. Bastos Costa, Dayana. II.
Título.

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA TESE DE DOUTORADO DE
ROSENEIA RODRIGUES SANTOS DE MELO
APRESENTADA AO DOUTORADO EM ENGENHARIA CIVIL, DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DA BAHIA, EM 17 DE DEZEMBRO DE 2020.

BANCA EXAMINADORA



Prof.(a) Dr.(a) **Dayana Bastos Costa**

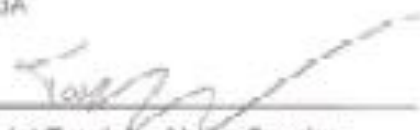
Orientadora

PPEC-UFBA



Prof.(a) Dr.(a) **Emerson de Andrade Marques Ferreira**

PPEC-UFBA



Prof.(a) Dr.(a) **Tarciso Abreu Saurim**

PPGEP-UFRRGS



Prof.(a) Dr.(a) **Cecilia Hitomi Hirata**

PPGA-UEL



Prof.(a) Dr.(a) **Marcelo Fabiano Costella**

PPEC- IMED – Faculdade Meridional

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, pelas oportunidades de me tornar um ser humano melhor.

Agradeço à minha família, a minha mãe, Rosa Melo, por seu amor incondicional, ao meu pai, José Melo (*in memoriam*), por ter me ensinado a ser perseverante e olhar sempre o lado bom da vida e à minha irmã, Rosiane Melo, pelo apoio e carinho.

Agradeço ao meu esposo, Ricardo Fernandes, por estar ao meu lado nos momentos de alegrias e tristezas e pelo carinho, apoio e incentivo ao meu sucesso.

Agradeço, em especial, à minha orientadora, Dayana Bastos Costa, por me guiar nessa jornada de desafios e incertezas sempre com o olhar confiante da chegada. Obrigada pelos ensinamentos, conselhos e oportunidades que só agregaram valor a minha formação nesses últimos sete anos (desde a graduação). Obrigada também pela amizade e pelo excelente exemplo de profissional e de ser humano, o qual admiro muito.

Agradeço muito aos meus colegas e professores do Grupo de Pesquisa e Extensão em Gestão e Tecnologia das Construções (GETEC) pelo apoio e pelos momentos maravilhosos compartilhados, em especial, as doutorandas Adriana Melo, Cristina Pérez e Ingrid Araújo pelas discussões e desabafos. Agradeço também a Juliana Álvares, Bruno Falcón e Rafaela Rey pela companhia e apoio no desenvolvimento desta tese.

Agradeço ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil (PPEC), pelo suporte e atenção.

Agradeço ao Prof. Tarcisio Saurin pelas contribuições durante as apresentações e defesas nesses últimos quatro anos.

Agradeço à Prof.^a Ivonne Herrera e todos os colegas da NTNU, pelo carinho e atenção durante meu intercâmbio na Noruega.

Agradeço à CAPES, pela bolsa de estudo, que proporcionou dedicação exclusiva para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à empresa colaboradora desta pesquisa e aos profissionais que participaram dos estudos, pela atenção e pelo interesse, que tornaram este trabalho executável.

Agradeço com muito carinho à todos que contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento desta tese.

“Em primeiro lugar vem a dedicação, depois a habilidade.”

Leonardo da Vinci

RESUMO

A gestão da segurança é responsável pela identificação, controle e avaliação dos perigos no ambiente laboral. Entretanto, sua eficiência tem sido questionada devido aos altos índices de acidentes enfrentados pela indústria da construção. Essa ineficiência pode ser associada à dificuldade em monitorar processos em canteiro sem o suporte tecnológico adequado e a abordagem reativa aplicada na construção ao longo dos anos. Para aprimorar tais aspectos, estudos destacam os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTS) como uma alternativa eficaz, capaz de monitorar as condições de segurança *on-site* e apoiar a tomada de decisão em tempo hábil. Com relação às abordagens proativas, a Engenharia de Resiliência (ER) emerge como um novo paradigma para lidar com a variabilidade diária, apoiando os ajustes de desempenho responsáveis pela continuidade das operações após eventos inesperados ou na presença de um estresse contínuo. Em vista disso, esta pesquisa teve como objetivo propor um modelo prescritivo para orientar o desenvolvimento e aperfeiçoamento de potenciais de resiliência assistido por meio do monitoramento da segurança com VANT. Como objetivos específicos, esta tese buscou: (a) propor um protocolo para monitoramento com VANT integrado às rotinas do Sistema de Gestão da Segurança (SGS), (b) identificar as contribuições do monitoramento com VANT para o desenvolvimento das perspectivas *Safety-I* e *Safety-II*, e (c) propor diretrizes para a aplicação do modelo para desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência assistido pelo monitoramento com VANT. A estratégia de pesquisa adotada é a *Design Science Research*, envolvendo três estudos empíricos ao longo das seguintes etapas: (a) a etapa de investigação do problema buscou identificar as lacunas quanto ao monitoramento da segurança com VANT; (b) a etapa de proposta de solução deu ênfase ao desenvolvimento do protocolo para monitoramento com VANT integrado às rotinas do SGS à luz da ER; (c) a etapa de implementação e refinamento do modelo consistiu na combinação do protocolo e das contribuições teóricas para o desenvolvimento dos potenciais para resiliência; e (d) avaliação do modelo e da sua implementação a partir dos construtos utilidade e impactos e riscos. Como principais resultados, foi observado que o modelo proposto favorece a identificação dos perigos e não conformidades (*Safety-I*) e a identificação de práticas informais e mecanismos que contribuem para a manutenção das operações diárias (*Safety-II*), por exemplo, a observação do trabalho realizado e o aprendizado com os fatores de sucesso e falhas. Como achados teóricos, esta tese contribui para o avanço no conhecimento por meio da proposição de um modelo e diretrizes para orientar o desenvolvimento dos mecanismos de resiliência e suas práticas visando melhorar a capacidade das organizações em monitorar, responder, antecipar e aprender. Como contribuição prática, o modelo proposto permite uma melhor colaboração, transparência e agilidade nas tomadas de decisão. Além de apresentar rotinas operacionais e de segurança que facilitam a integração do monitoramento com VANT ao SGS. Dentre as limitações percebidas, ressalta-se a dificuldade dos usuários em utilizar as informações fornecidas pelo monitoramento com VANT para o desenvolvimento das habilidades de resiliência. Essa dificuldade foi atribuída à fatores humanos e organizacionais, tais como, priorização da produtividade em sacrifício consciente da segurança, falta de recursos, alta demanda de trabalho pelos técnicos, treinamentos ineficientes, falha de planejamento, ausência de memória organizado, entre outros.

Palavras-chave: Construção civil. Monitoramento de segurança. Tecnologias digitais. VANT. Engenharia de Resiliência.

ABSTRACT

Safety management is responsible for identifying hazards, evaluating, and control of risks on construction sites. However, its efficiency has been questioned due to the high accident rates faced by the construction industry. This inefficiency can be associated with the difficulty in monitoring processes without the appropriate technological support and the reactive approach applied in the construction over the years. In order to improve such aspects, studies highlight the Unmanned Aerial Systems (UAS) as an effective alternative to monitor safety conditions on-site and support timely decision making. Regarding the proactive approaches, Resilience Engineering (RE) emerges as a new paradigm capable of dealing with everyday variability and support the performance adjustments responsible for continuing operations after unexpected events or in the presence of continuous stress. Thus, this thesis aimed to propose a prescriptive model to guide the development and improvement of resilience potentials through safety monitoring with UAS. As specific objectives, this research sought to (1) propose a protocol for monitoring using UAS integrated into safety management routines, (2) identify the contributions of UAS monitoring for developing Safety-I and Safety-II perspectives, and (3) propose guidelines to apply the model for the development and improvement of the resilience potentials assisted by UAS monitoring. The research was developed based on Design Science Research strategy, involving three empirical studies along the following stages: (a) the problem investigation stage sought to identify the gaps regarding the safety monitoring using UAS at construction sites; (b) the suggestion stage emphasized the development of a protocol for UAS monitoring integrated into the SGS routines in light of the RE; (c) the implementation stage aimed to combine the protocol and theoretical contributions to the development of potentials for resilience; and (d) evaluation of the model and its implementation based on the utility and impacts and risks constructs. As main results, it was observed that the proposed model facilitates the identification of hazards and non-conformities (Safety-I) and make it easy to understand informal practices and mechanisms that contribute to the maintenance of daily operations (Safety-II), for example, the observation of work-as-done and the learning with the success and failure factors. As theoretical findings, this thesis contributes to the advancement of knowledge by proposing a model and guidelines for developing resilience mechanisms and their practices in order to improve the abilities of organizations to monitor, respond, anticipate and learn. As practical contributions, the proposed model enables better collaboration, transparency and agility in decision making. In addition, its present operational and safety routines that facilitate the integration of UAS monitoring into safety management system. The perceived limitations emphasized the users' difficulty in using the information provided by UAS monitoring for the development of resilience potentials. This difficulty must be attributed to human and organizational factors, such as prioritizing productivity in the conscious safety sacrifice, lack of resources, safety personnel overwork, inefficient training, planning failure, absence of organizational memory, among others.

Key words: Civil construction. Safety monitoring. Digital technology. Unmanned Aerial Systems (UAS). Resilience Engineering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema das contribuições da tese	10
Figura 2 - Probabilidade de eventos e foco de segurança	14
Figura 3 - Foco das abordagens Safety-I e Safety-II	15
Figura 4 - Relação entre Safety-I e Safety-II	16
Figura 5 - Modelo sistêmico de limites de desempenho	19
Figura 6 – Relação entre as habilidades de resiliência	24
Figura 7 - Modelo da interrelação entre os potenciais de resiliência	25
Figura 8 - Relação entre os conceitos para entendimento dos ajustes de desempenho	31
Figura 9 - Exemplo 1 - Sistemática de inspeção de segurança	44
Figura 10 - Exemplo 2 - Sistemática de inspeção de segurança	45
Figura 11 - Exemplo 3 - Sistemática de inspeção de segurança	46
Figura 12 - Distribuição dos artigos em periódicos por ano de publicação	54
Figura 13 - Distribuição dos artigos por temática de pesquisa de segurança	54
Figura 14 - Capacidade de zoom nas imagens (modelo D4AR)	56
Figura 15 - Sistema de codificação do grau de risco por cores: (a) imagem e (b) modelo 4D	57
Figura 16 - Tipos de perigos identificados manualmente: (a) ausência de proteção na área de trabalho em altura, e (b) ambiente de trabalho desorganizado	59
Figura 17 - Exemplo de plataforma primária com falhas na forração do piso	67
Figura 18 - Itens avaliados: (a) sobrecarga na plataforma e (b) andaime suspenso desnivelado	67
Figura 19 - Domínio das tarefas no uso do VANT para inspeção visual	71
Figura 20 - Barreiras relacionadas à adoção do VANT para a gestão da segurança	77
Figura 21 - Delineamento da pesquisa	85
Figura 22 - Workshop para apresentação do projeto de pesquisa	89
Figura 23 - Protocolo de inspeção de segurança com VANT em canteiro	95
Figura 24 - Visão geral do canteiro (31/08/2018) – fase de acabamento	97
Figura 25 - Workshop para apresentação de resultados: (a) Gestão da obra e (b) SIPAT 2018	98
Figura 26 - Vista geral do canteiro (13/06/2019) – fase de estrutura	103
Figura 27 - Visão geral do canteiro (17/10/2019) – Estudo de caso C	106
Figura 28 - Esquema das análises realizadas segunda a perspectiva Safety-I	108
Figura 29 - Esquema das análises realizadas segunda a perspectiva Safety-II	110
Figura 30 - Indicador de conformidade de segurança mensal (Estudo de Caso A)	124

Figura 31 - Distribuição das não conformidades por categoria e grau de risco.....	125
Figura 32 - Distribuição das não conformidades segundo os tipos de barreiras	127
Figura 33- Distribuição das não conformidades segundo os tipos de falhas.....	128
Figura 34 - Potenciais falhas das não conformidades (Checklist SMORT – 1ª camada)	128
Figura 35 – Execução da montagem do telhado: (a) sem proteção contra queda e (b) com utilização de cinto de segurança fixado a linha de vida.....	130
Figura 36 - Quantidade de itens conforme por categoria – Estudo de Caso A.....	131
Figura 37 - Visão geral do canteiro - Logística e organização do canteiro	132
Figura 38 - Prática de isolamento e armazenamento do aço	132
Figura 39 - Substituição de materiais: (a) estruturas de madeira e (b) guarda-corpo de aço	133
Figura 40 - Práticas de aprendizado: (a) prototipagem; (b) marcação das formas..	139
Figura 41 - Modelo de plano de ação SSMA (segurança, saúde e meio ambiente)	142
Figura 42 - Protocolo para monitoramento com VANT.....	147
Figura 43 - Relatório de Segurança – Estudo de Caso A (preenchimento manual)	148
Figura 44 – Esquema das contribuições do monitoramento da segurança com VANT para o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência (Estudo de Caso A)	150
Figura 45 - Processo de interação durante a aplicação do modelo.....	151
Figura 46 – Indicador de conformidade de segurança mensal (Estudo de Caso B)	154
Figura 47 – Indicador de conformidade de segurança mensal (Estudo de Caso C)	156
Figura 48 - Distribuição das não conformidades por categoria e por grau de risco (Estudo B)	157
Figura 49 - Distribuição das não conformidades por categoria e por grau de risco (Estudo C)	157
Figura 50 - Distribuição das não conformidades segundo os tipos de barreiras (Estudos de Caso B e C).....	158
Figura 51 - Distribuição das não conformidades segundo os tipos de falhas.....	159
Figura 52 - Potenciais falhas das não conformidades (Checklist SMORT – 1ª camada)	160
Figura 53 - Distribuição das telas de aço no Estudo de Caso C	162
Figura 54 - Ausência ou falhas no fechamento da proteção de periferia (Situação 01)	163
Figura 55 - Parede de Concreto: (a) uso de linha de vida fixada nas ancoragens da laje ou platibanda e (b) Instalação da linha de vida em “T”	164
Figura 56 - Pré-montagem da armadura e instalação elétrica da laje	164

Figura 57 - Modelo para orientar o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência	180
Figura 58 - Relatório de segurança informatizado (Protótipo SMART INSPECS)...	183
Figura 59 – Esquema das contribuições do monitoramento com VANT para o desenvolvimento aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência.....	186
Figura 60 - Percepções quanto ao nível de entendimento das informações.....	190
Figura 61 - Percepções quanto ao nível de atendimento às necessidades de informação	192
Figura 62 - Percepções quanto ao nível participação durante a aplicação do modelo	193
Figura 63 - Percepções quanto à contribuição das etapas e produtos para correções imediatas.....	193
Figura 64 - Percepções quanto ao nível de contribuição das etapas e produtos para ações corretivas	195
Figura 65 - Percepções quanto ao nível envolvimento e interação da equipe	195

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Critérios de comparação entre <i>Safety-I</i> e <i>Safety-II</i>	17
Quadro 2 - Princípios da ER identificados na literatura.....	23
Quadro 3 - O papel do profissional de segurança.....	48
Quadro 4 - Principais estudos na área de gestão de segurança com VANT.	63
Quadro 5 - Aplicações do VANT associado aos paradigmas <i>Safety-I</i> e <i>Safety-II</i>	79
Quadro 6 - Relação entre o monitoramento com VANT e os potenciais da ER	80
Quadro 7 - Características dos empreendimentos estudados.....	87
Quadro 8 - Ações e Fontes de evidência (etapa: investigação do problema)	90
Quadro 9 - Procedimentos de monitoramento realizados pela obra	91
Quadro 10 - Valoração Qualitativa da matriz de risco	94
Quadro 11 - Ações desenvolvidas durante a etapa de desenvolvimento da solução	97
Quadro 12 - Ações realizadas para a avaliação da solução (Estudo de Caso A) ...	100
Quadro 13 - Caracterização dos entrevistados e duração da entrevista (Ciclo 1)...	100
Quadro 14 - Ações desenvolvidas durante a etapa de implementação (Estudo de Caso B)	103
Quadro 15 - Ações desenvolvidas durante a etapa de implementação da solução	107
Quadro 16 - Caracterização dos entrevistados dos Estudos B e C.....	111
Quadro 17 - Geração dos códigos utilizados na análise temática.....	112
Quadro 18 - Caracterização dos entrevistados (Estudos de Caso B e C).....	113
Quadro 19 - Apresentação dos constructos, variáveis e fontes de evidências	115
Quadro 20 - Práticas positivas e negativas identificadas na investigação do SGS .	122
Quadro 21 - Atividades do processo de parede de concreto	134
Quadro 22 - Descrição das principais situações subespecificadas ou não especificadas no procedimento.....	136
Quadro 23 - Exemplos das situações subespecificadas ou não especificadas.....	137
Quadro 24 - Acompanhamento da evolução da não conformidade – Estudo de Caso A.....	146
Quadro 25 - Mecanismos e práticas observadas durante as inspeções (comparativo)	161
Quadro 26 - Acompanhamento da evolução da não conformidade (Estudo de Caso B)	173
Quadro 27 - Acompanhamento da evolução da não conformidade (Estudo de Caso C)	174
Quadro 28 - Mecanismos e práticas (nível gerencial) - Comparativo.....	175
Quadro 29 - Comparativo dos benefícios relacionados ao monitoramento com VANT	199

Quadro 30 – Percepção dos entrevistados sobre as melhorias necessárias (n=12)	
.....	200
Quadro 31 – Relação entre as diretrizes e os potenciais de resiliência	213

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz de risco	93
Tabela 2 – Resumos dos dados coletados em campo com VANT (Estudo de Caso A)	99
Tabela 3 - Tempo médio da coleta e processamento dos dados (Estudo de Caso A)	99
Tabela 4 – Resumo dos dados coletados em campo com VANT (Estudo de Caso B)	104
Tabela 5 - Tempo médio da coleta e processamento dos dados (Estudo de Caso B)	104
Tabela 6 – Resumo dos dados coletados em campo com VANT (Estudo de Caso C)	107
Tabela 7 - Resumo das recorrências do Estudo de Caso A.....	145
Tabela 8 - Resumos das recorrências dos Estudos de Caso B e C.....	172
Tabela 9 - Resultado da percepção dos trabalhadores.....	197

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
DDS	Diálogo Diário de Segurança
DSS	Diálogo Semanal de Segurança
DSR	<i>Design Science Research</i>
EPC	Equipamento de Proteção Coletiva
EPI	Equipamento de Proteção Individual
GETEC	Grupo de Pesquisa e Extensão em Gestão e Tecnologia das Construções
GPS	<i>Global Positioning System</i>
PCMAT	Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção
PCMSO	Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PCS	Planejamento e Controle da Segurança
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
PGR	Programa de Gestão de Riscos
PNE	Portadores de Necessidades Especiais
PPRA	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais
RA	Realidade Aumentada
RFID	Radio Frequency Identification
RPA	<i>Remotely-Piloted Aircraft</i>
RV	Realidade Virtual
SGSST	Sistemas de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho
SGS	Sistemas de Gestão da Segurança
SSMA	Segurança, Saúde e Meio Ambiente
UAV/UAS	<i>Unmanned Aerial Vehicle/ Unmanned Aerial Systems</i>
TFCA	Taxa de Frequência Acidentes com Afastamento
TFSA	Taxa de Frequência Acidentes Sem Afastamento
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	1
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA	3
1.3	CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA	6
1.4	QUESTÕES DE PESQUISA	8
1.4.1	Questão principal.....	8
1.4.2	Questões específicas	8
1.5	OBJETIVOS	9
1.6	CONTRIBUIÇÕES DA TESE	9
1.7	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	10
1.8	ESTRUTURA DO TRABALHO	11
2	GESTÃO DA SEGURANÇA À LUZ DA ENGENHARIA DE RESILIÊNCIA	12
2.1	AS DIFERENÇAS E SEMELHANÇAS ENTRE SAFETY-I E SAFETY-II.....	12
2.2	ENGENHARIA DE RESILIÊNCIA (ER) E OS AJUSTES DE DESEMPENHO	17
2.2.1	Evolução dos conceitos	17
2.2.2	Princípios adotados na ER	21
2.2.3	Potenciais para resiliência	23
2.2.4	Mecanismos que favorecem os ajustes de desempenho	30
2.2.5	Avaliação da resiliência	36
2.3	SISTEMA DE GESTÃO DA SEGURANÇA NA CONSTRUÇÃO CIVIL	38
2.3.1	Planejamento da segurança	40
2.3.2	Monitoramento e inspeções de segurança	42
2.4	DESAFIOS DA APLICAÇÃO DA ER NA CONSTRUÇÃO CIVIL	48
2.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
3	TECNOLOGIAS DIGITAIS APLICADAS À GESTÃO DA SEGURANÇA	52
3.1	APLICAÇÕES DE TECNOLOGIAS DIGITAIS PARA À GESTÃO DA SEGURANÇA.....	52
3.1.1	Tecnologias digitais aplicadas à segurança em canteiros de obra	55
3.2	USO DE VANT APLICADO À GESTÃO DA SEGURANÇA	62
3.2.1	Contextualização	62
3.2.2	Estudos com ênfase em monitoramento e inspeção de segurança.....	64
3.2.3	Papel do VANT para à gestão da segurança	71
3.2.4	Barreiras e potenciais riscos do uso do VANT para gestão da segurança	74

3.3 APLICAÇÕES DO USO DO VANT EM RELAÇÃO AOS PARADIGMAS SAFETY-I E SAFETY-II	78
3.4 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS – RELAÇÃO ENTRE O MONITORAMENTO DA SEGURANÇA COM VANT E OS POTENCIAIS PARA RESILIÊNCIA	80
4 MÉTODO DE PESQUISA.....	83
4.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA.....	83
4.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA	85
4.2.1 Caracterização da Empresa e Estudos de Caso	86
4.2.2 Caracterização dos equipamentos utilizados	88
4.3 INVESTIGAÇÃO DO PROBLEMA.....	89
4.4 PROPOSTA DE SOLUÇÃO	91
4.4.1 Monitoramento das condições gerais de segurança.....	91
4.4.2 Monitoramento de processo crítico.....	95
4.4.3 Estudo de Caso A.....	96
4.5 IMPLEMENTAÇÃO DO ARTEFATO	102
4.5.1 Estudo de caso B.....	102
4.5.2 Estudo de Caso C.....	106
4.6 ANÁLISE DOS DADOS	108
4.7 AVALIAÇÃO DO MODELO	112
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	116
5.1 INVESTIGAÇÃO DO SGS DA EMPRESA A	116
5.1.1 Planejamento do sistema de gestão	116
5.1.2 Processos de produção	117
5.1.3 Gestão e capacitação de pessoas.....	119
5.1.4 Fatores genéricos de segurança	119
5.1.5 Planejamento do monitoramento do desempenho	119
5.1.6 Retroalimentação e aprendizado	120
5.1.7 Desempenho reativo e proativo	121
5.1.8 Práticas que contribuem ou dificultam a integração do VANT ao Sistema de Gestão de Segurança	121
5.2 ESTUDO DE CASO A	123
5.2.1 Análise das não conformidades - perspectiva <i>Safety-I</i>	125
5.2.2 Análise dos mecanismos e práticas - perspectiva <i>Safety-II</i>	130
5.2.3 Protocolo para monitoramento da segurança com VANT	147
5.2.4 Contribuições do Estudo de Caso A para a construção do modelo...	149

5.3 ESTUDOS DE CASO B e C	153
5.3.1 Análise das não conformidades - perspectiva <i>Safety-I</i>	156
5.3.2 Análise dos mecanismos e práticas - perspectiva <i>Safety-II</i>	160
5.3.3 Contribuições dos Estudos de Caso B e C para o refinamento do modelo.....	176
6 MODELO E DIRETRIZES PARA ORIENTAR O DESENVOLVIMENTO E APERFEIÇOAMENTOS DOS POTENCIAIS PARA RESILIÊNCIA ASSISTIDO POR MEIO DO MONITORAMENTO DA SEGURANÇA COM VANT	179
6.1 ESTRUTURA FINAL DO MODELO.....	179
6.1.1 Reflexões sobre o desenvolvimento dos potenciais para resiliência assistido pelo monitoramento da segurança com VANT	186
6.1.2 Avaliação do modelo	190
6.2 DIRETRIZES PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO	202
6.3 DISCUSSÕES – CONTRIBUIÇÕES DA TESE	205
6.3.1 Contribuições teóricas	205
6.3.2 Contribuições práticas	208
7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	210
7.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS E PRODUTOS ALCANÇADOS	210
7.2 LIMITAÇÕES DO ESTUDO.....	214
7.3 RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	214
REFERÊNCIAS.....	216
APÊNDICE 1- CHECKLIST DE SEGURANÇA	228
APÊNDICE 2- PROTOCOLO ENTREVISTA – ESTUDO DE CASO A	233
APÊNDICE 3 – PROTOCOLO ENTREVISTA PROCESSO CRÍTICO	234
APÊNDICE 4 – PROTOCOLO ENTREVISTA COM TRABALHADORES	235
APÊNDICE 5 – PROTOCOLO DE ENTREVISTAS SOBRE OS POTENCIAIS PARA RESILIÊNCIA.....	236
APÊNDICE 6 – QUESTIONÁRIO MASST ADAPTADO	239
ANEXO 1 – CHECKLIST SMORT 1ª CAMADA	240
ANEXO 2 – PROTOCOLO ENTREVISTA – ESTUDO DE CASO B E C	241
ANEXO 3 - CHECKLIST PARA MISSÃO.....	244

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

A Construção Civil está entre as indústrias com maior representatividade nos índices de acidentes de trabalho no mundo (FINNERAN; GIBB, 2013). No Brasil, o setor representou 10,8% dos acidentes fatais ocorridos em 2017 (Anuário Estatístico Acidentes de Trabalho, 2017). Esse cenário leva à reflexão sobre a eficácia e eficiência da gestão da segurança praticada nos canteiros de obras.

Para Guo, Yu e Skitmore (2017), as principais deficiências enfrentadas pela gestão da segurança no âmbito da construção são os treinamentos de segurança ineficazes, as falhas no planejamento da segurança e o controle ineficaz das condições de trabalho, decorrentes da dificuldade de monitorar as atividades em campo sem o suporte tecnológico adequado.

Atrelada à dificuldade de monitorar as atividades em canteiro, pesquisadores apontam uma série de problemas que acabam por comprometer a eficácia destas avaliações (LIN *et al.*, 2014; PARK; KIM; CHO, 2016). Dentre elas, destacam-se: (a) alta demanda de preenchimento manual de dados, (b) insuficiência de profissionais capacitados para análise dos requisitos de segurança, (c) falta de padronização dos *checklists* de avaliação, dos meios de processamento e da análise de dados, (d) perda de informação entre a coleta e o processamento de dados, (e) pouca comunicação entre os intervenientes do projeto e (f) dificuldade de agir em tempo hábil para corrigir problemas e realizar ações preventivas.

Além disso, a falta de análise crítica para transformar as informações em indicadores de desempenho e alimentar outras estratégias de gestão pode comprometer a eficiência do processo de tomada de decisão (CHENG; TEIZER, 2013; LIN *et al.*, 2014; ZHANG *et al.*, 2016). Em razão dessas deficiências, especialistas em segurança acreditam que o compartilhamento em tempo real das informações coletadas no campo busca reduzir o tempo de tomada de decisão, contribuindo para a criação de um ambiente mais seguro (KOLAR; CHEN; LOU, 2018; ZHOU *et al.*, 2019). Para tanto, pesquisas têm buscado esclarecer como as tecnologias digitais podem ser utilizadas para a melhoria do desempenho da gestão de segurança e, em consequência, reduzir

as fatalidades e lesões nos canteiros de obras (ZHOU; GOH; LI, 2015; AWOLUSI; MARKS; HALLOWELL, 2018).

Com o advento da Indústria 4.0, é perceptível o crescente uso das tecnologias digitais nas diversas fases do projeto de construção, como apontado nas revisões sistêmicas desenvolvidas por Zhou, Irizarry e Li (2013) e Guo, Yu e Skitmore (2017). Nesse contexto, é importante destacar que a Indústria 4.0 tem como uma de suas premissas a disponibilização de todas as informações relevantes em tempo real, integrando pessoas, objetos e sistemas (WILKESMANN; WILKESMANN, 2018). As tecnologias digitais revelam um elevado potencial na proposição de soluções para os gargalos vivenciados no processo de monitoramento em canteiro, contribuindo de forma significativa para a identificação imediata de condições inseguras, agilidade no processamento dos dados e fornecimento de informações em tempo hábil (CHENG; TEIZER, 2013; LIN *et al.*, 2014; TEIZER, 2016).

Os estudos realizados por Zhou, Irizarry e Li (2013) e Guo, Yu e Skitmore (2017) identificaram mais de 30 diferentes tecnologias digitais aplicadas às temáticas de segurança em canteiro de obras, tendo como destaque o uso do *Building Information Modeling* (BIM) para a identificação dos perigos na fase de projeto. Por outro lado, Guo, Yu e Skitmore (2017) ressaltam que as aplicações voltadas ao monitoramento das condições de trabalho e à detecção de perigos *on-site* ainda são pouco exploradas na construção civil.

Em vista disso, dentre as tecnologias digitais oferecidas no mercado, o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), popularmente conhecido como *drone*, destaca-se como uma das mais promissoras, dado seu crescente uso em aplicações direcionadas à inspeção de segurança e monitoramento *on-site* (IRIZARRY; GHEISARI; WALKER, 2012; IRIZARRY; COSTA; KIM, 2015; IRIZARRY; COSTA, 2016; MELO *et al.*, 2017).

Essa aplicabilidade está atribuída à sua capacidade de mover-se rapidamente, facilitando o monitoramento de canteiros extensos e locais de difícil acesso em menor tempo e com menor custo. Além disso, a tecnologia embarcada nas aeronaves permite a captura de fotos e vídeos em alta resolução contendo informações georreferenciadas e comunicação via *hardware* para transferir dados em tempo real (GHEISARI; ESMAEILI, 2019). Como principais contribuições do uso do VANT para a gestão da segurança, as pesquisas enfatizam o aumento da transparência dos processos, a

agilidade na identificação de inconformidades, o fornecimento de informações para o suporte ao processo de tomada de decisão e a redução do tempo de inspeção (IRIZARRY; COSTA; KIM, 2015; MELO *et al.*, 2017; MARTINEZ; GHEISARI; ALARCÓN, 2020).

Apesar dos potenciais ganhos, o uso do VANT para o monitoramento das condições de segurança ainda vem sendo aplicado de forma limitada para a observação e identificação de situações de perigo (MELO *et al.*, 2017; MARTINEZ; GHEISARI; ALARCÓN, 2020). Para ampliar seu campo de atuação, é necessário desenvolver formas de uso integrando o VANT às rotinas organizacionais de segurança, como por exemplo, utilizar as informações coletadas em campo para atualizar o plano de gerenciamento de risco (PALACIOS *et al.*, 2018) e o planejamento da segurança (MARTINEZ; GHEISARI; ALARCÓN, 2020).

Para isso, observa-se que é importante desenvolver uma visão sistêmica sobre como utilizar a tecnologia integrada às rotinas de segurança visando a alcançar uma gestão da segurança mais proativa. E, a partir disso, buscar promover um monitoramento mais eficiente focado na antecipação de situações inseguras e agilidade na proposição de ações corretivas e preventivas.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Simpson *et al.* (2019) argumentam que para que haja transformação digital não basta apenas o uso de tecnologias para melhoria dos processos de gestão, é preciso que a tecnologia esteja integrada às pessoas e aos processos. Sendo assim, as tecnologias digitais devem ser implementadas em conjunto com boas práticas de gestão, a fim de garantir que sua contribuição não seja limitada a informatizar os processos tradicionais.

Nesse contexto, Teizer (2016) ressalta que as tecnologias digitais vêm sendo utilizadas para duas finalidades distintas. A primeira função consiste no uso da tecnologia como um tipo de barreira, por exemplo, o uso de sensores e alertas de proximidade em tempo real para sinalizar áreas de risco de queda em altura. A segunda função está relacionada ao uso da tecnologia como fonte de armazenamento de dados para estudo e análise de eventos passados. Em ambas as situações, percebe-se que a tecnologia é utilizada para evitar que algo negativo aconteça ou após a ocorrência de eventos negativos para prevenir que se repitam.

Em relação ao uso do VANT, os estudos apontam que suas aplicações são direcionadas, principalmente, para identificar situações de perigo e não conformidades, como, por exemplo, ausência de Sistemas Proteções Contra Queda (SPCQ) e falhas no uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI). Com base na identificação das não conformidades em campo, os profissionais de segurança buscam propor ações imediatas ou corretivas visando atenuar ou eliminar o risco de acidente (MELO *et al.*, 2017; PALACIOS *et al.*, 2018; MARTINEZ; GHEISARI; ALARCÓN, 2020; REY, 2020). Tais aplicações são consideradas ações reativas, já que buscam evitar que algo negativo aconteça, como corroborando por Teizer (2016).

Dessa forma, as ações reativas podem ser associadas ao paradigma *Safety-I*. Nesse paradigma verifica-se uma concentração de esforços em promover ações para identificar os fatores que causaram eventos adversos (acidentes e incidentes) e, em seguida, eliminar as causas e/ou melhorar as barreiras (PATTERSON; DEUTSCH, 2015; HOLLNAGEL; WEARS; BRAITHWAITE, 2015).

No setor da construção civil, Benite (2004) argumenta que os modelos de gestão da segurança adotados pela maioria das empresas são pautados em ações reativas direcionadas ao atendimento de requisitos legais. Em função disso, pesquisadores vêm discutindo que o modelo de gestão baseado na identificação de perigos, avaliação de riscos e análise de causas não é suficiente para promover melhorias de desempenho e a redução da taxa de acidentes, sendo essencial mudanças nas práticas de gestão (BENITE, 2004; ZHOU; IRIZARRY; LI, 2014).

Em vista disso, a literatura aponta a adoção do paradigma *Safety-II* como uma das soluções para melhorar o desempenho de segurança. O paradigma *Safety-II* busca compreender como o trabalho diário acontece, como as pessoas interagem umas com as outras e como elas lidam com condições desfavoráveis que comprometem a segurança no ambiente laboral (HOLLNAGEL, 2014; WEHBE; HATTAB; HAMZEH, 2016). Dessa forma, a segurança passa a ser percebida pela presença de eventos positivos e as pessoas passam a ser vistas como um recurso necessário para manter a flexibilidade e ajustar o desempenho do sistema (HOLLNAGEL, 2014).

Para isso, é importante avançar em direção às práticas da Engenharia de Resiliência (HOLLNAGEL, 2014), adotando uma visão sistêmica do processo. A resiliência, por sua vez, pode ser entendida como a capacidade das organizações/sistemas

de antecipar as ameaças e oportunidades, ajustando seu desempenho para a manutenção das operações diárias (HALE; HEIJER, 2006; WOODS, 2006; DINH *et al.*, 2012). Para que esse ajuste de desempenho aconteça, Hollnagel (2018) ressalta a importância do desenvolvimento de quatro habilidades, conhecidas como os potenciais para resiliência: monitorar, responder, antecipar e aprender.

A habilidade de monitorar busca promover uma melhor conscientização sobre o que está acontecendo no âmbito operacional e gerencial. A partir do monitoramento, a organização consegue lidar com aquilo que é ou que poderia tornar-se crítico a curto prazo. A habilidade de responder está associada à capacidade da equipe de estar de prontidão, de saber quando e como propor ações corretivas ou preventivas. A habilidade de antecipar está relacionada com a capacidade de olhar além da situação atual, buscando prever diferentes cenários que podem acontecer no médio e no longo prazos. Por fim, a habilidade de aprender refere-se à capacidade de aprendizado com as experiências diárias, refletindo-se em mudanças nos indivíduos e na organização (HOLLNAGEL, 2018).

Em função da necessidade de mudança quanto ao uso das tecnologias digitais (ZHOU; IRIZARRY; LI, 2014; TEIZER, 2016; SIMPSON *et al.*, 2019), observa-se a oportunidade de incorporar ao monitoramento com VANT conceitos relacionados ao paradigma *Safety-II* e a ER. E, a partir disso, desenvolverem-se práticas proativas que facilitem a compreensão de como o trabalho é realizado e de como as adaptações ocorrem para um resultado bem-sucedido (HOLLNAGEL, 2014; SAURIN *et al.*, 2014; PATTERSON; DEUTSCH, 2015; PROVAN *et al.*, 2020).

A literatura também destaca que, apesar do potencial tecnológico, poucas ações são implementadas em tempo hábil, haja vista a dificuldade das empresas em incorporar as informações fornecidas por meio do VANT às rotinas do SGS (MELO *et al.*, 2017; REY, 2020). As informações geradas pelo monitoramento com VANT vêm sendo ser usadas para alimentar estratégias de gestão, mesmo que de forma incipiente, como, por exemplo, o planejamento da segurança (MARTINEZ; GHEISARI; ALARCÓN, 2020) e o gerenciamento de risco (PALACIOS *et al.*, 2018).

Assim, diante dos poucos trabalhos práticos de integração do VANT ao SGS em canteiro de obras (PALACIOS *et al.*, 2018; MARTINEZ; GHEISARI; ALARCÓN, 2020; REY, 2020) e dos desafios pertinentes à incorporação de práticas proativas de gestão

da segurança (PROVAN *et al.*, 2020), observa-se que três lacunas do conhecimento podem ser melhor exploradas nesta tese.

Primeiramente, percebe-se que, nenhum dos métodos e fluxogramas propostos para o monitoramento da segurança com VANT integrado ao SGS menciona a necessidade da incorporação de práticas voltadas à perspectiva *Safety-II*. A segunda lacuna gira em torno de como o monitoramento com VANT pode contribuir para a identificação e o desenvolvimento de mecanismos que favoreçam os ajustes de desempenho no âmbito operacional e gerencial, visando a um SGS mais resiliente. Por fim, o risco referente ao uso de uma nova tecnologia não pode ser esquecido, dado que novas aplicações geralmente dão origem a riscos não intencionais (ZHOU; IRIZARRY; LI, 2014), tornando-se necessário compreender e monitorar o impacto de pequenas mudanças (SAURIN; ROOKE; KOSKELA, 2013).

1.3 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

A partir das dificuldades identificadas pelo setor quanto ao monitoramento das condições de trabalho, novos esforços vêm sendo realizados por parte de empresas construtoras para a adoção de tecnologias digitais que colaborem para um melhor desempenho da segurança em canteiro de obras.

Nesse sentido, o Grupo de Pesquisa e Extensão em Gestão e Tecnologia das Construções (GETEC) da Universidade Federal da Bahia (UFBA), coordenado pela professora Dayana Bastos Costa, vem buscando estabelecer parcerias com empresas do setor da construção e instituições de fomento à pesquisa visando ao desenvolvimento de produtos e melhoria dos processos gerenciais. Desde 2014, pesquisadores do GETEC têm desenvolvido estudos voltados ao uso de tecnologias digitais para segurança com ênfase em dispositivos móveis e VANT, contemplados em editais do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), tais como Universal 2014, Produtividade 2016, Universal 2018 e Produtividade 2019.

Nesse contexto, a presente pesquisa de doutorado foi concebida no âmbito dos projetos CNPq Universal 2014 (Uso de Dispositivos Móveis para Monitoramento Integrado de Obras: ênfase no planejamento e controle, qualidade, segurança e sustentabilidade ambiental) e CNPq Produtividade 2016 (Desenvolvimento de Sistema apoiado por VANT para Inspeção de Segurança nas Obras). Dentro do escopo destes projetos, a tese iniciada em novembro de 2016 tinha como proposta desenvolver um

sistema informatizado de inspeção de segurança em canteiro de obras apoiado por VANT.

No entanto, logo no primeiro ano do doutorado foi realizado um convênio com uma empresa parceira do setor da construção visando a estabelecer uma cooperação técnica e científica na área de gestão das construções, direcionada para empreendimentos habitacionais de interesse social. Sendo assim, dentre as pesquisas de interesse da empresa parceira, destaca-se o monitoramento das condições de segurança em canteiro de obras apoiado por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT).

Durante a evolução do estudo, entendeu-se que a tese não se limitava apenas à integração do VANT às rotinas da gestão de segurança, uma vez que, também envolvia a mudança de postura quanto ao uso da tecnologia e entendimento do processo de gestão. Dessa forma, compreendeu-se que a tese poderia avançar no campo do conhecimento ao incorporar a visão da Engenharia de Resiliência (ER) ao uso do monitoramento com VANT.

Com esse direcionamento, a presente pesquisa passou a fazer parte do Projeto em Rede Engenharia de Resiliência e Gestão da Segurança em Sistemas Sociotécnicos Complexos (STERNA), financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e formado pelas seguintes instituições de ensino: Universidade do Rio Grande do Sul (UFRGS), UFBA, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS) e a Universidade Norueguesa de Ciência e Tecnologia (NTNU).

O projeto STERNA tem como objetivo desenvolver colaboração acadêmica com a NTNU em ensino, pesquisa e extensão nas áreas de ER e gestão da segurança em Sistemas Sociotécnicos Complexos (SSC). Portanto, no âmbito deste projeto, a pesquisadora teve a oportunidade de cursar uma disciplina de pós-graduação voltada às temáticas de ER e SSC e apresentar os avanços da tese nos seminários realizados pelo projeto.

Em paralelo com projeto STERNA, os Estudos de Caso B e C desta tese também fizeram parte do projeto CNPq Universal 2018. O projeto CNPq Universal 2018, ainda em andamento, tem como principal objetivo conceber e implementar um sistema integrado para gestão da segurança e produção na construção apoiado por VANT, BIM e técnicas de reconhecimento de padrão – *SMART INSPECS*. Sendo assim, no âmbito

de gestão da segurança, a dissertação realizada por Rey (2020) teve como propósito o desenvolvimento e avaliação de um protótipo de sistema informatizado de inspeção integrando VANT e técnicas de reconhecimento de padrão. Durante o desenvolvimento do protótipo, a presente pesquisa buscou analisar os resultados coletados em campo com VANT incorporando os conceitos da ER.

Após as coletas de dados em campo, a presente pesquisadora teve a oportunidade de realizar um intercâmbio na NTNU pelo Projeto STERNA, com bolsa financiada pela CAPES. Sob a perspectiva de divulgação da pesquisa, os resultados do Estudo de Caso A foram publicados no CIB W099 e TG59 (*International Safety, Health, and People in Construction Conference*), com o título: *Contribution of Resilience Engineering and visual technology to safety planning and control process*, ganhando o prêmio Hinze de melhor artigo. No ano seguinte, a proposta de informatização do processo de inspeção combinado ao protocolo para monitoramento da segurança com VANT ganhou o prêmio ADEMI¹ de inovação acadêmica 2019 (REY; MELO; COSTA, 2020), tendo repercussões positivas no âmbito regional.

A partir do contexto da pesquisa apresentado, a seção a seguir apresenta as questões de pesquisa finais propostas na presente tese.

1.4 QUESTÕES DE PESQUISA

1.4.1 Questão principal

Como o monitoramento com VANT pode contribuir para o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência em canteiro de obras?

1.4.2 Questões específicas

Este trabalho possui as seguintes questões de pesquisa específicas:

- Como integrar o uso do VANT às rotinas organizacionais do sistema de gestão de segurança em canteiro de obras, considerando conceitos da Engenharia de Resiliência?

¹ ADEMI – BA (Associação de Dirigentes de Empresas do Mercado Imobiliário da Bahia).

- Como o monitoramento da segurança com VANT pode favorecer o desenvolvimento de práticas e análises voltadas às perspectivas *Safety-I* e *Safety-II*?
- Como os potenciais de resiliência podem ser desenvolvidos nas rotinas de monitoramento da segurança com VANT?

1.5 OBJETIVOS

O objetivo geral desta tese consiste em propor um modelo prescritivo para orientar o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência assistido pelo monitoramento da segurança com VANT em canteiro de obras.

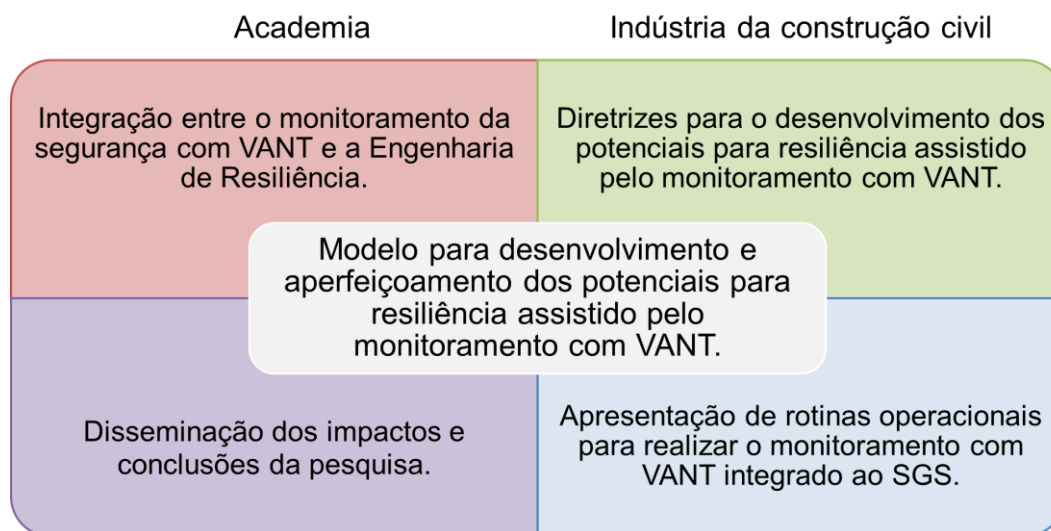
Como objetivos específicos têm-se:

- Propor um protocolo para monitoramento com VANT integrado às rotinas do sistema de gestão da segurança, considerando conceitos da Engenharia de Resiliência.
- Identificar as contribuições do monitoramento com VANT integrado às rotinas do sistema de gestão da segurança para o desenvolvimento das perspectivas *Safety-I* e *Safety-II*.
- Propor diretrizes para o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência assistido por meio do monitoramento da segurança com VANT.

1.6 CONTRIBUIÇÕES DA TESE

Esta tese apresenta contribuições teóricas voltadas à comunidade acadêmica e contribuições práticas direcionadas às construtoras, empresas de consultoria em segurança e instituições públicas que desejem adotar o VANT para realizar atividades de monitoramento e inspeção de segurança em canteiros de obras. A contribuição teórica consiste na proposição de um modelo integrando o monitoramento com VANT e conceitos da Engenharia de Resiliência. Como contribuição prática tem-se a proposição de rotinas operacionais para o monitoramento com VANT integrado ao SGS, à luz da ER. A Figura 1 apresenta um resumo das contribuições da tese para o âmbito acadêmico e para o setor da indústria da construção civil.

Figura 1 - Esquema das contribuições da tese



Fonte: Elaborado pela autora (2020)

1.7 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Para a melhor compreensão desta tese, é preciso deixar claro que os estudos de caso desenvolvidos são focados em Gestão da Segurança, não envolvendo especificamente a Gestão da Saúde, apesar de reconhecer a sua importância e influência nos estudos. Assim, esta tese foca em Gestão da Segurança do Trabalho (GST), e não em Gestão da Saúde e Segurança do Trabalho (GSST), como pode ser mencionado em algumas passagens da revisão da literatura pelo fato destes temas serem usualmente associados.

Outra delimitação importante refere-se à avaliação dos requisitos de segurança situados na área externa da edificação tendo em vista as limitações do VANT. Portanto, não foram avaliados os requisitos de segurança referentes às áreas internas das edificações e à documentação de segurança. Além disso, todos os requisitos de segurança de uso do espaço aéreo recomendados pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2017) foram obedecidos.

Os empreendimentos estudados nesta tese foram gerenciados e executados pela mesma empresa, sendo aplicadas as mesmas ferramentas de gestão e adotados os mesmos processos construtivos, limitando as análises de dados para empreendimentos habitacionais de interesse social.

1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente tese será estruturada em nove capítulos. O **Capítulo 1** teve como finalidade apresentar a justificativa e discutir o problema de pesquisa, incorporando a contextualização e evolução da pesquisa, seus objetivos e delimitações.

O **Capítulo 2** aborda de forma breve e objetiva as diferenças e semelhanças entre os paradigmas *Safety-I* e *Safety-II*, tendo em vista a importância dos conceitos para o desenvolvimento da tese. Além de apresentar a fundamentação teórica sobre a ER e seus potenciais, incluindo uma breve discussão sobre como os mecanismos de resiliência vêm sendo desdobrados na literatura.

O **Capítulo 3** apresenta exemplos de implementações bem-sucedidas de tecnologias digitais integradas à gestão da segurança. Em seguida, são discutidos os principais estudos com o uso do VANT voltados à temática de segurança na construção civil, com um breve comparativo entre as aplicações realizadas e os paradigmas *Safety-I* e *Safety-II*. Como contribuições, este capítulo apresenta reflexões acerca das lacunas a serem trabalhadas em relação ao uso do VANT e aos potenciais de resiliência, tema central desta tese.

O **Capítulo 4** apresenta o método de pesquisa adotado para alcançar os objetivos propostos, detalhando todas as etapas da pesquisa, suas fontes de evidências e análises realizadas.

O **Capítulo 5** apresenta os resultados e discussões dos estudos empíricos, incluindo as análises dos dados segundo as perspectivas *Safety-I* e *Safety-II*, os mecanismos de resiliência e as contribuições para o desenvolvimento do modelo proposto.

O **Capítulo 6** apresenta a avaliação e proposta final do modelo para desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência apoiado pelo monitoramento com VANT.

Por fim, o **Capítulo 7** apresenta as conclusões da presente tese, expondo os objetivos alcançados, suas limitações e a proposição de estudos futuros.

2 GESTÃO DA SEGURANÇA À LUZ DA ENGENHARIA DE RESILIÊNCIA

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos relacionados à gestão da segurança na construção civil. Os termos *Safety-I* e *Safety-II* são discutidos na seção 2.1. Na seção 2.2 são apresentados os conceitos de ER, dando-se ênfase aos potenciais para resiliência e aos mecanismos de ajuste de desempenho. A seção 2.3 discorre sobre o sistema de gestão da segurança na construção civil com foco no monitoramento em canteiro de obras. A seção 2.4 discute os desafios da aplicação da ER na construção em relação ao modelo de gestão tradicional. A seção 2.5 apresenta as considerações finais.

2.1 AS DIFERENÇAS E SEMELHANÇAS ENTRE *SAFETY-I* E *SAFETY-II*

Hollnagel (2014) apresenta os termos *Safety-I* e *Safety-II* para distinguir como a segurança pode ser interpretada. A perspectiva *Safety-I* é associada à preocupação com os eventos que podem dar errado (acidentes e incidentes), com a qual busca-se formas de reduzi-los ou eliminá-los (HOLLNAGEL, 2014; 2018). Por outro lado, na perspectiva *Safety-II* acredita-se que para melhorar a segurança é necessário observar as coisas que são feitas corretamente no dia a dia das operações, ao invés de olhar apenas para os erros e eventos indesejados (HOLLNAGEL; WEARS; BRAITHWAITE, 2015; SUJAN; HUANG; BRAITHWAITE, 2017).

Hollnagel (2014) discute algumas ideias preconcebidas no paradigma *Safety-I*. Dentre as preconcepções mais comuns, destacam-se: (a) decomposição – os sistemas podem ser decompostos em constituintes significativos para a compreensão do todo, (b) conformidade – os sistemas serão mais seguros se as pessoas seguirem exatamente os procedimentos, (c) defesa e proteção - o aumento da quantidade de barreiras levará a uma maior segurança, e (d) causalidade - todos os acidentes têm causas e essas causas podem ser encontradas e eliminadas.

Dessa maneira, a abordagem *Safety-I* busca promover uma visão bimodal do trabalho e das atividades. Enquanto o sucesso das operações ocorre porque o sistema funciona como deveria e as pessoas trabalham segundo os procedimentos, o fracasso é associado aos erros, desvios e mau funcionamento do sistema (HOLLNAGEL; WEARS; BRAITHWAITE, 2015). Essas premissas são trabalhadas nos modelos

de acidentes linear (modelo dominó) e epidemiológico (modelo queijo suíço), fundamentados na teoria da causalidade. No modelo dominó, o objetivo da análise de eventos é encontrar a causa raiz do acidente (HOLLNAGEL, 2006; MIGUEL, 2010). Para o modelo queijo suíço, os acidentes são vistos como a inter-relação entre atos inseguros e condições latentes (REASON, 1998) e as defesas e barreiras (tecnologias, procedimentos e controles administrativos) ocupam uma posição-chave na abordagem do sistema (REASON, 2000).

Embora as premissas apresentadas sejam adequadas para os sistemas tecnológicos, nem sempre podem ser aplicadas aos sistemas sociotécnicos (HOLLNAGEL; WEARS; BRAITHWAITE, 2015), dado que estes também se constituem de componentes humanos e organizacionais. Além disso, considera-se que as razões pelas quais os eventos aconteceram no passado não necessariamente serão as mesmas razões pelas quais os acidentes podem acontecer no futuro, tendo em vista o caráter dinâmico e não linear dos sistemas sociotécnicos complexos (HOLLNAGEL, 2014). Portanto, a relação causa-efeito aplicada na abordagem *Safety-I* deixa de fazer sentido quando aplicada aos sistemas não lineares. O princípio da ressonância surge, então, para interpretar os efeitos de pequenas ou até insignificantes variações em sistemas não lineares (HOLLNAGEL, 2014).

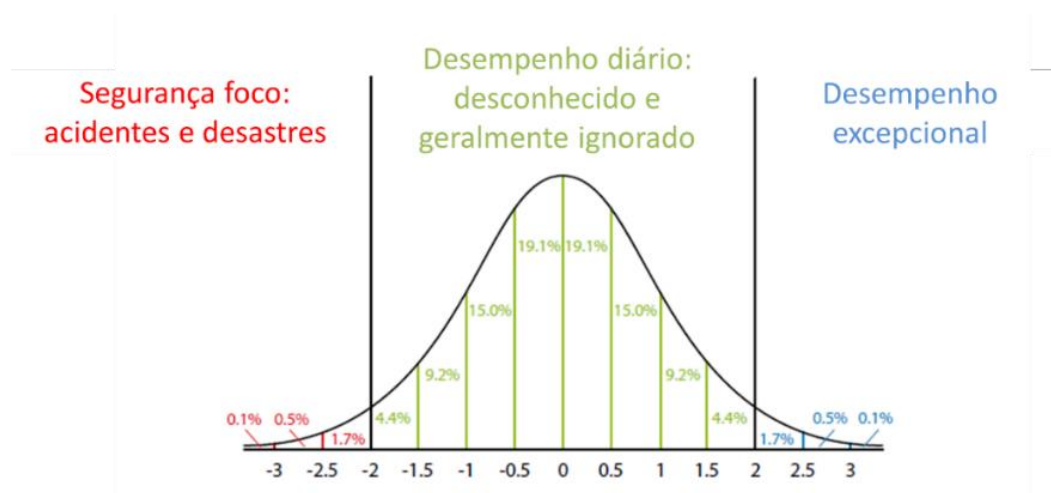
Petterson e Deutsch (2015) afirmam que diante da complexidade, interdependência e intratabilidade dos sistemas complexos, os resultados desejáveis surgem porque as pessoas ajustam suas ações em oposição às condições de trabalho reais, e não segundo as condições imaginadas. Portanto, os ajustes de desempenho são gerados para compensar as limitações encontradas nas rotinas diárias. Ou seja, se houvesse tempo, informações e recursos suficientes em uma situação de trabalho, tais ajustes não seriam necessários (DEKKER; PRUCHNICKI, 2013; HOLLNAGEL, 2014).

Essas reflexões fazem com que os conceitos de trabalho realizado (*work-as-done*) e de trabalho imaginado (*work-as-imagined*) se tornem mais bem compreendidos. O trabalho imaginado é embasado na crença de que a segurança está atrelada à eficácia dos procedimentos e aos padrões pré-estabelecidos de conformidade (HOLLNAGEL, 2010; HOLLNAGEL; WEARS; BRAITHWAITE, 2015). Nesse caso, os procedimentos são concebidos considerando as condições ideais, ignorando a incerteza

e a variabilidade quanto à disponibilidade de recursos, informações e tempo. Por outro lado, o trabalho realizado representa a realidade do trabalho cotidiano e reflete a variabilidade de desempenho de como o trabalho acontece na prática (NAKAJIMA; MASUDA; NAKAJIMA, 2016; SAURIN; ROSSO; COLLIGAN, 2016).

Os ajustes de desempenho (*Safety-II*) ocorrem na faixa do desempenho diário, necessários ao funcionamento do sistema e representados pela alta frequência dos acontecimentos (Figura 2). Já os eventos associados à perspectiva *Safety-I* ocorrem em uma menor frequência, sendo usualmente relacionados aos fatores humanos (HOLLNAGEL; WEARS; BRAITHWAITE, 2015).

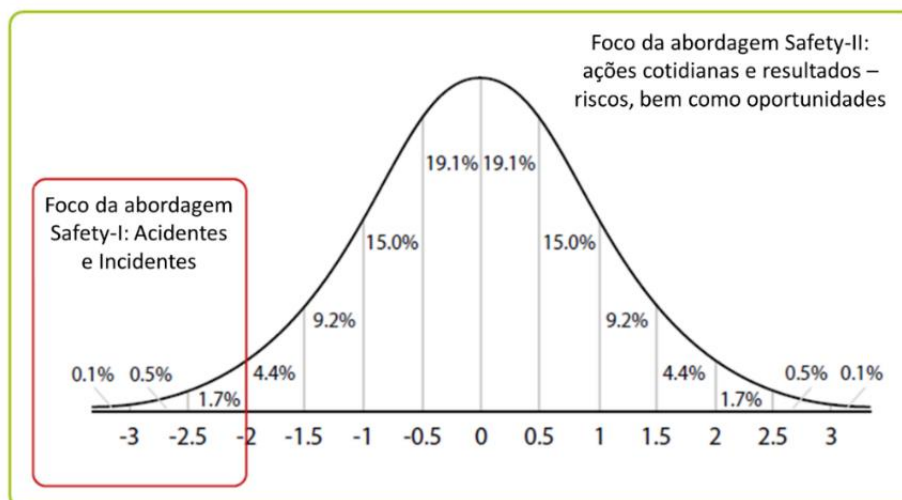
Figura 2 - Probabilidade de eventos e foco de segurança



Fonte: Adaptado Hollnagel, Wears e Braithwaite (2015).

No entanto, é preciso reconhecer que, para a perspectiva *Safety-II*, todos os resultados são possíveis (positivos e negativos), fazendo-se necessário compreender os riscos e as oportunidades das ações cotidianas, como ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Foco das abordagens *Safety-I* e *Safety-II*



Fonte: Adaptado Hollnagel, Wears e Braithwaite (2015).

Fica claro, portanto, que ambas as perspectivas buscam melhorias nas condições de trabalho. Porém, a segurança é abordada de forma distinta gerando diferenças notáveis no modo de entender e observar os acontecimentos. Na visão *Safety-I* predomina a noção de que violações são comportamentos, em grande parte, negativos, contrastando com a *Safety-II*, que coloca algumas violações como uma tentativa das equipes de gerenciar a complexidade dos sistemas e lidar com a variabilidade (HOLLNAGEL, 2011; DEKKER; PRUCHNICKI, 2013; JONES; PHIPPS; ASHCROFT, 2018). Nesse contexto, Jones, Phipps e Ashcroft (2018) ressaltam que em determinados momentos as violações situacionais ocorrem para manter a produtividade, comprometendo a capacidade da equipe de realizar os ajustes de desempenho. Como forma de evitar esse tipo de situação, Rasmussen (1997) e Dekker (2003) propõem que em vez de aumentar a pressão para a equipe cumprir os procedimentos, a gerência deve buscar desenvolver a capacidade da equipe de se adaptar sob pressão.

Enquanto a perspectiva *Safety-I* tem uma tendência em negligenciar o potencial humano na manutenção das condições de segurança (HOLLNAGEL, 2014), a perspectiva de *Safety-II* busca focar na compreensão do desempenho humano como produto do trabalho diário (HOLLNAGEL, 2014; TEPERI, 2019). Dessa forma, o desempenho humano deixa de ser o “percussor de erros e falhas” e começa a ser visto como um recurso essencial para uma ação bem-sucedida, promovendo mudanças e melhorias no sistema (HOLLNAGEL, 2014; TEPERI, 2019).

É preciso esclarecer que o processo de avaliação de risco é usualmente associado à perspectiva *Safety-I*, uma vez que, é realizado por meio de uma análise retroativa de eventos negativos. Para a perspectiva *Safety-II*, a avaliação de risco deve ser realizada de forma continuada, considerando que novos eventos podem emergir em decorrência do caráter dinâmico e não linear dos sistemas (HOLLNAGEL, 2014).

Portanto, para um gerenciamento de segurança proativo é necessário que os ajustes sejam feitos antes que algo aconteça, redirecionando as ações para que o objetivo seja alcançado. Isso, por sua vez, requer uma compreensão de como o sistema funciona, como as atividades interferem umas nas outras, além dos meios apropriados (pessoas e recursos) para proposição de uma ação de resposta (HOLLNAGEL, 2014).

Sendo assim, apesar de serem descritas como duas maneiras diferentes de ver e alcançar a segurança, as abordagens *Safety-I* e *Safety-II* não se excluem mutuamente (HOLLNAGEL, 2014; JONES; PHIPPS; ASHCROFT, 2018; TAPERI, 2019; WAHL; KONGSVIK; ANTONSEN, 2020). Ou seja, não significa que a perspectiva *Safety-I* deva ser completamente abandonada para a adoção da perspectiva *Safety-II*, mas, que precisam ser combinadas, a fim de proporcionar uma visão mais equilibrada e favorecer o aprendizado com o trabalho diário (HOLLNAGEL, 2014; JONES; PHIPPS; ASHCROFT, 2018; TAPERI, 2019). A Figura 4 apresenta que as perspectivas podem coexistir em um mesmo ambiente, no entanto, é necessário a adoção da perspectiva *Safety-II* para avançar em direção a ER.

Figura 4 - Relação entre *Safety-I* e *Safety-II*



Fonte: Adaptado de Hollnagel (2014).

Em resumo, o Quadro 1 apresenta as principais diferenças entre as abordagens *Safety-I* e *Safety-II*.

Quadro 1 - Critérios de comparação entre *Safety-I* e *Safety-II*

Critérios	<i>Safety-I</i>	<i>Safety-II</i>
Definição de Segurança	Reduzir as coisas que podem dar errado.	Aumentar as coisas que podem dar certo.
Base de aprendizado	Eventos negativos ou eventos indesejados.	Trabalho diário (trabalho realizado).
Princípio de gestão da segurança	Reativo, responde quando algo acontece ou é categorizado como um risco inaceitável.	Proativo, está continuamente tentando antecipar o desenvolvimento de ações e eventos.
Visão dos fatores humanos	As pessoas são predominantemente vistas como um passivo ou perigo.	As pessoas são vistas como um recurso necessário para a flexibilidade do sistema e resiliência.
Investigação de acidentes	Acidentes são causados por falhas e mau funcionamento do sistema. O propósito da investigação consiste na identificação das causas.	Os eventos positivos e negativos acontecem basicamente da mesma maneira. O propósito da investigação é entender como as coisas certas são realizadas para explicar como as coisas podem ocasionalmente dar errado.
Estratégias para lidar com a variabilidade do desempenho	Danos devem ser evitados por meio da adoção de barreiras, processos padronizados e conformidade com procedimentos.	A variabilidade precisa ser monitorada e gerenciada, conciliando o trabalho imaginado e o trabalho realizado.

Fonte: Adaptado Hollnagel, Wears e Braithwaite (2015) e Peñaloza *et al.* (2019).

2.2 ENGENHARIA DE RESILIÊNCIA (ER) E OS AJUSTES DE DESEMPENHO

2.2.1 Evolução dos conceitos

A origem da ER como uma disciplina no campo do conhecimento data de meados dos anos 2000, apresentando-se como um novo entendimento dos fatores relacionados ao erro humano e ao desempenho em sistemas sociotécnicos (WOODS; WREATHALL, 2003; BERGSTRÖM; DEKKER, 2019). Uma contextualização e evolução histórica detalhada pode ser encontrada em Bergström e Dekker (2019).

Para Bergström e Dekker (2019), o primeiro simpósio de ER, realizado em 2004, representa um importante marco para o desenvolvimento da disciplina, tendo como

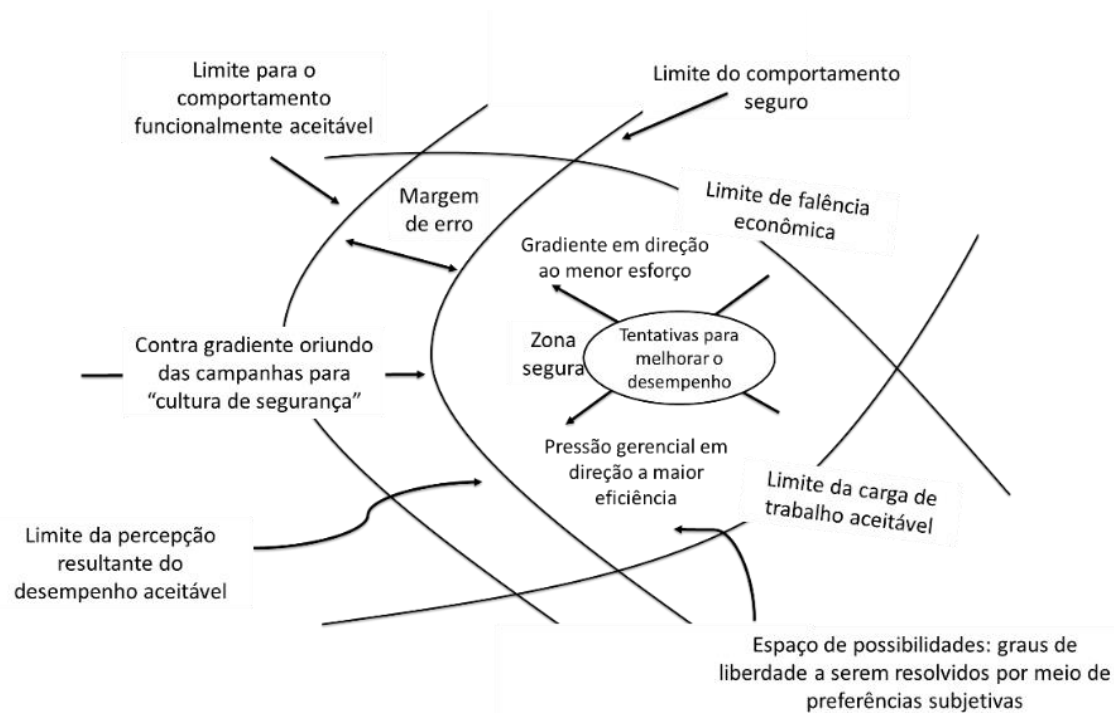
principal produto o livro *Resilience Engineering: concepts and precepts*, publicado por Hollnagel, Woods e Leveson (2006). Este livro contém as primeiras definições de resiliência, ponto de partida para um melhor entendimento dos conceitos abordados nesta tese.

Na visão de Hollnagel (2006, p.16), a resiliência é interpretada como sendo a “**capacidade intrínseca de uma organização** ou sistema em manter ou recuperar um estado dinamicamente estável, permitindo continuar as operações após eventos inesperados ou na presença de um estresse contínuo”. Woods (2006, p. 21), por sua vez, refere-se à resiliência como uma “**capacidade mais ampla de quão bem uma organização ou sistema** consegue lidar com as rupturas e variações que ficam fora do mecanismo básico de adaptação”. Hale e Heijer (2006, p.35) caminham para um entendimento mais gerencial da resiliência, descrevendo-a como uma “**característica das organizações** em gerenciar as atividades visando a antecipar e contornar as ameaças à sua existência e objetivos principais”.

Observa-se que existe um consenso no entendimento da resiliência como uma **capacidade ou característica intrínseca à organização ou sistema**, cujo propósito consiste em gerenciar as condições de contorno do modelo atual de competência (como as estratégias são compatíveis com as demandas) e ajustar esse modelo em função das ameaças para acomodar melhor as demandas (WOODS, 2006; DINH *et al.*, 2012).

Para Hale e Heijer (2006), essa percepção de resiliência pode ser facilmente alinhada ao modelo proposto por Rasmussen (1997), projetado como a capacidade de gerenciar as atividades perto do limite de desempenho aceitável sem ultrapassar a área irreversível de perigo (Figura 5). Isto requer uma conscientização muito sensível de onde a organização/atividade está em relação a essa área de perigo e da sua capacidade de prover uma resposta ágil e eficaz.

Figura 5 - Modelo sistêmico de limites de desempenho



Fonte: Adaptado de Rasmussen (1997).

Em suas reflexões, Rasmussen (1997) já discutia que as pessoas se adaptam às condições do ambiente e que a adoção de práticas que desenvolvam o julgamento do trabalhador deve ser melhor trabalhada, em vez de simplesmente ensiná-lo a seguir regras. Dessa forma, deve-se buscar tornar os limites de trabalho seguros, explícitos e conhecidos, e não dispendar muito esforço e energia para combater erros e desvios. Para isto, é preciso treinar as pessoas a trabalharem próximas ao limite de desempenho aceitável e aumentar a consciência das situações de perigo por meio de campanhas de instrução e motivação. O referido autor também argumenta que os sistemas estão sujeitos a constantes pressões de custo, carga de trabalho e desempenho, que os levam a trabalhar na proximidade de áreas perigosas, com maior possibilidade de ocorrência de acidentes.

Seguindo essa lógica de raciocínio, Woods (2006) argumenta que um dos propósitos da ER é **compreender como as organizações lidam com os conflitos** de metas que surgem a partir da pressão para ser "*faster, better, cheaper*", ou seja, "mais rápido, melhor e mais barato". Para lidar com esses conflitos, é preciso entender quando relaxar a pressão sobre a produção para reduzir o risco de acidentes. Essa

estratégia é conhecida como julgamento de sacrifício. Entende-se, então, que a resiliência deve buscar prevenir a perda de controle, em vez de dar ênfase ao processo de recuperação após o acontecimento de eventos adversos (HALE; HEIJER, 2006).

Woods (2015) desdobra o conceito de resiliência em quatro pontos de vista, que são: (1) resiliência como a **habilidade de recuperar-se** de eventos perturbadores e retornar ao estado de equilíbrio, (2) resiliência como **robustez**, associada à capacidade do sistema de absorver distúrbios, (3) resiliência como **extensibilidade graciosa**, relacionada à capacidade do sistema em estender seu desempenho na presença de eventos não previstos, alterando seus limites de operação, e (4) resiliência como a **adaptabilidade sustentada**, associada à capacidade de se adaptar a eventos inesperados como condição básica para continuar a evoluir.

Labaka, Hernantes e Sarriege (2015) definem a resiliência como a **capacidade do sistema** de prevenir a ocorrência de crises por meio da absorção dos impactos quando necessário. Para os referidos autores, a resiliência pode ser sintetizada em quatro dimensões, quais sejam técnica, organizacional, social e econômica. A dimensão técnica está orientada à capacidade do sistema físico da organização de funcionar adequadamente quando sujeito a uma crise. A dimensão organizacional está voltada à capacidade dos gestores e líderes de tomar decisões no sentido de evitar situações disruptivas ou minimizar seus impactos. A dimensão econômica refere-se à capacidade de absorver ou gerenciar os custos extras decorrentes de eventos indesejados. E, por fim, a dimensão social está voltada à capacidade da sociedade ou do conjunto de pessoas de prover ações capazes de amortecer os impactos de uma crise.

Em seu livro *Safety-II in Practice: Developing the Resilience Potentials*, Hollnagel (2018, p. 14) discute que a resiliência pode ser entendida como a “**capacidade de como as pessoas, sozinhas ou juntas, lidam com situações cotidianas** - grandes e pequenas - ajustando seu desempenho às condições do ambiente”.

De modo geral, com exceção de Hollnagel (2018), todas as demais definições consideram a resiliência como uma habilidade/propriedade do sistema ou organização. Apesar das diferentes interpretações, o caráter de ajuste de desempenho é apresentado de forma explícita na maioria das definições, sendo relacionado com as ações de **lidar, gerenciar, adaptar, recuperar, estender ou absorver** os efeitos e distúrbios do sistema.

Embora seja implícito o entendimento de que os ajustes de desempenho são realizados por pessoas sozinhas ou juntas, como caracterizado por Hollnagel (2018), no contexto desta pesquisa, entende-se que a resiliência não pode ser atribuída apenas ao subsistema social, uma vez que existem condições técnicas/tecnológicas, organizacionais e externas que contribuem para o desempenho resiliente. Portanto, adota-se a resiliência como uma **propriedade da organização/sistema** de gerenciar suas atividades, antecipando as ameaças e oportunidades, a fim de acomodar melhor as demandas após eventos inesperados ou na presença de um estresse contínuo.

Com a consolidação do conceito de resiliência, é preciso deixar clara a relação entre a ER e a perspectiva *Safety-II*. Segundo Dekker (2003) e Schafer *et al.* (2008), a adoção de procedimentos, diretrizes, equipamentos de proteção pessoal e barreiras não tornam o sistema resiliente, mas sim o monitoramento contínuo de como as coisas são feitas (*Safety-II*) (HOLLNAGEL; WEARS; BRAITHWAITE, 2015). Portanto, todas as adaptações realizadas, sejam elas bem-sucedidas ou não, fornecem evidências sobre o estado atual do sistema e de sua capacidade de adaptação (RANKIN; LUNDBERG; WOLTJER, 2014) e favorecerem a compreensão das práticas que contribuem para os ajustes de desempenho.

2.2.2 Princípios adotados na ER

Ao avaliar os avanços dos estudos na área de ER nos seus dez primeiros anos, Nemeth e Herrera (2015) classificam a evolução da disciplina de pesquisa em: observação, análise e desenvolvimento. Segundo os referidos autores, o caráter observacional da ER foi o que mais se desenvolveu ao longo dos anos, contribuindo para a geração de um conjunto de princípios e identificação de fatores que influenciam na geração de um desempenho resiliente.

A literatura aponta que os princípios da resiliência vêm sendo usados em diversas indústrias de forma a avançar-se no campo do conhecimento. Woods e Wreathall (2003) apresenta um conjunto de dimensões essenciais para alcançar a resiliência, tais quais: (a) observabilidade/opacidade, representada pela capacidade de se monitorar as tomadas de decisão e os limites de segurança; (b) comprometimento da gestão em balancear as pressões entre produção e segurança; (c) cultura de se reportar preocupações e problemas de segurança; (d) cultura de aprendizado; (e) antecipação de problemas; (f) flexibilidade; e (g) revisão de procedimentos.

Costella (2008) propõe um método para avaliar o SGSST dando ênfase a quatro princípios da ER, quais sejam, comprometimento da alta direção, aprendizagem, flexibilidade e consciência. De forma semelhante, Saurin, Formoso e Cambraia (2008) analisam as boas práticas de segurança na construção civil à luz dos princípios: flexibilidade, aprendizado e conscientização. Para os referidos autores, o aprendizado deve emergir dos incidentes e da compreensão do trabalho normal, visando a disseminar as estratégias de sucesso.

Wreathall (2006) estabelece sete princípios que as organizações resilientes possuem, quais sejam: comprometimento da alta direção, cultura de relatórios, aprendizagem, conscientização, preparação, flexibilidade e opacidade. Para o referido autor, a opacidade consiste na capacidade da organização em estar ciente dos limites e reconhecer quão perto seu desempenho está deste "limite" em termos de defesas degradadas e barreiras, corroborando com Woods e Wreathall (2003).

Dinh *et al.* (2012) identificam em seu estudo os seguintes princípios: flexibilidade, controlabilidade, detecção precoce, minimização de falhas, limitação de efeitos e controles e procedimentos administrativos. No referido estudo, os princípios flexibilidade e detecção precoce apresentam conceitos claros e independentes, ao contrário dos demais. Dessa forma, um processo é considerado flexível se consegue operar sob vários distúrbios, ou seja, se os *outputs* permanecem dentro de um intervalo desejado, apesar da variação dos *inputs*. Enquanto a detecção precoce está relacionada à capacidade dos trabalhadores em reconhecer condições anormais.

Azadeh e Zarrin (2015) incluíram aos princípios propostos por Costela (2008) a cultura de relatórios e a prontidão. A cultura de relatórios busca favorecer o aumento de relatos de problemas por parte da equipe, enquanto a prontidão busca preparar a equipe para a proposição de resposta em situação de emergência. Azadeh, Salehi e Mirzayi (2016) avaliaram a correlação entre as variáveis auto-organização, trabalho em equipe, redundância e tolerância a falhas e os princípios estabelecidos por Azadeh e Zarrin (2015). Os resultados das análises mostraram que as variáveis trabalho em equipe e redundância tiveram maior influência na resiliência dos sistemas.

O Quadro 2 apresenta um resumo dos sete princípios mais citados na literatura.

Quadro 2 - Princípios da ER identificados na literatura

Princípio	Descrição	Referências
Flexibilidade	É a capacidade de adaptar-se às mudanças, perturbações e oportunidades.	Woods e Wreathall (2003); Costella (2008); Saurin, Formoso e Cambraia (2008); Wreathall (2006); Dinh <i>et al.</i> (2012); Azadeh e Zarrin (2015).
Comprometimento da alta direção	É a capacidade da alta direção de demonstrar uma devoção à segurança acima ou do mesmo modo que a outros objetivos da empresa.	Woods e Wreathall (2003); Costella (2008); Wreathall (2006); Azadeh e Zarrin (2015); Azadeh, Salehi e Mirzayi (2016).
Consciência ou Conscientização	É a capacidade de estar cientes do estado atual da organização e das defesas do sistema.	Woods e Wreathall (2003); Costella (2008); Saurin, Formoso e Cambraia (2008); Wreathall (2006); Azadeh e Zarrin (2015); Azadeh, Salehi e Mirzayi (2016).
Cultura de relatórios/relatos	É a capacidade de encorajar o relato de problemas e preocupações com a segurança por parte dos trabalhadores.	Woods e Wreathall (2003); Wreathall (2006); Azadeh e Zarrin (2015); Azadeh, Salehi e Mirzayi (2016).
Aprendizado	É a capacidade de aprender com o trabalho normal ou realizado, não ignorando a oportunidade de aprendizado com acidentes, incidentes e outros eventos.	Woods e Wreathall (2003); Costella (2008); Saurin, Formoso e Cambraia (2008); Wreathall (2006); Azadeh e Zarrin (2015); Azadeh, Salehi e Mirzayi (2016).
Preparação/Prontidão/ Antecipação/ Detecção precoce/ Comando	É a capacidade proativa de detectar problemas nos estágios iniciais, visando a respondê-los antecipadamente.	Woods e Wreathall (2003); Wreathall (2006); Dinh <i>et al.</i> (2012); Azadeh e Zarrin (2015); Azadeh, Salehi e Mirzayi (2016).
Opacidade	É a capacidade da organização em monitorar os limites e conhecer quão perto seu desempenho está do "limite" em termos de defesas degradadas e barreiras.	Woods e Wreathall (2003); Wreathall (2006).

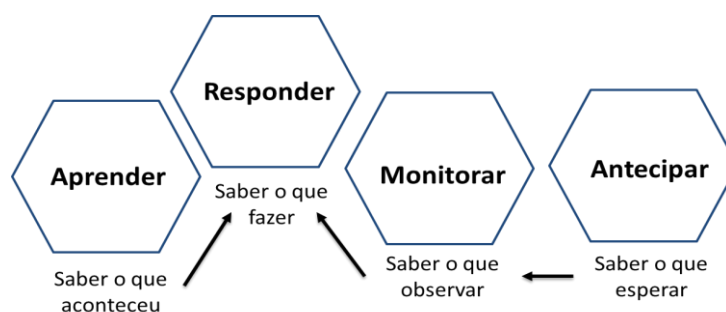
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

2.2.3 Potenciais para resiliência

Como já discutido, a capacidade de ajustar o desempenho às condições do ambiente é considerado o termo-chave da ER. Segundo Hollnagel (2010; 2018), essa

capacidade está alinhada aos quatro potenciais ou habilidades necessárias para desenvolver a resiliência, tais como, monitorar, responder, antecipar e aprender. Segundo o referido autor, as habilidades de antecipar, monitorar e aprender influenciam diretamente na habilidade de responder, como apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Relação entre as habilidades de resiliência



Fonte: Adaptado de Hollnagel (2010).

2.2.3.1 Habilidade de Monitorar

A habilidade de monitorar envolve o monitoramento do ambiente operacional, assim como o monitoramento do ambiente organizacional, permitindo-se lidar com os eventos de curto prazo, sejam eles ameaças ou oportunidades (HOLLNAGEL, 2018). O monitoramento é frequentemente associado ao sistema de medição de desempenho (SAURIN; FORMOSO; FAMÁ, 2014), podendo este ser proativo ou reativo. O monitoramento reativo busca dar ênfase aos eventos que já aconteceram, como, por exemplo, os acidentes e incidentes. Para ser considerado proativo, Hollnagel (2018) argumenta que o monitoramento deve ser capaz de reconhecer situações futuras e fazer uso de indicadores *leading*.

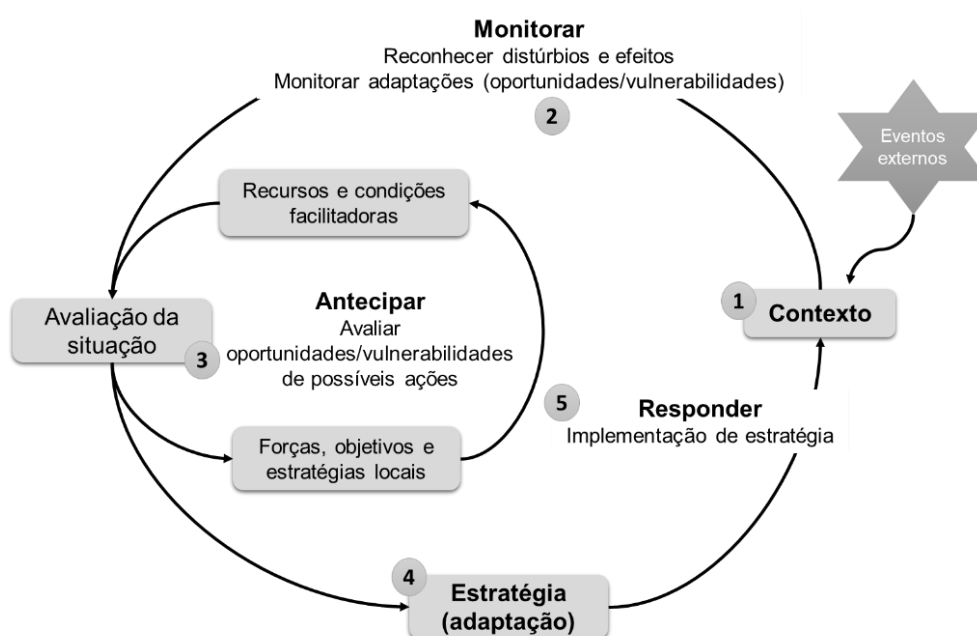
As discussões sobre indicadores *lagging* e *leading* vêm sendo frequentemente abordadas na literatura (HOPKINS, 2009; KJELLÉN, 2009; HINZE; THURDMAN; WEHLE, 2013). Um indicador é considerado *lagging* quando está associado a eventos passados (HERRERA, 2012; WOODS *et al.*, 2015), como taxa de frequência e taxa de gravidade de acidentes. Os indicadores *leading*, por sua vez, são caracterizados por permitirem que a organização conheça seu estado atual de desempenho, favorecendo a antecipação de problemas e oportunidades (HERRERA, 2012). Por exemplo, o índice de conformidade, o percentual de inspeções e auditorias programadas concluídas e o número de relatórios enviados e processados anualmente (KARANIKAS, 2017).

De modo geral, o grande diferencial dos indicadores do tipo *leading* é a possibilidade de apoiar a tomada de decisão para responder em tempo hábil (HINZE; THURDMAN; WEHLE, 2013). Para a ER, isto significa dar suporte para que os ajustes de desempenho sejam feitos quando necessários, visando à continuidade do funcionamento do sistema.

Para Hollnagel (2018), quanto mais cedo a necessidade de intervenção for detectada e mais ágil uma ação for proposta, menor o esforço para correção. Do contrário, se a situação se desenvolve, uma resposta tardia demandará um maior esforço em termos de custo e duração do que uma resposta antecipada.

Segundo Rankin, Lundberg e Woltjer (2014), o monitoramento deve levar em consideração o *feedback* do sistema, os objetivos e as condições organizacionais, visando a implementar a melhor estratégia com os recursos disponíveis (Figura 7). Para os referidos autores, o monitoramento deve ser direcionado para reconhecer determinadas pistas, e as respostas devem ser embasadas no que é possível dentro do contexto especificado.

Figura 7 - Modelo da inter-relação entre os potenciais de resiliência



Fonte: Adaptado de Rankin, Lundberg e Woltjer (2014).

Como representado no modelo proposto por Rankin, Lundberg e Woltjer (2014) e também discutido por Hollnagel (2018), o monitoramento é essencial para avaliar a situação e, conseqüentemente, para propor uma ação condizente com a realidade da

organização. O conhecimento sobre as condições internas da organização é na maioria das vezes visto como irrelevante, sendo então negligenciado durante o monitoramento. Dessa forma, o conhecimento da situação atual da organização/sistema e dos recursos existentes são fatores que possibilitam a proposição de uma estratégia alinhada ao contexto.

Rankin, Lundberg e Woltjer (2014) argumentam que é preciso monitorar os efeitos das adaptações ao longo do tempo, uma vez que os sistemas podem sofrer mudanças para lidar com as demandas. Portanto, como o monitoramento é realizado, a sua frequência, os parâmetros e os critérios avaliados são fatores de extrema importância para a efetividade e eficiência do monitoramento (HOLLNAGEL, 2018).

2.2.3.2 *Habilidade de responder*

Quando se observa a habilidade de responder como uma função do sistema, as principais questões a serem consideradas são: (1) saber o que fazer; (2) como fazer; e (3) quando fazer (HOLLNAGEL, 2018). Para que isso ocorra, faz-se necessário que algum tipo de condição ou entrada (*input*) seja fornecido pelo sistema visando a desencadear uma ação de resposta (HOLLNAGEL, 2018). Na Figura 7, percebe-se que a resposta é uma saída (*output*) da avaliação da situação gerada a partir da conscientização fornecida no monitoramento (*input*).

Para Pariès (2011), a resposta tem como base duas estratégias. A primeira, de caráter proativo, busca antecipar as possíveis situações disruptivas, predefinindo planos com instruções sobre o que fazer para gerenciar e controlar a situação. A segunda, de caráter reativo, busca gerar soluções após os eventos acontecerem.

De modo geral, é unificada a interpretação de que a definição da estratégia deve levar em consideração a avaliação do estado atual do sistema, objetivos, metas e os recursos disponíveis (RANKIN; LUNDBERG; WOLTJER, 2014; PARIÈS, 2011; HOLLNAGEL, 2018), verificando se o efeito pretendido foi alcançado (HOLLNAGEL, 2018). Para isso, é necessário que os recursos sejam disponibilizados no tempo certo (PARIÈS, 2011; HOLLNAGEL, 2018). Hollnagel (2018) complementa que profissionais competentes e preparados são recursos importantes e difíceis de serem substituídos, e que os materiais e equipamentos podem se tornar recursos críticos em situações específicas.

O gerenciamento do tempo de resposta é um fator essencial para a eficácia e eficiência da ação. Portanto, o ato de responder requer preparação, sendo necessário a construção e a manutenção da capacidade de estar de prontidão para lidar com os problemas reais (PECILLO, 2016).

2.2.3.3 *Habilidade de Aprender*

A habilidade de aprender está vinculada à forma com que a organização modifica ou adquire novos conhecimentos, competências e habilidades. O processo de aprendizado acontece de forma incremental, sendo construído a partir de experiências e conhecimentos anteriores (HOLLNAGEL, 2018). Dessa forma, o autor mencionado discute que as falhas no processo de aprendizado comprometem a capacidade da organização de tomar decisões eficazes e, em consequência, a organização permanece presa em um ciclo de monitorar sempre os mesmos valores e condições. Assim, a organização não evolui para situações de maior complexidade.

A busca por entender o processo de aprendizado das organizações não é algo específico da ER. Argyris (1976) e Argyris e Chön (1978) descrevem dois modelos de tomada de decisão, conhecidos como aprendizado de ciclo simples e aprendizado de ciclo duplo. No ciclo simples, o aprendizado ocorre em resposta à detecção de erros, no qual os participantes não são estimulados a questionar o projeto, os objetivos e as atividades fundamentais de suas organizações. Por outro lado, no ciclo duplo, a detecção e correção dos erros requer um ciclo de aprendizagem organizacional, envolvendo mudanças nas normas e objetivos das organizações. O processo de aprendizagem organizacional conduz a organização à forma de aprendizagem denominada aprendizagem-deutero (*deutero-learning*), que refere-se “às interações entre o mundo comportamental da organização e sua capacidade de aprender” (ARGYRIS; CHÖN, 1978, p.29).

Segundo Sujan, Huang e Braithwaite (2017) e Sujan (2018), as abordagens de aprendizagem centrada na ocorrência de erros (estudos de acidentes e incidentes) ainda é predominante na cultura contemporânea. Ou seja, o aprendizado é sobre o que deu errado, que tipos de erros foram cometidos e quais barreiras e sistemas falharam (*Safety-I*) (SUJAN, 2018). Por outro lado, acredita-se que é possível aprender com as experiências passadas, estudando não apenas o que deu errado, mas considerando-se também o que deu certo (HOLLNAGEL, 2014; SUJAN; HUANG;

BRAITHWAITE, 2017; WAHL; KONGSVIK; ANTONSEN, 2020). Esse novo olhar busca incorporar as lições aprendidas referentes às coisas que deram certo, resultantes dos ajustes de desempenho das operações diárias (*Safety-II*).

Com base em uma análise de dados de incidentes, Sujan, Huang e Braithwaite (2017) discutem que as dificuldades encontradas são provenientes do processo de aprendizado de ciclo simples. Isso significa que, em um primeiro momento, o foco consiste em propor soluções rápidas visando à prevenção do evento indesejável (DRUPSTEEN; GULDENMUND, 2014). Soluções deste tipo não questionam valores, premissas e políticas subjacentes e, portanto, não são capazes de proporcionar mudanças e melhorias mais profundas (ARGYRIS; SCHÖN, 1978), além de gerar eventos reincidentes pelas mesmas razões.

Outro ponto de discussão refere-se à proposição de soluções tendo como referência o trabalho imaginado, sem questionar a validade ou adequação ao contexto real. No pior dos cenários, as intervenções propostas introduzem mais restrições, tensões e contradições ao sistema, dificultando o processo de aprendizado (SUJAN; HUANG; BRAITHWAITE, 2017).

Na visão de Hollnagel (2018), as razões que comprometem a eficácia do processo de aprendizado são de caráter organizacional. Segundo o referido autor, a organização precisa adotar a postura de que o aprendizado é importante em todos os momentos e que não deve ser posto em conflito com outras prioridades, por exemplo, a produtividade. Além disso, é necessário evidenciar os benefícios do processo de aprendizado e destacar que as falhas ampliam as deficiências da organização em monitorar, responder e antecipar situações de oportunidades e vulnerabilidades em longo prazo. Para Viitanen, Liinasuo e Skjerve (2018), o aprendizado a partir de operações bem-sucedidas é realizado de maneira informal, tendo como um dos entraves a carência de ferramentas e técnicas avançadas.

Para Sujan, Huang e Braithwaite (2017), a mudança de foco do aprendizado a partir de falhas extraordinárias (acidentes e incidentes) para os ajustes de desempenho realizados pelos profissionais da linha de frente apresenta ganhos significativos. Segundo os referidos autores, é possível obter uma melhor compreensão da dinâmica real do sistema utilizando os relatórios para descrever como os problemas se mani-

festaram e como os profissionais lidaram com a situação, ou seja, como eles adaptaram seu comportamento para proporcionar segurança e um atendimento de boa qualidade.

Percebe-se, então, que o objetivo do aprendizado deve ser o de apreciar a contribuição positiva das adaptações diárias e identificar maneiras que fortaleçam a capacidade adaptativa (SUJAN, 2018). Sujan, Huang e Braithwaite (2017) argumentam que o processo de aprendizado precisa ser mais inclusivo, visando envolver os trabalhadores na linha de frente para reverter o aprendizado em prática. Para isso, o processo de aprendizado deve ser direcionado para a melhoria do processo, e menos para atribuição de culpa.

O aprendizado com ênfase na perspectiva *Safety-II* deve ser entendido como um processo contínuo do acompanhamento do trabalho realizado, tornando visível as diferenças entre o trabalho realizado e o trabalho imaginado (SUJAN; HUANG; BRAITHWAITE, 2017). Entretanto, é preciso ter clareza que essa diferença sempre vai existir, uma vez que os sistemas sociotécnicos estão em constante mutação devido ao seu caráter dinâmico e as reações não previstas.

2.2.3.4 *Habilidade de Antecipar*

As organizações que produzem sistemas resilientes são aquelas capazes de reconhecer e adaptar-se às mudanças. Para Woods e Wreathall (2003, p.6), “antecipar é estar à frente ou ser proativo na busca por evidências que indiquem problemas futuros, em vez de reagir apenas depois que os problemas se tornarem significativos”.

Hollnagel (2010; 2018) interpreta a antecipação com um olhar mais subjetivo ao ser comparado com Woods e Wreathall (2003). Para ele, para desenvolver a habilidade de antecipar é preciso buscar olhar o que está além do horizonte, podendo ser algo que se encontra mais no futuro ou algo que não tem relação imediata com a atividade atual. Enquanto o monitoramento observa alguma coisa, a antecipação está centrada na capacidade de imaginar cenários, oportunidades ou ameaças que possam interferir no funcionamento do sistema no futuro.

Para o referido autor, existem duas formas em que uma organização pode olhar para o futuro e ter a superficial similaridade de antecipação. A primeira refere-se ao planejamento, cuja essência consiste em refletir sobre os detalhes das atividades an-

tes que as mesmas aconteçam, tendo como referência as atividades atuais. A segunda atividade é a avaliação de risco. Apesar do propósito da avaliação de risco consistir em identificar, antes do tempo, condições ou situações que possam se tornar ameaças, essa avaliação usa como referência os eventos precursores de resultados negativos (HOLLNAGEL, 2010; 2018).

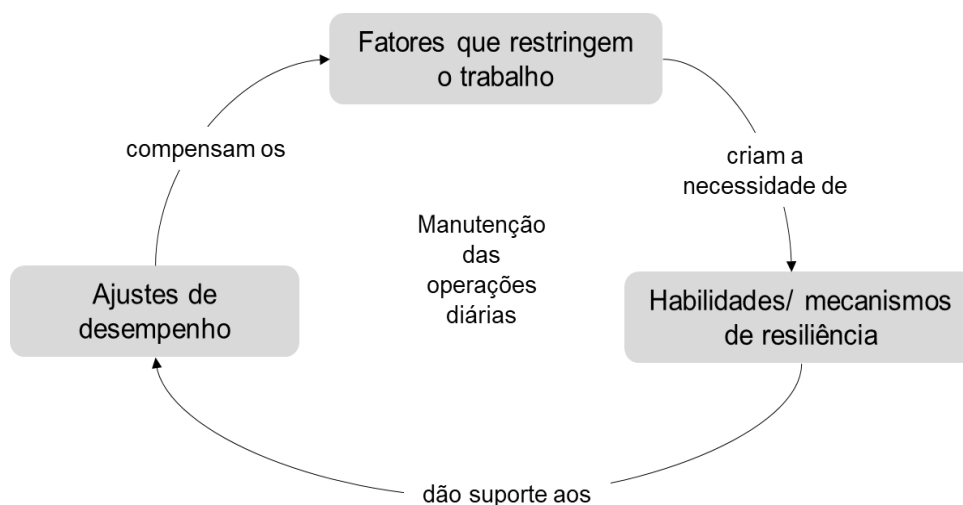
Para Pariès (2011), os eventos precisam de um certo nível de antecipação para se tornarem controláveis, porém, nenhum evento pode ser antecipado totalmente. Isso se deve às características dinâmicas e complexas dos processos, o que requer uma combinação de prontidão e criatividade, antecipação e acaso. Wehbe, Hattab e Hamzeh (2016), por sua vez, destacam que uma forte comunicação entre as equipes favorece uma atuação mais proativa, oportunizando a antecipação de possíveis erros do sistema. Portanto, para se tornarem resilientes, os sistemas ou organizações não devem antecipar apenas os eventos negativos, mas também as oportunidades, quando for conveniente.

2.2.4 Mecanismos que favorecem os ajustes de desempenho

Para observar as adaptações diárias é necessário quebrar o paradigma enraizado na cultura tradicional de olhar apenas para os eventos negativos. Estudos vêm buscando observar as ações e características que influenciam nos ajustes de desempenho, compreendidos por alguns pesquisadores como mecanismos de resiliência (HOLLNAGEL, 2014; HEGGELUND; WIIG, 2019), habilidades de resiliência (SAURIN *et al.*, 2014) ou categorias, fatores e fontes de suporte à geração de resiliência (PATRIARCA *et al.*, 2018; PEÑALOZA; SAURIN; FORMOSO, 2020; IFLAIFEL *et al.*, 2020). Para Saurin *et al.* (2014, p. 10), as habilidades de resiliência “podem ser interpretadas como um meio de operacionalização da resiliência, em nível individual e de equipes”, sendo caracterizada segundo sua natureza motora, social, cognitiva, entre outras.

A partir da literatura, entende-se que a necessidade de **ajustes de desempenho** surge devido ao surgimento de **fatores** que restringem as condições de trabalho (RIGHI; SAURIN, 2012; SAURIN *et al.*, 2014; HOLLNAGEL, 2014) ou fontes de complexidade (PEÑALOZA; SAURIN; FORMOSO, 2020). Nesse contexto, as ações e estratégias usadas para lidar com essas restrições podem ser entendidas como **habilidades ou mecanismos de resiliência**, como representado na Figura 9.

Figura 8 - Relação entre os conceitos para entendimento dos ajustes de desempenho



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A compreensão do trabalho realizado é fundamental para identificar os fatores que afetam o desempenho do trabalho e entender como os ajustes de desempenho acontecem. Isto ocorre porque cada sistema ou organização possui seus próprios componentes, que podem interagir de formas inesperadas. Como prova disso, não há instruções pré-estabelecidas sobre como os sistemas se adaptam ou evoluem frente às situações inesperadas. O que torna importante compreender as razões por trás da lacuna entre o trabalho realizado e o trabalho imaginado, a fim de apoiar a capacidade das pessoas de se adaptar e evoluir (RASMUSSEN, 1997; DEKKER, 2003; COSTELLA *et al.*, 2015; NAKAJIMA; MASUDA; NAKAJIMA, 2016).

De acordo com o modelo proposto por Rasmussen (1997), essas habilidades e mecanismos surgem quando os trabalhadores estão submetidos a constantes pressões de custo, prazo, carga de trabalho, desempenho e limitados recursos. Para Holnagel e Woods (2005) dentre os fatores que tendem a afetar o desempenho dos sistemas, destacam-se: (a) treinamento insuficiente e falta de experiência, visto que podem levar a uma incompleta ou parcial compreensão da situação; (b) tempo e conhecimento insuficiente, dado que podem influenciar na correção da condição mesmo quando essa for reconhecida; e (c) complexidade da interface que, se for de difícil uso, pode levar a uma ação de implementação incompleta ou incorreta, resultando em resultados inesperados e indesejados.

Wachs *et al.* (2016) ressaltam as principais restrições de trabalho identificadas no setor hospitalar, por exemplo, a superlotação, a limitação de recursos ou indisponibilidade (mão-de-obra, equipamento e materiais), as informações incompletas ou imprecisas, a elevada carga de trabalho, o excesso de atividades administrativas, as limitações de tempo e os incidentes casuais.

Estes fatores limitantes podem ser classificados segundo os subsistemas socio-técnicos, como proposto por Wachs, Righi e Saurin (2012), ou de acordo com fontes de complexidade como apresenta Peñaloza, Saurin e Formoso (2020). Portanto, fica claro que tais pressões são oriundas da complexidade do sistema, coexistindo nas esferas técnica, social, organizacional e no ambiente externo. Desse modo, percebe-se que cada sistema é único. Sendo que, para cada conjunto de fatores que influenciam na execução do trabalho, um conjunto de mecanismos de resiliência é gerado para dar suporte aos ajustes de desempenho necessários.

Para Hollnagel (2014), os ajustes de desempenho podem ser classificados em três categorias: (a) **manutenção e criação de boas condições de trabalho**, ou seja, para todas as situações de trabalho, esforços são realizados para garantir que as condições mínimas sejam atendidas (ferramentas e equipamentos, disponibilidade de materiais, pessoas, tempo, entre outros); (b) **compensação por algo que está faltando**, como a substituição de materiais ou ajuste de demandas; e (c) **proposição de soluções para evitar problemas futuros**, seja por meio da atualização de procedimentos, replanejamento ou adoção de barreiras.

Segundo Wehbe, Hattab e Hamzeh (2016), as discussões sobre segurança e a implementação de medidas de prevenção de forma colaborativa faz com que a resiliência se desenvolva mais rapidamente. No caso contrário, a ausência de esforços para evitar a reincidência de incidentes e a falta de discussões sobre as preocupações compromete o desenvolvimento da resiliência. Portanto, a comunicação, a colaboração e o esforço para propor ações que evitem a recorrência podem ser entendidos como mecanismos que dão suporte à resiliência.

Outro ponto de discussão é como ocorre o fluxo de comunicação. Wehbe, Hattab e Hamzeh (2016) discutem que usualmente o fluxo de comunicação vai de encontro ao nível de gerenciamento. Entretanto, a comunicação bidirecional com gestores e

supervisores é uma prática bem-sucedida, uma vez que, eles estão mais envolvidos e fornecem *feedback* para os trabalhadores da linha de frente.

Peñaloza, Formoso e Saurin (2017), ao analisar as habilidades de resiliência dos trabalhadores envolvidos no processo de montagem de pré-moldados de concreto, ressaltam: (a) as discussões pela equipe de montagem sobre o conjunto de manobras necessárias, a fim de reduzir a exposição ao risco (compensar); (b) a adoção de estratégias para lidar com o retrabalho (criar condições); (c) a prática de evitar atividades que traga alto nível de incerteza (evitar problemas futuros); e (d) a adoção de profissionais experientes, especialmente em situação de maior risco (compensar).

Como contribuições, os referidos autores apresentam diretrizes para proposição de medidas preventivas com base na ER, tais quais: (a) a identificação e análise dos riscos no contexto específico de cada projeto; (b) o estabelecimento de treinamento específico para o desenvolvimento das habilidades de resiliência; e (c) a avaliação e atualização dos procedimentos baseado no conhecimento tácito dos trabalhadores.

Wachs, Righi e Saurin (2012) identificaram um conjunto de habilidades não técnicas e restrições do trabalho no setor de distribuição de eletricidade à luz da ER. Em linhas gerais, as habilidades identificadas foram: (a) discussões sobre os procedimentos a serem seguidos; (b) discussões com colegas visando a construir e compartilhar o entendimento da situação; (c) colaboração através da troca de informações entre equipes, solicitando ajuda quando necessário; (d) avaliação do cenário buscando identificar as potenciais dificuldades para execução da atividade; (e) elaboração de estratégias para lidar com as dificuldades encontradas; e (f) planejamento e verificação da disponibilidade de materiais e equipamentos para realizar a tarefa.

Wachs *et al.* (2016) propuseram um modelo destacando as habilidades de resiliência em nível individual e coletivo e em nível organizacional. Dentre os principais fatores em nível individual e coletivo, têm-se: (a) o trabalho colaborativo; (b) o balanceamento entre a capacidade e demanda; (c) a comunicação entre a equipe; (d) o reconhecimento do impacto de pequenas ações e decisões; (e) o replanejamento da sequência; e (f) a busca por soluções alternativas envolvendo equipamentos e materiais, entre outros. Em nível organizacional, destacam-se o plano de contingência para gestão de crises, o suporte ao trabalho colaborativo e a padronização de processos.

De forma semelhante, Heggelund e Wiig (2019) buscaram entender como a resiliência acontece em maternidades, associando os mecanismos aos potenciais para resiliência apresentado por Hollnagel (2010; 2018). Em relação à habilidade de antecipar, destacam-se como mecanismos o uso de procedimentos, os fóruns de discussão em nível de departamento, as rotinas fixas de controle e a composição da equipe baseada na competência. Em relação à habilidade de monitorar, ressaltam-se o uso de indicadores de qualidade, as triagens e os equipamentos avançados de monitoramento para pacientes de alto risco. Para a habilidade de aprender foram identificadas as práticas e simulações realizadas pelos departamentos, os treinamentos dos novos funcionários, a cultura de reportar preocupações e incidentes e a rotação de profissionais entre os departamentos. E, por fim, em relação à habilidade de responder, identificou-se a flexibilidade e disponibilidade de recursos, o suporte profissional e colegial, a colaboração entre profissionais e o aprendizado organizacional.

Iflaifel *et al.* (2020) identificaram por meio de Revisão Sistemática da Literatura os fatores que dão suporte ao desenvolvimento e melhoria da resiliência no setor de hospitalar. Um total de 36 artigos de periódicos e capítulos de livros foram levantados. Com base na análise destes estudos, sete fatores-chave foram definidos, tais quais: (a) trabalho em equipe (incluindo reuniões frequentes da equipe, comunicação, liderança, envolvimento e bom dimensionamento da equipe); (b) experiência prática; (c) diversas perspectivas sobre a situação do paciente; (d) gerenciamento dos *trade-offs* (conflitos); (e) uso de *checklist* e protocolos; (f) design do sistema; e (g) soluções alternativas.

Com base na síntese apresentada, percebe-se a importância em se discutir a divergência de pensamento relacionada ao uso de procedimentos e *checklist* de segurança. Para Dekker (2003), o uso de procedimentos, *checklist* e auditorias são estratégias associadas ao paradigma *Safety-I*, tendo em vista que limitam a capacidade adaptativa e o ajuste de desempenho requerido na visão *Safety-II*. Entretanto, verifica-se que Wachs *et al.* (2016), Heggelund e Wiig (2019) e Iflaifel *et al.* (2020) identificaram tais ferramentas (procedimentos, *checklist* e auditorias) como mecanismos para o desenvolvimento da resiliência, indo em discordância ao pensamento apresentado por Dekker (2003). Reiman e Viitanen (2019) discutem que as ferramentas de gestão para serem consideradas mecanismos de resiliência precisam incorporar certo nível

de flexibilidade, visando a apoiar a variabilidade de desempenho quando necessário, ao invés de restringi-las.

Dando continuidade à identificação dos mecanismos de resiliência, Azedeh, Salehi e Mirzayi (2016) discutem que o trabalho em equipe e a redundância tiveram uma maior contribuição no desempenho de um sistema resiliente. A redundância teve uma maior influência em situações de menor incerteza e o trabalho em equipe foi vital para situações com elevado nível de incerteza.

A experiência e o conhecimento dos profissionais são destacados por Sujan, Huang e Braithwaite (2017), como fundamentais para os ajustes de desempenho e gerenciamento dos *trade-offs*, sendo apontados como precursores do sucesso diário. Para os autores mencionados, a experiência dos profissionais impacta na proposição de soluções alternativas, corroborando com o estudo realizado por Peñaloza, Formoso e Saurin (2017).

No âmbito da construção civil, a pesquisa desenvolvida por Peñaloza, Saurin e Formoso (2020) investigou as fontes de complexidade que afetam o sistema de medição de desempenho, destacando as práticas que dão suporte aos potenciais para resiliência. Dentre o conjunto de práticas identificadas, os referidos autores ressaltam que o uso do indicador de conformidade juntamente com o *checklist* de segurança favorece as habilidades de monitorar e responder. Isso ocorre por causa da existência de rotinas padronizadas de coleta de dados e da experiência dos profissionais de segurança para avaliação dos requisitos.

A prática de reuniões de planejamento integrando a segurança e a produção visa a dar suporte às habilidades de monitorar e antecipar, por meio da comunicação sobre os perigos e do compromisso assumido por todos os participantes para mitigá-los. Além disso, a reunião de planejamento é considerada uma prática essencial para lidar com a diversidade de perspectivas associada aos intervenientes do (PEÑALOZA; SAURIN; FORMOSO, 2020).

Saurin, Rooke e Koskela (2013) propuseram um conjunto de diretrizes para o gerenciamento de SSC, visando a criar um ambiente que ofereça suporte à resiliência. Essas diretrizes são percebidas em alguns dos mecanismos apresentados na revisão da literatura, como discutido a seguir:

- *dar visibilidade aos processos e resultados* por meio do uso de tecnologia para monitoramento dos pacientes, como apresentado por Heggelund e Wiig (2019);
- *incentivar a tomada de decisões de diferentes perspectivas* através da prática de reuniões de planejamento entre as equipes de produção e segurança, como ressaltado por Peñaloza, Saurin e Formoso (2020);
- *antecipar e monitorar o impacto de pequenas mudanças* mediante a avaliação do cenário para identificar potenciais dificuldades para execução da atividade (WACHS; RIGHI; SAURIN, 2012) e uso de indicadores de desempenho (HEGGELUND; WIIG, 2019; PEÑALOZA; SAURIN; FORMOSO, 2020);
- *projetar e gerenciar as folgas* por meio do balanceamento entre capacidade e demanda (WACHS *et al.*, 2016; HEGGELUND; WIIG, 2019);
- *monitorar e entender a lacuna entre o trabalho realizado e o trabalho imaginado* favorece a compreensão das adaptações resultantes da experiência e do conhecimento dos profissionais (SUJAN; HUANG; BRAITHWAITE, 2017).

Com base nas discussões apresentadas, entende-se que as diretrizes podem ser o ponto de partida para a criação de um sistema resiliente, oferecendo embasamento para a observação, proposição e análise de mecanismos e práticas que favorecem a criação ou manutenção da resiliência em nível individual/coletivo ou organizacional.

De modo geral, a literatura também aponta que os mecanismos de resiliência vêm sendo trabalhados de forma mais intensa no setor hospitalar (IFLAIFEL *et al.*, 2020). Na construção civil, apenas os trabalhos desenvolvidos por Wehbe, Hattab e Hamzeh (2016), Peñaloza, Formoso e Saurin (2017) e Peñaloza, Formoso e Saurin (2020) discutem de forma breve alguns mecanismos de resiliência, sendo necessários novos estudos para uma melhor compreensão dos mesmos.

2.2.5 Avaliação da resiliência

Nemeth e Herrera (2015) argumentam que os estudos voltados para a avaliação da resiliência foram pouco explorados e precisam ser mais incentivados, a fim de dar suporte à terceira etapa do processo, gerar resiliência.

Nesse contexto, um dos principais métodos para avaliar a resiliência é o RAG (*Resilience Analise Grid*). Esse método consiste em um conjunto de questões usadas para direcionar a avaliação de sistemas ou organizações segundo os potenciais de resiliência. O RAG não é um método de prateleira pronto para o uso, mas sim um conjunto de questões que devem ser adaptadas ao sistema que se deseja avaliar (HOLLNAGEL, 2011).

Na construção civil, Peñaloza, Saurin e Formoso (2020) aplicaram pela primeira vez o RAG para avaliar o sistema de medição de desempenho de segurança. O método aplicado em três projetos foi adaptado, totalizando 45 questões, sendo apenas 14 delas referentes ao método original proposto por Hollnagel (2011). Segundo os resultados encontrados, os potenciais de responder e monitorar tiveram um melhor desempenho comparado aos potenciais antecipar e aprender. Este resultado mostra que a gestão da segurança nos três projetos teve um caráter reativo, concentrando-se em problemas recorrentes que podem ser facilmente monitorados e acionados com respostas conhecidas.

Pecillo (2016) avaliou a resiliência de empresas com e sem certificações de sistemas de gestão da saúde e segurança. O questionário proposto por Hollnagel (2011) foi adaptado visando a capturar as características essenciais referente ao SGSST e correlacionar com os indicadores de desempenho de segurança utilizados pelas empresas. Segundo os resultados, a implementação de um SGSST certificado não garante melhorias no desempenho de segurança e saúde de uma empresa. Além disso, a implementação de um SGSST, por si só, não resulta na criação de um sistema resiliente. Como contribuições, a referida autora argumenta que a combinação de soluções técnicas, organizacionais e sociais pode contribuir para a eficácia das práticas de gerenciamento de saúde e segurança nas empresas.

Patriarca *et al.* (2018) apresentaram uma estrutura analítica combinando o RAG e o AHP (*Analytic Hierarchy Process*). O AHP foi utilizado para representar as categorias de cada potencial que mais afetam a resiliência organizacional em um departamento hospitalar de anestesia. De modo geral, os resultados demonstram que o sistema teve uma maior facilidade em monitorar e responder do que em antecipar e aprender. As análises também apontam que a experiência dos profissionais, a análise de eventos (investigações reativas e proativas realizadas após um acidente ou um

evento de risco) e a comunicação entre os profissionais foram fundamentais no suporte à resiliência do sistema.

Beek e Schraagen (2015) propuseram um método baseado no RAG (HOLLNAGEL, 2011) para avaliar a resiliência, denominado ADAPTER. Para os autores mencionados, os potenciais apresentados por Hollnagel (2011) são capacidades essenciais para avaliar a resiliência de sistemas/organizações. Entretanto, para avaliar a resiliência das equipes é necessário complementar com mais duas dimensões importantes: liderança e cooperação. Para a construção do questionário, outras fontes além do RAG foram consultadas. O ADAPTER foi aplicado a 91 profissionais de uma indústria química, considerando diferentes equipes e setores.

Como principais contribuições, Beek e Schraagen (2015) destacam que a resiliência das equipes se apresenta como um constructo multidimensional, evidenciando uma maior sintonia com as dimensões responder, liderança e cooperação. As dimensões antecipar e monitorar possuem certo nível de sobreposição, justificado pelo fato da antecipação também monitorar os processos que ainda precisam se materializar. Dessa forma, para operar e manter a resiliência, as equipes necessitam de uma estrutura organizacional adequada que permita desenvolver os mecanismos necessários para ajuste do sistema. Por exemplo, o *feedback* corretivo pouco tempo antes ou durante a execução da atividade visa a um gerenciamento proativo voltado não apenas à segurança, mas ao processo como um todo, mapeando todas as alterações relevantes ao funcionamento do sistema (BEEK; SCHRAAGEN, 2015).

De modo geral, percebem-se iniciativas positivas quanto ao desenvolvimento de ferramentas para a avaliação da resiliência, seja em nível organizacional ou em nível individual/equipe. Segundo as recomendações, o método escolhido deve ser adaptado ao contexto em que se deseja avaliar, considerando a complexidade e as particularidades de cada sistema ou organização.

2.3 SISTEMA DE GESTÃO DA SEGURANÇA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Na construção civil, a gestão da segurança concentra seus esforços em evitar resultados indesejáveis por meio de sua capacidade de: implementar políticas voltadas à identificação e análise de perigos; (b) implementar medidas de controle; (c) monitorar a conformidade; (d) padronizar os processos; (e) estabelecer procedimentos; e (f) controlar o comportamento dos trabalhadores (LINGARD; ROWLINSON, 2005;

MITRAPOULOS, 2012; PROVAN *et al.*, 2020). Para os referidos autores, o comportamento humano era tido como um dos principais fatores relacionados à ocorrência de lesões ocupacionais e acidentes, sendo comum os programas de segurança do trabalho focados no comportamento dos indivíduos e gerenciamento de riscos.

Além disso, acreditava-se que, quanto mais consistente o SGS da empresa menor a incidência de acidentes e de condições inseguras (MITRAPOULOS, 2012). O conjunto de iniciativas geradas pelo SGS tinha como propósito auxiliar a organização a estar em conformidade com as exigências legais, realizando suas atividades com ética e responsabilidade social (SAURIN, 2002; BENITE, 2004; CAMBRAIA, 2004; COSTELLA, 2008).

Para Benite (2004), o SGS apresenta características orgânicas e dinâmicas, em que os elementos devem reagir e se adaptar aos desvios (reais ou potenciais) que ocorrem em relação aos seus objetivos ou propósitos. Dessa forma, o SGS pode contribuir com a melhoria contínua do desempenho devido à existência de mecanismos sistêmicos que atuam de forma proativa. Contudo, apesar da busca por ações proativas, Mitrapoulos (2012) discute que os esforços de segurança não incorporam ou até mesmo desconsideram as metas e pressões de produção, bem como a maneira como o trabalho é organizado. O que é realizado na prática é o planejamento das atividades de produção e, a partir delas, verifica-se os possíveis riscos e os controles necessários.

Dessa forma, argumenta-se que o fato de os planos de segurança não considerarem os fatores relacionados à produção impede que os *trade-offs* entre eles sejam reconhecidos e gerenciados, corroborando para o pensamento de que a segurança é um obstáculo para alcançar a produtividade desejada. Além disso, a verificação dos riscos e a proposição de controles e barreiras têm como base os eventos passados (HOLLNAGEL, 2014), já que dificilmente as avaliações de risco são atualizadas antes e durante as atividades, a fim de considerar as situações emergentes. Esse raciocínio converge para o entendimento de que a visão incorporada ao setor ao longo dos anos está fundamentada na abordagem *Safety-I*.

Nesse contexto, é interessante destacar que a ISO 45001 (Sistemas de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho) tem como propósito fornecer uma estrutura para gerenciar os riscos e oportunidades na Segurança e Saúde Ocupacional (SSO) (ISO

45001, 2018). A norma apresenta uma mudança de foco centrada no **gerenciamento de risco e oportunidade** em substituição a ideia de controle de riscos, como apresentado na OHSAS 18001 (2007). Assim, entende-se que os riscos nem sempre podem ser controlados, sejam eles inerentes ao sistema ou resultantes de combinações imprevisíveis. Portanto, a gestão deve buscar torná-los explícitos, aumentando a conscientização sobre os mesmos e provendo condições de trabalho dentro dos limites seguros (HOWELL *et al.*, 2002).

As oportunidades são definidas como “circunstância ou conjunto de circunstâncias que podem levar à melhoria do desempenho de Segurança e Saúde Ocupacional” (ISO 45001, 2018, p.6), convergindo para o pensamento aplicado na ER. Em vista disso, os eventos positivos e adaptações podem ser enquadrados como “oportunidades”, dada sua capacidade de promover melhorias de desempenho.

No presente trabalho entende-se que o SGS deve compor um conjunto de estratégias orientadas para a promoção das condições de trabalho (BENITE, 2002; COSTELLA, 2008; PECILLO, 2016). No entanto, esta revisão dará ênfase apenas as etapas de planejamento e monitoramento da segurança.

2.3.1 Planejamento da segurança

O planejamento e controle da segurança é um requisito obrigatório segundo a legislação, além de ser uma prática das empresas líderes em gestão (SAURIN, 2002; CAMBRAIA; SAURIN; FORMOSO, 2010). Na construção civil, embora a segurança esteja diretamente relacionada com a produção, seu planejamento ainda continua sendo realizado de forma isolada (FAMÁ, 2010), provocando deficiências no reconhecimento e gerenciamentos dos conflitos entre eles.

Por definição, o planejamento deve ser fundamentado na política de saúde e segurança estabelecida pela empresa, tornando explícitos os objetivos e os respectivos meios para atingi-los. Além disso, fazem parte desta etapa a identificação de perigos, a avaliação e controle dos riscos e as estratégias para o cumprimento das exigências legais (BENITE, 2004).

Desse modo, as normas regulamentadoras (NRs) desempenham um papel importante na gestão da segurança na orientação dos requisitos legais e das situações de perigo a serem consideradas. No âmbito da construção civil, dentre as principais normas destacam-se: a NR-18 (Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria

da Construção), a NR-9 (Programa de Prevenção de Riscos Ambientais). Essas normas são responsáveis por estabelecer os principais documentos com relação à identificação de perigos, avaliação dos riscos e proposição de medidas mitigadoras no ambiente laboral, denominados como PCMAT (Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção) e PPRA (Programa de Prevenção de Riscos Ambientais). Vale destacar que em 2021, o PCMAT e PPRA passam a ser substituídos pelo Plano de Gerenciamento de Riscos (PGR), contendo o inventário de riscos e o plano de ação, como determina a NR-1 (Disposições Gerais e Gerenciamento de Riscos Ocupacionais) (BRASIL, 2020). Entretanto, o presente trabalho considera os programas (PCMAT e PPRA), por terem sido desenvolvidos anteriormente à alteração (BRASIL, 2018a; BRASIL 2018b).

Na prática, estes documentos são executados a partir do planejamento da produção, projetos 2D e experiências dos profissionais, nos quais identificam-se os principais perigos e, a partir da avaliação de riscos, propõem-se as medidas de controle e mitigação. No entanto, nesse processo vários riscos passam despercebidos ou não são considerados, tendo em vista a dinâmica do ambiente de construção (GUO; YU; SKITMORE, 2017).

É nesta fase que são propostas as barreiras ou medidas de controle adotadas. As barreiras ou defesas “são os meios físicos e/ou não físicos, planejados para prevenir, controlar ou mitigar os eventos indesejados” (SKLET, 2006, p. 3).

Para Hollnagel (1999; 2004), as barreiras podem ser de natureza material ou física, simbólica, funcional e imaterial. A **barreira física** tem a função de impedir fisicamente que uma ação seja realizada, bloqueando ou mitigando os efeitos de um evento indesejado (por exemplo, os guarda-corpos e os sistema de linha de vida). A **barreira simbólica** requer um ato de interpretação para atingir seu objetivo (por exemplo, as sinalizações de advertência). A **barreira funcional** busca impedir que uma ação seja executada (por exemplo, sistemas de intertravamento, lógico ou temporal). A **barreira imaterial**, por sua vez, está atrelada ao conhecimento do usuário para atingir seu objetivo (por exemplo, as normas e procedimentos de segurança).

Durante a fase de construção, Saurin (2002) e Cambraia (2004) propõem meios para integração do planejamento e controle da segurança (PCS) ao sistema de pla-

nejamento e controle da produção (PCP). Nesta fase, é ideal que se tenha um planejamento de médio e curto para segurança alinhado ao planejamento da produção. Saurin (2002) propõe no planejamento e controle de médio prazo a função de programar a disponibilização dos recursos necessários à execução segura dos pacotes de trabalho, levando em consideração os riscos associados. Enquanto o curto prazo teve como funções: alocar os recursos de segurança aos pacotes de trabalho (por exemplo, a disponibilização e instalação das proteções coletivas), assim como implementar ações corretivas (por exemplo, os reparos nos guarda-corpos e proteções coletivas).

Cambráia (2004) traz como contribuições o aperfeiçoamento do modelo de PCS proposto por Saurin (2002), incluindo os estudos de processo executivo. O estudo de processos favorece a avaliação dos perigos durante a execução, a visualização dos limites de trabalho seguro e os ajustes dos planos visando a um melhor desempenho da segurança. Assim, o estudo de processo tende a contribuir para uma melhor compreensão do trabalho realizado.

Em linhas gerais, entende-se que a gestão da segurança precisa estar alinhada ao planejamento da produção, garantindo planos de trabalho mais seguros por meio da eliminação das restrições no médio prazo e da melhor definição dos pacotes de trabalho no curto prazo. Esse alinhamento favorece o balanceamento entre a demanda, a capacidade de trabalho e o gerenciamento dos riscos de forma sistemática, uma vez que associa ao pacote de trabalho os perigos e as medidas de controle a serem verificadas na fase de monitoramento.

2.3.2 Monitoramento e inspeções de segurança

O monitoramento pode ser entendido como a determinação do *status* de um sistema ou processo (ISO 45001, 2018), podendo ser considerado reativo ou ativo (DIAS, 2009). O monitoramento reativo acontece após a ocorrência de eventos negativos, por exemplo, os eventos históricos (acidentes, incidentes, problemas de saúde e falhas de gestão), visando a, assim, aprender com os erros e buscar corrigi-los, evitando sua recorrência. Por sua vez, o monitoramento ativo é voltado a uma abordagem proativa, envolve a execução de inspeções para garantir que as políticas estabelecidas estejam sendo implementadas e que os controles e barreiras estejam funcionando corretamente (DIAS, 2009; WOODCOCK, 2014).

Dentre as atividades de monitoramento destacam-se as auditorias, inspeções e reuniões de controle, cujo propósito consiste em garantir que o planejamento da segurança seja seguido, além de favorecer a troca de informações entre intervenientes de diferentes níveis (KARANIKAS, 2017).

As inspeções podem ser realizadas pela própria empresa ou por uma empresa contratada como forma de controle interno, como também podem ser realizadas por instituições que representem o poder público para avaliação da aplicação das normas e leis de trabalho (WOODCOCK, 2014; SAURIN, 2015). Em função disto, o inspetor/auditor de segurança desempenha a função de identificar as possíveis ocorrências de perigos, que nem sempre são bem definidas, a fim de buscar impedir a ocorrência de eventos negativos e avaliar o cumprimento dos requisitos normativos.

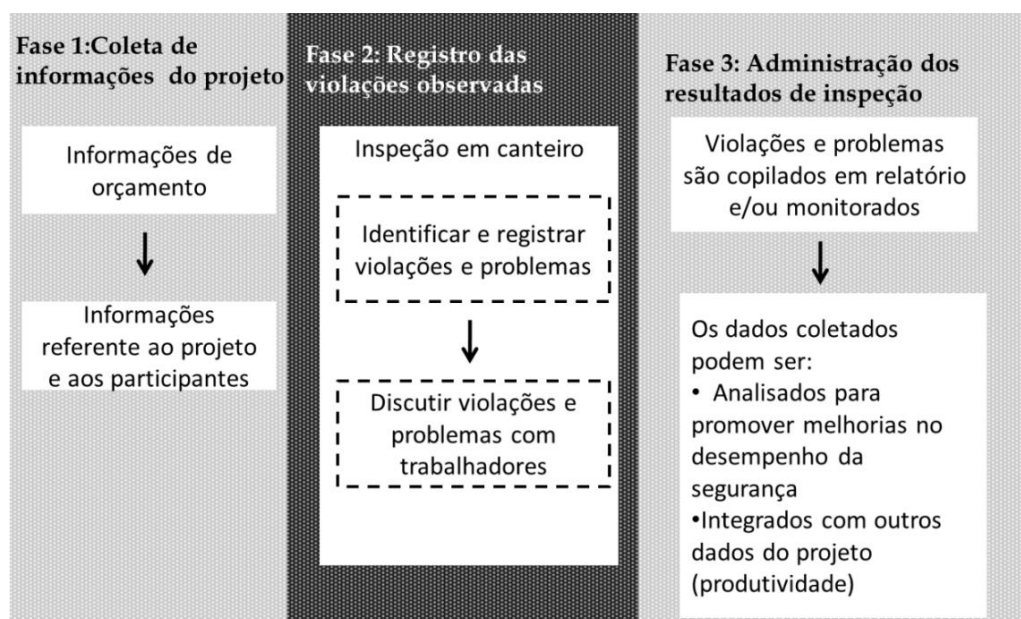
Para isto, Woodcock (2014) discute que as inspeções e auditorias devem ter início com o planejamento dos elementos que requerem verificação, incorporando informações sobre acidentes e inspeções anteriores. Segundo o referido autor, inicialmente, os inspetores de segurança devem observar de forma holística o ambiente de trabalho, buscando localizar tipos de defeitos conhecidos em locais desconhecidos e também sugerir onde determinadas não conformidades poderiam ser encontradas, em vez de procurar defeitos específicos. Dessa forma, ao identificar uma não conformidade, os riscos são notificados aos responsáveis e os inspetores estabelecem se é necessária uma correção imediata ou se mantêm a operação pendente de correção para um momento mais oportuno (WOODCOCK, 2014).

Dias (2009), Lin *et al.* (2014) e Zhang *et al.* (2016) apresentam com mais detalhes como deve ser a sistematização do processo de inspeção. Para Dias (2009) e Lin *et al.* (2014), o processo pode ser dividido em três fases: a coleta de informações do projeto, o registro das não conformidades observadas e a administração da fase de resultados da inspeção, conforme apresentado nas Figuras 9 e 10.

Durante uma inspeção, o especialista em segurança normalmente toma notas de quaisquer irregularidades e questões de segurança identificadas e comunica aos trabalhadores, a fim de expressar as preocupações observadas. Ao voltar para o escritório, o especialista realiza o processamento e análise dos resultados da inspeção (LIN *et al.*, 2014). Para os referidos autores, os resultados das inspeções devem ser frequentemente discutidos com a equipe de gestão, buscando evitar que problemas

semelhantes se repitam. Eventualmente, os resultados da inspeção podem ser usados para gerar indicadores de desempenho de segurança e melhorar o ambiente de trabalho por meio de análises de tendência de condições e comportamentos inseguros. Além disso, os resultados da inspeção também podem ser usados para estabelecer relações entre a segurança e outros aspectos do projeto, tais como, cronograma, produtividade e custo.

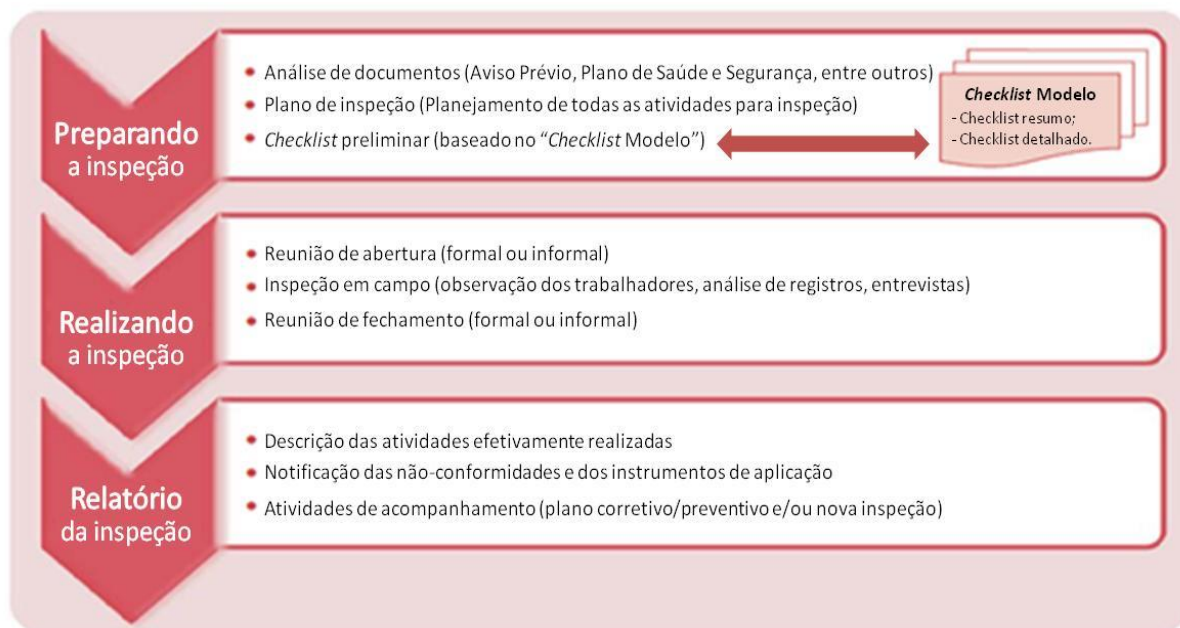
Figura 9 - Exemplo 1 - Sistemática de inspeção de segurança



Fonte: Adaptado de Lin *et al.* (2014).

Para Dias (2009), a etapa inicial está associada à preparação da inspeção com a análise de documentos e a definição do plano de inspeção, seguida da inspeção em campo com os registros das não conformidades e, por fim, a apresentação das notificações e do plano corretivo e/ou preventivo das mesmas (Figura 10). O autor mencionado também contempla em sua sistemática a necessidade de reuniões, sendo uma antes e outra depois da inspeção em campo. A reunião de abertura tem o propósito de resumir como a inspeção será conduzida, quais os recursos e as documentações necessárias, além de requisitar a participação do profissional responsável pelo canteiro. A reunião de fechamento deve envolver a comunicação de qualquer não conformidade e as recomendações sobre as ações corretivas e preventivas, incluindo o tempo necessário para a ação. Por fim, o relatório deve ser elaborado, contendo como a inspeção foi conduzida, evidências, itens não conformes, ações a serem realizadas, prazos e responsáveis.

Figura 10 - Exemplo 2 - Sistemática de inspeção de segurança

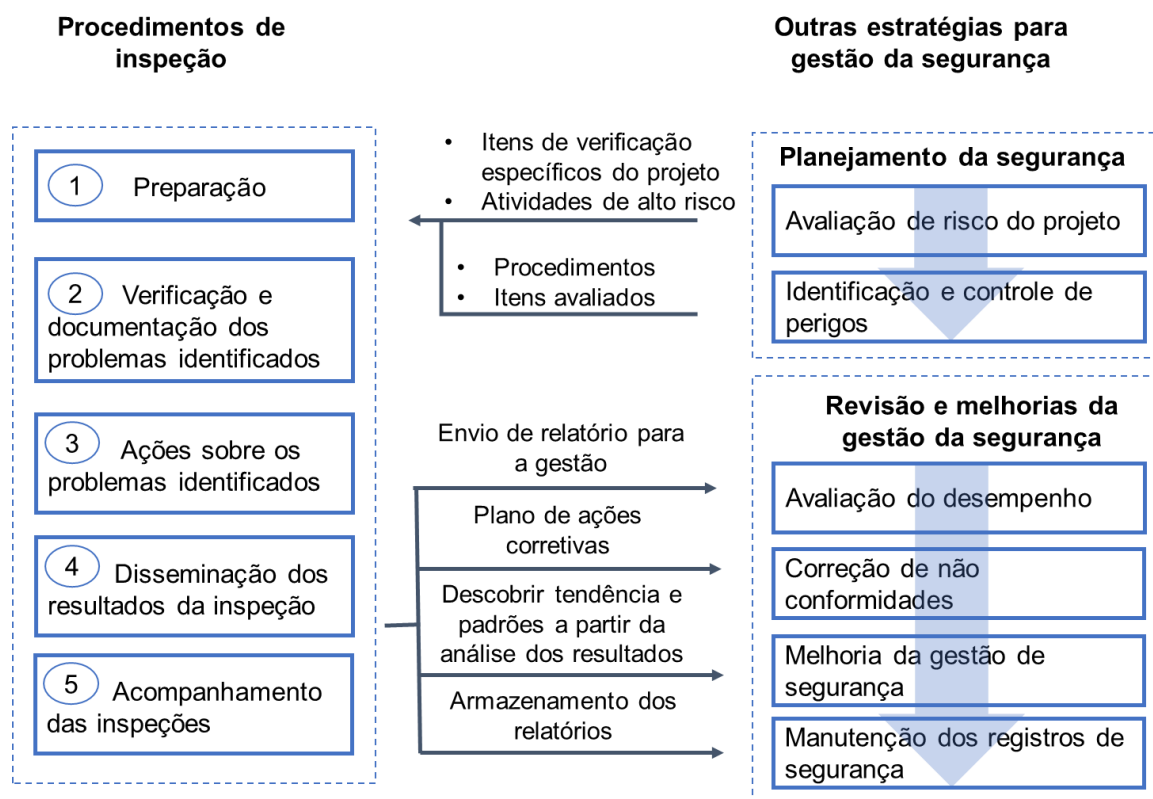


Fonte: Adaptado de Dias (2009).

Woodcock (2014) discute que a documentação das inspeções usualmente é reservada para descrever defeitos, discrepâncias e condições não aceitáveis, uma vez que a documentação de todas as condições aceitáveis é claramente irracional. A referida autora também descreve que, na visão dos inspetores, o *checklist* é utilizado como uma forma de dupla verificação para garantir que nenhum dos pontos importantes sejam ignorados.

Enquanto isso, Zhang *et al.* (2016) dividem o processo de inspeção em cinco etapas: preparação, verificação e documentação dos problemas identificados, ações sobre os problemas, disseminação dos resultados e acompanhamento das inspeções. Como principal contribuição, os referidos autores apresentam uma estrutura conceitual para conectar as inspeções de segurança às práticas de gerenciamento, como destacado na Figura 11. Para tanto, rotinas de *feedback* devem ser desenvolvidas visando a melhorar o fluxo de informação entre as práticas de gerenciamento e favorecer a transferência de conhecimento durante o ciclo de vida do projeto.

Figura 11 - Exemplo 3 - Sistemática de inspeção de segurança



Fonte: Adaptado de Zhang *et al.* (2016).

Ao refletir sobre as sistemáticas apresentadas, observa-se que embora a inspeção permita identificar os pontos positivos e condições aceitáveis, pouco valor é dado para esses dados. Isto ocorre porque as inspeções/auditorias foram concebidas para fiscalizar se os itens estão de acordo com a legislação ou se atendem aos critérios pré-estabelecidos (SPARER; DENNERLEIN, 2013; REIMAN; VIITANEN, 2019). Além disso, pouco se discute sobre o fato dos *checklists* usados em inspeções e auditorias projetarem as intenções definidas nas normas e documentos de planejamento, não levando em consideração os novos riscos e interferências entre as atividades.

Portanto, entende-se que durante a fase de construção, as inspeções e auditorias são direcionadas para verificar as condições como imaginadas, concebidas durante o projeto e planejamento inicial. No entanto, a sistemática proposta por Zhang *et al.* (2016) chama atenção quanto ao uso dos dados provenientes das inspeções para predizer tendência e padrões por meio de análises aprofundadas.

A partir da análise de tendência é possível identificar grupos de incidentes com características comuns, facilitando o reconhecimento do local e dos tipos de medidas a serem priorizadas (WINGE; ALBRECHTSEN, 2018). Exemplo disso são as análises

segundo as limitações das barreiras físicas (TROST; NERTNEY, 1995² apud WINGE; ALBRECHTSEN, 2018), e a análise das causas utilizando o *Checklist Safety Management and Organisation Review Technique* (SMORT), apresentado por Kjellén e Albrechtsen (2017) (Anexo 1). Usualmente esse tipo de análise observa padrões e tendências voltadas aos eventos negativos, como acidentes e incidentes. No entanto, isso não impede que os resultados das inspeções e auditorias sejam avaliados segundo uma perspectiva positiva, observando padrões e tendências nos itens que são executados corretamente.

Outro ponto a ser discutido é a subjetividade das avaliações e a influência dos pressupostos pessoais dos inspetores nos resultados das avaliações (CHENG; TEIZER, 2013; WOODCOCK, 2014; LIN *et al.*, 2004; SAURIN, 2015). Para Woodcock (2014), embora a literatura comente os princípios e normas relacionadas aos tipos de perigo, o inspetor deverá intuitivamente saber como localizar, identificar e avaliar corretamente esses perigos. Sendo assim, as auditorias e inspeções podem se tornar vulneráveis, dado que podem ser usadas para orientar o auditado a se concentrar em questões de interesse do auditor (REIMAN; VIITANEN, 2019).

Por causa disso, tais ferramentas tendem a restringir o que é observado, ao invés de permitir uma perspectiva ampla sobre as condições observadas. No entanto, isso não significa que as inspeções e auditorias não podem ser usadas para incentivar capacidades adaptativas e de auto-organização, da mesma forma que a colaboração entre os agentes (inspetor e inspecionado) é consequência da distância entre eles, resultando em uma maior ou menor interação a partir da dinâmica adotada (REIMAN, VIITANEN, 2019).

As inspeções e auditorias devem consistir em uma avaliação mais ampla da eficácia do sistema de gerenciamento de riscos da organização, e não serem realizadas apenas para o monitoramento da conformidade conforme as regulamentações prescritas (HOPKINS, 2009; WOODCOCK, 2014). Entende-se, então, que as estratégias de inspeção devem ser suficientemente flexíveis para rever a prioridade das inspeções sempre que necessário, e que o progresso da inspeção e seus resultados devem ser continuamente revisados levando-se em consideração o trabalho realizado.

² Trost, W.A.; Nertney, R.J. Barrier Analysis. Idaho Falls: Technical Research and Analysis Center; 1995.

Além disso, observa-se que o processo de coleta de dados durante as inspeções e auditorias ainda é realizado sem o uso de dispositivos digitais. Para Cheng e Teizer (2013), a coleta manual dos dados retarda o processo de análise, acarretando em perda de informações e deficiência no compartilhamento das mesmas com os envolvidos no projeto. Este tipo de limitação pode se tornar um gargalo para a tomada de decisão rápida e precisa em canteiro de obras, além de dificultar a reanálise dos dados.

A interação direta e a colaboração são vertentes a serem exploradas para a criação de um ambiente de trabalho seguro, pois possibilitam um maior contato com os funcionários e favorece a ocorrência de *feedback*. Para Irizarry, Gheisari e Walker (2012), quando o *feedback* é dado em tempo real há maiores chances de mudança de postura dos funcionários, reforçando o uso do EPI e evitando condições inseguras. Para os gerentes de segurança, a agilidade das informações dá subsídios para tomada de decisão em tempo hábil (MELO *et al.*, 2017).

2.4 DESAFIOS DA APLICAÇÃO DA ER NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Diante do contexto apresentado, observa-se que a gestão da segurança aplicada na construção civil ainda tem como base as premissas da perspectiva *Safety-I*, discutidas na seção 2.1 (Diferenças e semelhanças entre *Safety-I* e *Safety-II*). Percebe-se que são inúmeras as atividades a serem realizadas no canteiro de obra pelo técnico de segurança, no qual a elevada demanda de coleta de dados manual e a falta de suporte técnico ocasionam ineficiências e ineficácias do processo de gestão (LIN *et al.*, 2014). Em vista disso, Provan *et al.* (2020) apresenta um resumo do papel dos profissionais de segurança no modelo de gestão *Safety-I* e os desafios frente à perspectiva *Safety-II*, apresentados no Quadro 3.

Quadro 3 - O papel do profissional de segurança.

Modelo de gestão centralizada (Safety-I)	Modelo de gestão adaptável (Safety-II)
Dar suporte a identificação de perigos das atividades (por exemplo, APR e PT).	Explorar o trabalho diário para entender a lacuna entre o trabalho realizado e o trabalho imaginado, atualizando os modelos de risco da organização.
Facilitar a identificação e avaliação dos perigos em nível de sistema (por exemplo, Estudo de perigo e operabilidade – HAZOP).	Dar suporte às práticas locais e balancear as demandas de trabalho das equipes da linha de frente.

Modelo de gestão centralizada (Safety-I)	Modelo de gestão adaptável (Safety-II)
Desenvolver medidas de controle para tarefas e processos.	Gerar ações para reduzir o conflito de metas entre produção, custo e segurança, além de negociar a redistribuição dos recursos operacionais.
Monitorar proativamente os controles (inspeções) e reativamente (investigação de acidentes).	Facilitar o fluxo livre de dados e informações através das fronteiras organizacionais.
Fornecer relatórios de incidentes e conformidade alinhado com a gestão e a legislação vigente.	Gerar cenários operacionais futuros por meio do monitoramento de ameaças e vulnerabilidades internas e externas.
Promover autoridade para paralisar as atividades de produção em função da segurança, quando necessário.	Facilitar a realização de julgamentos de sacrifício pela segurança.
Desenvolver e promover programas de melhorias voltados à cultura de segurança.	Facilitar o processo de aprendizado com as rotinas organizacionais diárias e com os eventos inesperados.

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

O Quadro 3 apresenta que inúmeras mudanças são necessárias para a incorporação da perspectiva *Safety-II*. Isso não significa que as atividades realizadas no modo de gestão centralizada serão descartadas, mas que os profissionais de segurança vivenciam um desafio para o entendimento e aplicação de ações proativas voltadas à perspectiva *Safety-II*.

Segundo Provan *et al.* (2020), para enfrentar esse desafio os profissionais de segurança precisam evoluir, principalmente em relação ao aprendizado. Para o referido autor, as organizações precisam migrar do modo de aprendizado de ciclo simples, centrado em ações reativas e identificação de desvios, para a forma de aprendizado-deutero (seção 2.2.3.4 Potencial de aprender). Neste modo de aprendizagem, os participantes são motivados a investigar o seu sistema de aprendizado e seus efeitos (ARGYRIS; CHÖN, 1978).

Dessa forma, o presente trabalho entende que a mudança de entendimento da segurança deve acontecer não apenas na visão dos gestores, mas também na visão dos profissionais de segurança que lidam com os trabalhadores da linha de frente diariamente. Nesse contexto, a integração entre segurança e produção é cada vez mais necessária, visando promover ações para reduzir os conflitos entre metas de produção, custo e segurança, além da necessidade em balancear as demandas de

forma a dar suporte aos ajustes de desempenho. Estes constituem alguns dos desafios da construção civil nas próximas décadas, tendo em vista a adoção da perspectiva *Safety-II*.

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na revisão da literatura apresentada neste capítulo foram identificados alguns pressupostos que podem orientar o aprimoramento do modelo de desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência assistido pelo monitoramento com VANT. Conforme percebido na literatura, a gestão de segurança na construção civil está enraizada nos pressupostos da perspectiva *Safety-I*, cujo direcionamento ocorre em função da adoção de barreiras, padronização dos processos e conformidade com os procedimentos.

Em relação ao sistema de gestão da segurança, este trabalho traz um recorte para as atividades de monitoramento e inspeção de segurança em canteiro de obras (seção 2.3.2). Apesar do monitoramento sistemático integrado às estratégias de gestão consistir em uma alternativa eficaz para a manutenção das condições de trabalho, as deficiências referentes ao processo de coleta e análise dos dados ainda são comuns devido a: (a) falta de padronização; (b) coleta e análise de dados realizada de forma manual; (c) ausência de indicadores; e (d) subjetividade da avaliação. Tais deficiências reforçam a importância da proposta deste trabalho, uma vez que implicam no baixo desempenho das condições de segurança na construção civil devido à dificuldade de incorporar uma visão proativa durante a coleta e análise dos dados.

Sob o olhar da ER, o monitoramento deve ser abrangente a ponto de dar suporte à identificação de situações indesejadas e facilitar a visualização das interferências entre atividades. Dessa forma, o modelo proposto deve considerar certo nível de flexibilidade a fim de permitir a observação dos resultados positivos e negativos, bem como integrar os procedimentos, as normas e demais documentos de segurança. Assim, acredita-se ser possível gerar *outputs* para análises segundo as perspectivas *Safety-I* e *Safety-II* e estimular os mecanismos de adaptação existentes, quando necessário.

A literatura indica que os conceitos e princípios da ER vêm evoluindo ao longo dos anos, resultando em uma literatura ampla, mas com pouca inserção no âmbito da indústria da construção civil. Em vista disso, o arcabouço teórico apresentado sobre

os potenciais para resiliência tem como propósito nortear o desenvolvimento do modelo, além de contribuir com a análise dos dados coletados em campo.

Ainda que exista uma tendência em analisar as não conformidades e os incidentes, o modelo deve estar orientado para o desenvolvimento ou aperfeiçoamento dos mecanismos de resiliência que favorecem os ajustes de desempenho, por três razões: (a) compreender como o trabalho é realizado na prática a fim de mapear as práticas informais que apoiam os resultados positivos; (b) ampliar o escopo de observação para o desenvolvimento da capacidade da equipe de responder em tempo hábil; e (c) propiciar um ambiente colaborativo centrado no compartilhamento das informações e envolvimento das partes interessadas.

Para isso, o modelo proposto deve buscar um maior envolvimento de todos os intervenientes, visando a incentivar a tomada de decisão de diferentes perspectivas, dar visibilidade aos processos e resultados e aprender com as operações diárias.

3 TECNOLOGIAS DIGITAIS APLICADAS À GESTÃO DA SEGURANÇA

Neste capítulo será apresentado o referencial teórico sobre o uso de tecnologias digitais para o monitoramento e inspeção de segurança em canteiro de obras. A seção 3.1 apresenta uma breve introdução sobre tecnologias digitais integradas às práticas de segurança em canteiro. A seção 3.2 enfatiza os estudos desenvolvidos com os VANTs para a gestão da segurança, suas barreiras e potenciais riscos. A seção 3.3 discute os requisitos para integração de tecnologias digitais à gestão da segurança. A seção 3.4 apresenta uma análise da aplicação do VANT frente às perspectivas *Safety-I* e *Safety-II*. Por fim, a seção 3.5 apresenta uma reflexão sobre os pontos para integração do monitoramento da segurança com VANT à luz da ER.

3.1 APLICAÇÕES DE TECNOLOGIAS DIGITAIS PARA A GESTÃO DA SEGURANÇA

Nas últimas décadas, tem-se constatado uma melhoria da capacidade de representação e documentação visual do mundo físico, tendo em vista o avanço tecnológico das ferramentas de aquisição de dados visuais e tecnologias computacionais (HANSEN; JOHNSON, 2005). A partir do aprimoramento de tais capacidades, as tecnologias digitais têm se tornado cada vez mais usuais em diversas áreas do conhecimento, incluindo as aplicações voltadas ao planejamento da segurança, monitoramento em tempo real e avaliação de risco em canteiro de obras (GUO; YU; SKITMORE, 2017; GUO et al., 2017).

Segundo Hansen e Johnson (2005), as tecnologias de dados visuais podem ser entendidas como técnicas e ferramentas digitais associadas à geração e/ou compreensão de representações gráficas (dados visuais), incluindo imagens, fotografias, vídeos, diagramas, modelos digitais e animações, entre outras. A sua principal função é a comunicação de informações, mensagens ou ideias com apoio destas representações. Para os Guo, Yu e Skitmore (2017), as principais tecnologias visuais aplicadas à segurança são: o BIM (*Building Information Modeling*), o CAD 4D (*Four-Dimensional Computer Aided Design*), os protótipos virtuais, a realidade aumentada (*Augmented Reality*) e a realidade virtual (*Virtual Reality*). Além destas, é importante incluir os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), laser scanner, câmeras estacionárias e os dispositivos móveis (ZHOU; IRIZARRY; LI, 2014).

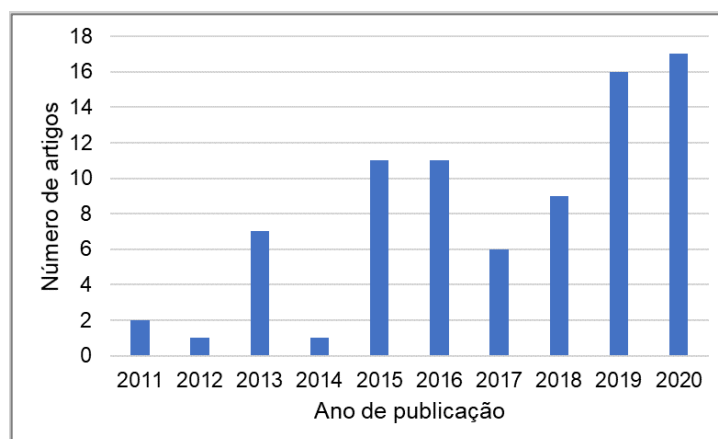
As aplicações das tecnologias digitais dão ênfase a duas fases distintas: pré-construção e construção. Na fase de pré-construção, o uso das tecnologias está associado ao planejamento da segurança, cujas competências incluem a identificação de perigos e a avaliação e controle dos riscos na fase de projeto. Na fase de construção, as tecnologias são voltadas ao monitoramento da segurança e aprendizado, dando suporte a identificação de perigos e a avaliação e controle dos riscos na etapa de execução (GUO; YU; SKITMORE, 2017).

Nesse contexto, durante a fase de construção as aplicações das tecnologias buscam **adquirir informações em tempo real** (ex. *Global Positioning System* (GPS), varredura a laser, identificação por radiofrequência (RFID), câmeras, VANTs), **transmitir as informações em tempo hábil** (ex. redes sem fio e ultra banda larga) e dispor em uma **plataforma para apresentação e gerenciamento da informação** (ex. Sistema de informação geográfica (SIG), BIM, tecnologia de visualização 3D, tecnologia de visualização 4D, realidade virtual, entre outras) (ZHOU; IRIZARRY; LI, 2014; GUO; YU; SKITMORE, 2017).

Para compreender o crescimento da incorporação das tecnologias digitais aos processos de gestão da segurança na indústria da construção buscou-se por meio de revisão sistemática da literatura identificar os principais artigos no período entre 2011 a 2020. A pesquisa foi realizada na base Scopus, considerando a combinação dos seguintes termos de pesquisa a serem buscados no título, no resumo ou nas palavras-chave dos artigos: (a) tecnologias digitais (“BIM”, “4D CAD”, “VP”, “VC”, “VR”, “AR”, “UAS”, “UAV”, “drone” and “*Information technology*”), (b) tópicos de pesquisa (“*construction*” and “*safety*”) e (c) apenas artigos de periódicos na área de engenharia.

Foram excluídos da amostra os artigos de congresso e os artigos que apesar de atender aos critérios dos termos de pesquisa não tratavam de gestão da segurança. Com o intuito de mapear apenas os estudos com aplicações em campo e simulações, optou-se por excluir os artigos que tratavam de revisão da literatura e *survey*. A Figura 12 apresenta a distribuição dos artigos em periódicos no período de 2011 a 2020.

Figura 12 - Distribuição dos artigos em periódicos por ano de publicação

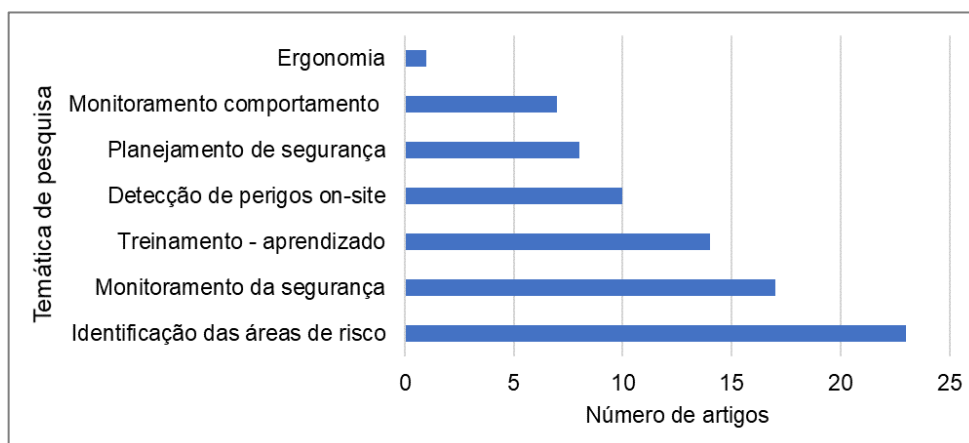


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Inicialmente foram identificados 319 artigos após a fase de triagem com base nos critérios apresentados, um total de 81 artigos foram selecionados. Posteriormente, buscou-se analisar os artigos segundo a temática de pesquisa, tais como identificação das áreas de perigo, monitoramento das condições de segurança *on-site*, treinamento e aprendizado, detecção automatizada de perigos *on-site*, planejamento da segurança e ergonomia.

Ao analisar esses artigos segundo a temática de pesquisa (Figura 13), observa-se uma concentração de publicações referente à identificação das áreas de perigos e ao monitoramento das condições de segurança. Com relação às tecnologias, o BIM destaca-se como a principal tecnologia utilizada (44 artigos), seguido das tecnologias de rastreamento, no inglês *Real-time location system* (12 artigos), Realidade Virtual (10 artigos) e VANT (6 artigos).

Figura 13 - Distribuição dos artigos por temática de pesquisa de segurança



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Para a temática monitoramento das condições de segurança *on-site*, que é o foco desta tese, a pesquisa realizada aponta uma concentração de aplicações voltadas para o monitoramento de elementos dinâmicos em canteiro por meio da integração de tecnologias de rastreamento (sensor *wireless*, *bluetooth*, RFID, entre outras) com o BIM (GOLPARVAR-FARD; PEÑA-MORA; SAVARESE, 2011; PARK; KIM, 2013; COSTIN; TEIZER; SCENER, 2015; RIAZ *et al.*, 2017). Os estudos com VANT destacam-se pela possibilidade de visualizar as condições de perigo no canteiro em tempo real, entretanto o processamento desses dados ainda é realizado de forma manual (JIANG *et al.*, 2020; KIM; IRIZARRY; COSTA, 2020; MARTINEZ; GHEISARI; ALARCÓN, 2020).

Em resumo, observa-se que apesar do desenvolvimento ainda existem vários campos de aplicação a serem explorados. A seção a seguir busca apresentar os principais estudos identificados na revisão sistemática, visando a discutir as práticas bem-sucedidas de integração das tecnologias às estratégias de gestão da segurança.

3.1.1 Tecnologias digitais aplicadas à segurança em canteiros de obra

Golparvar-Fard, Peña-Mora e Savarese (2011) propõem a aplicação do modelo D⁴AR (realidade aumentada 4-dimensões), que consiste em um modelo em BIM 4D sobreposto a um modelo com nuvem de pontos gerado a partir de fotografias coletadas por meio de câmeras fixas e câmeras em modo *walk-through*. Como contribuições, as fotografias fornecem informações úteis que podem ser usadas para segurança, especialmente quando sobreposta ao modelo 4D (*as-planned*). Assim, a visualização dos atos e condições de segurança identificadas no modelo D⁴AR visam a fornecer informações espaciais para educação e treinamento em segurança, ajudar a equipe gerencial a compreender a localização das atividades e práticas inseguras mais rapidamente e informar com mais eficiência as diretrizes de segurança aos trabalhadores.

Segundo os referidos autores, no estudo realizado em um canteiro de obra real, foi possível visualizar detalhes como a ausência das proteções dos vergalhões (Figura 14) e escavações sem sistema de proteção contra queda. Em vista destes resultados, discute-se que a capacidade de *zoom* das imagens permite que, em alguns casos, a inspeção de segurança seja realizada remotamente, contribuindo também para a redução da frequência das inspeções no local.

Figura 14 - Capacidade de zoom nas imagens (modelo D⁴AR)



Fonte: Golparvar-Fard, Peña-Mora e Savarese (2011)

Park e Kim (2013) propõem um Sistema de Gerenciamento e Visualização da Segurança (SGVS) integrando as tecnologias BIM, os sistemas de rastreamento, a realidade aumentada e os *games* (uso de jogos para aprendizados). Para tanto, foi desenvolvido e testado um protótipo (Microsoft Studio XNA 4.0 Game Studio) com base em um cenário ilustrativo e a implementação em um estudo de caso. Embora esse sistema tenha sido aplicado apenas a tarefas específicas (processo de forma e armação de estruturas de concreto armado), buscou-se utilizar jogos educativos e modelagem virtuais do canteiro para o controle da segurança. O principal diferencial do estudo é a integração das tecnologias ao processo de gestão, ou seja, a existência de um sistema unificado, possibilitando a visualização das condições do canteiro e as informações de localização em tempo real de forma interativa (PARK; KIM, 2013).

A identificação dos riscos e informações relativas à segurança, tais quais, materiais, equipamentos, condições inseguras, casos de acidentes e *checklist* são extraídos de um banco de dados de informações de segurança e, em seguida, interagem com o modelo virtual do canteiro para o uso em educação e inspeção. Durante a inspeção é possível verificar a eficiência das medidas de prevenção de acidentes, permitindo o armazenamento de fotos e as informações sobre os novos riscos encontrados em campo (PARK; KIM, 2013).

Os resultados do estudo apontam que o SGVS tem um grande potencial para melhorar a identificação de riscos, aumentar a capacidade de reconhecimento do risco pelos trabalhadores e contribuir na comunicação entre gerentes e trabalhadores. Entretanto, apesar dos gerentes e trabalhadores conseguirem obter as informações automaticamente ao se conectarem ao sistema por meio de um dispositivo móvel, a comunicação efetiva com os trabalhadores no campo permanece sem solução, haja

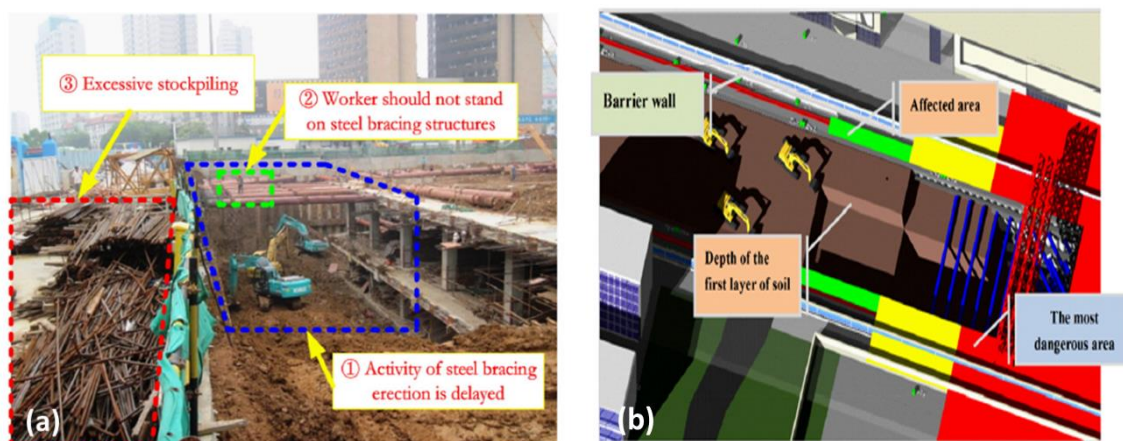
vista a dificuldade de interação direta com o trabalhador e a dependência do uso de dispositivos móveis (PARK; KIM, 2013).

Zhou, Ding e Chen (2013) apresentam uma nova abordagem para gestão da segurança usando tecnologias digitais para a construção de um metrô na China. A abordagem proposta envolve quatro etapas: (a) investigação de estratégias de controle de segurança na construção de metrô urbano; (b) análise das principais categorias de risco; (c) estabelecimento de modelos 4D utilizando o *Autodesk Revit* e *Navisworks*; e (d) desenvolvimento da relação entre os modelos 4D e as informações de risco.

Para isso, antes do início da construção, um algoritmo analisa as informações do projeto visando a detectar automaticamente as atividades e condições potencialmente inseguras e fornecer instruções para sua correção. Os dados reais de monitoramento do local são comparados continuamente com o modelo 4D. Dessa forma, o *status* de segurança pode ser visualizado constantemente no sistema, conforme as condições mudam e os riscos evoluem (ZHOU; DING; CHEN, 2013).

Segundo os referidos autores, os principais tipos de procedimentos inadequados incluem: (a) falha de operação, em desacordo com as diretrizes e normas de construção e (b) atividades inseguras causadas por restrições de espaço e recursos. Para avaliar o risco da atividade, os autores criaram um sistema de codificação em cores, como apresentado nas Figuras 15a e 15b.

Figura 15 - Sistema de codificação do grau de risco por cores: (a) imagem e (b) modelo 4D



Fonte: Zhou, Ding e Chen (2013).

De modo geral, os referidos autores discutem que a visualização em 4D facilita a identificação de procedimentos inadequados, permite acompanhar a evolução dos

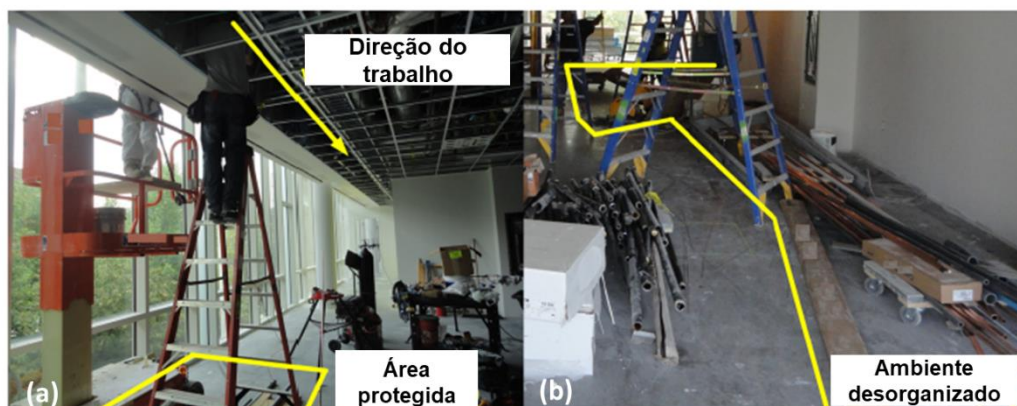
riscos, melhora a compreensão do *status* de segurança e direciona a tomada de ação para as áreas de maior risco, sinalizadas na cor vermelha. Tais características buscam agilizar as ações imediatas pelos gerentes do projeto visando evitar acidentes.

O estudo realizado por Cheng e Teizer (2013) consistiu na análise das condições de segurança em canteiro utilizando *laser scanner* para levantamento 3D e Realidade Aumentada para visualização dos dados em tempo real. A ideia da pesquisa foi avaliar diferentes cenários por meio de simulações, levando em consideração os potenciais riscos durante as operações de movimentação de equipamentos pesados (gruas e guindastes). De acordo com os resultados, informações importantes relacionadas à segurança e atividades de operações de campo podem ser monitoradas e visualizadas automaticamente em tempo real, proporcionando benefícios, como o aumento da consciência dos trabalhadores e a tomada de ação mais rápida.

Park, Kim e Cho (2017) buscaram desenvolver e avaliar um sistema automatizado para o monitoramento da segurança. O sistema proposto integra tecnologia de detecção de localização baseada em *Bluetooth Low Energy* (BLE), plataforma BIM e uma plataforma de comunicação em nuvem. Os recursos de realidade aumentada são utilizados para educação e treinamentos dos trabalhadores e o BIM atua como uma plataforma para identificação automática, registro e visualização dos perigos. O monitoramento da segurança foi realizado por meio de sensores nas áreas classificadas como de potenciais riscos e o sinal transmitido por meio do BLE para a nuvem.

Para os referidos autores existem tipos de perigos que não são identificados de forma automática pela análise de documentos/projeto e que precisam ser identificados por um inspetor de segurança no local, como exemplificado na Figura 16. Além disso, as tecnologias testadas limitam o escopo do estudo a perigos associados às condições físicas do canteiro, não sendo possível avaliar fatores humanos e características psicológicas, organizacionais e variáveis físicas.

Figura 16 - Tipos de perigos identificados manualmente: (a) ausência de proteção na área de trabalho em altura, e (b) ambiente de trabalho desorganizado



Fonte: Park, Kim e Cho (2017).

Kim, Kim e Kim (2017) propuseram um sistema de prevenção de riscos baseado na visualização proativa de situações potencialmente perigosas. O sistema em questão é composto por três módulos: (a) módulo de monitoramento de canteiro (busca por meio de dispositivo de captura de imagem e dispositivos portáteis identificar os perigos do canteiro); (b) módulo de avaliação da segurança (utiliza os dados de imagem e raciocínio baseado em *fuzzy* para avaliar o nível de segurança de cada objeto); e (c) módulo de visualização (fornece informações como orientação de perigo, distância e nível de segurança aos trabalhadores).

Para o monitoramento do canteiro foram utilizadas câmeras estacionárias, especificamente, uma televisão de circuito fechado (CCTV) e um dispositivo portátil. A localização e a direção dos trabalhadores foram extraídas das imagens e dos dados de orientação adquiridos a partir do dispositivo *wearable* (neste caso, utilizou-se o Google Glass). Com base nos dados coletados, múltiplos objetos foram rastreados por meio de algoritmo, gerando informações sobre os potenciais perigos, por exemplo, orientação e distância entre equipamentos e trabalhadores. Como variáveis de saída têm-se os níveis de segurança, variando de 0 a 10 (sendo 10, o nível mais seguro), além da representação por uma seta com escala de cores (representando na cor vermelha as situações de alto nível de perigo, e na cor verde o baixo nível de perigo) (KIM; KIM; KIM, 2017).

Outra vertente das tecnologias digitais estudadas é o uso de dispositivos móveis e processamento de imagens e vídeos para inspeção de segurança, como destacado nas pesquisas realizadas por Lin *et al.* (2014), Zhang *et al.* (2016) e Guo *et al.*

(2019). Nesse contexto, Lin *et al.* (2014) apresentam um protótipo de inspeção de segurança centrado no usuário, visando apoiar as práticas diárias no gerenciamento da segurança em canteiro de obras. Para o protótipo desenvolvido (*iAuditor*), os referidos autores incluíram um conjunto de funções. Dentre elas, destacam-se: (a) listas pré-configuradas de informações do projeto e dos participantes do projeto; (b) captura de fotos, na qual é permitido aos usuários tirar e salvar fotos de desvios e incluir como parte dos registros de inspeção; (c) *checklist* de segurança pré-configurado; (d) *score* geral, sendo uma função que permite que os usuários insiram uma pontuação geral para a inspeção realizada; (e) comunicação integrada com os participantes do projeto, permitindo o acesso ao banco de dados online e o envio de relatórios de inspeção por e-mail para os participantes do projeto; e (f) análise de tendências/padrões dos desvios identificados, gerando gráficos sob diferentes aspectos.

Dentre os ganhos do sistema de inspeção *iAuditor* destacam-se o apoio para análise futura de dados e aumento da eficiência do trabalho, uma vez que minimiza a preparação repetitiva de dados e tarefas, permitindo que os registros de inspeção sejam reutilizados em diferentes formatos de comunicação, como *e-mails* (LIN *et al.*, 2014). Os referidos autores argumentam que o protótipo permitiu aos especialistas de segurança fornecer *feedback* imediato aos superintendentes do canteiro e discutir com base em evidências como prevenir a ocorrência de violações semelhantes no futuro. É importante ressaltar que um dos usuários que testaram o protótipo decidiu usar os dados coletados para avaliar o desempenho de segurança das empresas contratadas e para vincular o bônus dos superintendentes ao desempenho de segurança.

Zhang *et al.* (2016) propõem rotinas para inspeções de segurança incorporando dispositivos móveis às práticas atuais. Cada etapa desta estrutura foi vinculada às funcionalidades do protótipo (*iObserver*). Dentre as funcionalidades estabelecidas, destacam-se: (a) o acesso aos relatórios de inspeções anteriores, (b) a orientação passo a passo para realizar as observações, (c) fácil abordagem para inserir informações, (d) acesso aos procedimentos de segurança e documentos de planejamento, e (e) geração automática de relatórios de observação.

Dentre as funcionalidades do protótipo *iObserver*, na etapa de orientação (passo a passo para realizar as observações), destacam-se as recomendações para executar o processo de inspeção. Para cada nova observação é preciso selecionar

dentro da lista de tarefas as que serão inspecionadas. Uma vez que uma tarefa é escolhida, é exibida a tela de registro da nova observação onde o inspetor verifica se cada requisito de segurança é atendido. Caso contrário, o aplicativo perguntará se é necessário propor uma ação corretiva. Quando confirmado, é apresentado um formulário de ação corretiva para o inspetor preencher e enviar para o subcontratado ou partes relevantes. O resultado da inspeção pode ser divulgado para todos os envolvidos, permitindo aos usuários acesso aos procedimentos e documentos de segurança durante a tomada decisão, bem como o acompanhamento da ação corretiva.

Guo *et al.* (2019) apresentam um *checklist* de segurança digital integrado ao uso de câmeras inteligentes de monitoramento. O sistema proposto identifica e registra condições inseguras automaticamente utilizando como referência um *checklist* desenvolvido previamente. O processo de inspeção consiste em quatro etapas: (a) os itens de inspeção são correlacionados com as áreas de construção; (b) câmeras inteligentes são colocadas nas áreas de maior risco; (c) os itens inspecionados são registrados pelas câmeras correspondentes; e (d) os itens de inspeção são observados e verificados remotamente.

Cada item inspecionado requer que os especialistas predefinam o risco por meio da abordagem de matriz de risco. Dessa forma, cada item tem uma pontuação inicial em uma lista de verificação, diminuindo conforme os problemas de segurança vão sendo resolvidos. Finalmente, os itens de inspeção são observados remotamente e verificados; em seguida, é gerada uma pontuação para avaliar o desempenho da segurança, considerando todos os itens da lista de verificação. Para os autores mencionados, o uso de câmeras torna o processo menos demorado e menos trabalhoso quando comparado às inspeções de segurança manuais (GUO *et al.*, 2019).

De modo geral, é notório nos estudos apresentados, o esforço em prover melhorias no monitoramento da segurança. Por outro lado, percebe-se que o gerenciamento de riscos e a identificação de não conformidades ainda são o foco das análises (visão reativa), apesar da tentativa de se utilizar as informações para mudar a situação presente. Para Teizer (2016), o *feedback* em tempo hábil e o ambiente colaborativo são os principais instrumentos de ação proporcionados com uso das tecnologias digitais para um gerenciamento proativo.

A seguir serão apresentados os principais estudos relacionados ao uso do VANT para segurança. O VANT foi escolhido tendo em vista seu potencial de monitorar processos construtivos e atividades executadas em ambientes externos e aéreas de difícil acesso (MELO *et al.*, 2017; KIM; IRIZARRY; COSTA, 2020; JIANG *et al.*, 2020; MARTINEZ; GHEISARI; ALARCÓN, 2020). Além disso, o VANT promove a coleta de imagens e vídeos em alta resolução, a transferência de informações em tempo hábil, a possibilidade de integração com outras tecnologias digitais e o *feedback* imediato (KIM; IRIZARRY, 2015; GHEISARI; ESMAEILI, 2019).

3.2 USO DE VANT APLICADO À GESTÃO DA SEGURANÇA

3.2.1 Contextualização

Os VANTs, drones ou Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) são denominações para as aeronaves que operam sob controle remoto sem nenhum piloto a bordo (IRIZARRY; GHEISARI; WALKER, 2012; ZHOU; GHEISARI, 2018). Os principais tipos de VANTs são as aeronaves de asa fixa e de asa rotativa. As aeronaves de asa fixa necessitam de pistas para decolagem e pouso e são capazes de realizar voos de longa duração. Por outro lado, as aeronaves de asa rotativa realizam pouso e decolagem no modo vertical, tendo como vantagens a capacidade de manter-se estável no ar e a facilidade de manobra (ZHOU; GHEISARI, 2018).

No levantamento realizado por Zhou e Gheisari (2018), as aeronaves de asa rotativa são as mais usadas na construção, destacando os modelos DJI *Phantom*, 3DR IRIS+ e Parrot AR. As câmeras são os sensores mais utilizados, seja para a captura de fotos e vídeos ou para a geração de modelos 3D. O uso do VANT para inspeções visuais consiste em duas etapas: coleta e análise dos dados. Na primeira etapa, os VANTs são usados para capturar fotos ou vídeos aéreos. Na segunda etapa, os dados visuais coletados podem ser analisados manualmente (IRIZARRY; GHEISARI; WALKER, 2012; IRIZARRY; COSTA, 2016; MELO *et al.*, 2017; MARTINEZ; GHEISARI; ALARCÓN, 2020) ou com o auxílio de técnicas avançadas de processamento de imagem (MENDES *et al.*, 2018; GHEISARI; RASHIDI; ESMAEILI, 2018).

Com elevado potencial de aplicações no âmbito da gestão das construções, as inspeções de segurança vêm sendo um dos destaques do uso desta tecnologia. Dessa forma, esta revisão busca explorar a adoção do VANT para a segurança do

trabalho em canteiro de obras, destacando como as informações coletadas vêm sendo utilizadas para a gestão da segurança.

Durante a revisão da literatura foram levantados os principais trabalhos publicados na área até o ano de 2020. No total foram identificados um total de 24 artigos na área de gestão de segurança em canteiro de obras, um capítulo de livro e uma dissertação. Entretanto, foram descartados da revisão os artigos com ênfase em visão computacional e os artigos genéricos na área de gestão, dando-se ênfase aos estudos apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4 - Principais estudos na área de gestão de segurança com VANT.

Título	Fonte
Usability assessment of drone technology as safety inspection tools	Irizarry, Gheisari e Walker (2012)
Potential applications of unmanned aerial systems for construction management tasks	Irizarry, Costa e Kim (2015)
Unmanned Aerial Systems (UAS) for Construction Safety Applications	Gheisari e Esmaeili (2016)
Exploratory Study of Potential Applications of Unmanned Aerial Systems for Construction Management Tasks	Irizarry e Costa (2015)
Exploratory Study on Factors Influencing UAS Performance on Highway Construction Projects: as the Case of Safety Monitoring Systems	Kim e Irizarry (2015)
Evaluating the performance of unmanned aerial vehicles for safety inspection	Costa <i>et al.</i> (2016)
Applicability of unmanned aerial system (UAS) for safety inspection on construction sites	Melo <i>et al.</i> (2017)
The effectiveness of an integrated BIM/UAV model in managing safety on construction sites	Alizadehsalehi <i>et al.</i> (2018)
A Multidimensional Framework for Unmanned Aerial System Applications in Construction Project Management	Zhou, Irizarry e Liu (2018)
Applications of 3D SLAM on Risk Management Using Unmanned Aerial Vehicles in the Construction Industry – Capítulo livro	Palacios <i>et al.</i> (2018)
Unmanned aerial system applications in construction: a systematic review	Zhou e Gheisari (2018)
Applications and requirements of unmanned aerial systems (UASs) for construction safety	Gheisari e Esmaeili (2019)
Field Test-Based UAS Operational Procedures and Considerations for Construction Safety Management: A Qualitative Exploratory Study	Kim, Irizarry e Costa (2020)

Título	Fonte
Human Performance in UAS Operations in Construction and Infrastructure Environments	Kim e Irizarry (2019)
UAV Integration in Current Construction Safety Planning and Monitoring Processes: Case Study of a High-Rise Building Construction Project in Chile	Martinez, Gheisari e Alarcón (2020)
Multilevel Goal Model for Decision-Making in UAS Visual Inspections in Construction and Infrastructure Projects	Kim, Irizarry e Kanfer (2020)
Diretrizes Para Inspeção De Segurança Em Canteiros De Obra Por Meio De Imageamento Com Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) - Dissertação	Melo (2016)

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Com base no levantamento da literatura realizado, buscou-se dar ênfase às pesquisas com dados reais, como os Estudo de Caso, *Surveys* e Experimentos, apresentando o processo de coleta e análise de dados, a integração com as estratégias da gestão da segurança e suas principais contribuições para a temática estudada. A seguir são discutidos os estudos mais relevantes para o escopo desta tese.

3.2.2 Estudos com ênfase em monitoramento e inspeção de segurança

O primeiro estudo identificado na área foi realizado por Irizarry, Gheisari e Walker (2012). Neste artigo, os referidos autores realizaram uma avaliação inicial da utilização do VANT como uma ferramenta para auxiliar na gestão da segurança dentro do canteiro de obras. Com base no experimento desenvolvido, duas análises distintas foram realizadas. A primeira baseia-se em uma avaliação heurística visando à análise da interface (projeto e sistema). Na segunda análise, os participantes contaram o número de capacetes de segurança que poderiam ser vistos em diferentes imagens do canteiro de obras em três condições diferentes: (1) visualização simples – projeção em quadro, (2) usando o iPad e (3) usando o iPhone. Os resultados da projeção em quadro apresentaram os melhores resultados.

Irizarry, Costa e Kim (2015a) e Irizarry e Costa (2016) identificaram potenciais aplicações para os ativos visuais (fotos e vídeos), por meio de estudos de caso exploratórios com aplicação de entrevistas em quatro diferentes canteiros de obras, sendo três nos Estados Unidos e um no Brasil. Conforme os resultados, a equipe de campo considerou os ativos mais úteis para identificar questões e problemas de logística em operacional. Enquanto, os profissionais de gerenciamento de projetos consideraram

os ativos mais úteis para obter uma visão geral do projeto. O monitoramento da segurança foi destacado como um potencial em áreas de aplicação. Devido ao caráter exploratório da pesquisa, nenhuma intervenção foi realizada junto à equipe de segurança do canteiro, sendo avaliadas apenas as percepções dos entrevistados com base nos ativos coletados.

Kim e Irizarry (2015) avaliaram o uso do VANT para o monitoramento das condições de segurança em construções de estradas. Para isso, foram aplicados questionários e realizadas entrevistas com os potenciais usuários. Como contribuição os referidos autores destacam três grupos de fatores que influenciam no desempenho do VANT, tais como:

- características do sistema VANT: facilidade de interface do usuário, qualidade dos ativos obtidos e confiabilidade do sistema;
- características do projeto: localização, tamanho e custo;
- características da equipe do projeto: experiência da equipe com VANT, atitudes com relação à aplicação do VANT em projetos, adequação dos recursos para uso VANT (financeiro, tempo, pessoal etc.) e treinamento para o uso do VANT.

Como resultado da *survey*, Kim e Irizarry (2015) também identificaram 17 benefícios do uso da tecnologia, destacando: (a) o monitoramento eficaz das áreas de difícil acesso; (b) a simplificação do processo de documentação; (c) a redução do tempo de monitoramento da segurança; (d) a emissão de relatórios imediatos com as situações potencialmente perigosas; (e) a fácil identificação dos problemas de segurança; (f) a agilidade na correção dos perigos potenciais; e (g) a melhoria do desempenho de segurança do projeto.

Gheisari e Esmaeili (2016) identificaram por meio de *survey* algumas práticas de segurança que podem ser melhoradas com o uso do VANT e requisitos técnicos e dos usuários para a implementação da tecnologia. No total foram identificadas 16 situações de riscos, das quais 15 situações estavam associadas às atividades de monitoramento e inspeção e uma associada à investigação de acidente. Dentre as atividades de maior potencial de aplicação do VANT, destacam-se: trabalhadores em áreas próximas ao içamento de carga (gruas e guindastes), trabalhadores próximos a bordas

desprotegidas (sem guarda-corpos ou outras proteções contra queda), inspeção de uso adequado de EPI e sistema de proteção contra quedas.

Quanto às características técnicas do sistema VANT requisitadas pelos potenciais usuários em segurança, ressalta-se a comunicação em tempo real por meio de vídeo, a precisão durante a navegação (confiabilidade do sistema), a existência de sensores para evitar colisões durante o voo e do piloto automático (GHEISARI; ESMAEILI, 2016).

A pesquisa desenvolvida por Melo (2016) buscou avaliar os itens possíveis de serem visualizados com o uso do VANT. Para isso, a referida autora desenvolveu um *checklist* de segurança com base na NR-18 (BRASIL, 2018) e realizou dois estudos de caso exploratório em canteiros com o uso do VANT, sendo uma construção horizontal (Estudo A) e uma construção vertical (Estudo B). Dentre os itens de maior importância nas capturas destacam-se: as condições gerais de organização e limpeza do canteiro, as áreas de armazenamento de materiais, as proteções coletivas contra queda em altura, os trabalhadores utilizando EPI, as proteções dos vergalhões, entre outros. Com base nos resultados, percebeu-se um alto potencial de aplicação, considerando que no estudo A dos 34 itens inspecionados, 29 foram visualizados com detalhes e no estudo B dos 34 itens inspecionados, 21 foram visualizados com detalhes (MELO, 2016; COSTA *et al.*, 2016).

Em seguida, buscou-se avaliar a aplicabilidade do uso da tecnologia VANT para inspecionar os itens previamente identificados, classificando-os como conforme ou não conforme (MELO, 2016; MELO *et al.*, 2017). Os referidos autores destacaram a alta resolução das imagens e a capacidade de *zoom* nas fotos como características que facilitam a identificação dos itens avaliados, por exemplo, a inspeção da forração do piso da bandeja (Figura 17). Com base nas imagens foi possível identificar com clareza situações inseguras difíceis de serem monitoradas pelo método tradicional, tais como trabalhadores e equipamentos sobre a plataforma de proteção secundária (Figura 18a) e o desnivelamento dos andaimes suspenso (Figura 18b).

Figura 17 - Exemplo de plataforma primária com falhas na forração do piso



Fonte: Melo (2016).

Figura 18 - Itens avaliados: (a) sobrecarga na plataforma e (b) andaime suspenso desnivelado



Fonte: Melo (2016).

Como principais benefícios do uso da tecnologia para inspeção têm-se a redução do tempo de inspeção, o aumento da transparência dos processos devido a melhor visualização das condições e atos inseguros e a melhoria no comportamento dos trabalhadores (MELO, 2016).

Alizadehsalehi *et al.* (2018) propuseram um modelo integrando o BIM e o VANT visando a melhorar o desempenho de segurança na fase de projeto e de construção. Para os autores citados, com o uso do BIM é possível identificar os riscos na fase de projeto, enquanto que na fase de construção estes potenciais riscos podem monitorados com o VANT, minimizando a ocorrência de acidentes. A estrutura proposta foi avaliada com base na percepção de 118 profissionais, incluindo supervisores, agentes e inspetores de segurança.

É importante destacar que as regras para identificação dos riscos no BIM propostas por Alizadehsalehi *et al.* (2018) foram formuladas com base na norma OSHAS

18.001 e com base nas experiências de especialistas em segurança. Durante o monitoramento em canteiro, as informações em tempo real coletadas com o VANT devem ser comparadas aos procedimentos e normas aplicadas. Como saída do fluxo de trabalho, os referidos autores esperam identificar os desvios entre as regras geradas no BIM e o *status* de segurança do projeto. Esse resultado pode ser entendido como as diferenças entre o trabalho imaginado (projeto) e o trabalho realizado.

Zhou, Irizarry e Liu (2018) propuseram uma estrutura multidimensional para guiar o desenvolvimento de programas direcionados às fases de pré-construção, construção e pós-construção, destacando os intervenientes envolvidos e as funções do VANT em cada etapa (coletar dados, conduzir tarefas operacionais ou integrar atividades). A estrutura multidimensional foi avaliada por meio de entrevistas com gerentes de projetos e especialistas em geral, analisando-se a contribuição da tecnologia para todo o ciclo de um projeto de construção. Importante destacar que assim como o trabalho desenvolvido por Alizadehsalehi *et al.* (2018), no estudo de Zhou, Irizarry e Liu (2018) não houve nenhuma implementação em estudo de caso real.

Gheisari e Esmaeili (2019) realizaram uma *survey* com 47 participantes de 22 estados nos EUA para entender a viabilidade do uso de VANT para aplicações voltadas à segurança em obras. A pesquisa avaliou os seguintes critérios: (a) a eficácia e a frequência do uso de VANT para melhorar as atividades relacionadas à segurança, (b) as características funcionais do VANT e (c) os facilitadores e barreiras na adoção da tecnologia. Os resultados apontaram que mais de 30% dos entrevistados ($n = 14$) já usaram VANTs para aplicações de construção. Dentre estas aplicações, as mais comuns foram marketing, inspeções de qualidade e inspeções de segurança. As atividades de segurança mais importantes que podem ser aprimoradas com os VANTs são: monitoramento das operações de guias ou guindaste e operações na proximidade de aberturas ou bordas de laje desprotegidas, como também destacado por Gheisari e Esmaeili (2016).

Palacios *et al.* (2018) utilizaram os modelos 3D gerados com VANT para o gerenciamento de riscos em canteiro. O modelo apresentado pelos referidos autores foi baseado no protocolo desenvolvido por Melo *et al.* (2017) e consiste em nove etapas, tais quais: (a) planejamento; (b) definição da área a ser inspecionada; (c) projeto da rota de inspeção; (d) estabelecimento de pontos críticos; (e) voo de reconhecimento

para captura de imagem e vídeo; (f) reconstrução 3D da cena; (g) análise das zonas de perigo; (h) registro das zonas de perigos; e (i) relatório. O estudo de caso realizado para teste do modelo envolveu a coleta de imagens e vídeos da atividade de montagem de vigas. Com base nessas informações, foi gerada uma reconstrução 3D da cena e, a partir disso, os riscos presentes foram analisados. Com o uso do VANT foram identificados 216 riscos, comparados a 153 riscos detectados pelo processo tradicional, ou seja, houve um aumento de 41,17% na identificação de riscos com a aplicação do VANT em relação ao procedimento tradicional (PALACIOS *et al.*, 2018). Por outro lado, a pesquisa não especifica quais foram os principais tipos e situações de riscos identificados com o VANT.

Kim, Irizarry e Costa (2020) apresentaram um fluxograma de trabalho para inspeção das condições de segurança em canteiro de obras. O fluxograma desenvolvido foi aplicado em um estudo de caso, no qual definiu-se diferentes tipos de capturas e os itens possíveis de serem visualizados em cada uma delas. A pesquisa também discute as considerações operacionais necessárias para o uso da tecnologia com base nas características técnicas do equipamento, do projeto e da equipe.

Martinez, Gheisari e Alarcón (2020) investigaram como o VANT e o conteúdo gerado com os ativos visuais coletados podem contribuir com o planejamento e monitoramento de segurança em um canteiro de obras. Para isso, foi realizado um estudo de caso com duração de cinco semanas em uma construção vertical no Chile. Como ponto de partida, os referidos autores buscaram entender o processo de monitoramento e planejamento do projeto. Em seguida, foi criado um processo de planejamento e monitoramento baseado no VANT. E, por fim, foi realizada uma avaliação dos efeitos da integração do VANT no planejamento e monitoramento do projeto.

Durante a avaliação, os referidos autores estabeleceram um conjunto de variáveis relacionadas com as condições segurança. Primeiro foi realizada uma análise da percepção do risco considerando a severidade e a probabilidade para posterior cálculo do grau de risco. A segunda análise buscou avaliar a utilidade dos ativos visuais (fotos, vídeos e modelos 3D) para o planejamento e monitoramento da segurança. No final, foi medido o tempo despendido para análise dos ativos, o número de visitas ao local e o total tempo necessário para conduzi-los (MARTINEZ; GHEISARI; ALARCÓN, 2020).

As principais modificações em relação ao fluxo de trabalho tradicional identificadas por Martinez, Gheisari e Alarcón (2020) são as etapas adicionais para projetar e conduzir os voos com VANT e coletar e processar os dados visuais. Dentre as limitações observadas, destacam-se a ausência do acompanhamento do progresso da segurança ao longo do tempo e os impactos do uso da tecnologia nas rotinas do canteiro. Conforme apresentado no estudo, as informações eram fornecidas para a equipe de engenharia, sendo esta responsável pela tomada de decisão. Dentre as contribuições, os referidos autores apontam que o VANT possibilita identificar uma maior quantidade de perigos em comparação com o processo de inspeção tradicional, corroborando com Palacios *et al.* (2018).

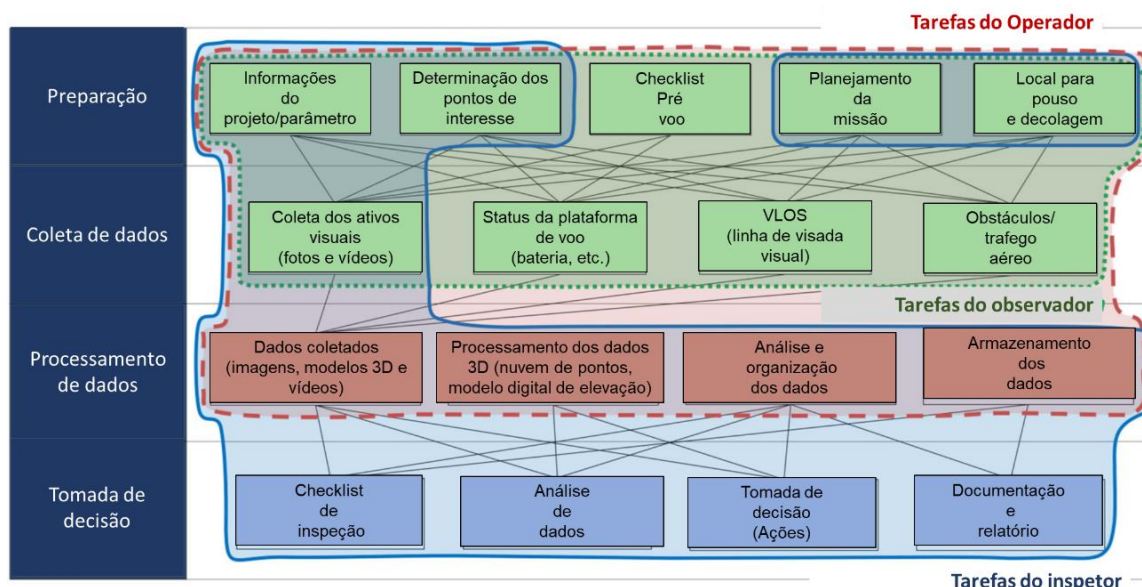
Com uma abordagem mais humanística, Kim e Irizarry (2019) buscaram entender as capacidades cognitivas humanas necessária para o uso do VANT em ambientes dinâmicos de construção e infraestrutura. O experimento consistiu em quatro fases principais: (a) uma seção de aprendizagem; (b) testes de campo com os usuários; (c) avaliação de desempenho; e (d) análise temática e consideração de implicações. Os resultados indicaram que o participante com a maior capacidade de consciência da situação executava as tarefas em um menor tempo, consequência do melhor entendimento do canteiro, maior conhecimento do ambiente ao entorno e uma menor necessidade de detalhes do local de trabalho. Além disso, os usuários familiarizados com o VANT foram mais rápidos para concluir as tarefas, independente da idade ou sexo. Em contrapartida, a experiência de trabalho dos participantes não teve forte efeito sobre o desempenho na operação da tecnologia.

Em vista disso, os referidos autores concluíram que as operações com VANT em ambiente de construção devem ser executadas por uma equipe composta por pilotos bem treinados e devidamente certificados. O piloto não precisa ser um profissional relacionado ao projeto, mas alguém com experiência profissional que possua informações básicas sobre o projeto. Se o piloto não tiver experiência profissional significativa, a colaboração com a equipe de campo e os resultados da inspeção podem ser comprometidos. A contratação de terceiros para realizar os voos é uma tendência, mas requer interação com a equipe de gerenciamento do canteiro (KIM; IRIZARRY, 2019).

Seguindo a linha de pensamento de Kim e Irizarry (2020), Kim, Irizarry e Kanfer (2020) identificaram quais os membros essenciais da equipe e a natureza de seus

objetivos que favorecem à tomada de decisão bem-sucedida durante as inspeções com VANT. A Figura 19 apresenta um esquema com o domínio das tarefas relacionadas ao uso do VANT para inspeção visual para cada um dos integrantes da equipe.

Figura 19 - Domínio das tarefas no uso do VANT para inspeção visual



Fonte: Adaptado de Kim, Irizarry e Kanfer (2020).

Os resultados indicam que a equipe deve ser composta por indivíduos que trabalhem bem juntos em um ambiente interdisciplinar, compartilhando suas experiências, conhecimento e habilidades ao interagir com o local do projeto. O inspetor desempenha um papel essencial no estabelecimento dos objetivos do trabalho, cumprindo o cronograma e o andamento do projeto, além do conhecimento sobre os critérios e regulamentos normativos de inspeção. O operador é responsável por todos os procedimentos de voo. E, o observador, o último membro da equipe de inspeção visual, dá suporte ao operador durante o voo (KIM; IRIZARRY; KANFER, 2020).

3.2.3 Papel do VANT para a gestão da segurança

Os estudos levantados mostram o crescente interesse em aplicar o VANT para atividades voltadas à gestão da segurança em canteiro de obras. No entanto, alguns pontos precisam ser melhor discutidos: (a) método de pesquisa; (b) tipo de análise de dados; (c) participação dos profissionais de segurança; (d) características do piloto e

observador; (d) características da tecnologia; (e) uso integrado com outras tecnologias; (g) integração com as atividades de gestão da segurança; e (g) tipos de perigos observados.

Com relação ao método de pesquisa, é importante destacar que apenas Irizarry, Costa e Kim (2015a), Irizarry e Costa (2016), Melo (2016), Melo *et al.* (2017), Palacios *et al.* (2018), Kim, Irizarry e Costa (2019) e Martinez, Gheisari e Alarcón (2020) realizaram estudos de casos com coleta de dados em canteiro. Os estudos desenvolvidos por Melo *et al.* (2017), Palacios *et al.* (2018) e Martinez, Gheisari e Alarcón (2020) tiveram uma maior integração com as atividades de segurança, avaliando as situações perigosas em canteiro com o uso da tecnologia.

Como ferramenta de gestão, Melo *et al.* (2017) utilizou um *checklist* de segurança baseado em normas técnicas de segurança, enquanto Palacios *et al.* (2018) e Martinez, Gheisari e Alarcón (2020) propuseram uma avaliação de risco das atividades levando em consideração os fatores severidade e gravidade para cada situação de perigo identificada. Essa avaliação de risco foi realizada com base na percepção dos gerentes de segurança, tendo o estudo de Martinez, Gheisari e Alarcón (2020) uma maior interface dos ativos com o planejamento da segurança.

Os experimentos e as *surveys* tiveram importantes contribuições no avanço do conhecimento, com destaque para os trabalhos realizados por Kim e Irizarry (2020) e Kim, Irizarry e Kanfer (2020) tendo em vista a abordagem de análise cognitiva utilizada para avaliar o desempenho de potenciais usuários quanto ao uso da tecnologia. Nas demais pesquisas, as coletas de dados com VANT foram realizadas pelos próprios pesquisadores e a equipe de segurança da obra acompanhava o piloto durante a inspeção, uma vez que o foco consistia em avaliar o uso das informações fornecidas e não da tecnologia pelas empresas (MELO *et al.* 2017; PALACIOS *et al.*, 2018; MARTINEZ; GHEISARI; ALARCÓN, 2020).

Portanto, tendo como foco as características do piloto e observador, Melo *et al.* (2017), Kim e Irizarry (2020) e Kim, Irizarry e Kanfer (2020) discutem que para uma inspeção bem-sucedida o piloto não necessita apenas saber operar o VANT, mas ter conhecimentos mínimos sobre o projeto. A integração entre a equipe de segurança, piloto e observador é de vital importância, dada a necessidade de alinhar quais os

riscos e condições inseguras a serem inspecionadas (MELO *et al.*, 2017; KIM; IRI-ZARRY; KANFER, 2020; MARTINEZ; GHEISARI; ALARCÓN, 2020) e facilitar o processo de ação corretivas e imediatas.

Quanto às características da tecnologia, as pesquisas realizadas por Kim e Irizarry (2015) e Gheisari e Esmaeili (2016; 2019) trazem um panorama completo sobre os sensores e os modelos de aeronaves mais utilizados na construção civil. No geral, os VANT de asa rotativa se destacam em comparação aos de asa fixa, haja vista a possibilidade de pouso e decolagem na vertical e sua estabilidade, podendo ser equipados com câmeras de alta resolução, GPS, sistemas de resposta de emergência e sensores anticolisão.

Para o tipo de análise dos dados, existe uma predominância da análise manual por profissionais com conhecimento em segurança, visto que nem todos os requisitos de segurança podem ser parametrizados, ou seja, transformados em regras para análise automatizada. Além disso, a análise de segurança envolve todo um contexto, podendo variar a depender das condições de trabalho e interferência entre atividades, tendo em vista o comportamento não-linear do sistema/processo observado. Entretanto, vale destacar que existem iniciativas de análise automatizada de itens específicos, como guarda-corpos, abordados com mais detalhes nos trabalhos realizados por Mendes *et al.* (2018) e Gheisari, Rashidi e Esmaeili (2018).

Tendo como referência os estudos discutidos, observa-se que poucos deles destacam a integração do VANT com outras tecnologias. Por exemplo, o modelo proposto por Alizadehsalehi *et al.* (2018) integra o uso do VANT ao BIM, permitindo uma comparação entre o projetado e o executado. Há também os estudos realizados por Palacios *et al.* (2018) e Martinez, Gheisari e Alarcón (2020), que propuseram a geração de modelos 3D a partir de ativos visuais coletados com VANT e *software* fotogramétrico para facilitar a localização das áreas de riscos.

Em relação à integração do VANT com a gestão da segurança, nota-se que o estudo proposto por Martinez, Gheisari e Alarcón (2020), além do monitoramento da segurança *on-site*, propõem usar as informações para o planejamento da segurança. Entretanto, nota-se que é dada ênfase no processo de avaliação de risco e na proposição de um plano de ação com as medidas preventivas e corretivas. Contudo, por se tratar de um estudo de caso de curta duração, aspectos relacionados aos impactos

na rotina gerencial e de canteiro não são facilmente percebidos, por exemplo, como ocorre as discussões e a integração entre diferentes equipes (produção e segurança), as situações de aprendizado e a disseminação de resultados em nível operacional e gerencial.

Quanto aos tipos de perigos comumente identificados, a literatura deixa claro o papel da tecnologia no monitoramento de atividades externas, facilitando a visualização de perigos associados à queda em altura, queda de mesmo nível, queda de materiais, atropelamento, tombamento e colisão de equipamento, escavações sem proteções, movimentação de equipamentos e materiais, logística e *layout* de canteiro (GHEISARI; ESMAEILI, 2016; MELO *et al.*, 2017; PALACIOS *et al.*, 2018; MARTINEZ; GHEISARI; ALARCÓN, 2020).

Desse modo, nota-se que é de vital importância deixar claro como e quais informações podem ser coletadas com VANT, uma vez que as incertezas sobre o potencial de uso e a falta de informações sobre os benefícios são as principais razões da resistência na adoção de novas tecnologias (MITROPOULOS; TATUM, 2000).

3.2.4 Barreiras e potenciais riscos do uso do VANT para gestão da segurança

As inovações tecnológicas têm como premissa a melhoria dos processos ou a melhoria na qualidade de vida, e quando não integradas à indústria ou à sociedade acabam por não apresentar valor, perdendo seu significado. Portanto, a identificação das barreiras que impedem a adoção das inovações tecnológicas é de extrema importância para promover seu uso efetivo (TOOLE, 2011; SAMARADIWAKARA; GUNAWARDENA, 2014).

Em vista disso, as barreiras relacionadas ao uso do VANT em canteiros de obras vêm sendo objeto de estudo de várias pesquisas, seja por levantamento de dados empíricos (IRIZARRY; KIM, 2015; COSTA *et al.*, 2016; MELO *et al.*, 2017; TATUM; LIU, 2017) ou revisão sistemática da literatura (MOSLY, 2017; GOLIZADEH *et al.* 2019).

Como forma de facilitar o entendimento dos benefícios e barreiras da adoção da tecnologia, Melo *et al.* (2017) propõem um conjunto de diretrizes para o uso do VANT para inspeção de segurança em canteiro. Costa *et al.* (2016) e Melo (2016) avaliaram alguns riscos provenientes do uso da tecnologia em canteiro por meio de entrevistas com trabalhadores e equipe de gerência. Os resultados indicaram que o VANT teve

baixa interferência nas atividades do projeto, como, por exemplo, a paralisação da grua ou equipamentos pesados no momento do voo.

Além disso, segundo a percepção dos gestores, a adoção do VANT para inspeção de segurança depende do custo de aquisição do equipamento, disponibilidade de serviços de suporte técnico, necessidade de treinamento de piloto ou da contratação de uma pessoa treinada para a operação do VANT e do interesse da alta direção quanto à sua adoção (COSTA *et al.*, 2016; MELO, 2016). Quanto à percepção dos trabalhadores, os resultados indicaram que o grau de invasão de privacidade (1,94), o grau de distração do trabalho ocasionado pelo uso do VANT em canteiro (2,00) e a preocupação com os riscos de queda e colisão (1,89) foram relativamente baixos, considerando-se 1 - muito pouco e 5 - muito alto (MELO, 2016).

A incerteza quanto ao contexto regulatório é outro ponto discutido na literatura (TATUN; LIU, 2017; MELO *et al.* 2017; GHEISARI; ESMAEILI, 2018; GOLIZADEH *et al.*, 2019; GHEISARI; COSTA; IRIZARRY, 2020). Gheisari, Costa e Irizarry (2020) discutem que os termos de operação do uso do VANT variam de acordo com o país, apresentando um panorama com os principais requisitos aplicados nos Estados Unidos, Brasil, Chile, Reino Unido e Europa. Segundo o referido estudo, a definição dos requisitos para operação do VANT para fins civis tende a favorecer o crescimento da economia, impulsionado a geração de novas aplicações e formas de trabalho.

Outros potenciais riscos foram identificados por Tatum e Liu (2017), tais como, o risco de causar dano físico aos funcionários ou civis e o risco de causar dano à propriedade. Para Zhou e Gheisari (2018), o uso de VANT pode introduzir novos riscos, como falhas de sensores anticisão para voos autônomos em ambientes complexos. No entanto, nenhum dos estudos analisados abordou problemas com falhas de sensores, seja em voos autônomos ou manuais. É importante destacar que no Brasil os voos autônomos³ são proibidos segundo a ANAC (2017). No entanto, é importante destacar que os voos automatizados podem ser realizados para mapeamentos de terrenos e geração de modelos 3D, uma vez que, embora a coleta de dados seja automática, o piloto pode intervir e cancelar o voo a qualquer momento.

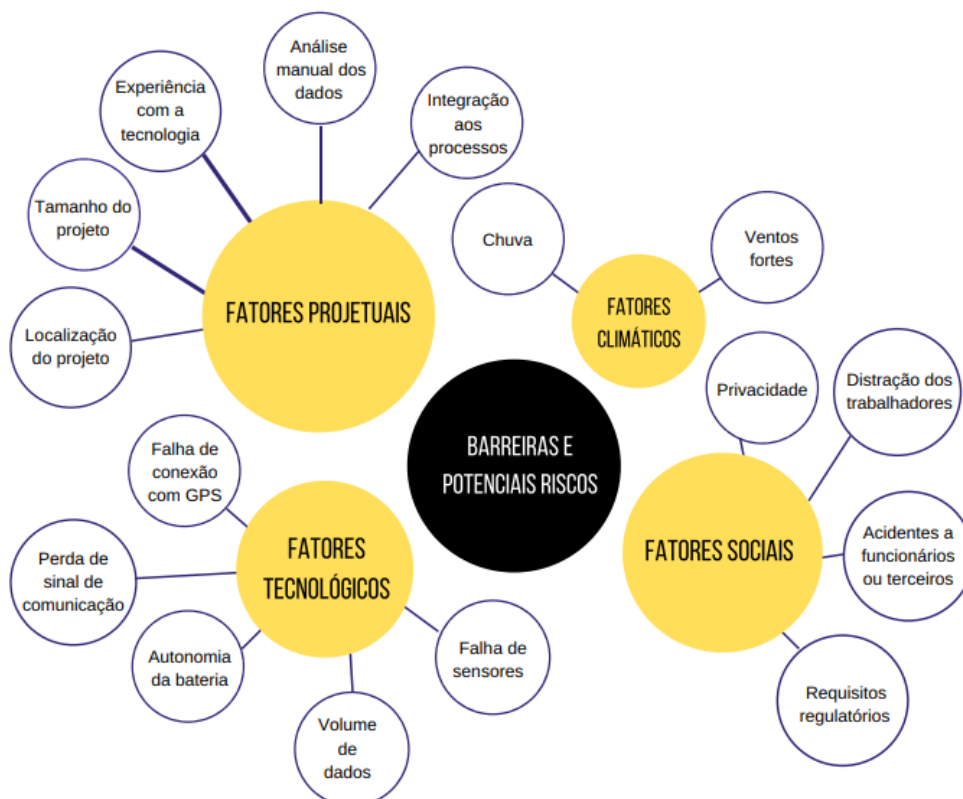
³ Um voo autônomo é aquele que, uma vez iniciado o voo, não há a possibilidade de intervenção por parte do piloto (ANAC, 2017).

Tendo em vista o risco de acidentes proveniente de queda ou colisão, Melo *et al.* (2017) discutem a importância do planejamento de voo, identificando previamente os obstáculos no canteiro, a fim de escolher os pontos para decolagem e pouso. De modo geral, observa-se que os voos na modalidade de controle manual com coleta de dados manual é o mais comum para aplicações na área de segurança, mantendo um risco controlado. Na literatura analisada sobre aplicações de VANT na área de segurança em canteiros de obras, apenas o estudo realizado por Martinez, Gheisari e Alarcón (2020) realizaram voos automatizados, tendo como propósito a geração de nuvem de pontos e modelo 3D de maior precisão.

Golizadeh *et al.* (2019) sugerem algumas medidas para abordar as barreiras identificadas e fornecem orientações pragmáticas para as empresas de construção que pretendem usar VANTs em seus projetos. As reflexões apresentadas apontam que é clara a necessidade de mudança de paradigma com foco nos impactos sociais e na aceitação do VANT pelo público para avaliação das deficiências tecnológicas. Para os referidos autores, a maioria das barreiras técnicas identificadas tem origem no sistema operacional, o que pode ser tratado como uma questão interdisciplinar entre a indústria da construção e as indústrias de aviação, por meio de atividades de P&D para resolver os problemas.

No entanto, enquanto o estudo realizado por Golizadeh *et al.* (2019) tem uma visão mais genérica e abstrata, Melo *et al.* (2017) basearam-se em dados empíricos, destacando como principais barreiras do uso da tecnologia a necessidade de integração do VANT ao SGS, a análise dos dados de forma manual e o volume de dados coletados. Para os referidos autores, tais dificuldades influenciam diretamente em um *feedback* mais eficiente sobre as reais condições de trabalho. A Figura 20 apresenta as principais barreiras para a adoção do VANT aplicado à segurança discutidas na literatura.

Figura 20 - Barreiras relacionadas à adoção do VANT para a gestão da segurança



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

As barreiras e os riscos discutidos neste capítulo foram agrupados em quatro fatores, sendo eles:

- **Fatores sociais:** questões relacionadas à privacidade, distração dos trabalhadores durante a execução do trabalho e requisitos regulatórios (limitações de uso do espaço aéreo – ex. altitude máxima e distância de objetos, seguro da aeronave, certificação do piloto e permissão para voo).
- **Fatores climáticos:** condições climáticas adversas (ex. ventos fortes, chuva e neve).
- **Fatores tecnológicos:** falha de conexão com GPS, perda de sinal entre controle e aeronave, tempo de voo limitado, transferência e armazenamento de dados, interoperabilidade de dados, falta interação com trabalhadores, falha de sensores anticollisão e falhas de hardware.
- **Fatores projetuais:** tamanho do projeto, localização (área de alta ou baixa densidade populacional), custo do projeto, familiaridade da equipe do projeto com a tecnologia, integração da tecnologia com os processos

de gestão (qualidade, produção e segurança), necessidade de profissional da empresa especializado para operação e análise dos dados manuais.

Os **fatores sociais** estão relacionados ao ambiente externo (sociedade e agências regulamentadoras). Neste âmbito, para a difusão da tecnologia faz-se necessário um ambiente com legislação mais clara quanto ao uso da tecnologia, formas de uso, e ética das informações no ambiente de trabalho, pontuando as responsabilidades e direitos dos usuários quanto ao uso da tecnologia e aos critérios de segurança.

Os **fatores climáticos** estão relacionados com o ambiente, tendo o uso limitado em condições de fortes ventos e chuvas.

Os **fatores projetuais** estão relacionados ao ambiente organizacional, uma vez que as decisões relacionadas com o projeto (tamanho, custo, localização e métodos construtivos adotados) e com as práticas de gestão são de competência da organização. Assim, é necessário avaliar o custo-benefício em relação às características do projeto, se o serviço será terceirizado ou realizado pela empresa, bem como a competência técnica necessária, como explorado por Kim, Irizarry e Kanfer (2020).

Os **fatores tecnológicos** estão relacionados ao desenvolvimento da tecnologia, no qual falhas técnicas podem ser originadas pelas interações máquina-máquina ou pelas interações homem-máquina. Além disso, o VANT é uma tecnologia que interage com o ambiente, visto que a maioria das aeronaves se comunicam com a estação de controle via sinal de rádio, e essa frequência pode sofrer interferência do ambiente.

3.3 APLICAÇÕES DO USO DO VANT EM RELAÇÃO AOS PARADIGMAS *SAFETY-I* E *SAFETY-II*

Esse tópico busca relacionar o uso do VANT discutido na seção 3.2 com os conceitos *Safety-I* e *Safety-II* abordados no Capítulo 2. A aplicação de tecnologias no âmbito da segurança pode ser observada de duas perspectivas distintas e complementares. A primeira é visão mais reativa, focada na identificação de problemas e eventos que já aconteceram, não sendo possível mudar o curso do evento (*Safety-I*). A segunda visão é direcionada a uma abordagem proativa, na qual as informações geradas possibilitam a proposição de ações visando a antecipar situações indesejadas e aprender com as coisas que deram certo (*Safety-II*). O Quadro 5 apresenta uma

reflexão das aplicações do VANT para a segurança em canteiro segundo as perspectivas *Safety-I* e *Safety-II*, utilizando os estudos levantados na revisão da literatura.

Quadro 5 - Aplicações do VANT associado aos paradigmas *Safety-I* e *Safety-II*.

Safety-I	Safety-II
Detectar trabalhadores utilizando EPI (KIM; IRIZARRY, 2015; GHEISARI; ES-MAEILI, 2016; KIM; IRIZARRY; COSTA, 2016).	Promover treinamento dos trabalhadores com base em dados reais de segurança (MELO <i>et al.</i> , 2017; ZHOU; IRIZARRY; LIU, 2018).
Reportar em tempo real violações, condições e comportamentos inseguros (KIM; IRIZARRY, 2015; GHEISARI; ES-MAEILI, 2016).	Fornecer informações para alocação e gerenciamento de recursos temporário (GHEISARI; ES-MAEILI, 2016; KIM; IRIZARRY; COSTA, 2016; TATUN; LIU, 2017; ALIZADEHSALEHI <i>et al.</i> , 2018; ZHOU; IRIZARRY; LIU, 2018).
Utilizar informações de projetos passados para planejamento futuro (ALIZADEHSALEHI <i>et al.</i> , 2018).	Fornecer informações para melhorar o planejamento de segurança atual (ALIZADEHSALEHI <i>et al.</i> , 2018; MARTINEZ; GHEISARI; ALARCÓN, 2020).
Investigar acidentes (GHEISARI; ES-MAEILI, 2016).	Fornecer informações detalhadas sobre as condições reais de trabalho e conscientização da situação (KIM; IRIZARRY, 2015; ALIZADEHSALEHI <i>et al.</i> , 2018; PALACIOS <i>et al.</i> , 2018; MARTINEZ; GHEISARI; ALARCÓN, 2020).
Monitorar a conformidade dos itens de segurança na fase de construção (KIM; IRIZARRY, 2015; MELO <i>et al.</i> , 2017; ALIZADEHSALEHI <i>et al.</i> , 2018).	Monitorar a continuidade das práticas e medidas de segurança (ALIZADEHSALEHI <i>et al.</i> , 2018).

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Conforme apresentado no Quadro 5, o VANT apresenta um elevado potencial de aplicação voltado à segurança, entretanto, a diferença está na abordagem de gestão para a qual a tecnologia será direcionada. As aplicações voltadas ao paradigma *Safety-I* estão associadas à detecção de violações (ex. falhas no uso de EPI), comportamento inseguro e não conformidades, sendo que, na maioria das vezes, tais observações são atribuídas ao comportamento do trabalhador, vinculadas a uma visão de culpa.

As aplicações voltadas à perspectiva *Safety-II* estão direcionadas à melhoria da segurança por meio da conscientização dos perigos, gerenciamento dos recursos temporários, retroalimentação do planejamento e o monitoramento das operações diárias. Em linhas gerais, conclui-se, que o monitoramento da segurança com VANT pode ser utilizado em ambos os casos, mas, para isso, é preciso que a tecnologia seja

integrada às práticas desenvolvidas pela empresa, incorporando-se uma visão proativa.

3.4 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS – RELAÇÃO ENTRE O MONITORAMENTO DA SEGURANÇA COM VANT E OS POTENCIAIS PARA RESILIÊNCIA

De acordo com a revisão da literatura, os potenciais precisam ser desenvolvidos dentro das estratégias de gestão visando a antecipar os riscos e conflitos durante as fases de projeto e construção. Para isso, é preciso levar em consideração as mudanças e adaptações realizadas durante o processo de execução, dado que podem levar ao surgimento de novos riscos e conflitos se não houver um plano de monitoramento contínuo. Tendo como referência as habilidades de resiliência discutidas por Hollnagel (2010;2018), apresentadas na seção 2.2.3, buscou-se compreender, com base nos estudos levantados na revisão da literatura, quais as possíveis interações entre os potenciais para resiliência e o monitoramento com VANT (Quadro 6).

Quadro 6 - Relação entre o monitoramento com VANT e os potenciais da ER

Potencial	Referência
Monitorar	Fornecer informações em tempo real sobre as condições de trabalho e avaliação das práticas de segurança (MELO <i>et al.</i> , 2017; ALIZADEHSALEHI <i>et al.</i> , 2018).
Responder	Reduzir o tempo de inspeção e agilidade no processo de tomada de decisão (MELO <i>et al.</i> , 2017).
Aprender	Promover o aumento da conscientização sobre os riscos, reduzindo o erro humano (ALIZADEHSALEHI <i>et al.</i> , 2018).
Antecipar	Fornecer informações para alimentar o planejamento de segurança (ALIZADEHSALEHI <i>et al.</i> , 2018; MARTINEZ; GHEISARI; ALARCÓN, 2020).

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Ao explorar as relações apresentadas no Quadro 6, são estabelecidos alguns pressupostos teóricos de como o monitoramento da segurança com VANT pode contribuir para melhorar a segurança nos canteiros de obras, segundo os potenciais para resiliência.

- **Monitorar:** é a etapa do sistema de gestão da segurança que visa a entender como o trabalho é realizado, facilitando o entendimento de como as situações cotidianas afetam o funcionamento das atividades. Em vista disso, o monitoramento da segurança com o VANT pode fornecer infor-

mações em tempo hábil sobre as condições de trabalho, permitindo a visualização de diferentes ângulos e perspectivas, em especial, as áreas de difícil acesso e com alto risco de acidente, como o trabalho em altura.

- **Responder:** a fim de tornarem-se resilientes, todos os sistemas precisam ser capazes de responder a situações cotidianas e não previstas. Para promover o ajuste no desempenho, a ação proposta pode ser de natureza corretiva ou preventiva. Dessa forma, o monitoramento de segurança com VANT pode agilizar o processo de tomada de decisão, fornecendo informações sobre onde e quando agir.
- **Aprender:** de acordo com a ER, as organizações precisam aprender com as experiências positivas resultantes do trabalho diário. Para isso, as informações coletadas com o VANT podem ser usadas para promover treinamentos de segurança mais eficientes e condizentes com as situações vivenciadas pelos trabalhadores.
- **Antecipar:** a habilidade de antecipar tem como premissa prever eventos futuros que possam afetar a operação das atividades diárias, bem como prever oportunidades que podem trazer ganhos ao sistema. Em função disto, as informações coletadas com o VANT podem dar suporte ao planejamento da produção e segurança, facilitando a identificação de ameaças e oportunidades que possam afetar o fluxo de trabalho.

As reflexões apresentadas sobre o monitoramento com VANT em relação às perspectivas *Safety-I* e *Safety-II* (seção 3.3) e as interações com os potenciais de resiliência (seção 3.4) estabelecem pressupostos para orientar o desenvolvimento do modelo à luz da ER. Além disso, algumas premissas devem ser consideradas para o uso da tecnologia integrado ao SGS da empresa. Dentre elas, destacam-se:

- as informações geradas a partir da coleta e análise dos dados coletados em campo devem ser disseminadas para todas as partes interessadas;
- deve-se buscar fornecer um *feedback* logo após as análises dos dados visando à proposição de ações imediatas para as situações de risco iminente;
- os dados coletados devem permitir a análise de diferentes perspectivas, minimizando a subjetividade do processo de avaliação; e

- as análises devem ser apresentadas de forma simples visando ao entendimento de todas as partes interessadas, como por exemplo, a apresentação dos riscos com sistema de cores.

Em vista das premissas apresentadas, o modelo proposto deve favorecer o feedback em tempo hábil, usar linguagem simples e de fácil entendimento, incentivar a tomada de decisão em conjunto e disseminar os resultados para todos os intervenientes, incluindo os trabalhadores da linha de frente.

4 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo apresenta a estratégia de pesquisa adotada para o desenvolvimento da tese, assim como o delineamento das etapas desenvolvidas. Ao final, são apresentados os constructos utilizados para a avaliação do modelo.

4.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

A estratégia de pesquisa adotada é a *Design Science Research* (DSR). A DSR é um método que estabelece e operacionaliza pesquisas cujo objetivo é o desenvolvimento de artefatos para a resolução de problemas, fortalecendo o conhecimento já existente (VAN AKEN, 2004). Esta estratégia tem como princípio conceber novas soluções para os problemas existentes, seja criando, recombinação ou alterando produtos, processos e métodos (LACERDA *et al.*, 2013).

Dessa forma, diante da complexidade dos problemas estudados, a solução proposta não necessita ser uma solução ótima, mas uma solução capaz de atender o problema em questão (VAN AKEN, 2004; VAISHNAVI, KUECHLER; PETER, 2011). Para isso, as soluções propostas devem ser passíveis de generalizações, favorecendo o enquadramento de problemas de uma mesma classe (VAN AKEN, 2004).

Segundo Hevner *et al.* (2004), para garantir a validade e confiabilidade do método, bem como a qualidade das contribuições práticas e teóricas, alguns critérios precisam ser atendidos, tais como: (a) propor um artefato viável para a resolução do problema; (b) desenvolver soluções para problemas relevantes; (c) avaliar a utilidade, qualidade e eficácia do artefato proposto; (d) fornecer informações claras e contribuições verificáveis nas áreas específicas dos artefatos desenvolvidos, e; (e) apresentar como resultado contribuições práticas e teóricas.

A DSR destaca-se como um método de pesquisa cujo domínio de aplicação envolve pessoas, sistemas organizacionais e sistemas técnicos, que interagem para trabalhar em direção a um objetivo (HEVNER, 2007). Dessa maneira, pode-se considerar que a DSR busca, por meio de uma abordagem sistêmica, propor soluções compatíveis com a realidade complexa vivenciada pelas organizações, sendo o artefato refinado ao longo dos ciclos de implementação com base nas experiências e contextos direcionados para a resolução do problema.

Este processo de criação da solução envolve o desenvolvimento de uma estrutura lógica utilizada para a construção e aplicação do artefato (VAN AKEN 2004; WI-ERINGA, 2009; VAISHNAVI; KUECHLER; PETTER, 2011; LACERDA *et al.*, 2013). No presente trabalho, os passos adotados se aproximam da estrutura proposta por Vaishnavi, Kuechler e Petter (2011): (a) investigação do problema, (b) proposta de solução, (c) desenvolvimento e (d) avaliação do artefato. Quando iniciado o processo de desenvolvimento da solução, Van Aken (2004) discutem que novos problemas podem emergir como resultado da avaliação e do aprendizado, dando início a novos ciclos. Portanto, é preciso deixar claro que as etapas na DSR não seguem um fluxo linear e que, durante o processo iterativo de construção da solução uma etapa pode desencadear novas atividades em uma fase anterior. Ao final do processo, o artefato proposto precisa ser avaliado a fim de constatar se os objetivos estabelecidos foram alcançados.

Os artefatos podem ser classificados em: constructos, modelos, métodos e instanciações. O artefato do tipo modelo busca expressar um conjunto de proposições das relações entre os constructos, buscando capturar a realidade do contexto apresentado (MARCH; SMITH, 1995).

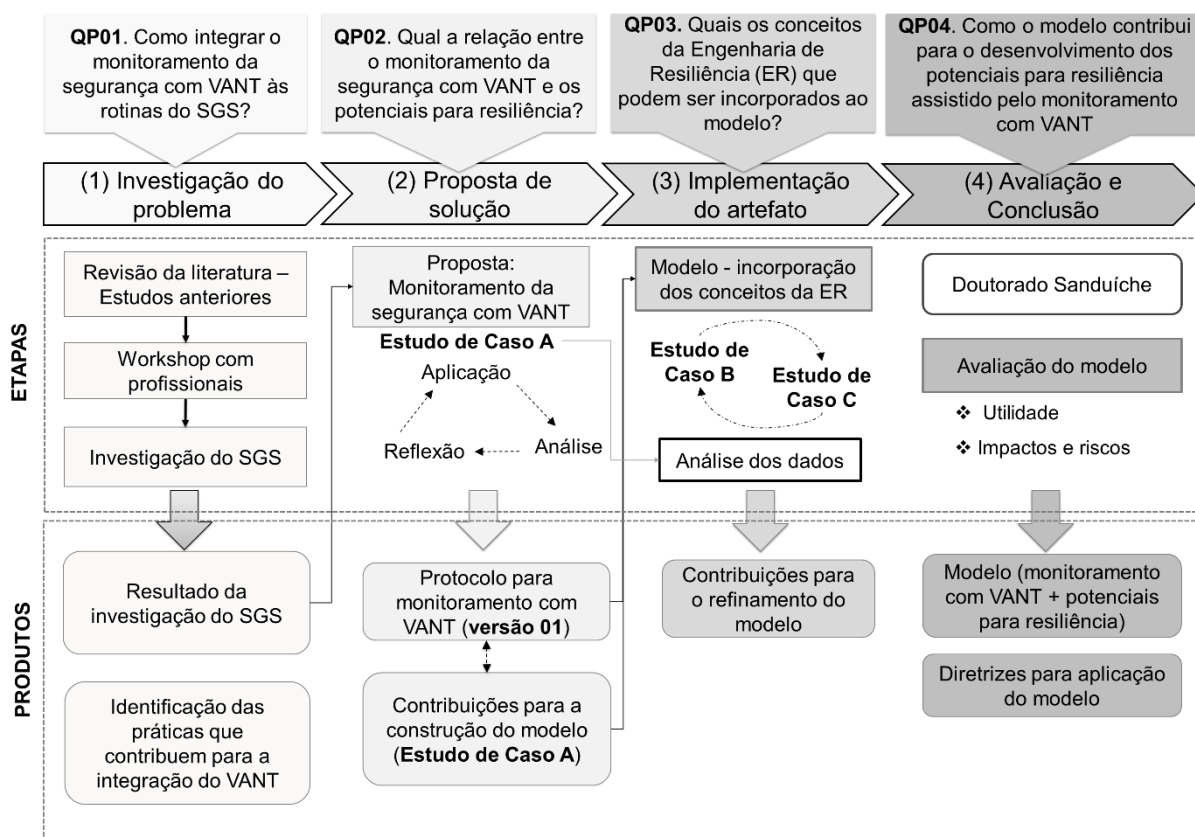
Nesta tese, o problema real desenvolve-se em torno da necessidade da gestão da segurança de integrar novas tecnologias para o monitoramento da segurança em canteiro de obras, considerando conceitos da ER. Para isso, o artefato proposto consiste em um modelo para desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência assistido pelo monitoramento da segurança com VANT.

A operacionalização desta pesquisa ocorreu pela adoção da estratégia de estudos de caso, que permite ao pesquisador estudar fenômenos contemporâneos dentro de contexto reais, dando um melhor entendimento de como e por que as organizações se comportam dessa maneira (TAYLOR; DOSSICK; GARVIN, 2011; YIN, 2015). Segundo Lacerda *et al.* (2013), os estudos de caso têm caráter prescritivo, contribuindo no avanço do conhecimento em DSR por meio da compreensão do funcionamento do artefato em um determinado contexto. A estratégia de estudo de caso, nesta pesquisa, busca avaliar como o artefato se comporta no ambiente real, através das atividades de coleta e análise dos dados em estudos empíricos (YIN, 2014).

4.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Esta pesquisa foi dividida em quatro etapas: (1) investigação do problema, (2) proposta de solução, (3) implementação do artefato e (4) avaliação e conclusão, como ilustra a Figura 21.

Figura 21 - Delineamento da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A fase de **investigação do problema** teve início com o levantamento das lacunas de conhecimento apresentadas por Melo (2016), em especial com a ineficácia do monitoramento da segurança em canteiros de obras e a dificuldade de intervenção em tempo hábil. A partir disso, foi realizado um *workshop* com a empresa parceira para discutir os problemas enfrentados durante o monitoramento da segurança em canteiro e de como empregar o uso do VANT para agregar valor ao processo de inspeção de segurança.

A partir do *workshop* e da revisão da literatura, definiu-se a primeira questão de pesquisa: *Como integrar o monitoramento com VANT às rotinas da gestão da segurança em canteiro de obras?* Para dar subsídio a esta questão, foi realizada uma investigação do sistema de gestão de segurança adotado na empresa. A decisão partiu

do pressuposto de que o monitoramento com VANT deveria ser incorporado às práticas já realizadas pela empresa, visando a facilitar e otimizar o uso das informações.

A **proposta de solução**, o monitoramento da segurança com VANT, visou trabalhar em duas vertentes: (1) condições gerais de segurança e (2) estudo de processo crítico. Essa proposta foi aplicada no Estudo de Caso A por meio de um processo interativo com os usuários. Durante o Estudo de Caso A, percebeu-se que o monitoramento da segurança com o VANT considerando apenas uma abordagem reativa (*Safety-I*) não era o suficiente. A partir de então, definiu-se a seguinte questão de pesquisa: *Qual a relação entre o monitoramento com VANT e os potenciais para resiliência?* Ao final desta etapa têm-se como produtos a primeira versão do protocolo para monitoramento da segurança com VANT e as contribuições teóricas para a construção do modelo.

A partir dos resultados e produtos do Estudo de Caso A, definiu-se a seguinte questão de pesquisa: *Quais os conceitos da ER que podem ser incorporados ao modelo?* Para isso, foram realizados dois Estudos de Caso na mesma construtora na qual foi realizado o Estudo de caso A (**Implementação do artefato**), incorporando ao protocolo de monitoramento com VANT as contribuições para o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência. Ao final dos estudos, os dados foram reanalisados segundo as perspectivas *Safety-I* e *Safety-II*.

Após o encerramento das coletas de dados em campo, a presente pesquisadora recebeu uma bolsa pelo Projeto Sterna com duração de quatro meses para o doutorado sanduíche na Universidade Norueguesa de Ciência e Tecnologia (NTNU). Esse período marca o início da etapa de **avaliação e conclusão**. Como questão norteadora buscou-se avaliar com base nos resultados dos estudos empíricos: *Como o modelo proposto contribui para o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência?* Além disso, o modelo proposto foi avaliado segundo sua utilidade e os impactos e riscos resultantes de sua aplicação. Como produtos finais desta etapa são apresentados a estrutura final do modelo e as diretrizes para a sua aplicação.

4.2.1 Caracterização da Empresa e Estudos de Caso

A empresa construtora A selecionada é uma empresa de atuação nacional no segmento de concepção do projeto, incorporação e construção de empreendimentos residenciais para a classe média e média baixa. A empresa possui empreendimentos

certificados com a ISO 14.001 (Gestão de meio ambiente) e a ISO 45.001 (Gestão e saúde e segurança do trabalho), antiga OHSAS 18.001. Entretanto, é importante ressaltar que nenhum dos empreendimentos estudados foram certificados com a OHSAS 18.001 ou ISO 45.001 (atualização da OHSAS 18.001).

A pesquisa foi desenvolvida em dois ciclos de aprendizagem por meio de estudos de caso de longa duração. No total, foram realizados três estudos de caso em canteiros de obra acordados por meio de um convênio com a empresa parceira, como descrito na seção 1.3 (Contextualização da pesquisa).

4.2.1.1 Caracterização dos estudos de casos

Os estudos de caso foram realizados em obras que consistem em conjuntos Habitacionais de Interesse Social (Programa Minha Casa Minha Vida), localizados na cidade de Camaçari – BA (Região Metropolitana de Salvador). O empreendimento é composto por edificações de cinco pavimentos cada, com quatro apartamentos por andar.

Os principais métodos construtivos adotados nas obras incluem fundações em hélice contínua, estrutura em paredes de concreto moldado *in loco*, alvenaria estrutural com lajes moldadas *in loco* (edifício voltado para portadores de necessidades especiais), acabamentos de fachada em pintura e telhado com telhas zincadas. As áreas comuns que compõem a estrutura do empreendimento são salão de festa, guarita, casa de lixo, piscina adulto e infantil, entre outros. O sistema construtivo em parede de concreto é executado por meio do uso de formas de alumínio, cada jogo de forma corresponde a quatro apartamentos. O Quadro 7 apresenta as características dos empreendimentos estudados.

Quadro 7 - Características dos empreendimentos estudados

Estudo de Caso	Características do projeto	Composição das equipes de produção e segurança
A	- 20 edificações, 400 unidades habitacionais, (380 unidades - parede de concreto e 20 unidades - alvenaria estrutural). - área do terreno 22.800 m² e área construída de 18.949 m². - O prazo para execução: 18 meses.	- Segurança: Gestor de Segurança e técnico de segurança (Atuação regional) e dois técnicos de segurança (Canteiro de obra). - Produção: um gerente e um coordenador de Produção (Atuação regional) e um engenheiro de Produção, dois Auxiliar de engenharia.

Estudo de Caso	Características do projeto	Composição das equipes de produção e segurança
	- Para a execução da parede de concreto foram utilizados dois jogos de forma de alumínio.	- 2 estagiários de Engenharia Civil e 2 encarregados (Canteiro de obra).
B	- 19 edificações, 380 unidades habitacionais, (360 unidades - parede de concreto e 20 unidades - alvenaria estrutural). - Área do terreno 19.524 m² e área construída de 19.959 m². - O prazo para execução: 16 meses. - Para a execução da parede de concreto foi utilizado um jogo de forma de alumínio.	- Segurança: Gestor e coordenador de Segurança (Atuação regional) e dois técnicos de segurança (Canteiro de obra). - Produção: Gestor e gerente de produção (Atuação regional), um Engenheiro de Produção, dois técnicos de edificações, uma auxiliar de engenharia, um estagiário de Engenharia Civil e dois encarregados (Canteiro de obra).
C	- 15 edificações, 300 unidades habitacionais, (280 unidades - parede de concreto e 20 unidades - alvenaria estrutural). - Área do terreno 16.091 m² e área construída de 14.256 m². - O prazo para execução: 14 meses. - Para a execução da parede de concreto foi utilizado um jogo de forma de alumínio.	- Segurança: Gestor e coordenador de Segurança (Atuação regional) e um técnico de segurança (Canteiro de obra). - Produção: Gestor e gerente de produção (Atuação regional), um Engenheiro de Produção, dois auxiliares de engenharia, dois estagiários de Engenharia Civil e dois encarregados (Canteiro de obra).

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

4.2.2 Caracterização dos equipamentos utilizados

A aeronave utilizada no Estudo de Caso A foi um VANT do tipo quadricóptero, modelo *DJI Phantom 3 Advanced*, com câmera acoplada com resolução de 12,4 MP, gerando fotos nos formatos JPEG e DNG, vídeos em MP4, além do GPS para a captura de imagens georreferenciadas. Como principais características técnicas deste equipamento, destacam-se: boa estabilidade durante o voo; modalidade vertical de pouso e decolagem; tamanho relativamente leve e pequeno, pesando 1280g e baterias com autonomia média de 15 minutos de voo (DJI, 2017a), tendo à disposição um conjunto de três baterias para a coleta de dados. A operação e controle da aeronave são realizados por controle remoto associado a um dispositivo móvel (*smartphone* ou *tablet*) com aplicativo *mobile* DJI Go. Toda a operação e coleta de dados (fotos e vídeos) foram realizadas de forma manual.

Nos Estudos de Caso B e C foi utilizada uma aeronave do modelo *DJI Phantom 4 Advanced*. Como principais diferenças ao modelo *Phantom 3 Advanced*, o *DJI Phantom 4* possui sensores frontais de presença, sensor de velocidade de vento, suas baterias possuem maior autonomia (média de 22 minutos de voo), sua câmera tem resolução de 20 MP e grava vídeos em 4K, além de ser mais pesado que o *Phantom 3*, pesando 1368 g (DJI, 2017b).

É importante destacar que ambos os equipamentos são classificados na ANAC como aeronaves remotamente pilotadas de Classe 3 (menor do que 25Kg). O modo de operação utilizado foi o de Operação em Linha de Visada (*Visual Line of Sight - VLOS*), na qual o piloto e o observador mantêm o contato visual com a aeronave durante a execução do voo (ANAC, 2017). Antes de dar início às coletas de dados, as aeronaves foram cadastradas na ANAC e homologadas na ANATEL, conforme sinaliza regulamentação vigente (ANAC, 2017). Todos os demais requisitos para voos foram atendidos considerando o modo de operação VLOS para até 120 metros (ANAC, 2017).

4.3 INVESTIGAÇÃO DO PROBLEMA

O primeiro *workshop* teve como propósito discutir o problema de pesquisa e a apresentação do potencial de uso do VANT para monitoramento da segurança, tomando como referência os estudos realizados por Melo (2016) e Irizarry e Costa (2016). O *workshop* envolveu a participação de engenheiros de produção, auxiliar de engenharia, técnico de segurança, coordenador de segurança, coordenador de qualidade e o gerente de produção regional (Figura 22).

Figura 22 - *Workshop* para apresentação do projeto de pesquisa



Fonte: Grupo de Pesquisa Getec (2017).

Para conhecimento do projeto e do sistema de gestão da segurança foram realizadas entrevistas, análise de documentos e acompanhamento de reuniões de planejamento, como detalhado no Quadro 8.

Quadro 8 - Ações e Fontes de evidência (etapa: investigação do problema)

Ações	Descrição	Fontes de evidências
(1) Workshop para conhecimento do projeto	21/07/2017 – Workshop para apresentação da pesquisa e da estrutura da construtora A	Apresentação realizada Observação participante
(2) Visitas para conhecimento da obra	10/07/2017 e 08/08/2017 – Visita para levantamento geral do terreno da obra	Fotos e vídeos coletados com VANT
(3) Entrevistas estruturadas para a investigação do SGS	01/08/2017 e 23/02/2018 - Entrevistas com coordenador de segurança 16/11/2017 e 23/02/2018 - Entrevistas com técnicos de segurança	Protocolo de entrevista Áudio do conteúdo das entrevistas Observação participante
(4) Análise de documentos	01/08/2017 a 02/10/2017 – Análise de documentos de segurança e planejamento	PPRA ⁴ , PCMAT ⁵ , <i>Checklist</i> de Segurança, Procedimentos e Planejamento
(5) Acompanhamento da entrevista para conhecimento do Planejamento e Controle da produção (PCP)	15/08/2017 - Entrevista com engenheiro de produção e auxiliar de engenharia para conhecimento do sistema de planejamento e controle adotado pela obra.	Observação direta Anotações da pesquisadora
(6) Acompanhamento de reuniões de planejamento (mensal)	01/12/2017 e 24/01/2018 – Reunião de planejamento c/ Engenheira de Planejamento	Observação direta Anotações da pesquisadora

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A investigação do SGS teve como referência o Método de Avaliação de Saúde e Segurança do Trabalho (MASST) desenvolvido por Costella (2008). O MASST é um método de auditoria constituído por 28 itens, distribuídos em sete critérios de avaliação: (1) Planejamento do sistema de gestão, (2) Processos de produção, (3) Gestão e capacitação de pessoas, (4) Fatores genéricos, (5) Planejamento do monitoramento

⁴ Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (NR-9)

⁵ Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção Civil (NR-18)

de desempenho, (6) Retroalimentação e aprendizado e (7) Resultados do desempenho. Este método foi escolhido porque leva em consideração os critérios da OHSAS 18001 (Norma Internacional de Saúde e Segurança no Trabalho) e princípios da ER, norteando quais os itens deveriam ser abordados para ter uma visão macro das práticas de segurança.

Com base na análise dos dados observa-se que para avaliar como e quais as práticas que contribuem para a integração entre o VANT e SGS não é necessário entrar em detalhes em todos os critérios do MASST. Os principais pontos abordados nessa investigação estão disponíveis no Apêndice 6.

Além da compreensão das práticas de gestão da segurança empregadas na Empresa A, buscou-se identificar nas entrevistas as atividades críticas em campo sob a perspectiva de risco de acidente e dificuldade de monitoramento. Ao final desta etapa foi possível identificar práticas que contribuem ou dificultam para a integração do monitoramento com VANT ao SGS da empresa.

4.4 PROPOSTA DE SOLUÇÃO

Nesta etapa, foi proposto um protocolo para o monitoramento da segurança com VANT. Esse protocolo teve como objetivo monitorar as condições gerais de segurança do canteiro e o processo crítico segundo a perspectiva de segurança. Esta proposta foi elaborada com base nos estudos anteriores de Melo (2016) e nos resultados da investigação do SGS da Empresa A.

4.4.1 Monitoramento das condições gerais de segurança

Em um primeiro momento buscou-se identificar as práticas de segurança voltadas às atividades de inspeção e monitoramento, identificando as oportunidades para a integração do monitoramento com VANT (Quadro 9).

Quadro 9 – Rotinas de monitoramento realizada pela obra

Atividade	Ferramentas Adotadas	Periodicidade	Responsável	Processos/ Equipamentos
Inspeção para liberação de equipamento	Lista de Verificação (LV)	Diária	Técnico de Segurança	Equipamentos (ex. serra de bancada, grua, guindaste, entre outros)

Atividade	Ferramentas Adotadas	Periodicidade	Responsável	Processos/ Equipamentos
Inspeção visual diária	-	Diária	Operador do Equipamento/ Técnico de Segurança	Andaime (cadeirinha), hélice contínua, vibrador concreto, entre outros
Inspeção - liberação de serviço	Permissão de Trabalho	Diária	Técnico de Segurança	Parede de concreto, Trabalho em altura, Fundação e serviços elétricos
Análise Preliminar de Risco (APR)	<i>Checklist</i>	Antes do início da atividade	Técnico ou Engenheiro de Segurança	Trabalho em altura, Fundação, Parede de Concreto, entre outros
Inspeção de serviços	<i>Checklist</i>	Ao final do serviço	Técnico de Segurança	Parede de concreto
Auditoria interna do SGSST	<i>Checklist</i>	Mensal	Técnico de Segurança	Todos os processos, equipamentos e instalações

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Dessa forma, ao analisar o conjunto de práticas apresentadas no Quadro 9, observou-se que a auditoria realizada mensalmente poderia ser o ponto de partida para a integração do VANT ao SGS adotado na empresa. A auditoria utiliza como ferramenta de gestão um *checklist* de SGSST aplicado pelo Técnico de Segurança e discutido com o Engenheiro de Produção. Posteriormente, esse *checklist* é reavaliado pelo Supervisor de Segurança responsável pela obra e enviado ao Coordenador de Segurança Regional. Segundo as entrevistas realizadas, as correções das não conformidades são priorizadas segundo o grau de risco. Para situações com grau de risco iminente de acidente a correção é imediata, havendo a paralisação do serviço se necessário. Para aquelas que apresentam um baixo grau de risco é sugerido um prazo pelo Supervisor de Segurança para correção e, após este prazo, é realizada uma nova verificação para avaliar se o item foi corrigido.

Como esse *checklist* é aplicado uma vez por mês, observou-se que a lacuna de tempo entre a identificação e a resolução das não conformidades é muito longo, comprometendo a eficácia das ações propostas para a resolução dos problemas que necessitam de uma intervenção imediata e corretiva. Para atividades de processo, o monitoramento com periodicidade mensal além de não favorecer a conscientização

das condições reais de trabalho, torna mais difícil que ações de prevenção sejam incorporadas.

Portanto, com base no processo de auditoria interna foi realizado o levantamento dos itens do *checklist* que podem ser visualizados com o VANT. Para a tipologia e processos construtivos adotados eram avaliados no projeto uma média de 294 itens, incluindo os itens referentes à documentação, inspeção de ambientes internos e externos. Destes 294 itens, foram selecionados 105 itens para compor o *checklist* de inspeção de segurança com VANT (Apêndice 1), sendo que 27 itens eram semelhantes aos itens definidos por Melo (2016). Os itens do *checklist* tiveram como referência os requisitos obrigatórios das normas de segurança NR18 (Condições e o meio ambiente de trabalho na Indústria da Construção) (BRASIL, 2019) e a NR35 (Condições de trabalho) (BRASIL, 2019). É importante ressaltar que o *checklist* foi alterado ao longo dos estudos em função das revisões das normas regulamentadoras que ocorreram neste período.

Os itens do *checklist* selecionados foram agrupados em famílias, totalizando 11 famílias, sendo elas: (1) Condições gerais, limpeza e organização do canteiro, (2) Armazenamento de materiais, (3) Plataforma de proteção, (4) Fundação, escavação, hélice contínua, (5) Concretagem, (6) Alvenaria com proteção de periferia, (7) Parede de concreto, (8) Telhado e Cobertura, (9) Escadas, rampas e passarela, (10) Andaimes suspensos, e (11) Máquina de forma motriz.

Em seguida, os itens foram classificados segundo o grau de risco, sendo mantida a predefinição já estabelecida pela equipe de segurança da empresa. A Tabela 1 apresenta a matriz de risco utilizada pela empresa, sendo o risco o somatório dos valores das tabelas de probabilidade e severidade. A valoração qualitativa do risco é apresentada no Quadro 10, no qual discrimina a faixa de atuação e a priorização da monitorização e medidas de controle.

Tabela 1 - Matriz de risco

Severidade	Probabilidade			
	0 - Não há exposição	1 - Baixos níveis	2 - Exposição moderada	3 - Exposição elevada
(0) Inócuo	0	1	2	3
(0) Inócuo	0	1	2	3

Severidade	Probabilidade			
	0 - Não há exposição	1 - Baixos níveis	2 - Exposição moderada	3 - Exposição elevada
(1) Reversível	1	2	3	4
(2) Irreversível	2	3	4	5
(3) Incapacitante	3	4	5	6

Fonte: Adaptada da Empresa A (2018).

Quadro 10 - Valoração Qualitativa da matriz de risco

Valoração Qualitativa	
Faixa de atuação	Prioridade de Monitorização e Medidas de Controle
0 -1	(Grau 0) – Desprezível > Monitoramento por inspeção
2 – 3	(Grau 1) – De atenção > Uso das medidas de controles antecipadas
4 – 5	(Grau 2) – Crítica > Avaliação quantitativa necessária para bloqueio
6	(Grau 3) – Emergencial > idem a (Grau 2) + eliminação e/ou bloqueio do risco

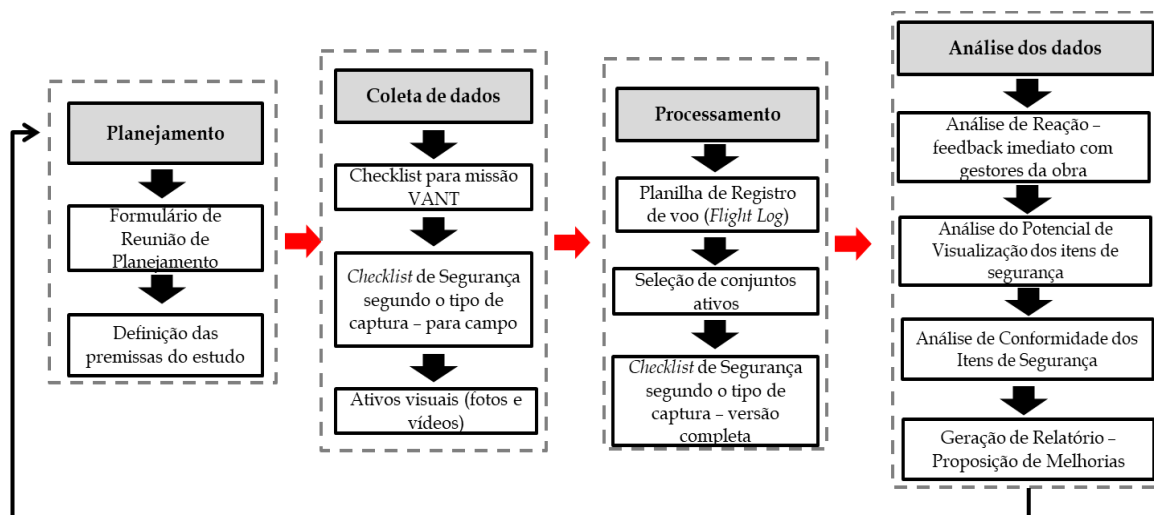
Fonte: Empresa A (2018).

Dessa forma, no *checklist* de segurança adotou-se pesos distintos em função do risco: P1 – para itens de Grau 1 (baixo risco); P2 – para itens de Grau 2 (risco moderado); e P3 – para os itens de Grau 3 (alto risco). Para avaliar a conformidade do item, adotou-se a seguinte classificação: 1 – conforme, 2 – não conforme e 0 – não se aplica. Para ser classificado como conforme, o requisito avaliado deve estar 100% de acordo com o estabelecido na descrição da norma. Caso contrário, o item deve ser classificado como “não conforme”. Já o “não se aplica”, refere-se aos itens que não estavam sendo executados durante o monitoramento, por exemplo, se no dia do monitoramento não houve atividade de concretagem, os itens dessa família devem ser classificados como não se aplica.

Além da classificação dos requisitos de segurança, foi estabelecido que a partir de cada inspeção seria gerado um indicador de conformidade. O indicador é representado pela razão entre o somatório dos pesos dos itens conformes pelo somatório dos pesos dos itens avaliados.

No que se refere ao uso do VANT, adotou-se como referência o protocolo de inspeção desenvolvido por Melo (2016), apresentado na Figura 23, sendo incorporadas novas práticas e atividades ao longo dos ciclos de implementação.

Figura 23 - Protocolo de inspeção de segurança com VANT em canteiro



Fonte: Melo (2016).

Em relação ao protocolo de Melo (2016), optou-se por manter os formulários de reunião de planejamento, *checklist* de missão com VANT, registro dos dados dos voos e o relatório com os resultados do monitoramento ao final de cada inspeção. Além dos formulários e relatório, também se optou por manter as etapas de *feedback* imediato e a análise de conformidade de segurança utilizando o *checklist* desenvolvido com base no *checklist* de auditoria da Empresa A.

4.4.2 Monitoramento de processo crítico

A escolha do processo crítico foi realizada com base nas entrevistas com profissionais de segurança e produção e nos estudos desenvolvidos por Melo (2016). Adotou-se o conceito de processo crítico apresentado por Cambraia, Saurin e Formoso (2008), em que são considerados críticos os processos com elevado risco de acidentes. Dias e Fonseca (1996)⁶ *apud* Cambraia, Saurin e Formoso (2008) complementam que processos com risco de queda de altura e movimentação de peças requerem atenção especial e planos específicos de segurança.

⁶ DIAS, L. M.; FONSECA, M. S. Plano de Segurança e de Saúde na Construção. Lisboa: Instituto de Desenvolvimento e Inspeção das Condições de Trabalho, 1996.

Segundo os entrevistados, os processos de maior criticidade sob a perspectiva de risco e dificuldade de monitoramento para a tipologia estudada são: (a) o processo de Parede de Concreto, incluindo a montagem dos andaimes suspensos para a montagem da forma; (b) o serviço de fachada com cadeirinha; e (c) o espaço confinado (reservatório). O comportamento dos colaboradores e cultura de segurança também foram levantados durante as entrevistas, porém, foram descartados, tendo em vista a ênfase em processos e não em pessoas. Dentre os processos levantados, definiu-se que seria realizado um estudo mais aprofundado do processo de parede de concreto, uma vez que apresenta risco de queda de altura e envolve um elevado dinamismo na montagem e desmontagem das formas metálicas e das proteções coletivas.

Portanto, o objetivo do estudo de processo crítico consiste em reconhecer as lacunas entre o trabalho realizado e o trabalho imaginado, visando a explicitar os limites de trabalho seguro e as práticas informais adotadas. Para isso, o trabalho realizado será levantado por meio do monitoramento com VANT, observações diretas e entrevistas com trabalhadores do processo. O trabalho imaginado, por sua vez, será levantado com base nos procedimentos e na documentação de segurança.

Por meio do contraste entre os dados, pretende-se discutir se as instruções contidas no procedimento são compatíveis com as práticas visualizadas no canteiro, identificando-se os ajustes de desempenho necessários (ex. sequência de execução, práticas informais e improvisações, folgas e redundâncias), para que o sistema mantenha seu funcionamento dentro de uma zona de segurança (desejável) ou nos limites da zona de perigo (HOWELL *et al.*, 2002).

4.4.3 Estudo de Caso A

Segundo Wieringa (2009), uma proposta de solução não é completamente especificada antes de ser testada no contexto para a qual foi projetada. Portanto, o protocolo para monitoramento de segurança com VANT foi testado em um canteiro de obra real, denominado de Estudo de Caso A.

O acompanhamento da obra pela pesquisadora teve início na etapa de implantação do canteiro e fundação (outubro/2017) e se desenvolveu ao longo dos demais serviços, até a fase de pintura externa e telhado (agosto/2018). A Figura 24 apresenta uma imagem com a visão geral do canteiro na fase de acabamento.

Figura 24 - Visão geral do canteiro (31/08/2018) – fase de acabamento



Fonte: Grupo de Pesquisa GETEC (2018).

Para o desenvolvimento da solução proposta foram realizadas as seguintes ações: (1) aplicação do protocolo, (2) *workshop* com trabalhadores do campo, (3) *workshop* com equipe de engenharia e segurança para discussão dos resultados parciais, (4) entrevistas semiestruturadas com equipe de segurança e produção, (5) aplicação de questionário com trabalhadores sobre riscos e impactos de uso da tecnologia, e (6) *workshop* final para apresentação de resultados. As ações realizadas são detalhadas no Quadro 11 (etapa de desenvolvimento) e Quadro 12 (avaliação parcial), apresentando as fontes de evidências correspondentes.

Quadro 11 - Ações desenvolvidas durante a etapa de desenvolvimento da solução

Ações	Descrição	Fontes de evidências
(1) Monitoramentos da segurança com VANT	04/10/2017 a 31/08/2018 (35 monitoramentos de segurança com VANT).	Ativos coletados (fotos e vídeos) Relatórios de semanais e trimestrais Observação participante e anotações PPRA, PCMAT, <i>Checklist</i> de segurança mensal e procedimentos
(2) Workshop com trabalhadores e Diálogo Semanal de Segurança (DSS)	11/12/2017 – Apresentação do projeto. Participação em dois DSS para conversar sobre o projeto.	Observação participante Apresentações realizadas
(3) Workshop para apresentação dos resultados parciais	28/02/2018 – Apresentação dos resultados parciais para a	Observação participante Relatórios parciais Apresentação realizada

Ações	Descrição	Fontes de evidências
	equipe de engenharia e segurança (nível operacional e gerencial ⁷).	

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

No total, foram realizados 35 monitoramentos de segurança com VANT com periodicidade semanal. O monitoramento envolveu as etapas de planejamento, coleta de dados com VANT, *feedback* imediato, processamento e análise dos ativos, como apresentado na seção 4.4.1 (Monitoramento das condições gerais de segurança).

A interação com os profissionais do Estudo de Caso A ocorreu por meio de *workshops* (Figura 25a), tendo como objetivo discutir a integração do protocolo de monitoramento de segurança com VANT ao SGS e os resultados parciais do monitoramento. A Figura 25b ilustra a participação da pesquisadora no *workshop* realizado com os trabalhadores na Semana Interna de Prevenção de Acidentes do Trabalho (SIPAT 2018) para apresentação do projeto e alguns resultados iniciais.

Figura 25 - *Workshop* para apresentação de resultados: (a) Gestão da obra e (b) SIPAT 2018



Fonte: A autora (2020).

Em função dos dados coletados, a Tabela 2 sintetiza as principais informações relacionada ao uso do VANT. Durante todo o estudo, foi gerado um banco de dados com 2.526 fotos e 1 hora 30 minutos de vídeos. A Tabela 3 indica a duração estimada das etapas de coleta e processamento manual dos dados coletado com o VANT.

⁷ Nível operacional envolve os engenheiros de produção, técnicos de segurança e auxiliar de engenharia. O nível gerencial envolve os coordenadores de qualidade, segurança e produção, bem como os gestores de segurança e produção em nível regional.

Tabela 2 – Resumos dos dados coletados em campo com VANT (Estudo de Caso A)

Período	Número de inspeções	Média de fotos por inspeção	Duração média dos vídeos por inspeção (h)	Duração média de voo por inspeção (h)	Distância média percorrida por inspeção (m)
Outubro/17 a agosto/18	35	74	00:02:35	00:15:43	1148

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Tabela 3 - Tempo médio da coleta e processamento dos dados (Estudo de Caso A)

Etapas	Descrição das etapas	Tempo méd.
01	Preparação do drone em campo (<i>checklist</i> de missão)	5 min
02	Coleta de dados com o VANT	15 min
03	Análise das imagens, preenchimento do <i>checklist</i> e confecção do relatório de não conformidades e boas práticas (em laboratório)	180 min
04	Envio do relatório por e-mail.	5 min
Tempo médio estimado:		205 min

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Ao final de cada monitoramento, foram realizadas reuniões para discussões dos resultados envolvendo técnicos de segurança e engenheiro de produção, individualmente ou em conjunto, com uma duração estimada entre 10 a 20 minutos, a depender da disponibilidade dos profissionais e das demandas de segurança.

Em relação ao **processo crítico**, o monitoramento ocorreu entre fevereiro de 2018 a junho de 2018, totalizando 19 dias de acompanhamento com VANT, o que representou 124 apartamentos, 33% do total de apartamentos construídos. Além dos dados coletados no monitoramento das condições gerais de segurança, foi realizada uma coleta adicional de um dia, com tomadas em vídeos a cada 30-45 minutos para capturar todas as etapas do processo de produção da parede de concreto.

Os monitoramentos foram preferencialmente realizados no turno da manhã, entre 8h e 10h, devido à maior dinamicidade das atividades no canteiro, uma vez que as atividades de montagem, armação e instalação precisavam ser finalizadas no início da tarde (até 14h) para a concretagem das paredes e lajes. Além disso, segundo o coordenador de segurança, a maioria dos acidentes ocorria no turno da manhã entre 9h e 11h, sendo este um critério predominante para a definição do horário.

Com a finalização das atividades externas e concentração de atividades internas de acabamento optou-se pelo encerramento das coletas de dados com VANT, dando início à etapa de avaliação parcial da solução por meio de entrevistas e questionário (Quadro 12).

Quadro 12 - Ações realizadas para a avaliação da solução (Estudo de Caso A)

Ações	• Descrição	Fontes de evidências
(4) Entrevistas semi-estruturadas com equipe de engenharia e segurança	15/08/2018 a 10/09/2018 – Entrevistas com a equipe de engenharia e segurança (nível operacional e gerencial) para a coleta da percepção da utilidade da solução proposta (n = 6 entrevistas).	Protocolo de entrevistas, áudio com o conteúdo das entrevistas Anotações da pesquisadora
(5) Aplicação de questionário com trabalhadores	15/08/2018 a 10/09/2018 – Aplicação de questionário com os trabalhadores sobre os riscos e impacto do uso do VANT (n = 33 trabalhadores)	Questionário de riscos e impactos, observação participante e anotações da pesquisadora
(6) Workshop para apresentação final dos resultados	02/10/2018 – Apresentação dos resultados finais para a equipe de engenharia e segurança (nível operacional e gerencial).	Observação participante, relatório com os resultados finais e apresentação realizada

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

As entrevistas tiveram o objetivo de avaliar, parcialmente, o protocolo de monitoramento de segurança com VANT à luz dos potenciais para resiliência (Apêndice 2). Além disso, também foram realizadas perguntas sobre a utilidade das informações fornecidas, as barreiras e melhorias necessárias para o uso mais efetivo destas informações. O Quadro 13 apresenta as características gerais dos entrevistados e a duração de cada entrevista.

Quadro 13 - Caracterização dos entrevistados e duração da entrevista (Ciclo 1)

Função	Formação	Tempo de experiência no cargo atual	Duração da entrevista(h)
Gestor Produção (GP-A)	Engenheiro Civil	2 anos	00:17:19
Coordenador de Produção (CP-A)	Engenheiro Civil	4 anos e meio	00:44:38
Engenheiro de Produção (EP-A)	Engenheiro Civil	7 anos	00:22:47
Analista de Produção (AP-A)	Engenheiro Civil	6 meses	0:26:41
Técnico de Segurança (TS1-A)	Técnico de Segurança	5 anos	00:17:24

Função	Formação	Tempo de experiência no cargo atual	Duração da entrevista(h)
Técnico de Segurança (TS2 - A)	Técnico de Segurança	11 anos	00:12:18

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Todas as entrevistas foram gravadas com a permissão dos entrevistados (total de 2 horas e 21 minutos), preservando as identidades. As entrevistas foram transcritas e analisadas utilizando o software NVIVO 12 Pro, sendo uma das evidências utilizadas para a identificação dos mecanismos de resiliência.

Como entregas para a empresa, têm-se o relatório final e o *workshop* para apresentação e discussão dos resultados finais envolvendo as equipes de produção e segurança. Esse *workshop* visou consolidar as experiências e os aprendizados do ciclo, bem como discutir as melhorias a serem propostas nos futuros estudos (etapa de implementação). Os produtos gerados ao final deste ciclo foram o protocolo para monitoramento de segurança com VANT, as contribuições para a construção do modelo e as reflexões das diferenças entre o trabalho realizado e o trabalho imaginado para o processo crítico estudado.

4.4.3.1 Produtos desenvolvidos no Estudo de Caso A

(i) Protocolo para monitoramento da segurança com VANT

O protocolo de monitoramento das condições gerais de segurança é composto por um fluxo de atividades necessárias para a identificação e análise das condições gerais de segurança do canteiro. Esse fluxo foi ajustado e compatibilizado, considerando as práticas e rotinas já estabelecidas pela empresa. Dentre as atividades que compõem o fluxo têm-se: (a) o planejamento do voo e *briefing* com equipe de gestão, (b) monitoramento em tempo real e *feedback* imediato, (c) aplicação de *checklist* e análise dos dados, (d) envio de relatório e *debriefing* com equipe de gestão, e (e) registro dos dados dos voos. Como resultado, as atividades do fluxo foram gradualmente associadas aos potenciais de resiliência, considerando as saídas (*outputs*) de informações geradas e as interações do protocolo com os usuários e ambiente externo. O protocolo e suas etapas são apresentados na seção 5.2.3 do capítulo de resultados e discussão.

Para o ciclo de implementação será proposto o protocolo desenvolvido no Estudo de Caso A vinculado à informatização do sistema de inspeção realizada por Rey (2020).

- (ii) Contribuições para a construção do modelo para o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência assistido pelo monitoramento com VANT

As primeiras contribuições para a construção do modelo partiram do referencial teórico e das experiências práticas discutidas no Estudo de Caso A. Em um primeiro momento, buscou-se definir pressupostos teóricos para o desenvolvimento do modelo (seção 3.4 – revisão da literatura) e logo após buscou-se avaliar os pressupostos no mundo real (Estudo de Caso A). Para isso, foram trabalhados os pontos de convergência entre os potenciais para resiliência e o protocolo para monitoramento da segurança com VANT. Essas contribuições são o substrato para a construção do modelo, discutido na seção 5.2.4 (Contribuições do Estudo de Caso A para a construção do modelo).

4.5 IMPLEMENTAÇÃO DO ARTEFATO

Esta etapa busca replicar a solução desenvolvida para contextos similares, contribuindo para o aumento da validade externa e confiabilidade do artefato.

A partir dos achados do Estudo de Caso A, a implementação da solução nos Estudos de Caso B e C visou agregar o protocolo de monitoramento com VANT e as proposições teóricas, resultando no modelo para desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência assistido pelo monitoramento com VANT. O modelo e suas contribuições foram refinados ao longo do ciclo de implementação.

4.5.1 Estudo de caso B

O acompanhamento da obra pela pesquisadora teve início na etapa de fundação e implantação do canteiro (novembro/2018) e se desenvolveu ao longo dos demais serviços até a fase de pintura externa e telhado (outubro/2019). A Figura 26 apresenta o canteiro na fase de estrutura.

Figura 26 - Vista geral do canteiro (13/06/2019) – fase de estrutura



Fonte: Grupo de Pesquisa GETEC (2019).

Nesta etapa foi desenvolvido um conjunto de ações para a implementação do modelo no Estudo de Caso B, incluindo coletas de dados em campo, acompanhamento das reuniões de planejamento, reuniões de discussão de resultados e entrevistas. Estas ações são detalhadas no Quadro 14, indicando as fontes de evidências correspondentes.

Quadro 14 - Ações desenvolvidas durante a etapa de implementação (Estudo de Caso B)

Ações	Descrição	Fontes de evidências
(1) Visita a obra para conhecimento do empreendimento e da equipe de canteiro	23/11/2018 - Apresentação da obra por engenheiros responsáveis e solicitação de documentos e projetos.	Observação participante
(2) Monitoramentos da segurança com VANT e discussões com a equipe de produção e segurança	23/11/2018 a 17/10/2019 (34 inspeções de segurança com VANT)	Ativos coletados (fotos e vídeos), relatórios de segurança, análise de documentos e observação participante
(3) Acompanhamento em reunião de planejamento (semanal e mensal) e Diálogo Semanal de Segurança	14/01/2019 e 27/01/2019 – Acompanhamento da reunião de planejamento semanal. 01/02/2019 - Acompanhamento da reunião de planejamento e controle mensal. 19/02/2019 e 01/10/2019 - Participação em DSS	Observação participante e anotações da pesquisadora

Ações	Descrição	Fontes de evidências
(4) Reuniões e <i>Workshop</i> para apresentação dos resultados parciais para a equipe de engenharia e segurança.	12/04/2019 - Reunião na obra com a nova equipe de produção e segurança da obra. 06/05/2019 – Apresentação dos resultados parciais	Observação participante, relatório com os resultados e apresentação realizada
(5) Entrevista com trabalhadores da parede de concreto	04/10/2019 – Entrevista com os trabalhadores da montagem da plataforma externa para coletar a percepção sobre o trabalho realizado	Observação participante e protocolo de entrevista
(6) <i>Workshop</i> final	17/12/2019 – Apresentação dos resultados finais com toda a equipe da obra (segurança, produção e qualidade)	Observação participante, relatório final de resultados e apresentação realizada

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A partir dos monitoramentos das condições de segurança foi gerado um banco de dados com 2.223 fotos e 42 minutos de vídeos (Tabela 4). A Tabela 5 destaca o tempo estimado para a duração das etapas de coleta e processamento dos dados utilizando o sistema informatizado de inspeção com VANT.

Tabela 4 – Resumo dos dados coletados em campo com VANT (Estudo de Caso B)

Período	Número de inspeções	Média de fotos por inspeção	Duração média dos vídeos por inspeção (h)	Duração média do voo por inspeção (h)	Distância média percorrida por inspeção (m)
Novembro/18 a outubro/19	34	65	00:01:24	00:20:08	1482

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Tabela 5 - Tempo médio da coleta e processamento dos dados (Estudo de Caso B)

Etapas	Descrição das etapas	Tempo méd.
01	Preparação do drone (<i>checklist</i> de missão)	5 min
02	Coleta de dados com o VANT	20 min
03	Análise das imagens, preenchimento do <i>checklist</i> e confecção do relatório de não conformidades e boas práticas	30 min
04	Envio do relatório por e-mail	5 min
Tempo médio estimado		60min

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Neste estudo, após a mudança da equipe da obra, as discussões dos resultados foram mais frequentes, havendo uma maior participação do engenheiro na análise das condições de segurança por meio das fotos e vídeos e a participação do técnico em todas as inspeções. Todos os monitoramentos foram realizados no turno da manhã.

Em relação ao processo crítico, foram realizados 24 monitoramentos durante a fase de parede de concreto entre maio a outubro de 2019. Neste período foram construídos 96 apartamentos, ou seja, 25% do total de apartamentos do empreendimento. Além disso, foram realizadas coletas extras (sete dias de monitoramentos consecutivos) com foco processo de desmontagem e montagem da forma. Para complementar as evidências e compreender detalhes de como o trabalho é realizado, no Estudo de Caso B foram realizadas entrevistas com os profissionais responsáveis pela montagem e desmontagem das proteções coletivas e com o encarregado do sistema de parede de concreto. O protocolo utilizado na entrevista é apresentado no Apêndice 3.

Os profissionais entrevistados alegaram se sentir inibidos para realizar a entrevista individual, então, a entrevista foi realizada em um grupo focal com cinco trabalhadores, com a duração total de 27 minutos. Todos os montadores eram do sexo masculino, com idade entre 23 e 43 anos e tempo de experiência com o processo de parede de concreto entre seis meses a três anos. Cabe ressaltar que três dos cinco montadores trabalharam na obra do Estudo de Caso A. Durante essa avaliação, também foi coletada a percepção do encarregado (duração de 25 minutos). O encarregado possui 19 anos de experiência na construção civil e três anos e seis meses de experiência com o processo de forma de parede de concreto.

Como produtos para a empresa foram entregues relatórios parciais e finais com as análises de segurança, incluindo o rastreamento das não conformidades por processo e as boas práticas. Para o processo crítico, foi entregue relatório final com as principais diferenças entre o trabalho realizado (coletado em campo) e o trabalho imaginado (procedimentos). Esse relatório teve ênfase na montagem e desmontagem das proteções coletivas e identificação das práticas informais e adaptações realizadas que contribuem para a resiliência do sistema. Os resultados dos monitoramentos também foram entregues em relatório no formato A3 para facilitar a disseminação da informação na empresa. Por fim, foi realizado um *workshop* final para discussão dos

resultados, envolvendo os engenheiros, o coordenador de segurança, o gestor de segurança, o gestor de produção e a equipe de planejamento.

4.5.2 Estudo de Caso C

A implementação no Estudo de Caso C ocorreu de forma simultânea ao Estudo de Caso B, sendo que neste estudo o acompanhamento da obra pela pesquisadora teve início no final da etapa de fundação (maio/2019) e se desenvolveu até o início da fase de pintura externa e telhado (outubro/2019). Além disso, é importante ressaltar que a equipe de gestão era exatamente a mesma do Estudo de Caso B (Engenheiro de Segurança, Gestor de Segurança, Gestor de Produção e Coordenadora de Qualidade). Outro ponto importante é que as obras do Estudo B e C eram vizinhas, o que possibilitou a constante troca de informações entre as equipes da obra e também entre os trabalhadores. A Figura 27 apresenta a visão geral do empreendimento estudado na fase de telhado e pintura.

Figura 27 - Visão geral do canteiro (17/10/2019) – Estudo de caso C



Fonte: Grupo de Pesquisa GETEC (2019).

Neste estudo foram desenvolvidas as seguintes ações: (1) visita à obra para conhecimento geral do empreendimento e equipe de segurança e produção envolvidas no projeto, (2) monitoramentos da segurança com VANT, e (3) *workshop* para a apresentação dos resultados finais. O *workshop* final foi realizado em conjunto com o *workshop* para apresentar os resultados do Estudo de Caso B. Todas as ações são detalhadas no Quadro 15.

Quadro 15 - Ações desenvolvidas durante a etapa de implementação da solução

Ações	Descrição	Fontes de evidências
(1) Visita para conhecer o empreendimento e a equipe de canteiro	25/04/2019 - Apresentação da obra pelo engenheiro e técnico de segurança	Observação participante
(2) Monitoramentos da segurança com VANT e discussões com a equipe de produção e segurança	25/04/2019 a 17/10/2019 - 21 inspeções de segurança com VANT	Ativos coletados (fotos e vídeos), relatórios de segurança semanais, análise de documentos e observação participante
(3) <i>Workshop</i> para apresentação dos resultados	17/12/2019 – Apresentação dos resultados finais.	Observação participante, relatório com os resultados e apresentação realizada

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Com base nas inspeções realizadas foi gerado um banco de dados com 1.294 fotos e cinco minutos de vídeo. A Tabela 6 apresenta um resumo dos dados coletados em campo com o VANT por visita.

Tabela 6 – Resumo dos dados coletados em campo com VANT (Estudo de Caso C)

Período	Número de inspeções	Média de fotos por inspeção	Duração média dos vídeos por inspeção (h)	Duração média de voo por inspeção (h)	Distância média percorrida por inspeção (m)
Abril/19 a outubro/19	21	61	00:00:13	00:18:03	1340

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

O tempo médio estimado para a coleta e processamento dos dados em canteiro foi equivalente ao Estudo de Caso B. Importante destacar que neste estudo houve uma maior participação do engenheiro na análise das fotos após o voo, promovendo discussões relevantes sobre os requisitos de segurança. A técnica de segurança nem sempre conseguia acompanhar o monitoramento, por causa da elevada demanda de atividades. Diferente do Estudo de Caso B, neste estudo havia apenas uma técnica de segurança para todas as fases da obra. Neste estudo não houve coleta de dados adicional referente ao processo construtivo de parede de concreto, sendo usados apenas os dados coletados durante o monitoramento das condições gerais de segurança. O monitoramento das condições gerais do processo de parede de concreto ocorreu entre maio e setembro de 2019, totalizando 12 dias de inspeção com VANT, o que

representou 48 apartamentos, 17% do total de apartamentos construídos. Os monitoramentos foram preferencialmente realizados no turno da manhã, como definido nos demais estudos de caso.

De modo análogo ao Estudo de Caso B, foram entregues relatórios completos e A3 com as análises do monitoramento das condições gerais e do processo crítico. O *workshop* final foi realizado em conjunto com o do Estudo de Caso B.

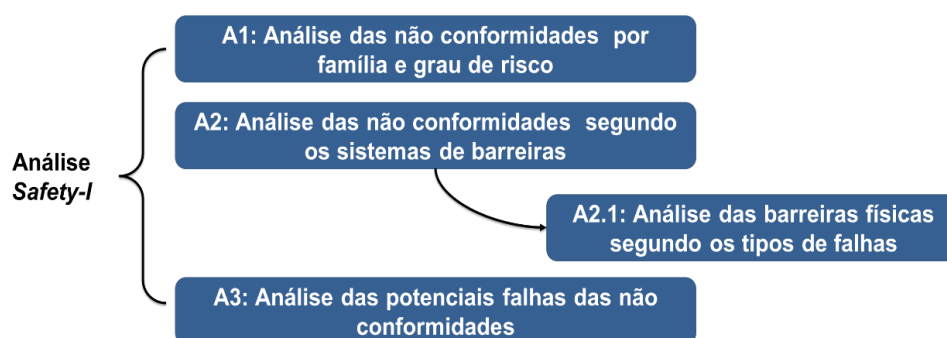
Como produtos da tese, ao final dos Estudos de Caso B e C têm-se as contribuições para o refinamento do modelo para desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência assistido pelo monitoramento com VANT.

4.6 ANÁLISE DOS DADOS

Ao final dos estudos de caso, os dados foram reanalisados à luz das perspectivas *Safety-I* e *Safety-II*, identificando, assim, a contribuição do modelo para cada uma das abordagens estudadas.

Em relação ao **paradigma *Safety-I***, as análises realizadas tomaram como base os resultados dos itens não conformes identificados por meio da aplicação do *checklist* de segurança e observações em campo. A Figura 28 apresenta as análises realizadas para os itens não conforme.

Figura 28 - Esquema das análises realizadas segunda a perspectiva *Safety-I*



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

- **A1: Análise de não conformidade por família e grau de risco:** os itens não conforme foram classificados por processo/família e pelo grau de risco, identificando as famílias com maior vulnerabilidade a acidentes.

- **A2: Análise dos sistemas de barreiras:** para a análise das não conformidades segundo o sistema de barreiras, foi utilizada a análise de concentração de incidentes (KJELLÉN; ALBRECHTSEN, 2017; WINGE; ALBRECHTSEN, 2018). Esse método de

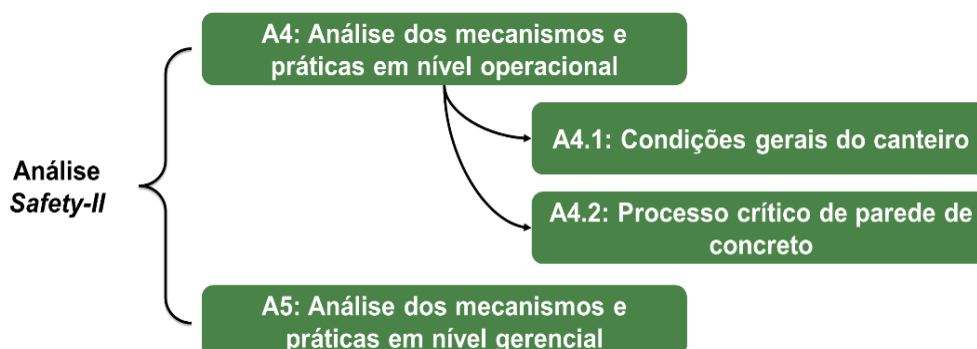
análise busca identificar *clusters* de características comuns entre os incidentes. Neste caso, foi realizado *cluster* das não conformidades segundo os tipos de barreiras. Para isso, todos os itens foram categorizados segundo os sistemas de barreiras, adotando a classificação apresentada por Hollnagel (2004): físicas, simbólicas, imateriais e funcionais.

- **A2.1: Análise das barreiras físicas segundo os tipos de falhas:** para a categoria de barreiras físicas, foi realizada uma nova análise visando a identificar os possíveis tipos de falhas. Para tal, as falhas propostas por Trost e Nertney (1995) *apud* Winge e Albrechtsen (2018) foram adaptadas ao contexto do estudo, classificadas em: (1) barreiras não práticas (NP) devido à praticidade de uso pelo trabalhador, (2) barreiras parcialmente instaladas (PI), e (3) barreiras não usadas (NU).

- **A3: Análise das principais falhas:** para isso foram extraídos do *checklist Safety Management and Organisation Review Technique* (SMORT) (Camada 1), as falhas que podem ser verificadas através das informações coletadas com VANT e observações direta do pesquisador (KJELLÉN; ALBRECHTSEN, 2017). Os principais tipos de falhas selecionadas para compor a análise foram: (1) fatores humanos, (2) falha técnica, (3) distúrbio no fluxo de material, (4) informação inadequada, (5) canteiro desorganizado, (6) construção e estruturas precárias (sinalizações), (7) falhas nas barreiras físicas e (8) falhas no uso do EPI.

Quanto ao **paradigma Safety-II**, as análises realizadas buscaram identificar padrões semelhantes de desempenho e formular as características funcionais do sistema que contribuíram para um desempenho resiliente (HOLLNAGEL; BRAITHWAITE, 2019; HEGGELUND; SWIIG, 2019). Esse tipo de análise apresenta estudos na área de resiliência em ambiente hospitalar (WACHS *et al.*, 2016; HEGGELUND; SWIIG, 2019), construção civil (PEÑALOZA; FORMOSO; SAURIN, 2017) e distribuição de energia elétrica (WACHS; RIGHI; SAURIN, 2012). A Figura 29 apresenta um esquema das análises realizadas.

Figura 29 - Esquema das análises realizadas segunda a perspectiva *Safety-II*



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

- **A4: Mecanismos e práticas em nível operacional:** nesta análise foi realizado um levantamento das situações positivas, identificando os mecanismos utilizados pelos trabalhadores da linha de frente para a manutenção das operações. Para a interpretação dos dados, buscou-se compreender se as principais medidas preventivas foram implementadas e quais as adaptações realizadas pelos trabalhadores para lidar com a variabilidade diária. Para isso, múltiplas fontes de evidências foram utilizadas, tais como *checklists* aplicados para o monitoramento da segurança com VANT, fotos e vídeos coletados durante o voo, procedimentos operacionais, entrevistas e observações direta. Essa análise foi dividida em duas partes: (a) A4.1 - análise das condições gerais do canteiro e (b) A4.2 - análise de processo crítico da parede de concreto.

A análise de processo crítico de parede de concreto teve um escopo mais aprofundado tendo em vista identificar as lacunas entre o trabalho realizado e o trabalho imaginado, com foco nas práticas informais desempenhadas pelos trabalhadores para a manutenção das operações diárias. Para tanto, as principais etapas que compõem o processo foram identificadas, contrastando as diferenças entre o procedimento e as situações coletadas durante o monitoramento com VANT.

- **A5: Análise dos mecanismos e práticas gerenciais:** esta análise teve como objetivo investigar padrões entre os aspectos coletivos e organizacionais relacionados à aplicação do modelo proposto. As principais fontes de evidência foram as entrevistas realizadas nos Estudos de Casos A (Quadro 13) e nos Estudos de Caso B e C (Quadro 16). As entrevistas realizadas nos Estudos de Caso B e C buscaram dar ênfase aos potenciais para resiliência. O protocolo utilizado na entrevista foi formulado com base nos estudos empíricos e na revisão da literatura (HOLLNAGEL, 2010; BEEK;

SCHRAAGEN, 2015; PEÑALOZA; SAURIN; FORMOSO, 2020), apresentado no Apêndice 5.

Quadro 16 - Caracterização dos entrevistados dos Estudos B e C

Participante	Formação	Tempo de experiência no cargo	Duração da entrevista (h)
Eng. Produção (EP-B)	Engenheiro Civil	7 anos	00:44:56
Eng. Produção (EP-C)	Engenheiro Civil	10 meses	00:40:30
Aux. Produção (AP – B)	Técnico de Edificações	-	00:45:44
Téc. Segurança (TS1-B)	Técnico de Segurança	5 anos e 5 meses	00:29:48
Téc. Segurança (TS1-C)	Técnica de Segurança	2 anos e 7 meses	00:50:19
Eng. Segurança (ES – BC)	Engenheiro de Produção	1 ano e 3 meses	00:59:32
Gestor de Produção (GP-BC)	Engenheiro Civil	6 meses	00:46:00
Coord. Qualidade (CQ-BC)	Engenheira Civil	3 anos	00:45:48
Gestor de Segurança (GS -BC)	Engenheiro Mecânico	7 anos	00:56:37

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Para análise das entrevistas optou-se pela condução da análise temática. A análise temática se qualifica como um método qualitativo para identificar, analisar e relatar padrões (temas) dentro dos dados. Para isso, é preciso um rigoroso processo de familiarização dos dados, codificação, desenvolvimento do tema e revisão (BRAUN; CLARKE, 2006). Segundo as referidas autoras, a análise temática emprega um nível relativamente baixo de interpretação e pode ser aplicada para pequenos conjuntos de amostras. Além de buscar qualificar os dados, ao invés de quantificá-los como na análise de conteúdo (VAISMORADI; TURUNEN; BONDAS, 2013).

Para a análise dos dados, foram aplicados os seguintes passos:

1. Transcrição integral das entrevistas;
2. Releitura do material transcrito;
3. Exportação do material transcrito para o NVIVO 12 PRO;
4. Seleção das questões para orientar o processo de codificação (Quadro 17);
5. Codificação dos trechos segundo os temas adotados. Os potenciais para resiliência foram classificados como temas principais e os mecanismos como temas secundários;

6. Agrupamentos dos trechos codificados, neste caso, as práticas de resiliência, de acordo com o potencial e o mecanismo;
7. Releitura dos trechos codificados visando a identificar a existência de sobreposição entre temas principais (potenciais para resiliência), bem como a consistência dos trechos codificados em relação aos temas secundários (mecanismos de resiliência).

Em seguida, buscou-se comparar os mecanismos e práticas encontrados no Estudo de Caso A com os Estudos de Caso B e C, destacando o surgimento de novos mecanismos e práticas. É importante destacar que a análise das entrevistas do Estudo de Caso A foi realizada separada do Estudo de Caso B e C, uma vez que para evitar a contaminação do material coletado. O Quadro 17 apresenta as questões utilizadas durante a análise dos dados, os códigos extraídos por tema e a quantidade de práticas correspondente.

Quadro 17 - Geração dos códigos utilizados na análise temática

Questões realizadas	Temas e Códigos	
	Estudo de Caso A	Estudo de Caso B e C
Como o monitoramento com VANT contribui para a habilidade de monitorar?	Monitorar: - Inspeções periódicas (1)	Monitorar: - Inspeções periódicas (2)
Como o monitoramento com VANT contribui para a habilidade de responder?	Responder: - Controle (3) - Colaboração (1)	Responder: - Controle (3) - Colaboração (3)
Como o monitoramento com VANT contribui para a habilidade de antecipar?	Antecipar: - Planejamento (4) - Experiência (3)	Antecipar: - Planejamento (3) - Experiência (1)
Como o monitoramento com VANT contribui para a habilidade de aprender?	Aprender: - Prática atual (3)	Aprender: - Prática atual (4)

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

4.7 AVALIAÇÃO DO MODELO

Para avaliação do modelo, os construtos e as variáveis adotados foram definidos com base na revisão da literatura e na experiência adquirida com os estudos de caso, sendo eles: (a) utilidade, e (b) impactos e riscos associados ao uso do modelo.

O construto “**utilidade**” visa a avaliar o potencial de uso do modelo para melhoria das condições de segurança e a facilidade em utilizar os produtos gerados para

tomada de decisões. Para tanto, foram estabelecidas as seguintes variáveis: nível de entendimento das informações fornecidas, o nível de atendimento às necessidades de informação do usuário, o nível de participação durante a aplicação do modelo, o nível de contribuição das etapas e produtos para a proposição de correções imediatas, o nível de contribuição das etapas e produtos para a proposição de ações corretivas, benefícios e potenciais de melhorias.

O construto “**impactos e riscos associados ao uso do modelo**” visou a avaliar o nível de envolvimento e interação entre os usuários, a simplificação do processo de monitoramento e redução do tempo de inspeção, o nível de impacto na rotina do trabalhador (privacidade, distração e risco de queda) e a confiabilidade da tecnologia (ocorrência de falhas e problemas).

Para avaliar os construtos e as variáveis apresentadas, também foram utilizadas as fontes de evidências obtidas ao longo da etapa de sugestão e implementação, por exemplo, análise documental (relatórios de inspeção, planilhas de planejamento e procedimentos), observação direta, observação participante, entrevistas com a equipe de gestão e entrevistas com os trabalhadores.

Apenas os participantes dos Estudos de Caso B e C participaram das entrevistas para avaliação quanto às etapas e produtos do modelo. Essa avaliação foi realizada com base nas entrevistas aplicadas por Rey (2020) para a avaliação do sistema informatizado, considerando seis perguntas fechadas avaliadas por meio de Escala Likert com três níveis de impacto (baixo, médio e alto) e quatro perguntas abertas (Anexo 2). No total, sete profissionais foram entrevistados, incluindo Técnicos de Segurança (2), Engenheiros de Produção (2), Engenheiro de Segurança (1), Gestor de Produção (1) e Coordenador de Saúde, Segurança e Meio Ambiente (1), conforme apresentado no Quadro 18.

Quadro 18 - Caracterização dos entrevistados (Estudos de Caso B e C)

Participante	Formação	Tempo de experiência no cargo	Tempo de experiência na construção civil	Duração da entrevista (h)
Téc. Segurança (TS1 -B)	Técnico de Segurança	5 anos e 5 meses	7 anos	00:30:58
Téc. Segurança (TS1 – Equipe C)	Técnico de Segurança	2 anos e 7 meses	5 anos	00:21:43

Participante	Formação	Tempo de experiência no cargo	Tempo de experiência na construção civil	Duração da entrevista (h)
Eng. Produção (EP - Equipe B)	Engenheiro Civil	7 anos	9 anos	00:22:30
Eng. Produção (EP – Equipe C)	Engenheiro Civil	10 meses	6 anos	00:26:12
Gestor de Produção (GP – Equipe B e C)	Engenheiro Civil	6 meses	20 anos	00:23:20
Engenheiro de Segurança (ES - Equipe B e C)	Engenheiro Produção	1 ano e três meses	3 anos	00:27:39
Gestor de Segurança (GS - Equipe B e C)	Engenheiro Mecânico	7 anos	14 anos	00:28:41

Fonte: Rey (2020).

Com relação aos riscos e impactos da tecnologia, foi aplicado um questionário de percepção dos riscos com os trabalhadores que realizam atividades no ambiente externo. Esse questionário (Apêndice 4) considerou como possíveis riscos: a) interferência do uso do VANT nas atividades do canteiro, b) invasão de privacidade, c) preocupações em relação aos riscos de queda e colisão durante o voo e d) potencial de uso do VANT para melhorar as condições de segurança. No total 63 trabalhadores responderam ao questionário utilizando a Escala Likert (1 - Muito pouco a 5 - Muito alto). Para análise dos dados foi utilizada estatística descritiva.

O Quadro 19 apresenta os critérios de avaliação e as fontes de evidências relacionadas aos construtos utilizados.

Quadro 19 - Apresentação dos constructos, variáveis e fontes de evidências

Variáveis	Entrevistas			Análise documental			Observação	
	Equipe A	Equipe B e C	Trabalhadores	Relatório segurança	Flight Log	E-mail	Direta	Participante
Constructo – Utilidade								
Nível de entendimento das informações fornecidas	x	x		x		x	x	
Nível de atendimento às necessidades de informação do usuário	x	x		x			x	
Nível de participação durante a aplicação do modelo	x	x		x				x
Nível de contribuição das etapas e produtos para a proposição de correções imediatas		x		x				x
Nível de contribuição das etapas e produtos do modelo para a proposição de ações corretivas		x		x				x
Constructo – Impactos e riscos associados ao uso do modelo								
Nível de interação das equipes durante o ciclo de implementação do modelo		x		x		x	x	
Simplificação do processo de monitoramento e redução do tempo de inspeção				x	x	x		x
Impacto na rotina do trabalhador (privacidade, distração, risco de queda e potencial de melhoria)			x				x	
Confiabilidade da tecnologia (ocorrência de falhas e problemas)					x		x	
Benefícios e potenciais de melhorias	x	x						x

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta o resultado da investigação do SGS, os resultados dos estudos empíricos e as contribuições para o desenvolvimento do modelo.

5.1 INVESTIGAÇÃO DO SGS DA EMPRESA A

Nesta seção serão apresentados os resultados da investigação do Sistema de Gestão da Segurança do Trabalho, visando a uma melhor compreensão das práticas de segurança adotadas na Empresa A. Os resultados serão estruturados de acordo com os itens do MASST proposto por Costella (2008).

5.1.1 Planejamento do sistema de gestão

Em relação aos objetivos e políticas, verificou-se que a empresa possui políticas e objetivos com foco em Qualidade, Saúde, Segurança e Meio Ambiente. A empresa possui empreendimentos certificadas com a OHSAS 18001 e participa do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBPQ-H). Segundo entrevista com equipe de segurança, as metas e objetivos de segurança são definidos pela alta direção, assim como os critérios para avaliação de desempenho, não havendo participação dos trabalhadores para essa definição.

As metas são acompanhadas por meio dos indicadores de Saúde e Segurança do Trabalho, sendo estes vinculados à participação de lucro dos profissionais de segurança. Para uma melhor integração, a equipe de produção também deveria partilhar das metas de segurança. As metas são definidas segundo o gerenciamento de riscos e resultados dos anos anteriores, revisadas no prazo máximo de 24 meses. Em relação ao desempenho, os resultados das auditorias internas são compartilhados mensalmente entre todas as obras.

A política e objetivos de segurança são disseminados por meio do treinamento admissional, diálogo semanal de segurança (DSS), recursos visuais (banners e cartazes), Semana Interna de Prevenção de Acidentes (SIPAT) e campanhas de prevenção.

Com relação ao planejamento da segurança, no início do projeto é realizada uma reunião de pré-alinhamento com todos os departamentos buscando facilitar o processo de documentação legal referente ao empreendimento. A equipe de segurança

utiliza o planejamento de longo prazo para identificar as atividades que serão realizadas e seu período de execução. Além disso, o planejamento é utilizado para atualizar o cronograma e o plano de medidas corretivas no PPRA e PCMAT.

No médio prazo, o engenheiro e o técnico de segurança buscam verificar os equipamentos e requisitos necessários para a execução da atividade de forma segura, de modo a solicitá-los de forma antecipada. Durante as observações, notou-se que os técnicos de segurança não participavam da reunião de planejamento semanal juntamente à equipe de planejamento e controle, uma vez que a reunião demandava muito tempo. Para compensar essa situação, o engenheiro da obra realizava uma reunião com os técnicos em outro momento para informar a respeito do planejamento da semana. A competência de garantir os requisitos de segurança mínimos para a execução das atividades era de responsabilidade dos técnicos de segurança, além das demandas administrativas de documentação e treinamentos.

Observa-se, portanto, um elevado potencial de melhoria no que se refere à integração do planejamento da produção e segurança, a fim de estabelecer um fluxo de trabalho mais confiável com a definição prévia das atividades, dos recursos necessários, dos responsáveis e dos prazos para atingir as metas estabelecidas.

A respeito da estrutura e responsabilidade, foi observado, por meio de entrevistas e observações diretas, que a gestão da segurança possui gerência específica. As funções e responsabilidades relativas à equipe de segurança são definidas pela alta direção e formalizadas em Procedimento Operacional Padrão (POP).

Segundo o coordenador de segurança (Estudo de Caso A), os recursos para segurança são garantidos no início da obra e validados pelo gestor de segurança junto à equipe de orçamento, sendo dimensionados segundo o banco de dados da empresa, considerando a tipologia e a quantidade de trabalhadores. Importante salientar a existência de comunicação direta entre o setor de segurança e a alta direção, mostrando a participação e comprometimento da direção nas decisões de segurança.

5.1.2 Processos de produção

O reconhecimento dos riscos é realizado por meio da associação aos grupos similares de exposição, sendo considerados os riscos químicos, físicos, biológicos e ergonômicos de cada atividade, levando em consideração as lições aprendidas de

outros projetos. Durante a avaliação dos riscos é investigada a prioridade de monitoramento e as medidas de controle para mitigação ou eliminação dos perigos. Os riscos associados às doenças ocupacionais são monitorados por uma enfermeira do trabalho.

Segundo entrevistas com o coordenador e com os técnicos de segurança, dentro da rotina de ações preventivas são realizadas permissões de trabalho para atividades de maior risco, realizando uma APR para identificar os riscos que os trabalhadores serão expostos, bem como as ações de controle. Além disso, o *checklist* de processo para avaliação das condições de trabalho para atividades críticas é aplicado diariamente. No entanto, os *checklists* são direcionados para avaliar a conformidade, não sendo usados para avaliar as diferenças entre o trabalho real e o imaginado.

Segundo o coordenador de segurança, para cada processo existe um procedimento operacional com a descrição dos passos para a execução da atividade de forma segura. A gestão dos procedimentos é centralizada na sede da empresa, contudo, em cada localidade, o procedimento pode sofrer alteração segundo as particularidades da região ou do tipo de equipamento utilizado. Durante as observações em campo, observou-se que a centralização da gestão de procedimentos tende a aumentar o distanciamento entre o trabalho realizado e o trabalho imaginado, ficando a cargo das unidades (canteiros de obras) dar um *feedback* sobre os ajustes realizados nos procedimentos. De acordo com os procedimentos internos, as adaptações realizadas em canteiro devem ser validadas pela alta direção antes da implementação.

De acordo com os documentos analisados, observações e entrevistas informais, percebe-se a ausência de critérios específicos que suportem o julgamento de sacrifício, tornando as avaliações subjetivas. Além disso, não são definidos parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, o que existe é uma maior supervisão quanto à execução dos procedimentos. Para o processo de parede de concreto, por exemplo, o monitoramento e controle dos procedimentos de produção e segurança são realizados pelo encarregado, técnico de segurança e estagiário de engenharia.

5.1.3 Gestão e capacitação de pessoas

Durante as observações em campo, percebeu-se que as principais rotinas de capacitação são predominantemente passivas (DSS e treinamentos assistidos). A participação ativa dos trabalhadores se dá por meio dos agentes da Comissão Interna de Prevenção de Acidentes (CIPA). De modo geral, ainda existe pouco envolvimento dos trabalhadores nas rotinas de segurança, seja na consulta sobre os reais perigos enfrentados no trabalho diário, ou na facilidade de uso das proteções coletivas e atividades de inspeção e monitoramento.

Segundo entrevistas e observações em campo, todos os colaboradores recebem o treinamento admissional e os treinamentos específicos segundo a sua função. Nos DSS são abordados temas de saúde e segurança específicas, além da discussão das situações identificadas no próprio canteiro. Nos treinamentos são destacadas as proteções individuais e coletivas a serem utilizadas para prevenção e mitigação dos perigos.

5.1.4 Fatores genéricos de segurança

Conforme observado, a empresa não dispõe de sistema de gestão integrada entre segurança e saúde, gestão da qualidade e gestão ambiental. Essa falta de integração dificulta a implementação das metas e objetivos em todos os níveis hierárquicos, bem como seu controle e supervisão, para alcançar a melhoria contínua dos processos e políticas de gestão.

Em relação ao gerenciamento de mudanças, os entrevistados apontaram que, geralmente, os procedimentos são adaptados quando necessário e revisados quando há mudanças no processo ou modificações legais.

5.1.5 Planejamento do monitoramento do desempenho

Segundo entrevistas com o coordenador de segurança, a empresa coleta os indicadores *lagging*, tais como taxa de gravidade (TG), taxa de frequência de acidentes com afastamento (TFCA) e taxa de frequência de acidentes sem afastamento (TFSA). Para os indicadores *leading*, a empresa realiza as medições das horas de treinamento

por funcionários, o índice de segurança praticada e o percentual de conformidade (auditoria mensal). Os indicadores voltados à produção e à qualidade são mensurados mensalmente, no entanto, não foram considerados no escopo deste trabalho.

Como forma de monitorar o desempenho de segurança, a auditoria mensal é uma das práticas de destaque da empresa, tendo em vista que após a auditoria as não conformidades são discutidas com a equipe de produção, estabelecendo um prazo para a sua correção. Apesar de sua importância, a auditoria mensal não é o método mais adequado para o monitoramento constante das condições de trabalho em campo, pois a lacuna de tempo entre a identificação do desvio e a proposição da ação preventiva ou corretiva é muito longa, dificultando o processo de melhoria contínua.

5.1.6 Retroalimentação e aprendizado

De acordo com os técnicos de segurança e o coordenador de segurança (Estudo de Caso A), todos os acidentes são investigados pela equipe de segurança da obra, levando em consideração as percepções do encarregado de produção ou responsável pelo serviço, testemunhas (quando houver) e a própria vítima, sempre que possível. A empresa possui o registro de todos os acidentes e suas causas, buscando propor medidas de prevenção para evitar a ocorrência de acidentes de mesma natureza.

Durante a entrevista com o coordenador de segurança, foram discutidos dois casos de acidentes ocorridos no início do Estudo de Caso A. Para o primeiro acidente⁸ foi atribuída como principal causa o comportamento do trabalhador, enquanto no segundo acidente⁹ foi atribuída como causa a falha na execução do procedimento pela equipe de engenharia. Portanto, com base nos exemplos apresentados, percebe-se que existe um esforço da equipe de segurança em analisar todo o contexto, visando

⁸ Acidente 1 – O eletricitista, para agilizar a atividade, colocou a escada de mão sobre uma pilha de barrotes, levando-o à queda. Como consequência, o trabalhador teve fratura exposta em uma das pernas. Sendo então, caracterizado como acidente com afastamento com mais de 15 dias.

⁹ Acidente 2 – A equipe de engenharia solicitou junto ao mestre um servente para descarregar um caminhão de formas metálicas em horário de almoço. A atividade não foi comunicada à segurança, portanto, não foram verificados os requisitos mínimos para realizar a atividade de forma segura. O servente não tinha treinamento para descarregamento de material, bem como o caminhão não tinha suporte para fixar o cinto de segurança. Como consequência, o trabalhador escorregou, caindo do caminhão, ocasionando lesões na perna.

a não apenas atribuir como causa o comportamento do trabalhador, como também considerar os fatores gerenciais. O aprendizado também acontece por meio da divulgação das boas práticas entre as obras e *benchmarking* interno realizado pela empresa.

5.1.7 Desempenho reativo e proativo

Em relação à divulgação e uso dos indicadores de desempenho, percebeu-se durante as observações que os indicadores *lagging*¹⁰ não eram disseminados para os profissionais do campo visando à conscientização dos trabalhadores sobre o desempenho da obra.

Quanto aos indicadores *leading*¹¹, o resultado da auditoria é disseminado para os engenheiros de produção e os técnicos de segurança, sendo apresentado em DSS. No entanto, durante a análise das planilhas de auditorias e entrevistas informais, verificou-se que não eram realizadas análises para acompanhamento da evolução do desempenho ao longo dos meses, identificação das fases da obra de maior impacto, verificação das não conformidades que foram corrigidas e dos não conformidades recorrentes, bem como a avaliação da eficácia do plano de ação.

Conclui-se que as ferramentas e processos de segurança precisam trabalhar de forma integrada, de modo a permitir avaliar o desempenho reativo e proativo das ações realizadas. É perceptível que a empresa desempenha práticas positivas que tendem a contribuir para a melhoria do desempenho de segurança. Porém, as ações são realizadas de forma isoladas, necessitando da adoção de novas tecnologias para dar suporte ao monitoramento e gerenciamento das condições de segurança nos canteiros.

5.1.8 Práticas que contribuem ou dificultam a integração do VANT ao SGS

Com base na investigação do SGS foram levantadas as práticas de segurança que tendem a contribuir para a integração da tecnologia VANT ao SGS, conforme apresentado Quadro 20.

¹⁰ O indicador *lagging* está associado a eventos passados, como taxa de frequência e taxa de gravidade de acidentes (HERRERA, 2012).

¹¹ O indicador *leading* está relacionado a eventos atuais, permitindo que a organização conheça seu desempenho atual (HERRERA, 2012).

Quadro 20 - Práticas positivas e negativas identificadas na investigação do SGS

Práticas	Descrição
(+) Estabelecimento de metas de desempenho, avaliação e divulgação dos resultados.	Os resultados do monitoramento com VANT podem ser incorporados à avaliação de desempenho, segundo os princípios da empresa.
(+) Disseminação dos resultados das auditorias mensais e boas práticas entre obras.	Os resultados do monitoramento com VANT podem ser compartilhados com outras obras, utilizando a mesma rede de compartilhamento.
(+) Rotinas de DDS e DSS com trabalhadores.	As rotinas de DDS ou DSS podem ser utilizadas para apresentação dos resultados das inspeções com VANT.
(+) Ferramentas para monitoramento das atividades (<i>checklist</i> , APR, auditorias, PT) e procedimentos.	As informações coletadas com o VANT podem dar suporte a rotinas de monitoramentos existentes.
(-) Baixa qualidade e disponibilização de recursos visuais para treinamentos e conscientização dos trabalhadores.	A carência de recursos audiovisuais dificulta o uso de imagens e vídeos das situações inseguras e boas práticas coletadas com VANT em treinamentos e capacitações dos profissionais da linha de frente.
(-) Baixo nível de integração entre o planejamento da segurança e produção.	As deficiências no processo de integração entre segurança e produção impedem que as informações coletadas com o VANT sejam utilizadas de maneira efetiva no planejamento da segurança.
(-) Baixa participação e envolvimento dos trabalhadores na definição dos procedimentos operacionais e identificação dos riscos.	A baixa participação dos trabalhadores nas discussões das situações inseguras dificulta a compreensão do trabalho realizado e dos riscos não percebidos pela equipe de gestão.
(-) Carência de análises dos indicadores proativos e reativos nos canteiros de obras.	A falta de análise dos indicadores compromete o processo de aprendizado, bem como a identificações de tendências de desempenho, dificultando o uso das informações coletadas com o VANT.

Legenda: Influência (+) positiva e (-) negativa

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Além das práticas apresentadas no Quadro 20, observou-se que é possível a partir das inspeções com VANT: (a) identificar a conformidade dos requisitos de segurança; (b) avaliar o grau de risco das situações identificadas com base nas fotos e vídeos; (c) usar os ativos visuais coletados para o planejamento e proposição de plano com as ações preventivas e corretivas; (d) usar os ativos e resultados das inspeções para treinamento dos trabalhadores; (e) gerar indicadores para auxiliar na tomada de decisão; e (f) fomentar o processo de aprendizado organizacional.

5.2 ESTUDO DE CASO A

Como descrito no Método de Pesquisa (seção 4.4), a partir da proposta de rotinas para o monitoramento da segurança com VANT deu-se início ao Estudo de Caso A. Como ponto de partida, o protocolo desenvolvido por Melo (2016) foi adaptado, destacando as seguintes etapas. A **etapa de planejamento** (antes do voo) teve como propósito discutir com os técnicos de segurança e/ou engenheiro de produção as necessidades de informação em relação à segurança e produção. Além de avaliar os requisitos básicos para a execução do voo com segurança. A etapa de **inspeção de segurança com VANT** (durante o voo), refere-se ao processo de coleta de dados em campo. Nesta etapa, as situações de risco iminente de acidentes eram comunicadas ao técnico o mais breve possível, para que houvesse uma intervenção imediata.

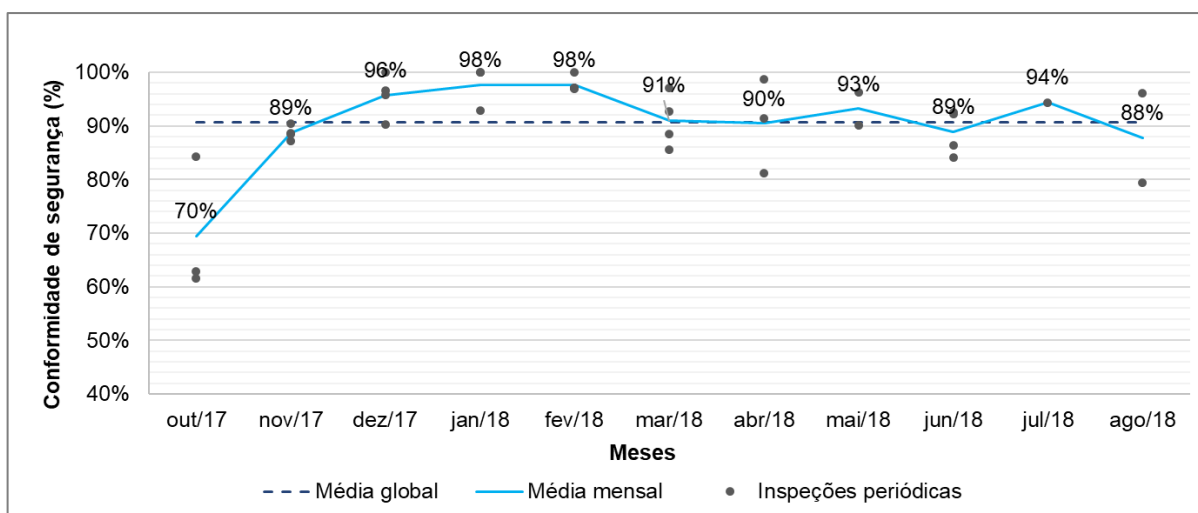
A etapa após o voo, envolveu o **processamento e análise dos dados**, no qual buscou-se discutir com os técnicos e engenheiros as condições de segurança priorizando as situações que necessitavam de uma ação corretiva ou preventiva. Em seguida, era realizado o preenchimento do *checklist* e a análise dos dados com mais detalhes em laboratório e, posteriormente, o envio do relatório com o resultado da inspeção para todos os envolvidos no processo. Tendo em mãos os resultados da inspeção, o técnico de segurança tinha como atribuições: (i) se reunir com o engenheiro de produção para elaborar um plano de ações preventivas e corretivas; (ii) alinhar as medidas propostas com a equipe de segurança e trabalhadores do campo, e (iii) avaliar a eficácia do plano de ação.

O modelo proposto nesta tese é baseado no protocolo para monitoramento da segurança com VANT e nas contribuições do monitoramento para o desenvolvimento dos potenciais para a resiliência. O processo iterativo de construção do modelo ocorreu no período de outubro de 2017 a agosto de 2018, totalizando **35 inspeções** de segurança com VANT. Como apresentado na seção 5.1.3 (Processos de produção), a empresa realizava mensalmente uma auditoria interna para verificar os requisitos de segurança. Com o monitoramento com VANT, os itens externos passaram a ser avaliados três vezes por mês, com periodicidade semanal, dando ênfase aos processos construtivos e situações de maior risco. Dessa forma, a inspeção com VANT não teve a intenção de substituir a auditoria mensal realizada pela empresa, mas aumentar a frequência de monitoramento a fim de reduzir o tempo de tomada de decisão.

Em termos de resultados gerais, dos 105 itens do *checklist* selecionados durante a fase de proposta, 76 itens foram monitorados em canteiro com apoio do VANT (ou seja, apenas **72,4% do *checklist* foi realmente usado**). Em média, por causa da elevada rotatividade das atividades em canteiro foram verificados **32 requisitos de segurança por inspeção**, totalizando 1.115 requisitos de segurança avaliados, sendo **1.008 itens classificados como “conforme” (90%) e 107 como “não conforme” (10%)**. Nas duas situações são observadas oportunidades de aprendizado, o que imprime a importância em estudar os dois tipos de eventos.

Para representar a evolução do monitoramento de segurança, foi calculado para cada inspeção um indicador de conformidade. A Figura 30 apresenta o desempenho das condições gerais de segurança ao longo dos meses, com indicações das inspeções periódicas semanais.

Figura 30 - Indicador de conformidade de segurança mensal (Estudo de Caso A)



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

De modo geral, visualiza-se na Figura 30 um elevado percentual de conformidade, com média global acima de 90%. O primeiro mês de monitoramento (out/17) apresentou uma média de 70%, tendo duas inspeções com resultados abaixo deste valor. O baixo desempenho ocorreu durante a fase de mobilização do canteiro, registrando uma concentração de não conformidades relacionadas a instalações provisórias. A partir do segundo mês de inspeção (nov/17) foi observado um aumento no desempenho, resultante em sua maioria da finalização das instalações provisórias. Entre os meses de dezembro de 2017 a fevereiro de 2018 foi executada a fundação, registrando uma conformidade mensal acima de 90%.

Os meses de março e abril de 2018 representaram o início dos processos de estrutura (alvenaria estrutural e parede de concreto), sendo registrado uma elevada ocorrência de não conformidades de maior risco associado às atividades com trabalho em altura. No mês de agosto de 2018, deu-se início ao processo de instalação de telhados, sendo o desempenho afetado pela ausência de equipamentos de proteção coletiva, como, por exemplo, sistema de linhas de vida horizontal. Em linhas gerais, percebeu-se um empenho da equipe da obra em manter a meta de conformidade estabelecida pela empresa (90%).

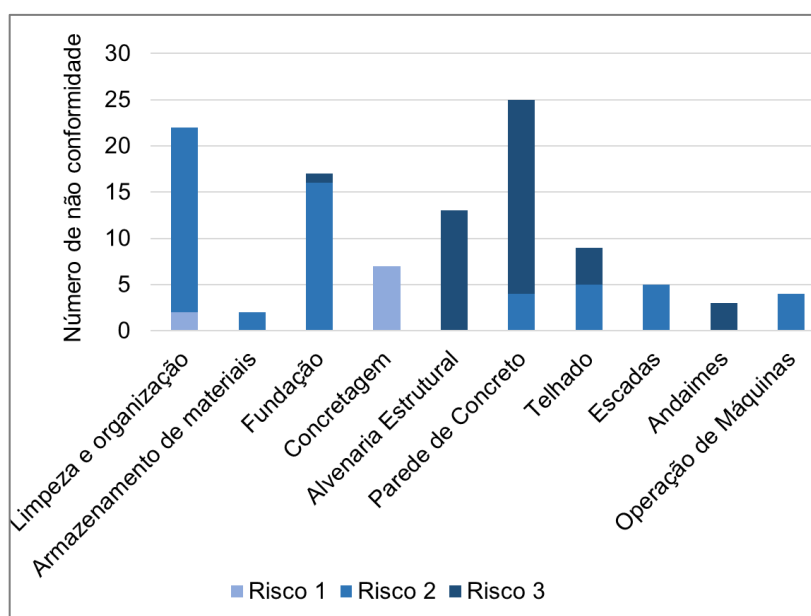
5.2.1 Análise das não conformidades - perspectiva *Safety-I*

Com base nos dados coletados em campo buscou-se identificar as não conformidades, classificando-as segundo a categoria (família de itens de segurança), grau de risco, tipos de barreiras e potenciais causas.

- Análise por tipo de categoria e grau de risco

Durante as 35 inspeções de segurança, um total de **107 ocorrências** foram identificadas em 10 categorias, conforme apresentado na Figura 31.

Figura 31 - Distribuição das não conformidades por categoria e grau de risco



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Com base nos resultados apresentados (Figura 38), verifica-se que cinco das dez categorias avaliadas representaram 80% das ocorrências (parede de concreto,

limpeza e organização do canteiro, fundação, alvenaria estrutural e telhado). As categorias de limpeza e organização do canteiro e fundação possuem a maior quantidade de itens não conformes de grau de risco 2 (exposição moderada), por exemplo, a ausência de isolamento na área de escavação.

Os processos de parede de concreto e alvenaria estrutural destacam-se pela concentração de não conformidades de grau de risco 3 (exposição elevada). Dentre os itens observados, destacam-se os vãos internos na laje sem proteção contra queda e as falhas na montagem das proteções contra queda (guarda-corpo).

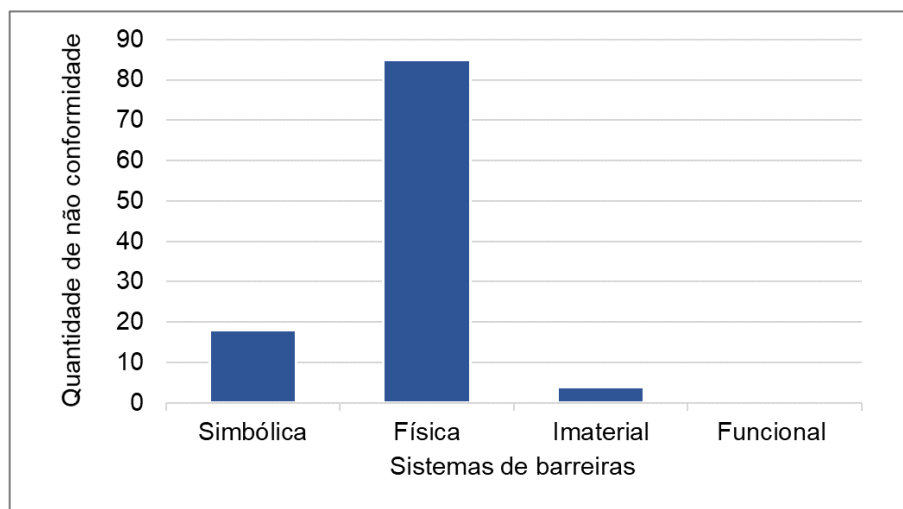
Durante a etapa de investigação do SGS, a equipe de segurança estabeleceu que a parede de concreto, os andaimes suspensos tipo “cadeirinha” e o espaço confinado (reservatório) eram os principais pontos críticos. Ao comparar o relato da equipe aos resultados apresentados nas Figuras 38, observa-se que a parede de concreto foi a categoria com a maior incidência de itens com grau de risco 3, indicando que a equipe tem consciência do elevado risco enfrentado na rotina diária do processo. Por outro lado, embora apresente uma concentração de não conformidades de grau de risco 3, o processo de alvenaria não foi classificado como uma atividade crítica, justificado pela familiaridade da equipe com os processos, baixo dinamismo quando comparado ao processo de parede de concreto e insuficiência de dados para análises periódicas.

Desse modo, a elevada quantidade de não conformidades, combinada ao fator de risco das mesmas evidenciam a necessidade de avaliar com mais detalhe as características das barreiras e os possíveis tipos de causas dos desvios.

- Análise segundo os sistemas de barreira

As barreiras foram classificadas em físicas, funcional, simbólica e imaterial, conforme descrito no Método de Pesquisa (seção 4.7). A Figura 32 apresenta a distribuição das não conformidades de acordo com os sistemas de barreiras.

Figura 32 - Distribuição das não conformidades segundo os tipos de barreiras



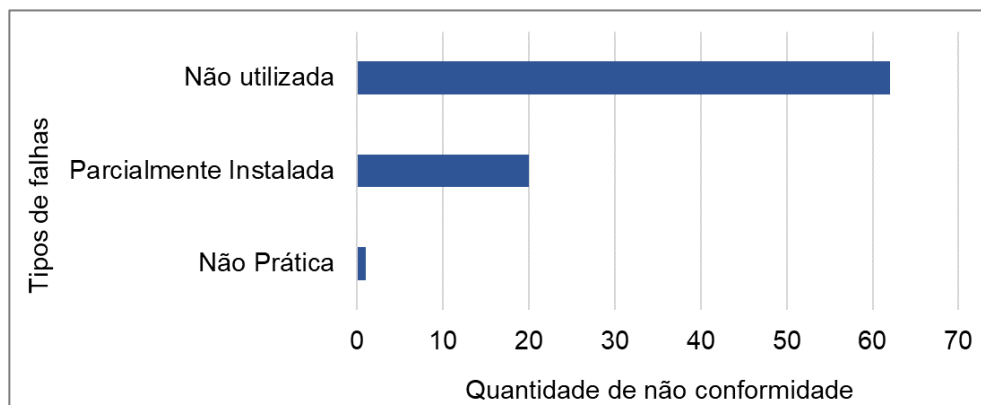
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Os resultados indicam que a maioria das não conformidades estão associadas às barreiras físicas, por exemplo, o fechamento de aberturas de vão na laje e a ausência de guarda-corpos. Em segundo lugar, destacam-se as barreiras simbólicas, usualmente associadas aos isolamentos e sinalizações das mais diversas naturezas, incluindo sinalização quanto ao uso de EPI, tipos de riscos e medidas preventivas.

Os sistemas de barreiras imateriais estão relacionados aos procedimentos, regras, orientações e princípios de segurança. Por exemplo, a proibição da utilização de escadas de mão nas proximidades de aberturas e vãos. E, os sistemas de barreiras do tipo funcionais, por se tratarem de dispositivos lógicos ou temporais (por exemplo, chave de partida e bloqueio instaladas em elevadores), não foram visualizados por meio de imagens e vídeos coletados com o VANT.

Em relação às barreiras físicas, os resultados apontam que a maiorias das situações considerada “não conforme” se deve à ausência de proteções físicas (Não usadas), como apresentado na Figura 33.

Figura 33- Distribuição das não conformidades segundo os tipos de falhas



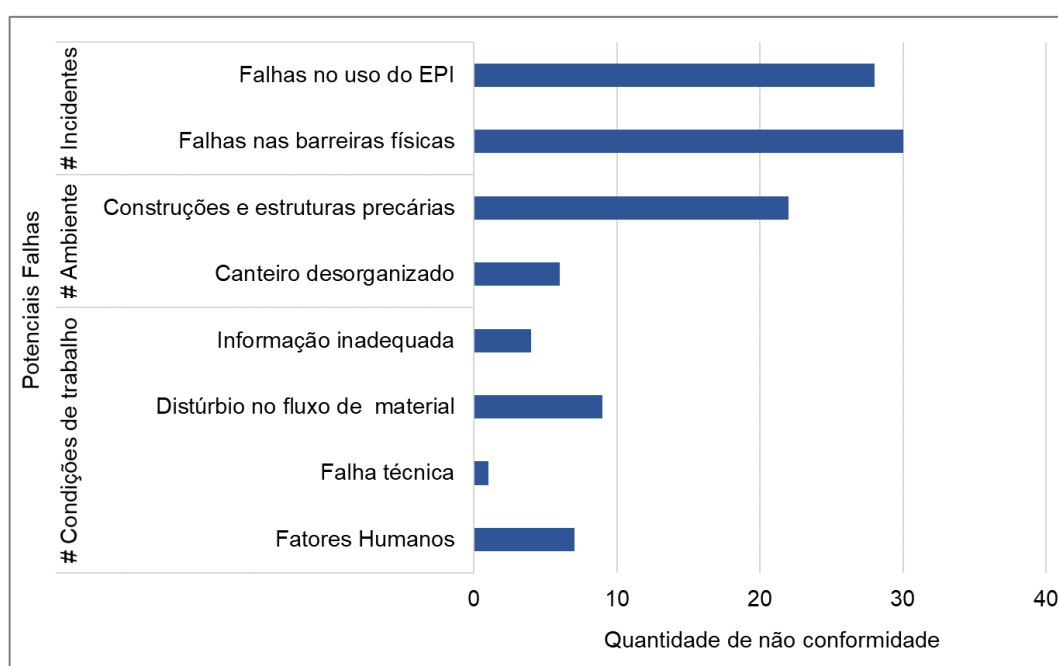
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A ausência das proteções físicas pode ser associada ao impacto da pressão por produção nas condições de segurança e à falta de compatibilização entre o procedimento e a prática, ocasionando o não uso das mesmas visando a manter as metas de produtividade.

- Análise de potenciais falhas das não conformidades

Para a análise de potenciais falhas das não conformidades (Figura 34) adotou-se a primeira camada do *checklist* SMORT, discutido no Método de Pesquisa (seção 4.6).

Figura 34 - Potenciais falhas das não conformidades (*Checklist* SMORT – 1ª camada)



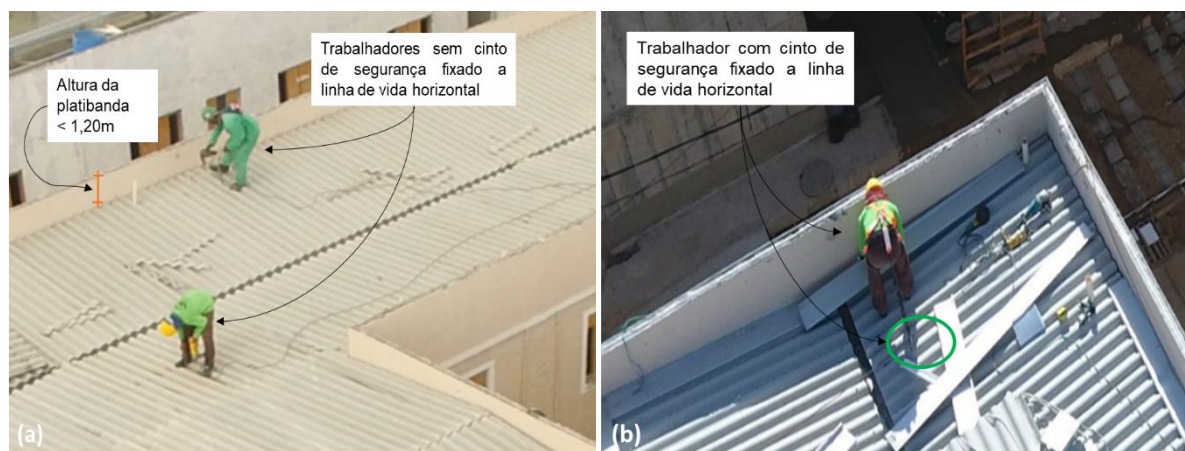
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Os resultados indicam que as falhas mais frequentes estão associadas ao uso do EPI (28), barreiras físicas – proteções coletivas (30) e construções e estruturas precárias (22). É importante destacar que na análise das falhas quanto aos tipos de barreiras, o uso do EPI está incluído na categoria de barreiras físicas, enquanto na avaliação quanto aos tipos de desvios usando o *checklist* SMORT é analisado de forma independente. Na classificação proposta no *checklist* SMORT, o item de construções e estruturas precárias inclui as falhas de sinalização e isolamento.

De modo geral, apenas sete não conformidades foram categorizadas como Fatores humanos. Nesta categoria estão inclusas as notificações relacionadas à utilização inadequada do procedimento ou equipamento de trabalho, bem como as improvisações que podem causar dano ao trabalhador ou a terceiros. Como por exemplo, a carpintaria improvisada pelos trabalhadores na área das escavações e o uso de escadas de mão em lugares indevidos. As falhas técnicas foram associadas aos equipamentos com defeitos, por exemplo, as calhas de resíduos deterioradas.

A categoria de informações inadequadas refere-se às não conformidades em que foram constatadas insuficiência de instruções ou falha na permissão de trabalho. Por exemplo, os trabalhadores realizando a montagem do telhado sem sistema de linha de vida instalado e sem utilizar cinto de segurança. Neste evento, houve falha da equipe de segurança na liberação da atividade em altura sem as condições de trabalho adequadas. Segundo instruções prévias da equipe de segurança, não era necessário sistema de linha de vida, pois existia uma platibanda de 1,20m. Entretanto, os trabalhadores estavam trafegando na periferia da laje sobre a estrutura para montagem do telhado, o que aumentava o risco uma vez que houve uma redução da altura da platibanda com a instalação da estrutura do telhado (Figura 35a). Após discussão com equipe de segurança, a situação foi regularizada (Figura 35b).

Figura 35 – Execução da montagem do telhado: (a) sem proteção contra queda e (b) com utilização de cinto de segurança fixado a linha de vida



Fonte: Grupo de pesquisa Getec (2018).

5.2.2 Análise dos mecanismos e práticas - perspectiva *Safety-II*

Essa análise buscou identificar os mecanismos e práticas resilientes usados pelos profissionais da linha de frente (nível operacional) e pelos profissionais da equipe de gestão (nível gerencial), tendo como principais fontes de evidência os relatórios de inspeção, os ativos visuais coletados com VANT e as entrevistas com os profissionais de segurança e produção envolvidos no projeto.

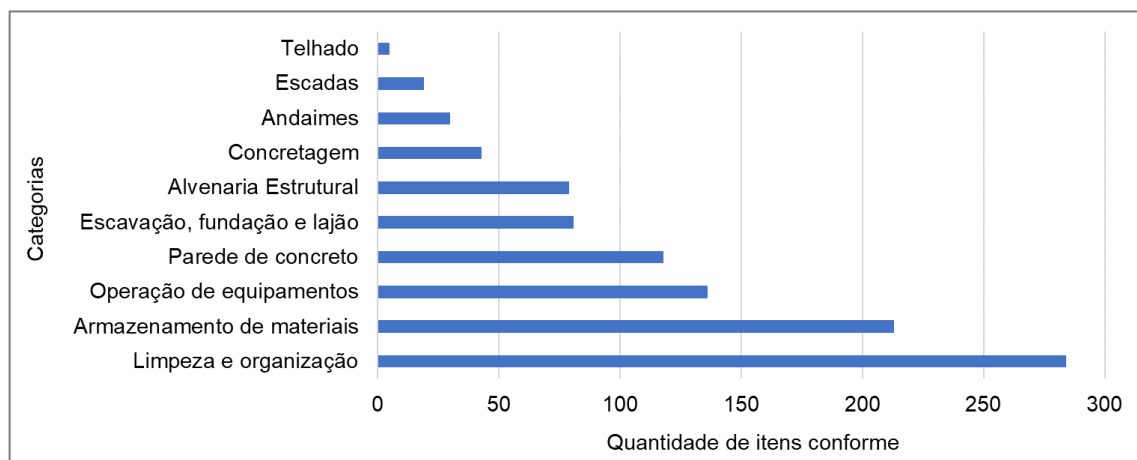
5.2.2.1 Mecanismos e práticas – nível operacional

Nesta análise, considera-se mecanismos as ações e características identificadas em canteiro que influenciam nos ajustes de desempenho e as práticas são como esses mecanismos são operacionalizados. Essa seção está dividida em dois tópicos, a análise das condições gerais de segurança e o estudo do processo crítico.

- Análise das condições gerais de segurança

Para tanto, foram levantados os itens com maior grau de conformidade para as categorias de maior incidência e identificadas as ações realizadas para a manutenção das boas condições de trabalho. A Figura 36 apresenta a quantidade de itens conforme por categoria.

Figura 36 - Quantidade de itens conformes por categoria – Estudo de Caso A



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Inicialmente, observa-se um conjunto de ações realizadas para a manutenção das condições de segurança e logística do canteiro, refletindo em um elevado grau de conformidade, como observado nas categorias limpeza e organização, armazenamento de materiais e operação de equipamentos. As práticas identificadas podem ser compreendidas como mecanismos para a manutenção e criação de boas condições de trabalho (HOLLNAGEL, 2014)

As instalações provisórias foram posicionadas em áreas estratégicas que não necessitavam de reposicionamento ao longo das fases da obra. O acesso e rotas internas para tráfego de pedestre independente foram mantidos sempre limpos sem obstruções. Os resíduos foram armazenados em baias específicas com coletas agendadas por demanda (categoria – limpeza e organização).

A disposição dos materiais no canteiro também contribuiu para melhores condições de trabalho. Os materiais a granel foram distribuídos nas periferias do canteiro visando a garantir espaço para o trânsito de pessoas e equipamentos, sendo disponibilizado no local de trabalho, quando necessário.

O acesso e rotas internas de veículos e máquinas foram bem definidos no início do projeto, garantindo um amplo espaço para as operações de carga e descarrega. O *layout* logístico contou com dois portões de acesso para veículos e equipamentos, evitando conflitos na entrada e na saída de veículos de grande porte (categoria – operação de equipamentos).

A Figura 37 apresenta uma visão geral do canteiro de obra na fase de estrutura, em que é possível observar o armazenamento dos materiais na periferia do canteiro,

bem como os acesso de veículos e pedestre. A Figura 38 ilustra os materiais estocados e isolados de modo a evitar o fluxo de pessoas (categoria – armazenamento de materiais).

Figura 37 - Visão geral do canteiro - Logística e organização do canteiro



Fonte: Grupo de pesquisa Getec (2018).

Figura 38 - Prática de isolamento e armazenamento do aço



Fonte: Grupo de pesquisa Getec (2018).

Em relação aos processos construtivos, percebeu-se na rotina diária pequenas adaptações realizadas pelos trabalhadores em função da falta de recursos e variabilidade enfrentadas no dia a dia do canteiro. Essas adaptações podem ser entendidas como um mecanismo de compensação (HOLLNAGEL, 2014), por exemplo, a substituição de materiais.

A substituição de materiais e equipamentos ocorreu devido à ausência de materiais para o isolamento. Por exemplo, o uso de estruturas de madeira e do guarda-corpo de aço para o isolamento das caixas elétricas e hidráulicas (Figura 39a) e das áreas de escavação (Figura 39b), substituindo os isolamentos com tela de segurança (categoria – fundação).

Figura 39 - Substituição de materiais: (a) estruturas de madeira e (b) guarda-corpo de aço



Fonte: Grupo de pesquisa Getec (2018).

Os serviços de instalações prediais externas e pintura da fachada com o uso de “cadeirinha” chamaram atenção pelo elevado grau de conformidade quanto ao uso das proteções coletivas e individuais. Essa conformidade pode ser justificada pelo uso de profissionais experientes pela empresa terceirizada que executa as atividades (Andaimes).

Outro ponto observado foi o uso de *checklist* e rotinas de supervisão. Para os processos de maior risco (trabalho em altura, escavação e serviços elétricos) eram realizadas, diariamente, permissão de trabalho e análise preliminar de risco. Esses procedimentos podem ser classificados como mecanismos para criação de boas condições de trabalho e proposição de soluções para evitar problemas futuros, uma vez que, como na atividade de telhado apresentada na Figura 43 (seção 5.3.2.3), as permissões de trabalho têm a função de garantir as condições mínimas para a execução da atividade.

- Análise de processo crítico (Parede de Concreto)

O processo executivo de parede de concreto pode ser resumido pela montagem de formas metálicas, plásticas ou mistas e o preenchimento de concreto. Entre as formas de paredes são posicionados as ferragens e os itens de instalações prediais

elétricas e hidráulicas. Após o processo de montagem, as paredes e laje são concretadas. No dia posterior à concretagem, assim que alcançada a resistência mínima do concreto, as formas são desmontadas e se inicia um novo ciclo de montagem (TORRES, 2014).

Nesse sistema construtivo, as proteções coletivas podem ser industrializadas, assim como as formas das paredes e lajes, trabalhando de forma integrada (TORRES, 2014). Portanto, faz-se necessário considerar no planejamento o tempo despendido para as etapas de montagem e desmontagem do sistema de proteções coletivas, como guarda-corpos, andaime suspenso e sistema de linha de vida.

Para um melhor entendimento do processo, optou-se por apresentar as características do processo sob o ponto de vista dos sistemas sociotécnicos (Quadro 21).

Quadro 21 - Atividades do processo de parede de concreto

Subsistema	Características
Organização do trabalho	O ciclo produtivo consiste na construção de quatro apartamentos/dia. Cada etapa do processo é realizada por uma equipe, que usualmente trabalham em ritmos concomitantes. Os materiais necessários são disponibilizados pelo responsável pelo suprimento na obra (almoxarife) e usina de concreto, mediante contrato.
Pessoal	As atividades são realizadas por um conjunto de profissionais com diferentes habilidades e seus auxiliares. - Montadores – são responsáveis pela montagem e desmontagem da forma das paredes e lajes, sendo o trabalho fragmentado por vão. As proteções coletivas são de responsabilidade de outra equipe. - Armadores – são responsáveis pela instalação das armações das paredes e lajes. - Instaladores – são responsáveis pela instalação dos kits de elétrica e hidráulica. - Pedreiros – são responsáveis pela concretagem das paredes e laje e serviços de acabamento. Além dos profissionais que estão diretamente vinculados ao processo produtivo, outros demais profissionais influenciam indiretamente na atividade. Tais como o encarregado, o auxiliar de engenharia e o técnico de segurança, sendo estes responsáveis pela inspeção e controle das atividades.
Técnico	As formas de alumínio e os sistemas de proteção contra queda constituem o subsistema técnico. Para a execução da atividade é necessário seguir uma sequência de produção, não variável. As formas são reutilizáveis, portanto, precisam ser montadas e desmontadas diariamente. Não havendo excesso ou partes extras. O técnico de segurança e o auxiliar de engenharia realizam as inspeções por meio de aplicação de <i>checklist</i> e inspeção visual. Em casos de

Subsistema	Características
	dúvidas é disponibilizado na intranet o POP referente ao processo construtivo.
Ambiente externo	Dentre os fatores externos que influenciam a operação da atividade podem-se destacar principalmente o fornecimento do concreto e os ensaios de resistência do concreto, sendo este pré-requisito para a liberação da desmontagem das formas.

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Dessa forma, tomando como referência as observações em campo e os procedimentos foram levantadas as principais diferenças entre o trabalho imaginado (procedimento) e o trabalho realizado, detalhadas no Quadro 22 e ilustradas no Quadro 23.

Quadro 22 - Descrição das principais situações subespecificadas ou não especificadas no procedimento¹²

Situação	Trabalho imaginado	Trabalho real
S01 – Proteções coletivas de periferia	“As atividades de hidráulica, elétrica e armação deverão ser realizadas somente após a instalação das proteções de periferia.”	Em algumas observações notou-se que os trabalhadores iniciavam as atividades de hidráulica, elétrica e armação antes da conclusão da instalação das proteções de periferia. Para isso, foi definido que os trabalhadores deveriam utilizar cinto de segurança acoplado às esperas deixadas na laje. Observou-se em algumas situações a adaptação de uma linha de vida no chão da laje para facilitar a locomoção.
S02 – Montagem e desmontagem dos consoles para suporte do piso da plataforma	“O trabalhador deve utilizar cinto de segurança tipo paraquedista com talabarte duplo, ligado a cabo-guia fixado em estrutura independente da estrutura de apoio e circulação plataforma.”	Para a montagem dos perfis metálicos os trabalhadores, por não alcançar a altura adequada, acabam muitas vezes subindo no console, cuja função é sustentar o piso da plataforma. Neste momento, observou-se que alguns trabalhadores fixavam o cinto no próprio console, buscando assegurar eventual situação de perda de equilíbrio. Não há menção no procedimento sobre a instalação do cabo-guia para a montagem e desmontagem dos consoles. O sugerido em campo é o uso do cabo transpassado em faquetas ¹³ fixadas na estrutura, no entanto, não foi observado seu uso durante as observações realizadas.
S03 – Montagem e desmontagem do piso da plataforma externa	“A plataforma deverá ser instalada na altura da primeira laje após a retirada dos painéis do pavimento inferior. O trabalhador deve utilizar cinto de segurança tipo paraquedista com talabarte duplo, ligado a cabo-guia fixado em estrutura independente da estrutura de apoio e circulação da plataforma.”	A plataforma é instalada na altura da primeira laje logo após a retirada dos painéis do pavimento superior. A partir do primeiro pavimento, após a retirada dos painéis é realizada novamente a transferência da plataforma para o pavimento superior. Após a montagem dos suportes para a montagem da linha de vida superior, os trabalhadores adaptam uma linha de vida entre os suportes, a fim de conseguir desmontar o piso inferior da plataforma com segurança (mais comum). Outra opção é o uso de linha de vida na parede fixada nas faquetas, como sugerido pela segurança. Tais situações não estavam descritas no procedimento. Além disso, a retirada dos perfis metálicos e consoles após a retirada do piso é realizado pela janela, por meio de içamento das peças.
S04 – Montagem e desmontagem da platibanda e plataforma do último pavimento	“Antes de iniciar a montagem da platibanda, a plataforma deverá ser instalada no mesmo nível da laje, facilitando a circulação dos trabalhadores e evitando qualquer risco de queda.”	Para a instalação da plataforma no último nível da laje, o ideal seria ter um sistema de linha de vida com hastes fixadas na laje. Entretanto, de modo semelhante aos demais pavimentos, uma linha de vida é transpassada nas esperas deixadas na laje. O mesmo ocorre para o processo de desmontagem da plataforma.

¹² Para a análise foi usado o procedimento vigente no período do estudo (Versão 00).

¹³ Peça responsável pelo travamento dos painéis internos e externos da parede de concreto, juntamente com a cunha.

Quadro 23 - Exemplos das situações subespecificadas ou não especificadas

S	Trabalho imaginado	Trabalho real
01		
02	Não há imagens no procedimento	
03		
04	Não há imagens no procedimento	

Fonte: A autora (2020).

Como apresentado no Quadro 22, as situações apresentadas estão relacionadas ao risco de queda em altura. No contexto apresentado, percebeu-se que a ausência

de informação detalhadas nos procedimentos favoreceu a geração de adaptações por parte dos trabalhadores e equipe da obra, como forma de garantir que o trabalho seja executado respeitando condições mínimas de segurança.

Antes do monitoramento, acreditava-se que era possível dar início ao processo de montagem das armaduras com os trabalhadores utilizando os cintos presos na laje, enquanto a equipe de fachada montava a plataforma de proteção. Na prática, ficou evidente que o trabalhador não conseguia fazer a montagem da armação com o cinto fixado nas esperas da laje, uma vez que limitava sua movimentação com as telas de aço. Esta situação fazia com que os trabalhadores dessem início às atividades sem as proteções de periferia adequadas (Quadro 23 – Situação 01). Para o ajuste do processo, notou-se que a equipe de fachada precisava iniciar a montagem da plataforma externa e sistema de guarda-corpo antes, de modo a garantir que as atividades seguintes fossem realizadas com segurança.

Com base nas observações em campo, verificou-se que o processo de parede de concreto possuía rotinas de inspeção e controle de execução diária. Como medidas de segurança eram realizadas antes do início das atividades a APR e PT, além de Lista de Verificação conduzida pela equipe de produção. Esses monitoramentos podem ser considerados redundantes e complementares em determinados aspectos. Por exemplo, ambas as equipes avaliavam se as proteções coletivas estavam instaladas adequadamente (redundante). A equipe de engenharia da obra além de monitorar o ciclo produtivo também realizava inspeções em relação ao travamento das formas (complementar). Dado que, falhas no travamento da forma podem desencadear patologias durante a concretagem das paredes, assim como o desmoronamento da laje.

Esta análise também buscou identificar orientações no procedimento que suportem a capacidade de antecipação das equipes, por exemplo, “deixar pontos estratégicos de iluminação nas áreas de circulação e laje, caso a concretagem se estenda pela noite” e “deverão ser alocados funcionários para acompanhar a concretagem no piso inferior, esses funcionários avisarão o encarregado em caso de vazamentos”. As instruções destacadas demonstram situações nas quais se propõem ações de antecipação, visando a preparar a equipe para lidar com possíveis imprevistos em situações de falta de iluminação e vazamento de concreto. Desse modo, apesar das lacunas de

informações, o procedimento em suas limitações também apresenta ações que promovem a preparação da equipe para situações indesejadas.

Com relação ao aprendizado é importante destacar as estratégias visualizadas durante os monitoramentos, como, por exemplo, a “prototipagem” da montagem das formas da parede de concreto no início do processo (Figura 40a) e a marcação de uma linha na cor amarela nas formas das paredes externas e sua numeração (Figura 40b).

Figura 40 - Práticas de aprendizado: (a) prototipagem; (b) marcação das formas



Fonte: Grupo de pesquisa Getec (2018).

Na prototipagem (Figura 40a), os trabalhadores aprendem como realizar a montagem e desmontagem adequada das peças considerando um tempo maior de ciclo. É nessa fase em que as peças são organizadas e posicionadas no local adequado para montagem, considerando a sequência de montagem e fazendo as marcações necessárias. A marcação das formas das paredes na cor amarela e sua numeração visam a facilitar a identificação da peça correta durante o processo de montagem e desmontagem (Figura 40b). No entanto, percebeu-se que em situações de dificuldade de desmontagem da placa, os trabalhadores acabavam por dar prioridade àquelas do mesmo tamanho que eram facilmente desmontadas, mantendo o ritmo de produção.

Os resultados indicaram que os itens relacionados ao isolamento da área de trabalho, a organização do entorno e a plataforma instalada adequadamente tiveram uma maior adesão ao procedimento. O caso contrário aponta os itens relacionados ao uso do cinto de segurança e as proteções da periferia completamente instaladas, como já discutidos na análise *Safety-I*. A baixa adesão de alguns itens em relação ao

procedimento pode ser justificada pela priorização da produtividade em favor da segurança tendo em vista a elevada dinamicidade e pressão por metas de produção. Segundo relatos de trabalhadores e da equipe de segurança, o *layout* restrito e a quantidade de pessoas trabalhando em um mesmo espaço dificultava muitas vezes o uso do cinto, especialmente durante a movimentação das peças entre pavimentos, aumentando o risco de acidentes durante a movimentação.

Nesse contexto, é importante destacar que com exceção do serviço de concretagem, as demais atividades são realizadas em paralelo, existindo uma concentração de aproximadamente 50 trabalhadores movimentando peças de alumínio em uma área de aproximadamente 210 m² (parte interna e externa referentes à metade do pavimento). Em vista disso, a experiência dos trabalhadores com o processo e o trabalho colaborativo foram fatores essenciais para lidar com as limitações de espaço e a proximidade das etapas de produção.

Uma estratégia organizacional para lidar com o dinamismo do processo foi o uso de dois jogos de forma de alumínio (A e B) com metas de produtividade diferentes, nos quais a forma A tinha um tempo de ciclo de um dia e a forma B de dois dias. Essa diferença no ritmo de produção permitiu ao engenheiro de produção gerenciar o elevado absenteísmo do processo, realocando os profissionais de uma equipe para outra a fim de manter a produtividade planejada. Essa estratégia pode ser interpretada como uma folga de mão de obra oportunista não intencional gerada pelo uso de duas formas com metas de produtividade distintas. Segundo Saurin (2017), uma folga oportunista está relacionada às iniciativas isoladas e informais geradas pela equipe em momentos de necessidade, enquanto para Woods (2018), essa iniciativa pode ser associada à capacidade de manobra no gerenciamento das unidades de produção.

5.2.2.2 *Mecanismos e práticas – nível gerencial*

No contexto da pesquisa, essa análise buscou a partir de uma visão holística dos dados coletados identificar os mecanismos e práticas que tendem a contribuir com um desempenho resiliente em nível gerencial. A principal fonte de evidência desta análise foram as entrevistas realizadas com Engenheiro de produção, Técnicos de Segurança, Auxiliar de Engenharia, Gestor e Coordenador de Produção no final do Ciclo 1 sobre os potenciais para resiliência, descrita na seção 4.4 (Proposta de solução). Os

mecanismos foram classificados em quatro temas principais: (1) monitorar, (2) responder, (3) antecipar e (4) aprender.

A **habilidade de monitorar** refere-se ao aumento do conhecimento sobre as condições atuais do canteiro. Segundo relatos das equipes de segurança e produção, o monitoramento da segurança com VANT aumentou o conhecimento sobre o funcionamento dos processos na prática, com destaque para a identificação de interferência entre processos, posicionamento de materiais, *layout* de canteiro entre outros, como mostra o depoimento a seguir.

O drone fornece informações para mudar o processo. Porque muitas vezes o procedimento realizado não é exatamente o melhor, e ele dá um ângulo diferente. Quando você está acompanhando o serviço de perto, olhando, é diferente de quando você tem uma visão ampla da obra do funcionamento como um todo. Engenheiro de Produção (Estudo de caso A).

A percepção do engenheiro corrobora com as análises apresentadas sobre as lacunas entre o trabalho imaginado e o trabalho real no processo de parede de concreto (Quadro 22 e 23), dado que os monitoramentos evidenciaram práticas diárias que a equipe de produção não tinha conhecimento. Com base nas informações coletadas também foi possível ter uma melhor compreensão dos demais processos.

As rotinas de inspeção desempenharam um papel importante na conscientização e controle das condições de trabalho, fornecendo uma perspectiva diferente do canteiro, seja do ponto de vista da apresentação da informação (fotos e vídeos com captura aérea), como também da avaliação de um inspetor externo não vinculado à empresa. Além disso, o monitoramento com VANT aumentou a frequência do acompanhamento dos itens externos (em média 3 inspeções/mês), possibilitando uma maior transparência das condições de trabalho.

A **habilidade de responder** refere-se à capacidade da equipe em propor soluções. Apesar das discussões e reuniões entre equipes, percebeu-se durante o Estudo de Caso A um maior interesse em identificar os itens não conformes, como destacado nos trechos a seguir.

A apresentação dos dados é imediata. Quando vocês mandam o relatório, a gente vê que no ponto vermelho que tem um erro, e já propõe uma solução. (Engenheiro de Produção - Estudo de Caso A).

Com o uso do drone é muito mais rápido, no sentido de que você capta mais rápido e a resposta é mais rápida. Dessa forma, as situações de risco iminente são tratadas imediatamente. (Técnico de Segurança 1 - Estudo de Caso A).

Nestes depoimentos, os entrevistados relataram uma ênfase para a correção de não conformidades, especialmente para os itens de risco iminente de acidente.

Segundo relatos dos Técnicos de Segurança, as reuniões periódicas para o alinhamento do plano de ação com o Engenheiro de Produção passaram a existir com uma maior frequência após o monitoramento com VANT. O plano de ação além de especificar o item que necessita de intervenção descreve como e quando agir, o responsável pela ação e o *status* da ação (em atraso, em andamento ou concluído), incorporando as situações identificadas com VANT, como apresentado na Figura 41.

Figura 41 - Modelo de plano de ação SSMA (segurança, saúde e meio ambiente)

PLANO DE AÇÃO SSMA					38.016.01 REV00		
RESPONSÁVEL					Data do plano:		
FUNÇÃO: Engenheiro de obra					27/10/2017		
Ação	Referência	Motivação da ação	Quem	Prazo	Status		
					Em andamento	Em atraso	Concluído
Cobertura dos tanques de água	VANT	Controle de dengue		31/10/2017			ok
Treinamento de Escavação x isolamento	VANT	Isolamento da área de escavação deficiente		27/10/2017			ok
Ausência do uso de touca árabe	VANT	Realizar DDS para reforçar o uso de touca árabe		31/10/2017			ok
Organização e limpeza da área verde	VANT	Área desorganizada com acúmulo de lixo		31/10/2017	X		
Recolher resíduos e realizar descarte correto do ETE	VANT	Acúmulo de resíduo na ETE		01/11/2017			ok

Fonte: Empresa A (2017).

Segundo os entrevistados, o indicador de conformidade atuou como um alerta para os coordenadores e gerentes, havendo uma maior cobrança por parte da equipe gerencial quando abaixo de 90%. Em duas inspeções, observou-se a paralisação do processo de parede de concreto por parte do Técnico de Segurança para discussão com os trabalhadores sobre o uso do cinto. Esse tipo de intervenção ou paralisação das atividades, também conhecida como *hot-debriefing*, busca interromper o fluxo de trabalho até que haja condições mínimas de segurança visando a mitigar o risco iminente de acidente ou conscientizar a equipes sobre os potenciais perigos.

Com relação à habilidade de **antecipar**, o planejamento e a experiência profissional foram os mecanismos observados que contribuíram para antever situações indesejadas e oportunidades. De acordo com os entrevistados, o monitoramento com

VANT contribuiu para mudanças no *layout* de canteiro e no processo de parede de concreto visando evitar conflitos futuros. Os principais usos dos ativos foram para o planejamento das instalações provisórias e o posicionamento e deslocamento dos estoques, facilitando a visualização das distâncias e dos acessos. Além disso, observou-se durante o monitoramento, que a experiência dos profissionais de engenharia e segurança influenciou positivamente na visualização das possíveis interferências entre processos, como apontado no depoimento a seguir.

[...] como foi na questão de organização, até para evitar acidente de trabalho, principalmente no período da infra, a gente teve uma visão totalmente diferente. Muitas vezes as máquinas estavam muito próximas das redes, o que não era adequado, mas quando você visualiza por baixo parece que está tudo certo, mas quando vê por cima, nota que precisa ser feito de uma forma diferente. Engenheiro de Produção (Estudo de Caso A).

Como forma de antever situações indesejadas tanto o Engenheiro quanto os Técnicos de Segurança destacaram que as reuniões formais e informais realizadas para alinhar os requisitos de segurança foram essenciais. É importante salientar que a equipe de segurança não participava das reuniões com o setor de planejamento e controle, como discutido na seção 5.5. Para compensar essa ausência, era realizada uma reunião semanal ou quinzenal entre o Engenheiro de Produção e o Técnico de Segurança sobre os processos a serem iniciados, os empreiteiros contratados e os recursos a serem solicitados, como apresentado no trecho a seguir.

No início de serviços, vem com a segurança e alinha a documentação e equipamentos que vai precisar, as coisas fluem melhor. Engenheiro de Produção (Estudo de Caso A).

Durante as discussões com Engenheiros e Técnicos foi perceptível a existência do *trade-off* entre recurso previsto e recurso disponível. Apesar dos recursos estarem previstos no orçamento, quando não solicitados previamente podem se tornar fatores críticos para a execução da atividade com segurança, especialmente os materiais e equipamentos de segurança. Em alguns momentos, notou-se que o tempo para a solicitação dos recursos foi curto, dando-se início às atividades sem os requisitos de segurança necessários. Por exemplo, o caso da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), em que o prazo para a solicitação dos escoramentos não foi suficiente, como apontado pelo Gestor de Produção.

Se a segurança se envolver antes junto com o planejamento de obras, ela vai expor as dificuldades, os materiais e equipamentos que precisam ser desenvolvidos, logo, vai influenciar no planejamento antes do que no pós. No planejamento de curto prazo, dependendo das atividades, os riscos não atendem e são muitos mais impactantes do que se imagina. Como no caso do planejamento da ETE, não é possível desenvolver o procedimento de segurança em uma ou duas semanas, existem outras atividades envolvidas como a escavação da estação elevatória, espaço confinado, que precisam ser planejadas com maior antecedência (Gestor de Produção - Estudo de Caso A).

A percepção do Gestor de Produção deixa implícito que a integração com o planejamento de curto prazo (uma ou duas semanas) não é suficiente para atender às demandas de segurança, especialmente para serviço de maior complexidade. Portanto, é preciso que os técnicos de segurança sejam envolvidos no planejamento de médio e longo prazos, visando a ter tempo hábil para eliminar as restrições necessárias. Além disso, o Gestor de Produção relatou ter usado as informações fornecidas no monitoramento para comparar as proteções coletivas das diferentes formas de alumínio utilizadas pela empresa e, em seguida, adquirir adaptações que garantam uma maior segurança ao trabalhador nos futuros projetos. É importante destacar que esse tipo de antecipação só é possível com o envolvimento da alta direção e de profissionais com uma visão ampla do processo, capazes de propor solução em longo prazo.

A habilidade **de aprender** refere-se ao aprendizado com as práticas diárias. Assim, busca-se por meio da aplicação do conhecimento adquirido promover melhorias no processo durante sua execução, como mostra o depoimento a seguir.

Na parede ele [o monitoramento com VANT] foi essencial na mudança do processo até chegar no processo correto, principalmente, nas questões referentes à linha de vida e ao guarda-corpo. Em projeto, a linha de vida era totalmente coerente e aceitável, mas quando vinha o *drone*, tudo aquilo que era acertado muitas vezes não ocorria como a gente esperava (Engenheiro de Produção - Estudo de Caso A).

Neste depoimento, o Engenheiro de Produção pontua que as alterações do processo ocorreram a partir do monitoramento de como o trabalho ocorre na prática, favorecendo o aprendizado. É importante discutir que, embora o monitoramento contínuo tenha colaborado no aprendizado dos processos, tornar esse aprendizado uma lição prática requer um maior envolvimento da alta direção. Isso se deve ao fato de que, quando iniciadas as atividades, as mudanças no processo se tornam cada vez mais difíceis devido à ausência de folgas no planejamento e às metas de produção.

Outras práticas voltadas à promoção do aprendizado foram visualizadas, tais como o uso das fotos e vídeos para treinamento dos montadores, discussões em DSS e SIPAT sobre as condições de segurança no canteiro e as melhorias necessárias. Segundo a percepção dos entrevistados, as fotos e vídeos são úteis para treinamentos e capacitações, uma vez que evidenciam de forma clara os perigos em que os trabalhadores estão expostos e a importância das medidas de segurança. Entretanto, apesar do seu potencial, não foram utilizadas pelos técnicos nos treinamentos de segurança devido à ausência de recursos audiovisuais (*notebook*, TV ou projetor) para apresentá-los aos trabalhadores. Os DSS, por se tratar de um momento de discussão semanal, desempenha um papel de caráter informativo na rotina de segurança. Segundo relatos dos Técnicos de Segurança, a discussão dos itens não conformes e das boas práticas identificadas durante a inspeção com VANT foi incluída na rotina dos DSS.

Ao analisar com mais detalhes a recorrência dos itens não conformes (Tabela 7), percebeu-se que 18 dos 35 itens registrados como não conformes ocorreram apenas uma vez, indicando uma eficácia 51% na correção. Apesar do caráter reativo, é importante destacar a prontidão da equipe na resolução de tais questões.

Tabela 7 - Resumo das recorrências do Estudo de Caso A

Total de itens avaliados não conformes	Total de itens que registraram uma ocorrência	Total de itens que registraram duas ocorrências	Total de itens que registraram três ou mais ocorrências
35	18	7	10

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Para os itens recorrentes, observou-se que 7 itens foram corrigidos na segunda ocorrência. Porém, **10 itens registraram três ou mais ocorrências** (70% das não conformidades), o que representa a dificuldade de ações efetivas e, consequentemente, de aprendizado.

Ao avaliar a evolução do desempenho dos requisitos de segurança (Quadro 24), nota-se que embora o monitoramento com VANT tenha contribuído para tornar o processo de decisão mais consciente, é perceptível que alguns itens tiveram maior dificuldade de correção. Por exemplo, os itens referentes à carpintaria e baia para materiais se mantiveram não conformes por um longo tempo, sendo finalmente corrigidos após este período.

Quadro 24 - Acompanhamento da evolução da não conformidade – Estudo de Caso A

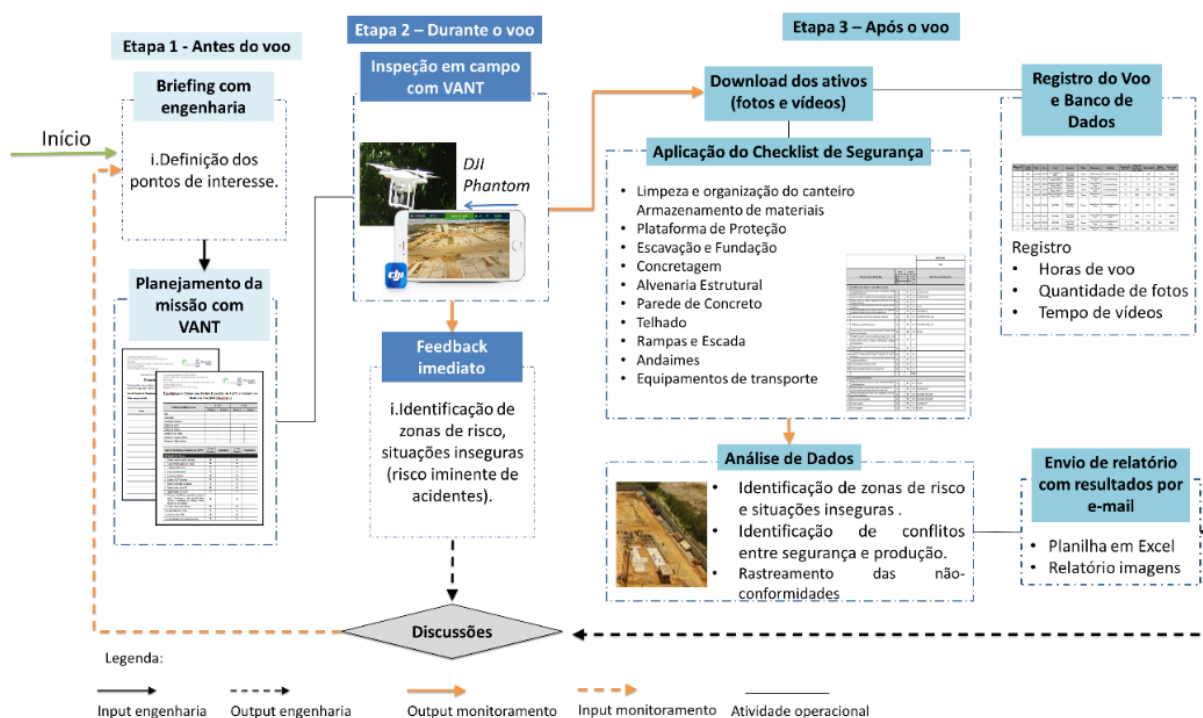
Itens	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
Carpintaria com cobertura adequada que proteja contra queda de materiais																																				
Trabalhadores usando EPI's permanentes.																																				
Existe isolamento na área de escavações																																				
As baias para areia e brita têm contenção em três lados																																				
Vãos internos com SPCQ																																				
Vãos do poço do elevador com SPCQ.																																				
Trabalhador utilizando cinto de segurança ligado a linha de vida independente																																				
Proteções de periferia estão completas e instaladas de forma adequada.																																				
As aberturas na laje da cobertura têm fechamento provisório capaz de evitar a queda pessoas/ objetos																																				
Durante a execução do lajão, os funcionários utilizando EPI's																																				

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

5.2.3 Protocolo para monitoramento da segurança com VANT

Ao final do Estudo de Caso A, foi proposto um protocolo para monitoramento da segurança com VANT, estruturado em três etapas: (a) processo de planejamento do monitoramento, (b) coleta de dados em campo, e (c) processamento e análise dos dados (Figura 42), sendo cada etapa fracionada em atividades menores.

Figura 42 - Protocolo para monitoramento com VANT



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A primeira etapa do protocolo, realizado antes do voo, busca por meio do **briefing com a equipe de engenharia e segurança** conhecer as atividades que estão sendo realizadas e as ações corretivas tomadas na semana anterior. O **planejamento de missão** visa a sistematizar o processo de coleta de dados por meio da definição prévia dos locais com atividades a serem monitoradas, estabelecendo a melhor localização para decolagem e pouso da aeronave. Esta etapa contempla uma lista de verificação com procedimentos para decolagem e pouso da aeronave (Anexo 3) (IRIZARRY; COSTA; KIM, 2015b; MELO, 2016).

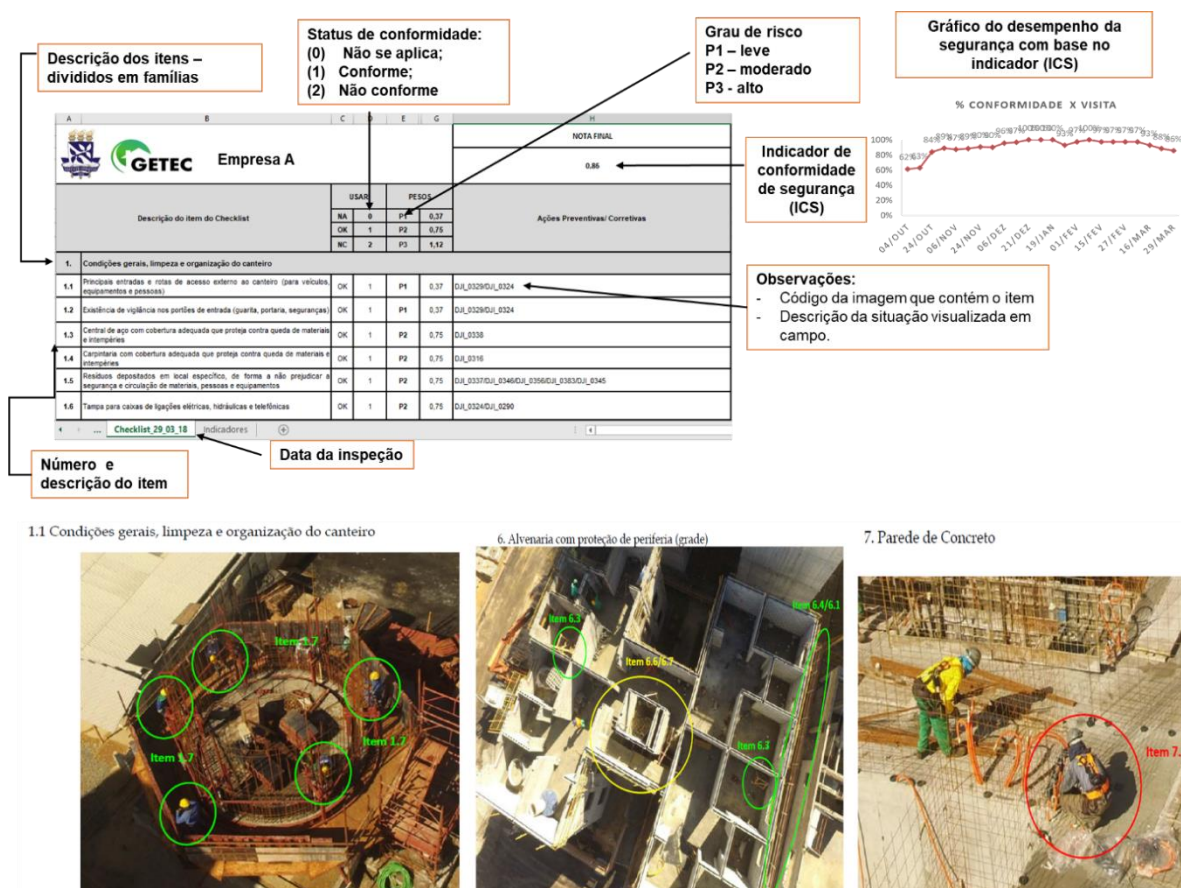
Na segunda etapa do protocolo, é realizado o monitoramento da segurança com o uso do VANT. A **inspeção em campo com VANT** busca avaliar os requisitos de segurança por meio da transmissão de dados em tempo real na tela do celular, sendo todas as situações registradas (conformidade e não conformidade) por meio de fotos

e vídeos. O **feedback imediato** consiste na comunicação das situações inseguras e não conformes com o técnico responsável, buscando agilizar a tomada de ação para correções imediatas.

A terceira etapa do protocolo, baseia-se na análise dos dados e confecção do relatório após o voo. Após o voo, buscou-se **discutir as condições de segurança com os técnicos e engenheiros**, priorizando as situações que necessitavam de uma ação corretiva ou preventiva. Em laboratório era realizado o **download das imagens e vídeos**, dando-se início à **aplicação do checklist de segurança e análise de dados**. Os resultados das observações eram registrados no *checklist* de segurança (planilha em Excel) usando os seguintes critérios: (0) não se aplica, (1) conforme ou (2) não conforme. Ao final, o indicador de conformidade referente à inspeção do dia era calculado.

Finalizada a etapa de Análise de dados, era realizado o **envio do relatório** destacando as situações conformes e não conformes, como apresentado na Figura 43.

Figura 43 - Relatório de Segurança – Estudo de Caso A (preenchimento manual)



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Na terceira etapa, as informações referentes aos voos foram arquivadas na planilha *Flight Log Data Base*, como proposto por Irizarry, Costa e Kim (2015b) e Melo (2016). O **banco de dados de segurança** era armazenado em planilha Excel para análises futuras de desempenho.

Com base nas percepções coletadas no Estudo de Caso A, propôs-se um conjunto de ações visando à construção do modelo de monitoramento com VANT à luz da ER e a facilitar a integração do mesmo ao SGS da empresa. Do ponto de vista tecnológico, foi proposto o desenvolvimento de um protótipo de sistema de inspeção informatizado (*SMART INSPECS*). Esse sistema teve como principal motivação agilizar o processo de coleta e processamento dos dados e simplificar o relatório de inspeção de segurança. Segundo a perspectiva de segurança, acordou-se com a equipe de gestão de segurança da empresa, a necessidade de maior envolvimento dos profissionais de segurança e produção na análise e discussão dos resultados nos Estudos de Caso B e C.

5.2.4 Contribuições do Estudo de Caso A para a construção do modelo

As lições aprendidas a partir da revisão da literatura e dos resultados do Estudo de Caso A conduziram à definição de um conjunto de proposições teóricas sobre como o monitoramento com VANT pode contribuir para o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência.

Com relação à **habilidade de monitorar**, o monitoramento com VANT:

- promove a observação do trabalho a partir de diferentes perspectivas (ângulos e alturas diferentes);
- permite identificar dentro do escopo observado, as situações que necessitam de uma resposta ou intervenção;
- corrobora com o aumento da conscientização das condições de trabalho, evidenciando as práticas informais realizadas para a manutenção e continuidade da execução dos processos.

Com relação à **habilidade de responder**, o monitoramento com VANT:

- fornece informações em tempo hábil dando suporte ao processo de tomada de decisão (ações imediatas, corretivas e preventivas);

- favorece o trabalho colaborativo entre equipes por meio de reuniões para a proposição soluções.

Com relação à **habilidade de aprender**, o monitoramento com VANT:

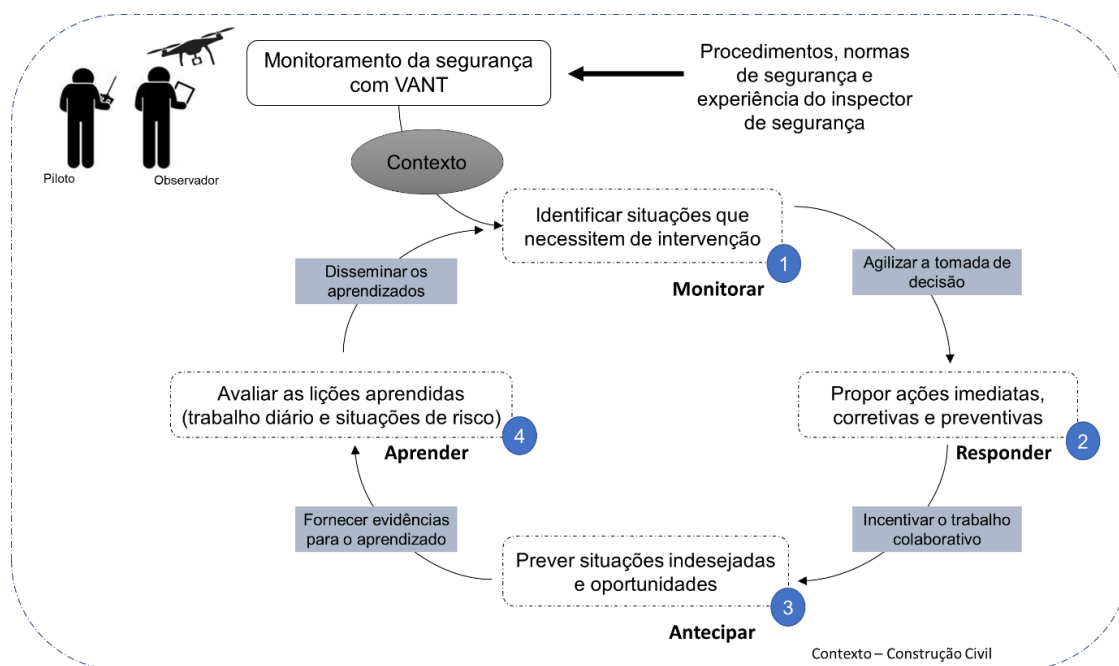
- permite extrair o aprendizado das experiências de sucesso, bem como das falhas e situações indesejadas;
- facilita a disseminação dos resultados do monitoramento por meio de discussões e relatório de inspeção de segurança.

Com relação à **habilidade de antecipar**, o monitoramento com VANT:

- fornece informações para o planejamento da segurança e do canteiro visando a melhoria das condições de trabalho;
- favorece a análise das informações a partir de diferentes pontos de vista (profissionais de segurança e de produção).

A partir do aprendizado obtido no Estudo de Caso A, entende-se que o monitoramento da segurança com VANT pode dar suporte ao desenvolvimento de ações que visem a um desempenho resiliente. Neste sentido, a Figura 44 apresenta um esquema para o entendimento das interações entre o monitoramento da segurança com VANT e os potenciais para resiliência (Figura 44).

Figura 44 – Esquema das contribuições do monitoramento da segurança com VANT para o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência (Estudo de Caso A)



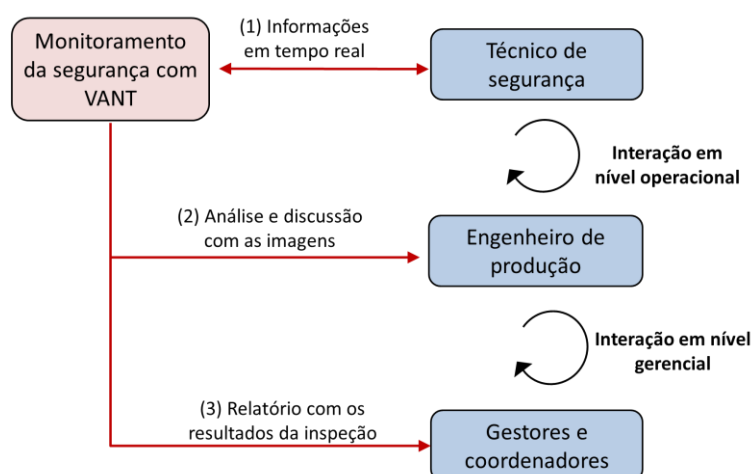
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

No esquema proposto, o monitoramento contínuo das condições de segurança tem como propósito estabelecer rotinas de observação e coleta de dados destacando os pontos que precisam de intervenção. A habilidade de **monitorar** contribui para o aumento da conscientização do estado das condições de segurança e da logística do canteiro. Com base no aparato tecnológico de transferência de dados entre a aeronave e o dispositivo de controle em tempo real, o piloto consegue avaliar as condições de segurança fornecendo informações para agilizar a tomada de decisão.

As intervenções necessárias podem ser de caráter imediato, corretivo ou preventivo e buscam corroborar com o ajuste de desempenho, a fim de manter os limites aceitáveis para a execução do trabalho de forma segura. Entretanto, as evidências coletadas em campo mostram que a habilidade de **responder** depende da capacidade da equipe de gestão de “saber como” e “quando agir”, uma vez que, a tecnologia facilita apenas a identificação dos pontos “onde agir”. Com base nos 35 monitoramentos realizados, compreendeu-se que as discussões e *feedbacks* após o voo promovem ações mais conscientes, favorecendo a colaboração entre diferentes profissionais em busca da solução mais adequada para a situação.

Nesse contexto, é importante entender como o envolvimento entre os usuários acontece nos três níveis hierárquicos estudados (técnico de segurança, engenheiro de produção e alta direção – coordenadores e gestores), apresentado na Figura 45.

Figura 45 - Processo de interação durante a aplicação do modelo



Fonte: A autora (2020).

Durante o monitoramento, o fornecimento de informações sobre as condições de segurança do canteiro ocorre em três momentos distintos, sendo eles: (a) em tempo real, sempre que o técnico acompanhar a inspeção, (b) após o voo, utilizando as fotos

e vídeos coletados em campo durante a análise e discussões do resultado com o engenheiro de produção, e (c) após a inspeção, por meio do envio do relatório com os resultados para todos os envolvidos no projeto, incluindo os coordenadores e gestores. Essas etapas atuam como mecanismos de conscientização das condições de segurança para todas as pessoas envolvidas no projeto, influenciando na interação e nas ações de resposta.

Com base nas observações, destaca-se que o não envolvimento de um dos agentes influencia diretamente na proposição de uma resposta assertiva, uma vez que, o acompanhamento da inspeção pelo técnico possibilita uma ação imediata em caso de risco iminente e para situações de menor complexidade. Ao envolver o engenheiro, tem-se uma melhor interação entre as equipes de segurança e produção do canteiro, favorecendo a proposição de ações conjunta de correção e prevenção das situações identificadas. Por fim, o relatório traz como impacto o aumento da interação entre a equipe do canteiro (técnicos e engenheiros) e a gerência (gestores e coordenadores). Dessa forma, a gerência, ao ter mais acesso às informações sobre a rotina do canteiro, atua com maior frequência na proposição de soluções e no controle sobre o andamento das atividades.

A **habilidade de aprender** é essencial para o desenvolvimento de novos conhecimentos. Como era esperado, os resultados dos 35 monitoramentos apontam que o monitoramento com VANT possibilita a coleta de informações sobre situações de não conformidades, favorecendo o aprendizado com as falhas (*Safety-I*). Além de facilitar a identificação das práticas informais e adaptações que contribuem para a manutenção da segurança e dos processos produtivos (*Safety-II*).

Com relação à **habilidade de antecipar**, as entrevistas e observações evidenciaram que é possível utilizar as informações fornecidas para propor estratégias que favorecem a melhor acomodação das demandas de produção e segurança, a compreensão das lacunas entre o trabalho realizado e o imaginado e o estudo de interferências entre processos.

A seguir, são apresentados os resultados dos Estudos B e C, levando-se em consideração as proposições discutidas nesta seção.

5.3 ESTUDOS DE CASO B e C

Para o desenvolvimento e refino do modelo, foram realizadas 55 inspeções de segurança, sendo **34 inspeções** no período de novembro/2018 a outubro/2019 no Estudo de Caso B e **21 inspeções** no período de maio a outubro/2019 no Estudo de Caso C. Para ambos estudos, foi estabelecido que a periodicidade de inspeção seria semanal, porém, houve semanas em que não foi possível realizar os voos devido às limitações climáticas, feriados e parada para a manutenção do equipamento. Em média, assim como no Estudo e Caso A, a periodicidade das inspeções foi de **3,0 inspeções por mês**.

É importante destacar que no Estudo de Caso B, alguns entraves dificultaram o desenvolvimento do modelo no início do projeto, sendo eles: a ausência de técnico de segurança nos primeiros quatro primeiros meses (Estudo B) e o planejamento de médio e curto prazos desatualizados (Estudo B). Apesar da chegada do técnico no final de mês de fevereiro, a alta demanda de tarefas impossibilitou a participação do mesmo no processo de monitoramento com VANT. Além disso, o engenheiro da obra alocado neste período foi pouco receptivo quanto às discussões e ao uso das informações.

Por razões internas da empresa, em meados do mês de abril de 2019 houve uma mudança em toda equipe administrativa da obra (Estudo B) e a nova equipe de produção e segurança foi integrada ao projeto de monitoramento da segurança com VANT. Apesar das dificuldades enfrentadas, a nova equipe foi receptiva quanto ao uso das informações para as melhorias dos processos, sendo orientado ao técnico o acompanhamento de todas as inspeções de segurança com VANT. O técnico do Estudo B acompanhou a maioria das inspeções realizadas, o que favoreceu a análise em conjunto das situações identificadas e a correção imediata das mesmas. Antes e depois dos voos foram realizadas discussões com o engenheiro sobre as condições de segurança do canteiro. O engenheiro e o técnico se reuniam para discutir os resultados e propor as medidas corretivas e preventivas.

No estudo de caso C, quando iniciada a implementação do modelo, a obra estava finalizando o serviço de fundação, dando início ao processo de parede de concreto. As equipes de produção e segurança tiveram uma boa receptividade para a implementação do modelo e uso das informações, apesar do técnico de segurança

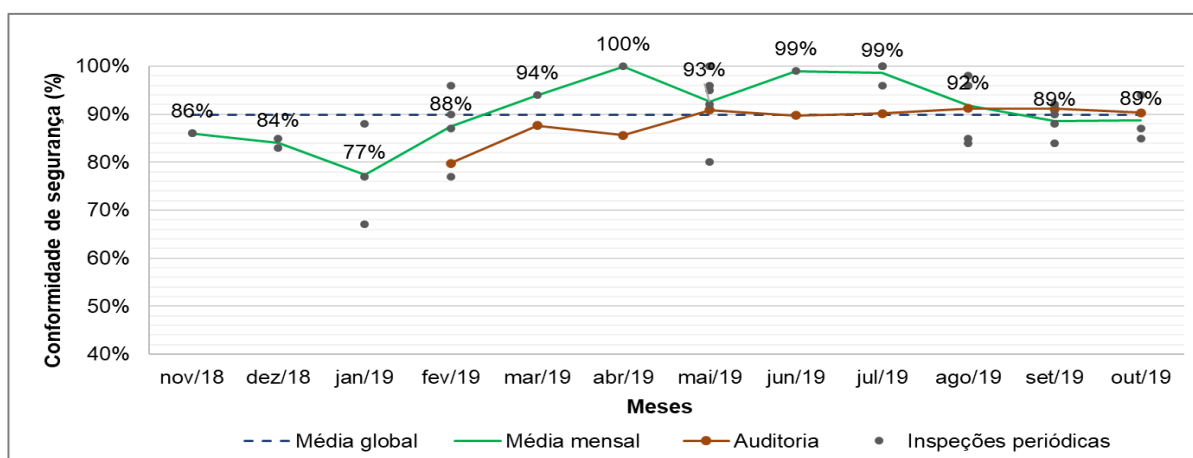
não ter disponibilidade para acompanhar as inspeções realizadas com VANT. Após a etapa de inspeção os pesquisadores discutiam, de forma breve, os resultados com o técnico de segurança. Em seguida, os resultados eram discutidos com o engenheiro de produção com base nas fotos e vídeo na sala da engenharia. O engenheiro e o técnico de segurança se reuniam para propor as soluções corretivas e preventivas com base nos itens levantados.

Segundo os resultados, dos 105 itens que compõem o *checklist* **78 itens foram monitoramentos no Estudo B e 71 itens foram monitorados no Estudo C**, representando o uso efetivo de 74% e 68% do *checklist*, respectivamente. No geral, em média **33 itens foram monitorados por inspeção**.

Para o Estudo de Caso B foram verificados um total de **1.105 requisitos de segurança**, dos quais **91% foram classificados como conforme** (1.003 itens) e **9% como não conforme** (102 itens). Enquanto isso, no Estudo de Caso C foram inspecionados um total de **722 itens de segurança**, sendo **88% classificados como conforme** (637 itens) e **12% classificados como não conformes** (88 itens). Os resultados apontam que o Estudo C obteve em proporção um maior percentual de não conformidade quando comparado aos Estudos de Caso A e B.

As Figuras 46 e 47 apresentam a evolução do desempenho ao longo das inspeções de segurança. Para os Estudos de Caso B e C, os resultados de conformidade coletados com o VANT foram comparados ao indicador de auditoria de segurança mensal calculado pela empresa, como apresentado a seguir.

Figura 46 – Indicador de conformidade de segurança mensal (Estudo de Caso B)



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Ao longo dos 12 meses de monitoramentos foram realizados no Estudo de Caso B 35 monitoramentos, registrando um total de 102 não conformidades (3 não conformidades por inspeção). A média global de conformidade foi de 90%, representando um desempenho positivo no cumprimento dos itens de segurança. Ao observar o comportamento da média mensal, verifica-se que nos quatro primeiros meses o desempenho mensal esteve abaixo da média global, entretanto, nesse período a obra não tinha técnico de segurança para planejar e acompanhar os requisitos de segurança.

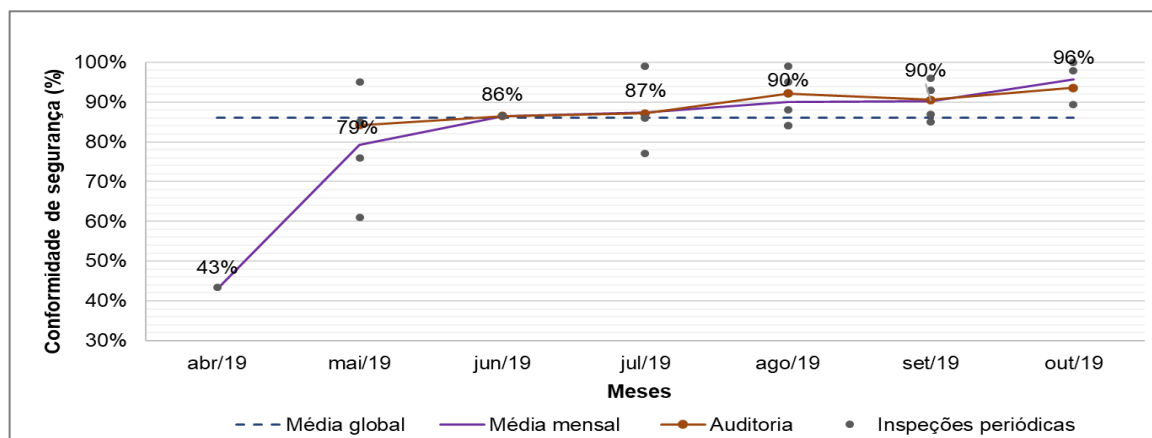
Assim, como no Estudo de Caso A, verificou-se nos três primeiros meses uma concentração das não conformidades em relação às instalações provisórias (fase de mobilização do canteiro) e à ausência de sinalização e isolamento do canteiro na fase de fundação e escavação de rede. Durante a fase da parede de concreto (maio a outubro) percebe-se uma maior variação de desempenho devido às falhas no sistema de proteção contra queda. No mês de outubro, as não conformidades nas atividades de instalação do telhado e revestimento externo do bloco PNE (andaime suspenso) impactaram na redução da média mensal, ficando abaixo da média global.

O indicador de conformidade de auditoria passou a ser realizado com a chegada do técnico em meados de fevereiro. Ao observar seus resultados, nota-se que para a maioria dos meses o desempenho calculado na auditoria foi menor do que o desempenho da inspeção com VANT. Esta diferença se deve ao fato de o indicador de auditoria também incluir itens internos e documentação, aumentando o escopo de verificação e, conseqüentemente, detectando uma maior quantidade de não conformidades.

No Estudo C foram realizados 21 monitoramentos identificando um total de 85 não conformidades (quatro não conformidades por inspeção). A média global de conformidade foi de 86%, conforme apresentado na Figura 47.

Os dois primeiros meses apresentaram média mensal abaixo da média global, resultado da ausência de sinalização e isolamento do canteiro na fase de fundação e escavação de redes. No período de maio a setembro, as principais atividades foram parede de concreto e alvenaria estrutural, registrando não conformidades relacionadas à falha no uso dos SPCQ, como identificado nos demais estudos de caso.

Figura 47 – Indicador de conformidade de segurança mensal (Estudo de Caso C)



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Entretanto, apesar da menor média global e maior quantidade de não conformidade por inspeção, percebe-se na Figura 47 uma melhoria de desempenho ao longo dos meses. Além disso, observa-se que o indicador de auditoria se manteve próximo a média mensal - inspeção com VANT, ambos com comportamento ascendente, indicando o resultado positivo do esforço da equipe no cumprimento dos itens de segurança e melhoria das condições de trabalho.

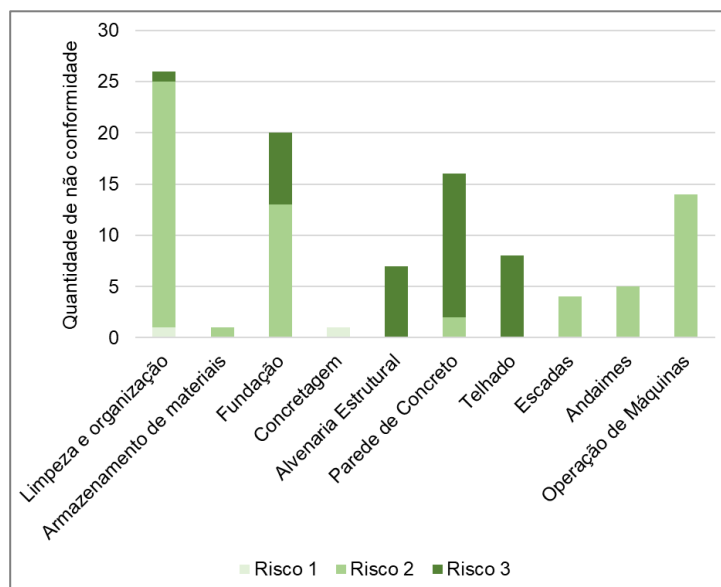
5.3.1 Análise das não conformidades - perspectiva *Safety-I*

Os dados coletados nos Estudos de Caso B e C foram analisados segundo a perspectiva *Safety-I*, visando a investigar as proposições levantadas no Estudo A.

- Análise por tipo de categoria e grau de risco

As Figuras 48 e 49 apresentam a distribuição das não conformidades por categoria segundo o grau de risco para os Estudos B e C.

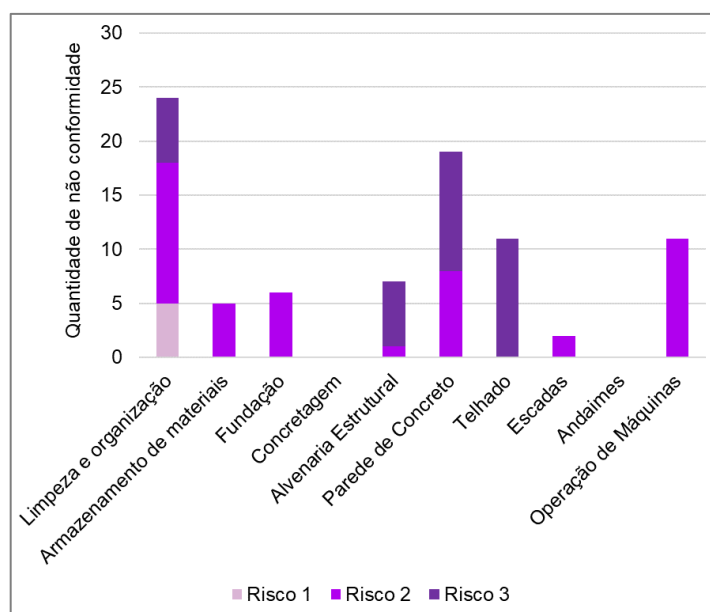
Figura 48 - Distribuição das não conformidades por categoria e por grau de risco (Estudo B)



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Em relação ao Estudo de Caso B (Figura 48), observa-se que as categorias de limpeza e organização, fundação e operação de máquinas tiveram uma maior concentração de notificações referentes ao grau de risco 2 (exposição moderada).

Figura 49 - Distribuição das não conformidades por categoria e por grau de risco (Estudo C)



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Enquanto, para o Estudo de Caso C (Figura 49), nota-se que as categorias de limpeza e organização do canteiro, parede de concreto e operação de máquinas tiveram uma elevada concentração de não conformidade de grau de risco 2. De modo geral, os resultados indicam que para a tipologia estudada, as categorias de alvenaria

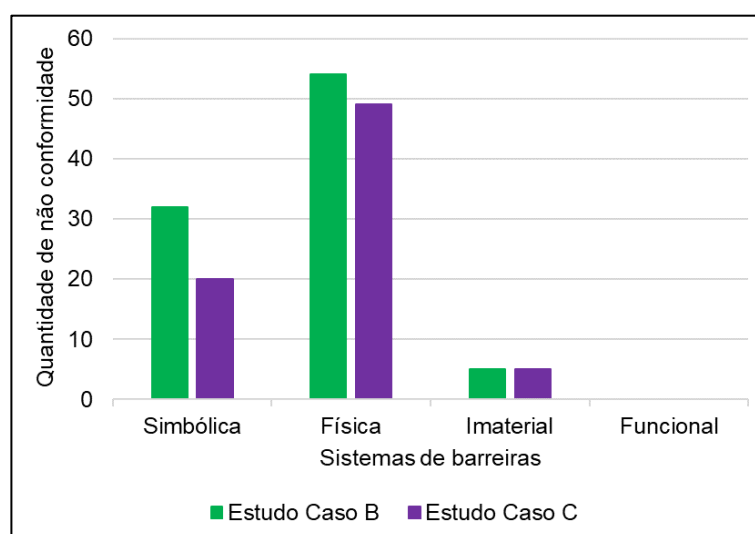
estrutural, parede de concreto e telhado apresentaram elevadas ocorrências de não conformidades referentes ao grau de risco 3 (exposição elevada), sendo consideradas de maior risco.

Em comparação com o Estudo A, notou-se nos Estudos B e C uma maior quantidade de não conformidades de grau de risco 2 para a categoria de operação e máquinas. Esse resultado pode ser atribuído à deficiência das práticas de sinalizações e isolamento durante a carga e descarga dos materiais. Por outro lado, verificou-se nos Estudos de Caso B e C uma redução das não conformidades nos processos de parede de concreto e alvenaria, resultado de melhorias do processo e de controle.

- Análise segundo os sistemas de barreira

A Figura 50 apresenta a distribuição dos itens não conformes para ambos estudos segundo os sistemas de barreiras associados.

Figura 50 - Distribuição das não conformidades segundo os tipos de barreiras (Estudos de Caso B e C)



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

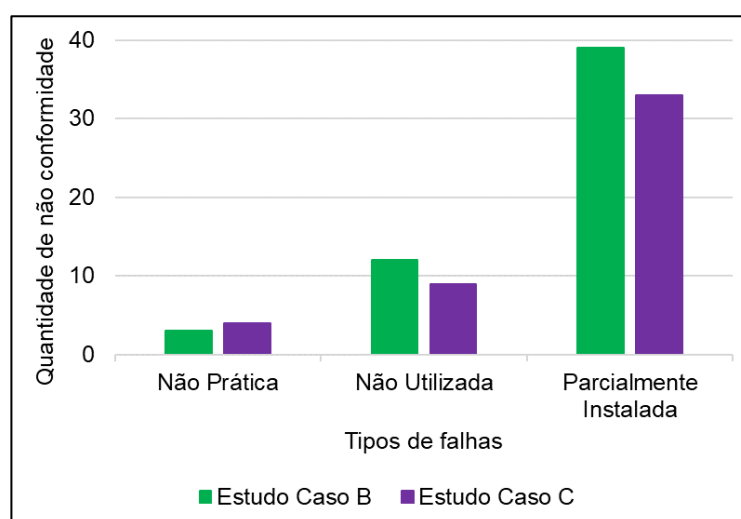
A partir da análise dos resultados observa-se que maioria das não conformidades estão associadas às falhas do sistema de barreira física e, em segunda posição, ao sistema de barreira simbólica, como também observado no Estudo de Caso A. Ao comparar os estudos, nota-se um padrão de distribuição, justificado por possuírem a mesma tipologia e adotarem as mesmas práticas de gestão.

Em vista dos resultados, verificou-se que o modelo tem como limitação a dificuldade de inspecionar os sistemas de barreiras do tipo funcional. Seu uso também tende

a ser restrito para a inspeção de sistemas de barreira imaterial, sugerindo a combinação do VANT com outras fontes de evidências e tecnologias. Por outro lado, o VANT pode ser facilmente aplicado para inspeção de barreiras físicas e simbólicas em ambientes externos.

Ao analisar as barreiras físicas segundo os tipos de falhas (Figura 51), verificou-se que a maioria das falhas são classificadas como parcialmente instaladas. Ou seja, as proteções físicas não foram instaladas de forma adequada para que a barreira cumpra a sua função em circunstância de um eventual acidente. Como, por exemplo, o sistema de guarda-corpo instalado em apenas uma face da periferia da laje.

Figura 51 - Distribuição das não conformidades segundo os tipos de falhas



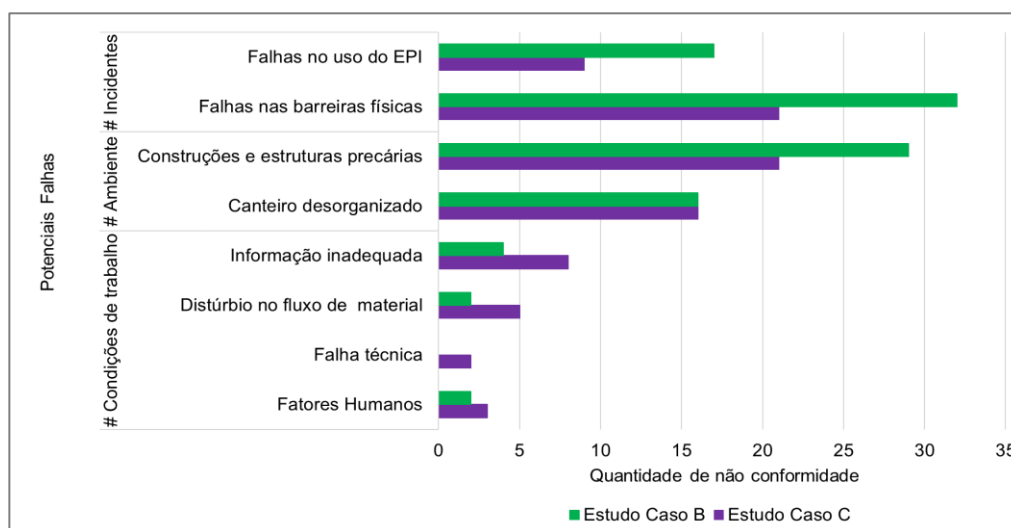
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Os resultados dos Estudos de Caso B e C apresentaram um padrão de distribuição semelhante, com predominância das barreiras parcialmente instaladas, enquanto no Estudo de Caso A, a maioria das barreiras físicas foram classificadas como “não utilizada”. Esse resultado indica que houve uma mudança na postura da empresa indicando aprendizado, porém, esse aprendizado ainda não foi totalmente efetivo.

- Análise de potenciais falhas das não conformidades

Com base nos dados coletados também foi realizada a análise das não conformidades segundo potenciais falhas (Figura 52).

Figura 52 - Potenciais falhas das não conformidades (*Checklist* SMORT – 1ª camada)



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Ao comparar os resultados dos Estudos de Caso A, B e C, as principais falhas foram: (1) o uso inadequado do EPI, (2) as proteções físicas incompletas ou não instaladas e (3) as construções e estruturas precárias. Esse resultado chama a atenção para a necessidade de mudança nas práticas de gestão por parte da empresa para redução ou eliminação das possíveis causas. Além disso, durante as inspeções verificou-se as mesmas falhas nas instruções de trabalho relacionado à liberação do serviço telhado, como apresentado na Figura 35 (Estudo de Caso A). Essa recorrência evidencia que o fato registrado no Estudo A não gerou melhorias nos Estudos B e C.

5.3.2 Análise dos mecanismos e práticas - perspectiva *Safety-II*

De forma análoga ao Estudo de Caso A, buscou-se para os Estudos de Caso B e C apresentar os mecanismos e as práticas identificadas por meio do monitoramento com VANT e fontes de evidência complementares.

5.3.2.1 Mecanismos e práticas – nível operacional

- Análise das condições gerais de segurança

Como destacado no Estudo de Caso A (seção 5.3.3), foram observados nos Estudos B e C os mecanismos e práticas que contribuem para um desempenho resiliente. Para simplificação dos dados foi realizado uma análise comparativa entre as práticas identificadas no Estudo A e nos Estudos B e C, conforme apresentado no Quadro 25.

Quadro 25 - Mecanismos e práticas observadas durante as inspeções (comparativo)

Prática	Estudo A	Estudo B	Estudo C
Mecanismos - manutenção ou criação de boas condições de trabalho			
Acessos e rotas internas de veículos e máquinas bem definidos, visando a facilitar as operações de carga e descarga	✓	✓	✓
Definição e planejamento dos acessos e rotas internas para tráfego de pedestre independente, especialmente para aqueles não envolvidos nas atividades de campo	✓	✗	✓
Armazenamento dos resíduos em baias específicas segundo o PGRCC da obra	✓	✓	✓
Coleta dos resíduos conforme demanda	✓	✗	✗
Distribuição dos materiais a granel nas periferias do canteiro, garantindo espaço para o trânsito de pessoas e equipamentos, sendo disponibilizados no local de trabalho quando necessário	✓	✓	✗
Isolamento dos materiais estocados em canteiro para evitar fluxo de pessoas	✓	✓	✗
Posicionamento das instalações provisórias no início da obra (áreas de vivência e para armazenamento de materiais), em áreas que não necessitem de reposicionamento ao longo das fases da obra	✓	✓	✓
Mecanismo - compensação			
Uso de estruturas de madeira ou guarda-corpo metálico para isolamento em áreas de escavação e sinalização de áreas com serviço em altura, em substituição às telas de segurança	✓	✓	✓
Mecanismo - evitando problemas futuros			
Uso adequado das proteções coletivas e individuais nos serviços de concretagem, andaime suspenso e hélice contínua, justificado pela experiência dos profissionais	✓	✓	✓
Conscientização dos trabalhadores por meio de DSS para a manutenção das áreas de trabalho limpas e organizadas	✓	✓	✓
Trabalho colaborativo entre diferentes equipes (ex. produção, segurança, suprimentos, setor pessoal)	✗	✓	✓
Uso de <i>checklist</i> , rotinas de inspeções e procedimentos	✓	✓	✓

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Nos Estudos de Caso B e C, foram registrados problemas com a prestação de serviços de recolhimento dos resíduos, impactando na limpeza e organização do can-

teiro. Para regularizar a situação, foi realizado um novo planejamento de coleta agrupando todos os empreendimentos do complexo a fim de aumentar o volume de resíduo a ser coletado, tornando-o mais atrativo para a cooperativa. Enfim, a solução surgiu através do trabalho colaborativo entre as equipes dos empreendimentos da empresa.

Outro ponto a ser destacado foi a dificuldade de logística e armazenamento de materiais enfrentada no Estudo de Caso C, justificado para *layout* de canteiro mais restrito (16.091 m²), quando comparado aos Estudos A (22.800 m²) e B (19.524 m²). Para contornar a restrição de espaço, os materiais que necessitaram de uma maior área para armazenamento (por exemplo, as telas de aço) foram estocados em um ponto único do canteiro, sendo disponibilizados no local de serviço conforme a demanda (Figura 53). Apesar de demandar uma maior movimentação dos materiais, essa foi a melhor resposta tendo em vista as limitações de espaço do canteiro.

Figura 53 - Distribuição das telas de aço no Estudo de Caso C



Fonte: Grupo de Pesquisa Getec (2019).

É importante destacar no Estudo de Caso B, que durante a ausência de técnico de segurança a experiência do engenheiro de produção, a colaboração entre setores e os procedimentos da empresa foram fatores que contribuíram para a manutenção das operações diárias nesse período. No Estudo de Caso C, devido à elevada demanda de trabalho, a técnica relatou a importância do apoio e colaboração dos setores de suprimentos e Rh no monitoramento e controle das condições de segurança. De modo geral, percebeu-se uma maior colaboração entre as equipes nos Estudos de Caso B e C quando comparado ao Estudo de Caso A.

Por se tratar da mesma empresa, constatou-se que o uso de *checklists* e as rotinas de supervisão foram práticas que contribuíram para a evitar problemas futuros. Assim como as permissões de trabalho e análise preliminar de risco realizadas para os processos de maior risco.

- Análise de processo crítico (Parede de Concreto)

A análise de processo crítico tem o propósito de avaliar as melhorias e aprendizados em relação ao Estudo de Caso A, tendo como evidências as observações com VANT e a percepção dos trabalhadores da linha de frente. É importante destacar que o procedimento do processo de parede passou por uma revisão, porém, segundo relatos, as informações coletadas com o VANT no ciclo anterior não foram utilizadas como referência. A revisão do procedimento passou a especificar, de forma simples, as principais diferenças entre os tipos de forma de alumínio utilizados pela empresa e a sequência do processo.

Durante as inspeções, foram observadas falhas no fechamento da proteção de periferia (Figura 54), justificado pela pressão por produção e atropelamento das atividades, como discutido no Estudo de Caso A (seção 5.2.2.1).

Figura 54 - Ausência ou falhas no fechamento da proteção de periferia (Situação 01)



Fonte: Grupo de Pesquisa Getec (2019).

As situações 02 e 03 também foram registradas nos Estudos do Ciclo 2. Para a desmontagem do piso do andaime e consoles da platibanda (Situação 04), a mesma adaptação identificada no Estudo A foi identificada, como apresentado na Figura 55a. De modo geral, as adaptações realizadas pelos trabalhadores em relação à fixação da linha de vida podem ser vistas como mecanismos de compensação, uma vez que, por razões diversas, o trabalho realizado não é igual ao procedimento. Como melhoria

no processo e no procedimento em relação ao Estudo A foi observado o uso da linha de vida em “T” para a montagem dos guarda-corpos de periferia na etapa que antecede a concretagem (Figura 55b).

Figura 55 - Parede de Concreto: (a) uso de linha de vida fixada nas ancoragens da laje ou platibanda e (b) instalação da linha de vida em “T”



Fonte: Grupo de Pesquisa Getec (2019).

Outra adaptação identificada foi a pré-montagem da armadura e instalações da laje em solo, sendo realizado apenas seu posicionamento sobre a laje após a finalização da etapa de montagem da forma da laje e das proteções coletivas (Figura 56). Além do ganho de produtividade, essa prática reduziu o período de exposição ao risco de queda, uma vez que reduz o tempo em que os trabalhadores estariam realizando atividade em altura. É importante destacar que a prática de prototipagem da forma no início do processo foi realizada em todos os estudos, bem como o uso das marcações com cores e números. Essas adaptações podem ser entendidas como mecanismo para a manutenção e criação de boas condições de trabalho.

Figura 56 - Pré-montagem da armadura e instalação elétrica da laje



Fonte: Grupo de Pesquisa Getec (2019).

Para complementar a análise, buscou-se conhecer o ponto de vista do encarregado e trabalhadores da linha de frente da etapa mais crítica do processo, a montagem e desmontagem das plataformas externas, discutidas a seguir.

Ao ser questionado sobre a qualidade do treinamento realizado pela empresa para a montagem da plataforma externa, o encarregado argumentou que o treinamento foi realizado utilizando vídeos com a apresentação dos procedimentos, por exemplo, como usar o cinto e instalar a linha vida. Segundo ele, após a parte teórica foi realizada a prototipagem da forma. Nesta etapa, tendo em mãos o projeto da forma, foi executado o passo a passo de cada vão, apresentando o sequenciamento das peças e em paralelo realizando a marcação das formas.

Para os trabalhadores, tanto os treinamentos teóricos quanto os práticos são insuficientes. Um dos trabalhadores relatou ter tido apenas três treinamentos em um ano e meio trabalho. Um segundo trabalhador comentou que existe pouca evolução no treinamento, que se aborda apenas o básico e existe muita cobrança.

Para o serviço de montagem da plataforma externa só com a prática para ver os reais perigos, o treinamento não comunica, só no dia a dia para saber onde tem mais perigo e onde precisa tomar mais cuidado. Montador da plataforma externa (Estudo de Caso B)

Na visão dos montadores, a pré-montagem é importante, é o momento em que todos estão aprendendo, inclusive a engenharia. Passada a etapa de prototipagem, em caso de dúvidas os trabalhadores relataram que foi apresentado o procedimento no Estudo de Caso A, para o Estudo B eles relataram não ser necessário pois já tinham um conhecimento. Além disso, o encarregado relatou ter tido acesso ao procedimento apenas na fase de prototipagem.

Quando questionados sobre *quais as estratégias usadas para lidar com a grande quantidade e variedade de peças*, o encarregado relatou que a pintura das placas de alumínio busca orientar os montadores até que eles memorizem a sequência. Já segundo os trabalhadores da plataforma externa, ao contrário das placas das paredes e lajes, não havia nenhum tipo de marcação nas peças da plataforma, logo eles tomavam como referência o posicionamento das gravatas¹⁴. Este tipo de detalhe enaltece a ideia de que o conhecimento tácito é gerado com a prática, e mesmo o encarregado,

¹⁴ Peça responsável pela fixação dos consoles que sustentam o piso da plataforma na forma da parede de concreto.

que é o líder direto destes trabalhadores, desconhece as estratégias cognitivas utilizadas para desempenhar a atividade.

A seguir, foi perguntado *como as atividades de produção interferem no ciclo de montagem da plataforma externa*. Na visão do encarregado, não houve interferências na montagem da plataforma, enquanto para os montadores o processo produtivo fora da sequência atrapalha a fixação da linha de vida gerando adaptações para mantê-los seguros, por exemplo, a fixação do cinto nos consoles ou nos postes de linha de antes da passagem do cabo de aço destinado à fixação da linha de vida.

Além disso, eles complementaram que no outro tipo de forma existe um sistema que permite passar a corda de dentro para fora da edificação. Porém, para a forma utilizada, a ação sugerida é fixar a corda nas faquetas, peça que segundo os trabalhadores, é muito fina e por isso acaba não sendo utilizada.

Quando questionados sobre *as melhorias realizadas sob o ponto de vista de segurança*, o encarregado ressaltou que houve melhorias nos travamentos internos, uso da linha de vida em “T” e na limpeza diária após a desforma. Quando perguntados sobre *os principais riscos a que estão sujeitos*, todos relataram a preocupação com o risco de queda em altura. Para lidar com os riscos do processo, os montadores indicaram estar sempre atentos às atividades e ao ambiente de trabalho.

Ao serem inquiridos sobre *as estratégias utilizadas para lidar com as situações imprevistas*, os trabalhadores e o encarregado citaram o treinamento de emergência em caso de acidente (instruções básicas), as inspeções de rotina da forma antes da concretagem para verificar os escoramentos e a fixação das faquetas e o trabalho colaborativo, como apresentado no trecho a seguir.

Quando falta um montador, o montador que termina sua atividade antes, pega a atividade do colega que não veio para fechar o vão. Todos os montadores sabem montar qualquer cômodo. Encarregado da parede de concreto (Estudo de Caso B).

Por fim, os trabalhadores foram questionados *se a segurança interfere no processo de produção*. Na visão do encarregado, a segurança influencia na produtividade porque, às vezes quando identificadas situações inseguras, ele paralisa a montagem da forma para que o trabalhador coloque o cinto ou realize o fechamento da periferia da laje.

Essa paralisação rápida da produção para esclarecer ou corrigir alguma não conformidade, conhecida como *hot-debriefing*, é considerada um mecanismo de resiliência. Esse tipo de ação normalmente não é bem vista pelos profissionais da produção porque interfere na produtividade, porém é importante para a correção de situações simples. A partir dos resultados das entrevistas ficou claro que as adaptações geradas são mecanismos essenciais para a manutenção das operações diárias, desenvolvidos pelos trabalhadores para compensar a falta de recursos, lacunas de informações, entre outros fatores que limitam a execução do trabalho.

Após a análise comparativa entre o trabalho realizado e o imaginado, as lacunas e boas práticas identificadas foram apresentadas à empresa, juntamente à síntese dos resultados das entrevistas.

5.3.2.2 *Mecanismos e práticas - nível gerencial*

Neste ciclo buscou-se avaliar os mecanismos e as práticas gerenciais identificadas nos Estudos B e C, tendo como fontes de evidências as entrevistas realizadas com os usuários, a observação participante e os dados coletados em campo.

Com relação à **habilidade de monitorar**, em ambos os estudos, observou-se que as rotinas de inspeção com VANT integradas ao SGS contribuíram para o aumento da conscientização dos processos, em especial, as atividades de trabalho em altura e a organização e limpeza do canteiro. As informações forneceram uma nova perspectiva, gerando aumento de conhecimento sobre como o trabalho é realizado na prática, como mostra os depoimentos a seguir.

Houve casos de proteções coletivas que passam despercebidas quando você está envolvido diariamente. Mas o maior ganho está na capacidade de poder relacionar as interferências entre as atividades. Por exemplo, um trabalhador que está montando uma laje e em outro nível existe um trabalhador que está executando a forma do quarto, quando você está no mesmo nível, você não consegue perceber o perigo. Engenheiro de Produção (Estudo de Caso B).

[..] às vezes, um problema na jardineira da forma, quem está de fora não vê, mas com o VANT você tem a imagem capturada de cima e visualiza uma proteção que não foi bem colocada ou alguém que não está clipado na linha de vida. Para limpeza e organização do canteiro, dá uma amplitude das baias como estão. A percepção quando você está no mesmo nível é diferente, do que quando você está em um nível acima, é mais clara. Engenheiro de Segurança (Estudos de Caso B e C).

De modo geral, os entrevistados destacaram como atividades de maior impacto o poder de identificar interferências entre os processos, a visualização das proteções coletivas da parede de concreto e das condições de limpeza e organização do canteiro. Segundo a percepção da Coordenadora de Qualidade, as fotos deixaram claro que o procedimento não é executado da forma que está escrito e, portanto, deveria haver uma vivência prática das pessoas que escrevem o procedimento. Além de destacar o uso do relatório para extrair informações sobre a evolução das condições de segurança.

Quanto à **habilidade de responder** destacam-se os mecanismos: colaboração entre as equipes e controle. Com relação ao controle, verificou-se que os técnicos atuavam de imediato para as situações cotidianas e as situações de risco iminente de acidentes (resposta após a detecção de uma não conformidade ou situação de perigo). Para os Engenheiros de Produção, o indicador chamava a atenção da alta direção, aumentando a interação quando o indicador estava abaixo da meta. Para eles, apesar de ser positivo a participação da alta direção, isso também impactava em uma maior cobrança que nem sempre achavam justa, haja vista que o monitoramento representa uma captura instantânea das condições do canteiro.

Para o estudo de Caso B, tanto o técnico de edificações quanto o encarregado relataram a paralisação das atividades da parede de concreto para discussão das condições de segurança e correção de situações inseguras com os trabalhadores (*hot-debriefing*), como também observado no Estudo de Caso A.

Para o mecanismo de colaboração entre equipes, percebeu-se que as reuniões periódicas realizadas pelos Engenheiros de Produção e Técnicos de Segurança foram essenciais para a proposição de ações corretivas e preventivas em conjunto. No Estudo de Caso B, notou-se uma maior participação de profissionais de diferentes níveis hierárquicos (auxiliar de engenharia, encarregado, mestre e técnico de segurança) na resolução das não conformidades. Para ambas as obras, percebeu-se que os engenheiros deliberavam as ações por equipes de produção, em que cada equipe atuava em conjunto com o técnico de segurança na resolução dos pontos identificados, como apresentado no depoimento a seguir.

Todos os pontos que foram pontuados, automaticamente eu que trabalho na forma, ia com o encarregado atuar nas correções (...). Quem me passava as informações era o engenheiro de produção e muitas vezes o técnico já tinha me passado as informações onde era preciso atuar, antes de vocês enviarem o relatório. Auxiliar de Engenharia (Estudo de caso B).

Em relação ao plano de ação, foi observado que as ações eram priorizadas segundo a gravidade, propondo ações corretivas a fim de evitar a recorrência. Além disso, foi verificado que, embora todos estivessem cientes das não conformidades e situações que necessitavam de intervenção por meio do relatório de inspeção, a equipe gerencial nem sempre tinha o conhecimento das ações tomadas na obra para a resolução dos mesmos, uma vez que o plano de ação não era enviado para todos os intervenientes, como pontuado no Estudo de Caso A. Esta situação levantou a discussão sobre a necessidade de integrar o plano de ação ao relatório de inspeção nos futuros trabalhos, a fim de todos terem consciência das ações tomadas.

Na esfera gerencial, embora tenham relatado que a interação entre equipes aumentou a partir dos monitoramentos, notou-se que os Gestores atuaram de forma mais efetiva junto às suas respectivas equipes. Com relação aos trabalhadores, foi relatada maior participação dos mesmos na proposição de soluções e melhoria do processo de parede de concreto, conforme depoimentos.

Minha equipe sempre teve uma boa interação, várias soluções em relação ao uso da linha de vida foram propostas pelos trabalhadores, a gente validava, fazia um modelo e um teste para ir acompanhando. Engenheiro de Produção (Estudo de Caso C).

Vamos fazer uma reforma nas proteções coletivas das formas e pedimos para os trabalhadores avaliarem as formas que estão adequadas ou não para o uso. Isso não é uma rotina, mas estamos buscando aumentar a participação dos trabalhadores. Engenheiro de Segurança (Estudos de Caso B e C).

De modo geral, observa-se que apesar das iniciativas criadas para o maior envolvimento dos trabalhadores, é preciso romper paradigmas e criar oportunidades para o desenvolvimento da atuação do trabalhador, independente do uso de tecnologia digitais.

Para a **habilidade de antecipar**, os mecanismos identificados foram: o planejamento e a experiência profissional. Com relação ao planejamento, as reuniões formais e informais tiveram impacto positivo na solicitação de recursos com brevidade visando

a garantir as condições mínimas para o início da atividade. Em alguns casos foi constatada a ausência de materiais e equipamentos, justificada pelo curto prazo de solicitação, por exemplo, as telas para isolamento das fundações no estudo de caso B.

Além disso, segundo o Engenheiro de Segurança, a equipe propõe medidas preventivas nas reuniões de planejamento, mas ainda existem mais ações corretivas do que ações preventivas. De modo geral, o uso das informações para planejamento e mudança de processo foi algo sutil, tendo maior destaque para o processo de parede de concreto e ETE, como mostra o depoimento a seguir.

Eu utilizei as informações com foco na parede de concreto e na ETE, por serem atividades mais críticas. Engenheiro de produção (Estudo de Caso B).

A partir das imagens conseguimos observar que algumas formas estão com problemas, estão avariadas, isso já foi discutido e ajudou muito. Sabemos que não podemos utilizar essas formas, especialmente os sistemas de proteções coletivas, em outras obras. Engenheiro de Segurança (Estudos de Caso B e C).

De maneira semelhante ao Estudo de Caso A, as imagens fornecidas pelo monitoramento foram utilizadas para a avaliação da forma, sendo que neste ciclo buscou-se avaliar a qualidade das formas visando à manutenção ou troca de peças avariadas, como relatado pelo Engenheiro de Segurança.

Em relação aos trabalhadores, as adaptações realizadas em campo tiveram um impacto positivo, especialmente no processo de parede de concreto, destacando a experiência profissional e o conhecimento tácito como elementos essenciais para o funcionamento do processo, por exemplo, as fixações da linha de vida, os fechamentos de periferia, a pré-montagem da armadura da laje, entre muitas outras.

No que diz respeito à **habilidade de aprender**, os entrevistados pontuaram que é possível utilizar as informações fornecidas para fomentar o aprendizado com a prática, considerando os erros e acertos. Na maioria das situações, o aprendizado ocorreu a partir de situações não conformes, como discutido no Estudo de Caso A. As lições eram disseminadas de forma informal nos DSS e reuniões com a engenharia, porém segundo os entrevistados as boas práticas e situações não conformes identificadas tiveram baixa disseminação entre as obras da empresa, como mostra o depoimento a seguir.

Foi uma falha nossa não ter usufruído da velocidade da informação em que a ferramenta oferece. Poderíamos ter usufruído mais da ferramenta, utilizar melhor os resultados e compartilhar mais com os demais canteiros, uma vez que os canteiros são da mesma tipologia em todas as regiões. Gestor de Segurança (Estudos de Caso B e C).

Segundo os Engenheiros de Produção e Técnicos de Segurança, os materiais disponibilizados (fotos, vídeos e relatórios) não foram utilizados em treinamentos de segurança no canteiro devido à carência de recursos (*notebook*, tv e projetor). Em nível gerencial, apenas o Engenheiro de Segurança e o Gestor de Produção relataram utilizar as informações fornecidas para treinamentos e palestras. O Engenheiro de Segurança relatou o uso das imagens para treinamentos mensais com técnicos de segurança visando a evitar que os mesmos erros aconteçam nas demais obras.

A situação do telhado, discutida na análise *Safety-I* (seção 5.2.1), mostra que é possível aprender com os erros e com os acertos. Nos Estudos B e C, os Engenheiros passaram a observar mais o serviço de telhado, compartilhando com a equipe as lições aprendidas e ressaltando a forma correta de execução.

Houve melhoria em relação ao uso da linha de vida e do cinto em telhado devido à não conformidade identificada durante o monitoramento com VANT. Eu chamei o técnico outro dia para mostrar um trabalhador usando cinto no telhado. Depois que foi destacada a situação do telhado, eu passei a observar para ver como está sendo realizado, antes eu não observava. Engenheiro de Produção (Estudo de Caso B).

Independente da forma como o aprendizado aconteceu, profissionais da equipe de produção e de segurança criticaram que a empresa não dispõe de meios para a documentação das experiências e lições aprendidas nas obras. Para eles é preciso ter um banco de dados com o histórico das situações identificadas durante as inspeções, como mostra o depoimento a seguir.

Muita coisa que atuamos vem de *feedback* de outras obras. Essas melhorias e *feedback* realizadas com base nas experiências de outras obras não são documentadas, o que é ruim porque não é passado para os outros engenheiros e, como os processos são similares, outros acabam passando por situações parecidas. Engenheiro de Produção (Estudo de Caso B)

Ao avaliar a ocorrência dos itens não conformes (Tabela 8), observa-se que para aproximadamente 1/3 dos itens houve um aprendizado efetivo, sendo registrada apenas uma ocorrência.

Tabela 8 - Resumos das recorrências dos Estudos de Caso B e C

Estudo de Caso	Total de itens avaliados não conformes	Total de itens que registraram uma ocorrência	Total de itens que registraram duas ocorrências	Total de itens que registraram ≤ 3 ocorrências
B	36	13	10	13
C	37	15	10	12

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Apesar da prontidão em propor ações imediatas e corretivas para os itens que registraram uma ou duas ocorrências, aproximadamente 1/3 dos itens verificados registraram três ou mais ocorrências, demonstrando uma maior dificuldade de ação. Os Quadro 26 e 27 apresentam o histórico dos 5 itens mais recorrentes de cada estudo, mostrando o comportamento reincidente ao longo das inspeções. Percebe-se que alguns itens são reincidentes após sua correção, demonstrando a dificuldade do processo de aprendizado. Por exemplo, entulhos estocados em locais inadequados e falhas no uso do cinto de segurança para trabalhos em altura.

Como causas das recorrências, os entrevistados destacaram o mau dimensionamento e à ausência de técnicos de segurança para atuar prontamente e o engessamento dos processos pela empresa, especialmente no refere-se à mudança de procedimentos.

Quadro 26 - Acompanhamento da evolução da não conformidade (Estudo de Caso B)

Descrição do item	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Entulhos estocados e sinalizados em local específico																																		
Existe isolamento na área de escavações																																		
Sinalização de advertência na área de escavação																																		
Trabalhador utilizando cinto de segurança ligado à linha de vida																																		
Sinalização do canteiro para circulação de máquinas.																																		

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Quadro 27 - Acompanhamento da evolução da não conformidade (Estudo de Caso C)

Descrição do item	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Entulhos estocados com devida sinalização em local específico																					
Proteção de periferia em janelas e varandas.																					
Trabalhador utilizando cinto de segurança ligado à linha de vida independente da estrutura de apoio.																					
Proteções de periferia e plataforma estão completas e instaladas de forma adequada.																					
Isolamento da área de movimentação de carga, sendo proibida a circulação ou permanência de pessoas.																					

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Por fim, com base nas discussões realizadas nesta seção, o Quadro 29 apresenta um resumo dos mecanismos e práticas identificadas nos Estudos de Caso B e C comparando com os resultados encontrados no Estudo de Caso A.

Quadro 28 - Mecanismos e práticas (nível gerencial) - Comparativo

Potenciais	Mecanismos	Práticas visualizadas	Estudos Caso		
			A	B	C
Monitorar	Inspeções periódicas	- Uso das informações para melhor compreensão dos processos construtivos, <i>layout</i> e organização de canteiro.	✓	✓	✓
Responder	Controle	- Uso das informações para tomada de ação imediata, especialmente em situações de risco iminente de acidente.	✓	✓	✓
		- Uso do indicador de conformidade como sinalizador para tomada de decisão e cobrança por parte da alta direção.	✓	✓	✓
		- Paralisação ou intervenção das atividades de campo para corrigir situações inseguras ou conscientizar sobre os perigos (<i>hot-de-briefing</i>).	✓	✓	x
	Colaboração entre equipes	- Reuniões periódicas para propor soluções para os itens identificados no monitoramento (Plano de ação).	✓	✓	✓
		- Discussões entre os profissionais de segurança (engenheiro e técnicos) para alinhar as ações corretivas e preventivas.	x	✓	✓
		- Participação dos trabalhadores nas ações de segurança.	x	✓	✓
Antecipar	Planejamento	- Reuniões formais e informais para alinhar os recursos necessários e eliminar as restrições antes do início das atividades.	✓	✓	✓
		- Uso das informações para mudanças no <i>layout</i> e organização do canteiro visando a otimizar os espaços e reduzir os deslocamentos.	✓	x	x
		- Uso das informações para mudança de plano de ataque das atividades para evitar conflitos futuros devido à interferência entre atividades.	✓	x	x
		- Uso das informações para analisar as formas que precisam de reforma ou substituição para próximas obras (parede de concreto).	x	✓	✓

Potenciais	Mecanismos	Práticas visualizadas	Estudos Caso		
			A	B	C
		- Uso das informações para estudo das formas visando à adaptação de sistemas de proteção coletiva para próximas obras.	✓	×	×
		- Uso das informações para planejar processos críticos (parede de concreto e ETE)	✓	✓	×
	Experiência profissional	- Adaptações realizadas para garantir a segurança durante a execução das atividades.	✓	✓	✓
Aprender	Aprendizado com a prática	- Discussão em DSS e reuniões de engenharia sobre as situações identificadas nas inspeções.	✓	✓	✓
		- Uso das imagens para aprendizado e alteração de processo (ex. parede de concreto e telhado).	✓	✓	✓
		- Uso das informações para treinamento mensal dos técnicos de segurança e palestras.	×	✓	✓
		- Uso das fotos para treinamento com trabalhadores.	✓	×	×
		- Disseminação da forma correta de executar as atividades (ex. instalação do telhado).	×	✓	✓
		- Resgate das informações em relatórios passados para aprender com os erros e evitar sua recorrência.	✓	✓	✓

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Por tratar-se de empreendimentos da mesma empresa e com a mesma equipe gerencial, foram identificadas poucas diferenças nas práticas identificadas.

5.3.3 Contribuições dos Estudos de Caso B e C para o refinamento do modelo

Esta seção busca discutir, com base nos Estudos de caso B e C, como identificar os mecanismos e práticas operacionais e gerenciais por meio do monitoramento com VANT e qual a sua contribuição para o desenvolvimento dos potenciais para resiliência.

Os resultados apresentados deixam claro que os dados coletados em campo com VANT podem ser analisados com outra perspectiva que não seja a busca por evidência de erros e não conformidades. Para identificar as ações que contribuem

para a manutenção das condições de trabalho, o responsável pelo monitoramento deve verificar se as condições mínimas são satisfeitas, por exemplo, a disponibilidade de recursos para a execução das atividades (materiais, ferramentas e profissionais capacitados), e quais as ações realizadas para lidar com esses imprevistos.

Ainda discutindo o exemplo descrito acima, quando cientes da ausência de recursos, o inspetor deve avaliar se os trabalhadores estão reaproveitando as ferramentas e os materiais já existentes para a continuação das atividades e quais as ações propostas pela equipe de gestão para lidar com os imprevistos. Essa compensação realizada pelos trabalhadores só é percebida quando o responsável pelo monitoramento conhece os procedimentos e o planejamento da segurança em detalhes, sendo este um dos motivos pelos quais a identificação de tais práticas é tão difícil de ser percebida. O diálogo e as reuniões com os trabalhadores de linha de frente é uma outra forma de estar ciente das dificuldades enfrentadas e como eles lidam com tais dificuldades no dia a dia. Com relação as ações realizadas pela equipe de gestão, o inspetor deve estar envolvido nas rotinas de segurança e produção, a fim de compreender como a equipe lida com os eventos e como antecipam situações indesejadas.

Além disso, o profissional responsável pelo monitoramento precisa estar atento para as boas práticas implementadas no canteiro, buscando compreender como essas práticas repercutem nas ações ao seu entorno. Por exemplo, como as boas práticas relacionadas à organização do canteiro e armazenamento de materiais impactam nos acessos para tráfego de trabalhadores, veículos e equipamentos. As ações gerenciais, embora não sejam registradas com o VANT, repercutem diretamente no canteiro, como, por exemplo, a realização de um planejamento da segurança mais consistentes envolvendo profissionais de segurança e produção.

Os estudos reforçaram os achados apresentados no Estudo de Caso A, em que o monitoramento de processos críticos contribui para aumentar a conscientização das condições de segurança, além de gerar informações para retroalimentar outras atividades de gestão. Para isso, é preciso acompanhar como a equipe de gestão está usando as informações para tomada de decisão, aprendizado e antecipação. Por exemplo, o uso das imagens para avaliar a qualidade dos equipamentos (forma de alumínio da parede de concreto) visando a aquisição e a manutenção das peças, e a atualização de procedimentos e ferramentas de gestão.

Como contribuições para um desempenho resiliente, os resultados dos Estudos de Caso B e C evidenciaram que as habilidades de monitorar e de responder tiveram um melhor desempenho quando comparadas às habilidades de aprender e antecipar. Esse melhor desempenho é justificado devido ao elevado esforço despendido para o monitoramento constante das condições de segurança utilizando o VANT e pelo engajamento da equipe de canteiro para proposição de ações imediatas e corretivas.

De modo geral, a gestão da segurança teve um caráter reativo, concentrando-se em problemas recorrentes que podem ser facilmente resolvidos com respostas conhecidas, corroborando com Peñaloza, Saurin e Formoso (2020). Entretanto, esse esforço para evitar a recorrência foi compreendido como um mecanismo de resiliência, uma vez que buscou prevenir a perda do controle antes da ocorrência de um evento negativo, corroborando com Wehbe, Hattab e Hamzeh (2016).

As situações de maior risco foram priorizadas buscando a sua correção de forma imediata. Entretanto, apesar das ações corretivas propostas, algumas não conformidades de grau de risco alto foram recorrentes, demandando um maior esforço para a sua solução (Tabela 8). Essa ineficácia de propor ações eficazes demonstra que não basta apenas “saber o que fazer” e “onde atuar”, é preciso ter no momento da ação os recursos disponíveis para a tomada de decisão, como discutido por Pariès (2011), Rankin, Lundberg e Woltjer (2014) e Hollnagel (2018). Essa dificuldade está relacionada a diversos fatores, como a elevada pressão por produção e as falhas no planejamento de segurança integrado ao planejamento da produção.

Para Argyris (1976), a detecção e correção de erros produz aprendizado, e a falta de um ou ambos inibem esse processo. Nos estudos apresentados, as não conformidades foram constantemente detectadas durante a inspeção, o que mostra a eficácia da tecnologia em monitorar as condições de segurança, sendo a dificuldade de aprendizado relacionada à ineficácia do processo de resposta. De modo semelhante aos fatores que dificultam a tomada de ação, o aprendizado também é afetado pela priorização da produtividade em sacrifício consciente da segurança, falta de recursos, alta demanda de trabalho pelos técnicos, deficiência dos treinamentos realizados com os trabalhadores, falha de planejamento, e ausência de cultura de segurança.

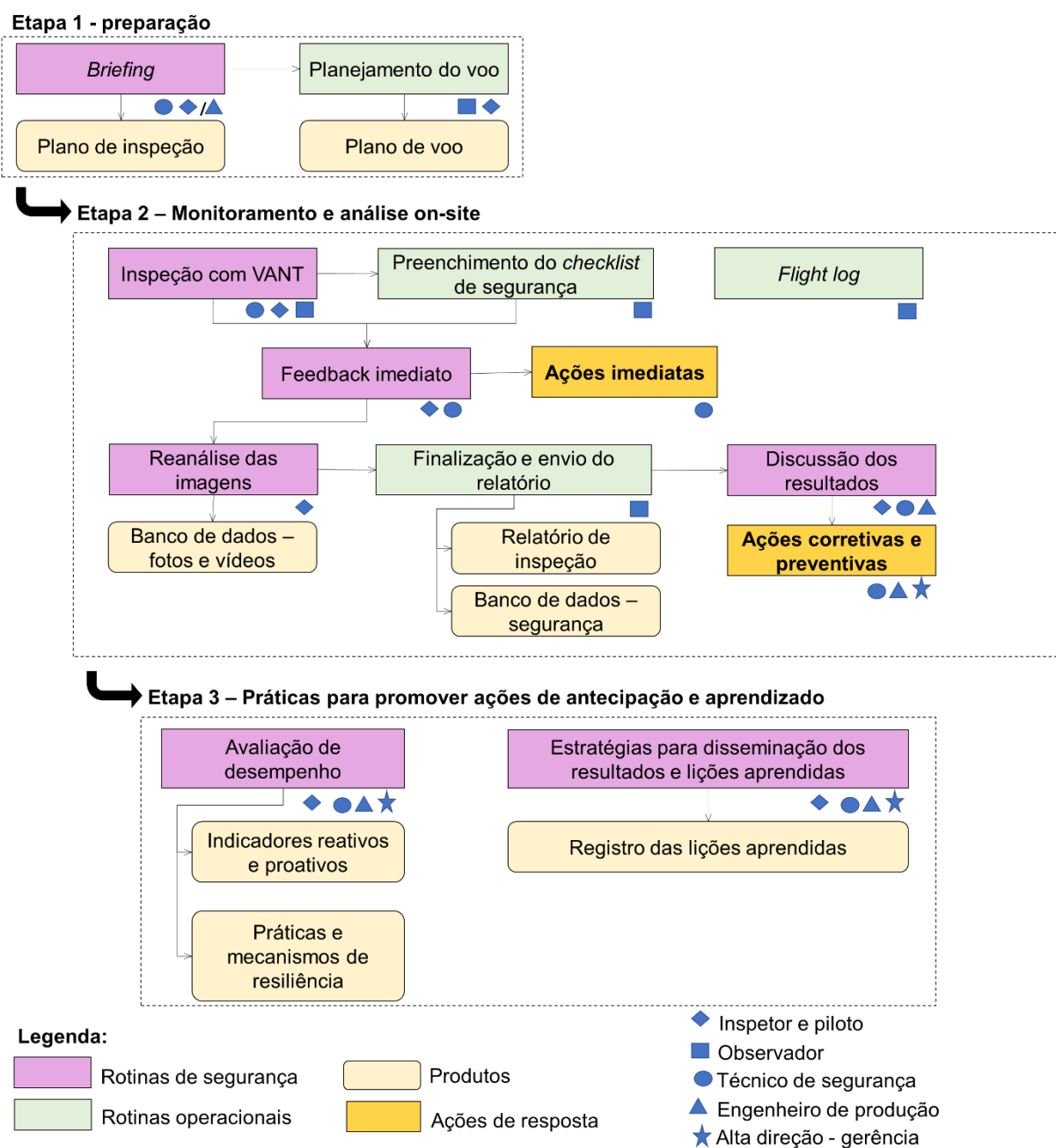
6 MODELO E DIRETRIZES PARA ORIENTAR O DESENVOLVIMENTO E APERFEIÇOAMENTOS DOS POTENCIAIS PARA RESILIÊNCIA ASSISTIDO POR MEIO DO MONITORAMENTO DA SEGURANÇA COM VANT

Este capítulo apresenta a estrutura final do modelo e suas contribuições para orientar o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência assistido por meio do monitoramento da segurança com VANT. Além da sua avaliação, considerando os constructos utilidade e impactos e riscos, e da discussão das contribuições da tese.

6.1 ESTRUTURA FINAL DO MODELO

Esta seção apresenta o modelo para orientar o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência assistido por meio do monitoramento da segurança com VANT proposto. Este modelo combina o protocolo para monitoramento com VANT (seção 5.2.3) e as contribuições do monitoramento para o desenvolvimento dos potenciais para resiliência. O modelo está dividido em três etapas, combinando atividades operacionais para o monitoramento da segurança com VANT e recomendações para a análise dos dados e uso das informações considerando conceitos da ER (Figura 57).

Figura 57 - Modelo para orientar o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência



Fonte: A autora (2020).

Etapa 1 – Preparação

Esta etapa envolve duas atividades, o Briefing e o Planejamento do voo. O **briefing** consiste em reunião formal ou informal entre o responsável pela inspeção e o técnico de segurança ou engenheiro da obra, visando a conhecer as atividades que

estão sendo realizadas, as ações realizadas na semana anterior e as demandas atuais. Para isso é importante que o responsável pela inspeção tenha conhecimento sobre a obra e o cronograma das atividades. O produto desta etapa é o plano de inspeção, ou seja, a definição das categorias que serão monitorados em campo.

O **planejamento do voo**, como discutido na seção 5.2.3, consiste na preparação da aeronave utilizando o *checklist de missão*, proposto por Irizarry, Costa e Kim (2015b) e Melo (2016). Além da aplicação do *checklist* de missão, é preciso definir os pontos para pouso e decolagem, avaliar se as condições climáticas são propícias para voo e verificar as possíveis interferências físicas em canteiro. Para isso, sugere-se que o piloto antes do voo faça uma curta caminhada no canteiro para mapear a existência de obstáculos físicos, equipamentos de içamento de materiais e os locais de execução das atividades. Com isso, espera-se que o piloto tenha uma melhor percepção espacial, favorecendo a definição do plano de voo, os melhores pontos de pouso e decolagem e a altitude para um voo seguro.

Etapa 2 – Monitoramento e análise *on-site*

Esta etapa é desenvolvida em seis atividades. Inicialmente é realizada a **inspeção com VANT** em paralelo com **preenchimento do *checklist* de segurança**. O sistema informatizado de inspeção utilizado foi desenvolvido no trabalho de Rey (2020). Dessa forma, durante o voo, o piloto é o responsável pela identificação e registro com VANT das situações conforme e não conforme em canteiro, enquanto o observador preenche o *checklist* com base nas observações realizadas pelo piloto.

Durante a **inspeção com VANT**, o piloto precisa ter em mente que o *checklist* de segurança é um direcionamento dos itens a serem observados em campo para atender os requisitos normativos (trabalho imaginado). Mas, isso não impede o piloto de registrar as ações positivas e práticas informais (trabalho realizado), favorecendo as análises *Safety-II*. Para que a inspeção não seja centrada apenas no *checklist* (trabalho imaginado), sugere-se que o piloto registre todas as situações e não apenas aquelas que indicam não conformidades, como acontece na inspeção tradicional. Isso requer que o profissional responsável pela inspeção tenha uma visão holística do projeto. Para identificar as ações que contribuem para a manutenção das condições de trabalho, o responsável pelo monitoramento deve verificar se as condições mínimas

para a execução da atividade são satisfeitas. Além de estar atento para as boas práticas implementadas no canteiro, buscando compreender como essas práticas repercutem nas ações ao entorno como exemplificado na seção 5.3.3.

Ainda sobre a inspeção com VANT, é preciso deixar claro que mesmo com o sistema informatizado de inspeção, a entrada de dados ainda é manual e a avaliação dos requisitos é realizada por um profissional com experiência em segurança. Sendo assim, para a inspeção com VANT e para o preenchimento do *checklist* são necessários dois profissionais, um piloto (habilidades de pilotagem e conhecimentos de segurança) e um observador (manuseio do *checklist* digital em dispositivo móvel). Ao final da inspeção, o modelo também inclui o registro dos dados dos voos (**Flight Log**), cujo objetivo consiste em monitorar os impactos e riscos associados ao uso da tecnologia. O *Flight Log* pode ser feito em qualquer momento após o voo.

O **feedback imediato** pode ocorrer durante ou após a inspeção, uma vez que tem como propósito compartilhar as informações de forma quase instantânea visando a proposição de **ações imediatas** para situações de risco iminente de acidentes. Para isso, recomenda-se: (a) maior envolvimento do técnico durante a etapa de monitoramento *on-site* e (b) melhor interação entre o técnico de segurança e os trabalhadores visando à correção da situação com base em uma abordagem educativa.

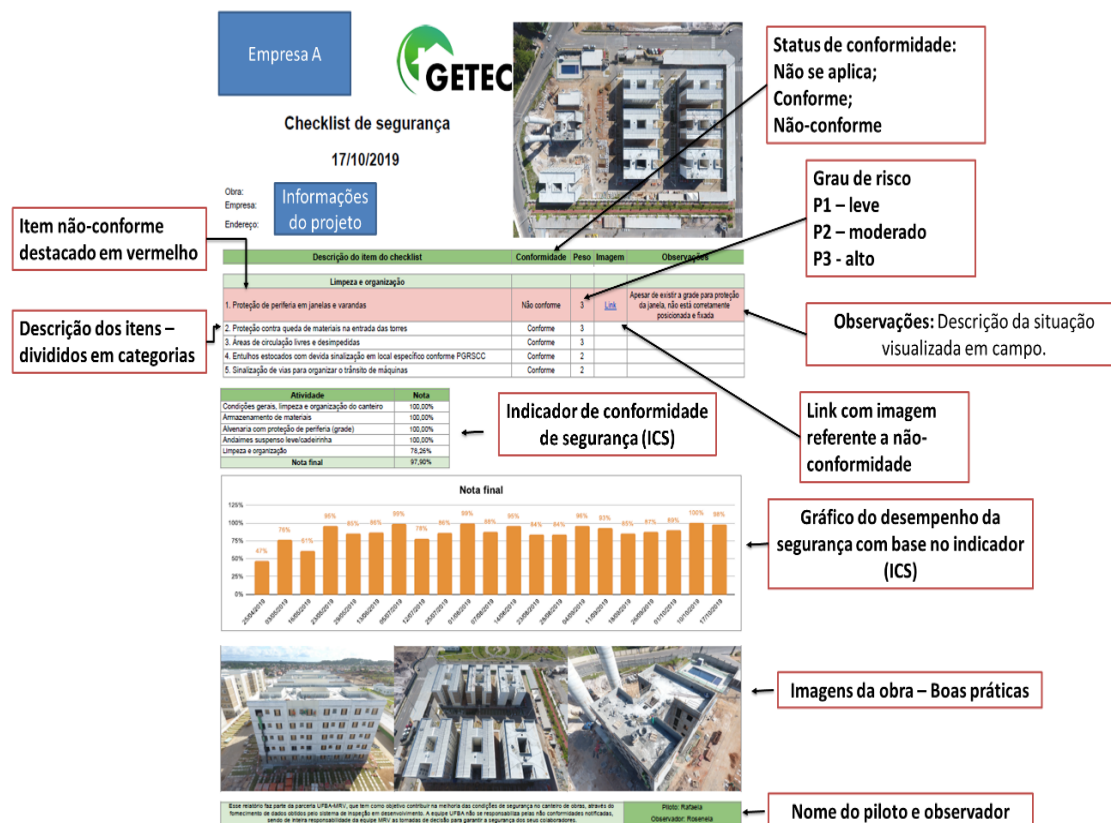
Para proporcionar uma abordagem educativa destaca-se a prática de *hot-debriefings*, especialmente em situações de risco moderado e alto. Em caso de situações de risco iminente, quando não for possível a correção da situação, o indicado é a paralisação da atividade até que as condições de segurança sejam atendidas.

Após o **feedback** imediato, é feita a transferência das imagens e vídeos coletados durante o voo para um computador, sendo realizado uma **reanálise dos dados**. Essa reanálise é importante para verificar com mais detalhes itens que não foram visualizados com precisão na tela do celular, funcionando, assim, como um processo de dupla checagem. Logo, essa dupla checagem faz com que as avaliações sejam mais objetivas, minimizando os vieses no processo de verificação. Para melhor uso das informações, recomenda-se disponibilizar todos os ativos para a equipe da obra.

Em seguida, é necessária a **finalização e envio do relatório**. Para isso, as fotos referentes aos itens não conformes, boas práticas e visão geral da obra são anexadas

ao *checklist*. Para o sistema informatizado, o armazenamento dos dados de segurança foi realizado no Google Planilhas, facilitando o acesso das informações. A Figura 58 apresenta o relatório gerado com o sistema informatizado de inspeção de segurança.

Figura 58 - Relatório de segurança informatizado (Protótipo SMART INSPECS)



Fonte: Grupo de Pesquisa GETEC (2020).

Para maximizar o potencial de uso das informações do relatório recomenda-se:

(a) apresentar as análises de forma simples visando facilitar o entendimento do conteúdo do relatório, destacando sempre que necessário as situações não conformes nas imagens; (b) compartilhar o relatório da inspeção com todos os envolvidos no projeto, incluindo profissionais no âmbito operacional e gerencial dos setores de produção, qualidade e segurança; e (c) destacar os pontos mais importantes com os trabalhadores por meio de rotinas simplificadas, para que todos no canteiro estejam cientes das condições de trabalho e das melhorias necessárias.

As **discussões dos resultados com a equipe** têm a função de aumentar a colaboração entre os profissionais de segurança e produção, favorecendo a tomada de

decisão em conjunto. Com base nas práticas observadas e lições aprendidas, sugere-se que: (a) sejam realizadas reuniões periódicas semanais ou quinzenais para alinhamento das ações corretivas e preventivas, (b) o plano de ação contenha uma breve descrição da situação identificada, sua localização, a solução proposta, os recursos disponíveis, o responsável pela ação e o prazo para correção, (c) o indicador de conformidade seja analisado de modo a identificar os processos de maior impacto no desempenho de segurança, comparando o desempenho atual com os anteriores e (d) os ativos visuais sejam utilizados para avaliar o *layout* do canteiro (acessos, movimentação de materiais, armazenamento de materiais), interferência entre processos construtivos e planejamento de futuras ações.

Etapa 3 – Práticas para antecipação e aprendizado

Esta etapa envolve duas atividades, a **avaliação de desempenho de segurança** e a proposição de **práticas para disseminação dos resultados e aprendizado**. A avaliação de desempenho deve ser realizada com base nos dados coletados em campo com o uso do VANT, sendo proposto os seguintes indicadores: (a) conformidade de segurança mensal e por categoria, (b) quantidade de inspeções realizadas por mês, (c) quantidade de não conformidade por inspeção, (d) taxa de recorrência de não conformidades e (e) percentual de não conformidades tratadas por inspeção. Os indicadores gerados no processo de inspeção devem ser analisados em conjunto com os indicadores tradicionais de segurança, como, por exemplo, a taxa de recorrência de não conformidades e a taxa de frequência de acidentes (tradicional). Embora a maioria dos indicadores propostos estejam relacionados à perspectiva *Safety-I*, tais informações são essenciais para a manutenção das condições de segurança.

Para a avaliação de desempenho voltado à perspectiva *Safety-II*, o responsável pelo monitoramento deve buscar observar nas situações conformes e as boas práticas, os mecanismos que contribuíram para um desempenho resiliente. A análise comparativa entre os procedimentos e o trabalho realizado (dados coletados em campo) é outra forma de identificar as adaptações e práticas informais que contribuem para os ajustes de desempenho (mecanismos de resiliência), sejam eles de caráter operacional ou gerencial, como exemplificado na seção 5.3.2.

As **estratégias para disseminação dos resultados e lições aprendidas** têm como objetivo aumentar a conscientização dos trabalhadores e da equipe de gestão

sobre as condições de segurança e desenvolver habilidades para lidar com as situações críticas. Com base nos resultados e percepções dos entrevistados, sugere-se: (a) incluir as ações de segurança nas reuniões semanais formais e informais de produção, (b) realizar reuniões mensais com a equipe da obra para discussão dos resultados de desempenho de segurança, (c) realizar *workshops* periódicos envolvendo a equipe da obra, coordenadores e gestores (alta direção) para discussão dos resultados, visando a aumentar a transparência e reduzir a distância entre a equipe de canteiro e a gerência.

Em relação aos trabalhadores da linha de frente, os resultados do monitoramento e as ações corretivas e preventivas devem ser apresentados de forma simples e objetiva, utilizando recursos áudio visuais, sempre que possível. Dentre as possíveis rotinas destacam-se as reuniões entre equipes de produção, os DDS, DSS, SIPAT e treinamentos. Para processos críticos ou de maior complexidade recomenda-se a realização de prototipagem para treinamento da equipe. Toda troca e compartilhamento de experiência entre profissionais deve ser estimulada a fim de facilitar a transferência de conhecimento e, conseqüentemente, aumentar a conscientização dos trabalhadores em relação aos perigos, preparando-os para realizar adaptações e pequenos ajustes, quando necessário. Para a consolidação do aprendizado recomenda-se o registro das lições aprendidas a fim de evitar que situações semelhantes ocorram em outro projeto.

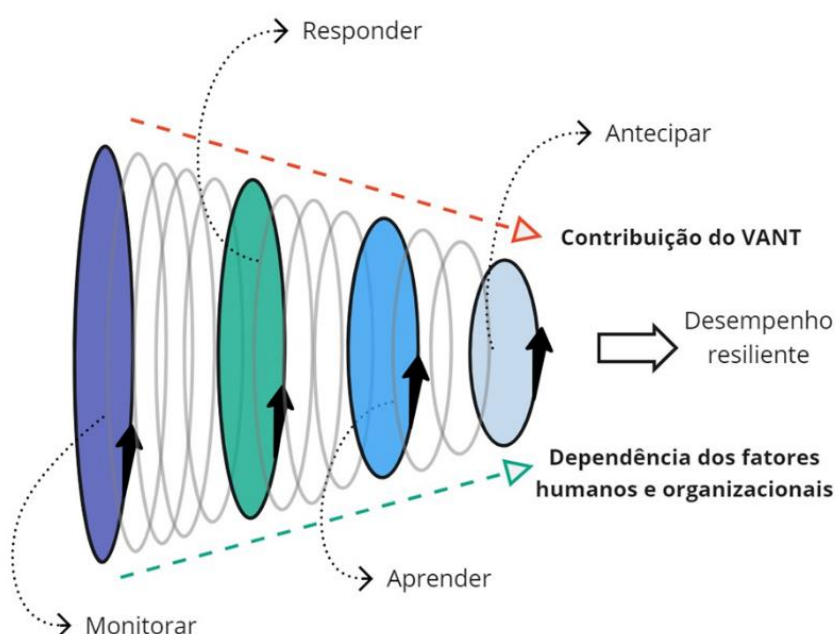
Para que o modelo tenha eficácia, o inspetor ou responsável pela inspeção deve ser envolvido em todas as etapas do processo, seja ele um profissional da empresa ou terceirizado (Figura 63). Nessa terceira etapa, o inspetor tem a função de explorar as lacunas entre o trabalho realizado e o trabalho imaginado, orientando as discussões e facilitando a atualização da análise de risco, procedimentos de segurança e ferramentas de gestão da segurança. Além de promover o fluxo das informações geradas para outros setores, como qualidade, sustentabilidade e produção, de modo que as informações sejam usadas por todos.

O papel da alta direção consiste em participar das discussões e tomada de decisão, motivar o uso das informações e permitir a flexibilização dos procedimentos sempre que as práticas informais sejam capazes de dar suporte à execução das atividades dentro dos limites de trabalho seguro.

6.1.1 Reflexões sobre o desenvolvimento dos potenciais para resiliência assistido pelo monitoramento da segurança com VANT

Esta seção apresenta uma reflexão sobre as contribuições do modelo para o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência. A Figura 59 apresenta um esquema de como os potenciais se desenvolvem, considerando o uso das informações geradas a partir do monitoramento com VANT.

Figura 59 – Esquema das contribuições do monitoramento com VANT para o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Com base nos dados empíricos, percebeu-se que a contribuição do monitoramento com VANT para o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência diminui à medida que aumenta a dependência dos fatores humanos e organizacionais (Figura 59). Isso ocorre pelo fato de o desempenho resiliente demandar uma maior capacidade técnica dos profissionais e das condições organizacionais no uso dos dados para a tomada de decisão, aprendizado e antecipação.

Como visualizado nos estudos de casos e representado na Figura 59, no contexto real, muito esforço é despendido para monitorar as condições do ambiente. A **habilidade de monitorar**, nesta tese, é representada pelas ações de inspeção periódicas com VANT. É neste momento em que se busca observar o trabalho como realizado levando em consideração os parâmetros e as condições conhecidas, a fim de

obter a conscientização do estado real das condições de segurança. Para isso, é preciso estabelecer rotinas padronizadas para coleta e análise dos dados visando a identificar os eventos, sejam eles positivos ou negativos, como apresentado no modelo (Figura 57).

As não conformidades identificadas (*Safety-I*) podem ser analisadas segundo os tipos de barreiras e suas potenciais falhas, permitindo conhecer quanto o sistema está operando nos limites de desempenho em termos de defesas e barreiras degradadas. As informações provenientes das inspeções com VANT também contribuem para aumentar a compreensão sobre como o trabalho é realizado na prática (*Safety-II*), evidenciando as adaptações realizadas para compensar as limitações de recursos físicos e humanos, a ausência de informação, as falhas de planejamento, as falhas de projeto e a pressão por produção.

A ação de responder ocorre em uma menor intensidade (Figura 59), devido ao fato de que nem todos os itens levantados no monitoramento necessitam de intervenção, e, quando necessitam, nem sempre uma ação é proposta. Essa dificuldade de atuar prontamente vai além da capacidade da equipe de saber “quando” e “como” responder, sofrendo influência direta de fatores humanos e organizacionais, tais como capacidade técnica da equipe, flexibilidade do sistema à mudança, disponibilização de recursos, folgas no processo de produção, entre outros. Portanto, a habilidade de responder requer uma maior dependência das competências técnicas e fatores organizacionais para o uso eficaz das informações fornecidas pelo monitoramento com VANT.

De modo geral, a **habilidade de responder** atua como um agente regulador do sistema, estabelecendo por meio da avaliação das informações fornecidas pelo monitoramento com VANT, ações corretivas ou preventivas. Os estudos empíricos corroboram com a literatura (PATRIARCA *et al.*, 2018; PEÑALOZA; SAURIN; FORMOSO, 2020), ao pontuar que a maioria das tomadas de decisão possuem um caráter reativo (ações imediatas e corretivas), buscando propor medidas para evitar a reincidência das não conformidades. Apesar disso, as informações fornecidas contribuíram para a tomada de decisão mais conscientes, impactando positivamente na manutenção das operações diárias antes da ocorrência de um evento negativo (incidentes e acidentes).

A **habilidade de aprender** é representada como um ciclo menor ao ser comparado com as habilidades de monitorar e de responder (Figura 59), dado que, apenas uma pequena parcela das experiências positivas e negativas vivenciadas no dia a dia do canteiro são transformadas em aprendizado. Essa deficiência no processo de aprendizado é percebida à medida que o sistema passa a monitorar sempre os mesmos problemas, resultando em elevadas recorrências de situações conhecidas (aprendizado de ciclo simples). Essa dificuldade de aprendizado pode ser atribuída aos fatores de produção, por exemplo, as metas de produtividade e a eficiência no curto prazo.

As informações fornecidas com o VANT permitiram acompanhar se as soluções propostas foram eficazes, destacando as não conformidades recorrentes. A falta de cultura quanto ao questionamento das normas e procedimentos, bem como a dificuldade em disseminar as lições aprendidas para todos os envolvidos impactaram negativamente no uso eficiente das informações fornecidas com o VANT. Por outro lado, o uso das informações e ativos visuais para treinamentos e capacitações dos técnicos de segurança e trabalhadores do processo crítico, realizada pela equipe de canteiro, contribuiu para aumentar a conscientização dos perigos e das ações preventivas a serem realizadas. Essas capacitações podem ocorrer de forma informal, a partir de reuniões e discussões entre os intervenientes do projeto para tratar de situações específicas (âmbito gerencial), por meio de DDS, DSS e treinamento com os trabalhadores (âmbito operacional), como apresentado no modelo (Figura 57).

A **habilidade de antecipar**, a mais complexa de todas, se desenvolve em menor intensidade que as demais habilidades (Figura 59), pelo fato de requerer uma dependência ainda maior dos fatores humanos e organizacionais. Embora o monitoramento com VANT possa contribuir com o fornecimento de informações (evidências) que podem indicar ameaças ou oportunidade, essa capacidade de traçar cenários e avaliar as possíveis possibilidades está relacionada à experiência e conhecimento técnico dos profissionais. Em alguns momentos, observou-se o uso das informações para avaliar situações relacionadas ao posicionamento dos estoques e mudanças de *layout* de canteiro (curto prazo), alterações no plano de ataque (médio prazo), e estudo de proteções coletivas (longo prazo), no entanto, tais aplicações foram limitadas. Para

que o uso das informações seja mais eficiente, é necessário investir em capacitações e em rotinas de colaboração entre diferentes profissionais.

Como contribuições gerais, os estudos empíricos indicam que, embora os potenciais para resiliência possam ser desenvolvidos e aperfeiçoados de forma individual à medida que surgem novas demandas, o desempenho de um deles influencia no desempenho dos demais. Por exemplo, as falhas na habilidade de responder ampliam as deficiências da organização em monitorar, aprender e antecipar. Da mesma forma que, as falhas no monitoramento do trabalho real impactam na assertividade de uma ação eficaz e, em consequência, na habilidade de antecipar e aprender. Portanto, é comum que diante da complexidade e características individuais das organizações e sistemas, os potenciais se desenvolvam em proporções diferentes, no entanto, é importante que exista uma sinergia e equilíbrio entre eles.

Quanto ao monitoramento com VANT, os estudos empíricos evidenciaram que seu potencial está condicionado aos fatores humanos e organizacionais, que influenciam no uso das informações de forma eficaz. Portanto, tendo como ponto de reflexão os pressupostos teóricos apresentados na seção 3.4 (Relação entre o monitoramento com VANT e os potenciais para resiliência), constatou-se que o monitoramento com VANT contribuiu de forma mais intensa para o desenvolvimento das habilidades de monitorar e responder, uma vez que foi capaz de fornecer informações em tempo hábil sobre as condições de trabalho (habilidade de monitorar) e reduziu o tempo de inspeção, facilitando a proposição de ações imediatas (habilidade de responder).

O uso das informações para promover o aumento da conscientização sobre os riscos e aprender com as experiências positivas (habilidade de aprender) teve pouco efeito devido à ausência de ferramentas e rotinas voltadas ao aprendizado de forma continuada. o pressuposto teórico de que o monitoramento facilitaria o uso das informações para alimentar o planejamento da segurança atual (habilidade de antecipar) foi impactado pela falta de um planejamento da segurança consistente e de profissionais capacitados, sendo trabalhado de forma pontual em poucas ocasiões. Em conclusão, verifica-se que o monitoramento com VANT atendeu parcialmente as hipóteses levantadas na revisão da literatura (seção 3.4).

6.1.2 Avaliação do modelo

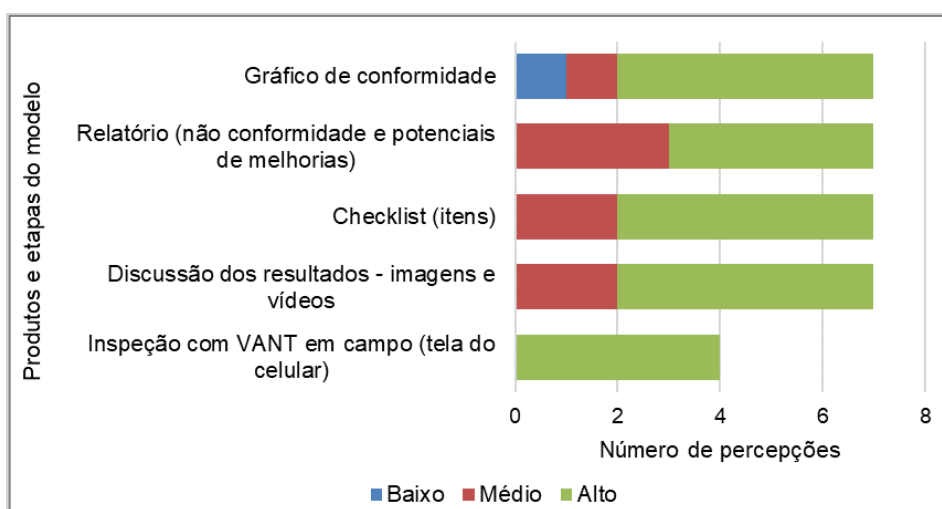
Nesta seção serão apresentados os resultados da avaliação do modelo para desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais de resiliência, considerando os constructos “Utilidade” e “Impactos e riscos”.

6.1.2.1 Utilidade

Neste constructo serão avaliadas as variáveis: (a) nível de entendimento das informações fornecidas, (b) nível de atendimento às necessidades de informação, (c) nível de participação durante a aplicação do modelo, (d) nível de contribuição das etapas e produtos para a proposição de correções imediatas, e (e) nível de contribuição das etapas e produtos do modelo para a proposição de ações corretivas.

A Figura 60 apresenta a percepção dos entrevistados quanto ao nível de entendimento das informações fornecidas.

Figura 60 - Percepções quanto ao nível de entendimento das informações



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

De modo geral, os produtos e etapas do modelo foram bem avaliados pelos usuários. O monitoramento com VANT possibilitou uma melhor compreensão e avaliação dos perigos *on-site*, corroborando com Martinez, Gheisari e Alarcón (2020). De acordo com a Figura 60, o Técnico de Segurança (Estudo B) e o Engenheiro de Segurança, avaliaram como grau de impacto médio a etapa de **discussão dos resultados com base nas imagens e vídeos coletados**, justificando que nem todos os usuários participaram da discussão após o voo. Além disso, os profissionais que participaram dessas discussões argumentaram que a possibilidade de dar *zoom* nas imagens permitiu

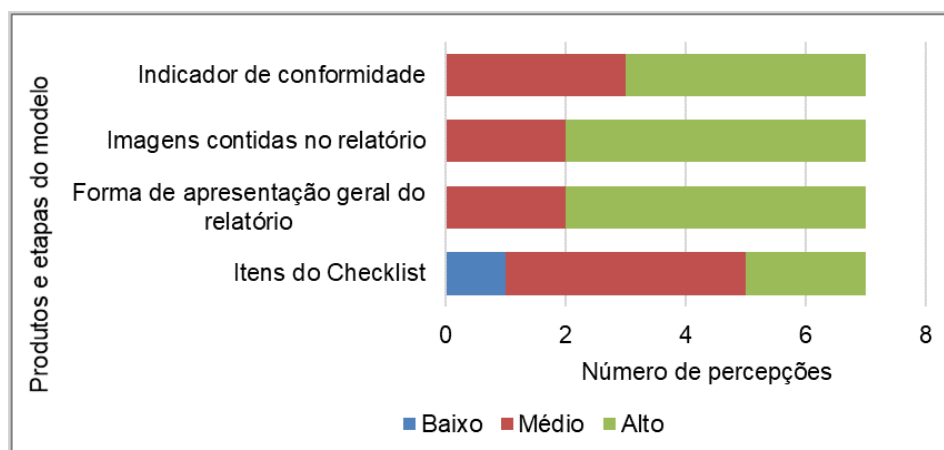
uma melhor compreensão das condições de segurança, corroborando com Golparvar-Fard, Peña-Mora e Savarese (2011).

Quanto ao entendimento das **informações no relatório**, o Engenheiro de Produção (Estudo C), o Gestor de Produção e o Engenheiro de Segurança apontaram ter tido dificuldade em alguns momentos na identificação das não conformidades apenas por meio das imagens. Para eles, deveria haver uma sinalização para facilitar a identificação das mesmas. Embora os estudos anteriores apresentem que o uso do VANT facilita a visualização e o entendimento das situações inseguras em canteiro (IRIZARRY; COSTA, 2016; MELO *et al.* 2017; PALACIOS *et al.* 2018; MARTINEZ; GHEISARI; ALARCÓN, 2020). Neste estudo, percebeu-se que os profissionais envolvidos na rotina diária do canteiro tiveram maior facilidade em entender as informações fornecidas, necessitando de um menor detalhamento das situações quando comparados àqueles que trabalhavam no escritório.

Segundo o Engenheiro de Segurança, a sinergia entre as inspeções com VANT e as auditorias realizadas pela empresa facilitaram o entendimento das informações. Além disso, os usuários destacaram a importância das discussões dos resultados para esclarecer as dúvidas sobre as situações identificadas em campo, uma vez que trazia informações sobre os conflitos entre produção e segurança e as lacunas entre os procedimentos (trabalho imaginado) e o trabalho realizado.

Para a variável nível de atendimento às necessidades de informação, a Figura 61 apresenta os resultados da percepção dos usuários. Com exceção dos **itens do checklist**, todos os demais produtos foram bem avaliados. Apesar de o *checklist* de inspeção com VANT ser baseado no *checklist* de auditoria utilizado pela empresa, a maioria dos usuários avaliaram este produto como de baixo e médio impacto. Isso se deve ao fato de o *checklist* envolver apenas os itens externos que, apesar da sua importância, não permite ter um panorama completo das condições de segurança. Esta percepção influencia diretamente no indicador de conformidade que, por não envolver todos os requisitos de segurança (documentação e itens internos), acaba por não representar com precisão a realidade do canteiro.

Figura 61 - Percepções quanto ao nível de atendimento às necessidades de informação



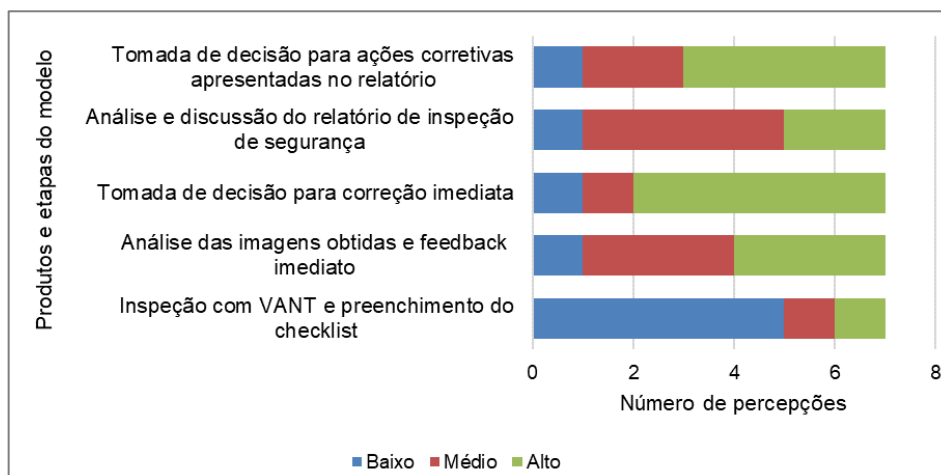
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Essa limitação quanto à impossibilidade de monitorar os ambientes internos das edificações também foi discutida por Melo *et al.* (2017) e Martinez, Gheisari e Alarcón (2020), destacando a necessidade de incorporar outras tecnologias, como, por exemplo câmeras fixa e câmeras em modo *walk-through*, para avaliar os perigos em ambientes externos.

Por outro lado, o uso do indicador de conformidade por parte da alta direção para intervenção na tomada de decisão chama atenção ao fato de que, apesar de não representar o canteiro como um todo, demonstrou-se útil para avaliar as condições externas de segurança e representar a necessidade de intervenção em tempo hábil.

A Figura 62 apresenta o nível de participação dos usuários durante a aplicação do modelo. Com base nos resultados, a maioria dos usuários avaliou como baixa ou média a participação da equipe durante a aplicação do modelo, com exceção das etapas **tomada de decisão para correção imediata e tomada de decisão para ações corretivas**. Esse resultado evidencia um baixo interesse dos profissionais em acompanhar as atividades de inspeção especialmente quando são realizadas por terceiros. Em razão disso, percebeu-se que o não envolvimento dos agentes influencia diretamente na proposição de uma resposta assertiva, dado que as etapas de **inspeção com VANT e análise das imagens** atuam na conscientização sobre o estado real das condições de campo.

Figura 62 - Percepções quanto ao nível participação durante a aplicação do modelo

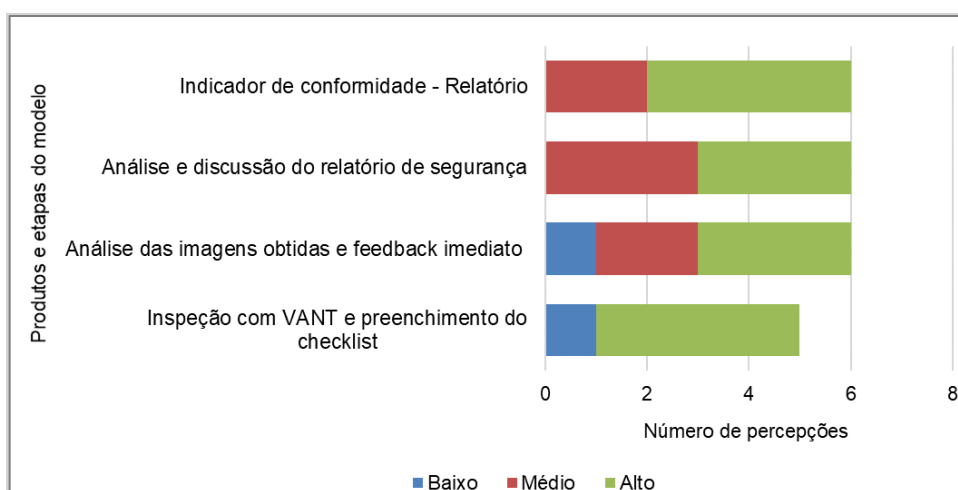


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A etapa de **análise e discussão do relatório**, por sua vez, contribuiu para a tomada de decisão de forma colaborativa. Portanto, os resultados indicam que é imprescindível a participação dos profissionais em todas as etapas do monitoramento, para que haja uma melhor comunicação e colaboração entre os integrantes do projeto e a criação de um ambiente propício para o desenvolvimento da resiliência.

A Figura 63 apresenta a percepção dos usuários quanto ao nível de contribuição das etapas e produtos para as correções imediatas.

Figura 63 - Percepções quanto à contribuição das etapas e produtos para correções imediatas



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

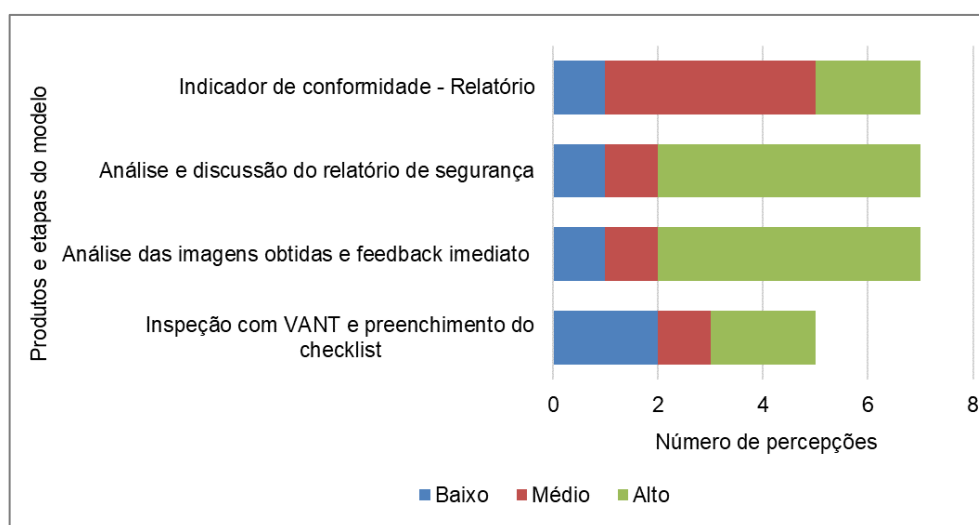
Na percepção do Engenheiro de Segurança, a **inspeção com VANT** e a **análise das imagens** têm um baixo impacto, haja vista a dificuldade dos técnicos de segurança em acompanhar o processo e propor ações em tempo hábil. Em oposição, os

Técnicos de Segurança argumentaram que as etapas de **inspeção com VANT** e a **análise das imagens** são os melhores momentos para agir, uma vez que podem ir no local onde ocorre a não conformidade para verificar o que está acontecendo e propor uma ação imediata. No geral, os resultados indicam que a etapa de **inspeção com VANT e preenchimento do checklist** possibilita uma maior chance de intervenção imediata, em razão da oportunidade de atuar diretamente na fonte do perigo, corroborando com Irizarry, Gheisari e Walker (2012), Melo *et al.* (2017) e Palacios *et al.* (2018). Além disso, verificou-se que a informatização do processo de inspeção com VANT possibilitou um *feedback* mais eficiente, especialmente para as condições de risco iminente, avançando em relação aos estudos realizados por Irizarry, Gheisari e Walker (2012), Irizarry, Costa e Kim (2016) e Melo *et al.* (2017) e Martinez, Gheisari e Alarcón (2020).

O **indicador de conformidade** também se destacou pelo alto potencial de intervenção imediata, especialmente para aqueles que não compartilham das rotinas diárias de segurança do canteiro. Dessa forma, o modelo apresentado também contribuiu com a geração de um indicador de desempenho, considerando o grau de risco dos requisitos de segurança. O Coordenador de Segurança preferiu não avaliar algumas situações em virtude do seu distanciamento das rotinas diárias do canteiro.

A Figura 64 apresenta o nível de contribuição das etapas e produtos do modelo para ações corretivas. Segundo as percepções dos usuários e as observações diretas, as etapas que mais contribuíram para a proposição de ações corretivas foram as **análises das imagens e feedback imediato** e as **discussões dos relatórios de segurança**. Durante essas etapas, percebeu-se que as discussões sobre os itens não conformes favoreceram uma maior colaboração entre as equipes para a proposição de medidas corretivas e preventivas.

Figura 64 - Percepções quanto ao nível de contribuição das etapas e produtos para ações corretivas



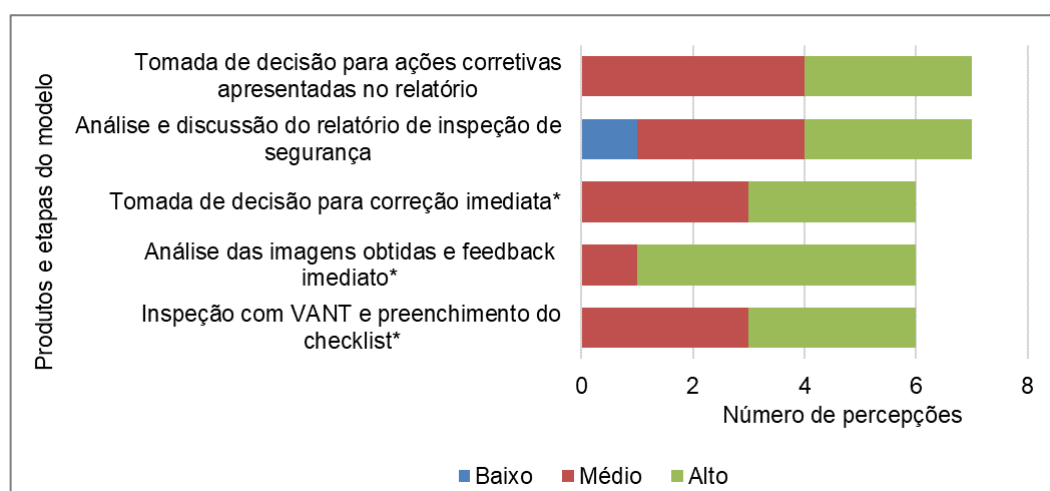
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

6.1.2.2 Impactos e riscos associados ao uso do modelo

Neste constructo serão avaliadas as variáveis: (a) nível de envolvimento e interação entre os usuários, (b) simplificação do processo de monitoramento e redução do tempo de inspeção, (c) nível de impacto na rotina do trabalhador (privacidade, distração, risco de queda e potencial de melhoria), (d) confiabilidade da tecnologia (ocorrência de falhas e problemas), e (e) benefícios e potenciais de melhorias.

A Figura 65 apresenta os resultados das percepções dos usuários quanto ao nível de envolvimento e interação entre os usuários.

Figura 65 - Percepções quanto ao nível envolvimento e interação da equipe



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Ao analisar os dados, percebe-se que a etapa de maior interação e envolvimento é a **análise das imagens e feedback imediato**. Segundo as percepções dos entrevistados, as discussões sobre as condições de segurança e a implementação de medidas corretivas contribuem para evitar a reincidência das não conformidades, corroborando com Wehbe, Hattab e Hamzeh (2016). Por outro lado, a alta direção argumenta que o envolvimento e interação entre as equipes ainda é considerado de médio impacto e um maior esforço é necessário para manter as condições adequadas de segurança.

Ainda referente ao envolvimento e interação da equipe, é importante destacar que ao longo dos três estudos de casos foram enviados 90 e-mails com relatórios de resultados para toda a equipe de segurança, produção e qualidade (em média 12 participantes por Estudo de Caso). Destes 90 e-mails, apenas 43 foram respondidos, o que corresponde a 48%. Para a maioria das inspeções, não houve interação da equipe por e-mail. Ao avaliar o retorno dos e-mails por equipe, percebeu-se que no Estudo de Caso A houve uma maior participação da equipe de segurança, enquanto nos Estudos de Caso B e C houve uma maior participação da equipe de produção. Isso se deve a maior proximidade do Gestor de produção com a equipe da obra. Além disso, destaca-se a participação da coordenação de qualidade, especialmente no que se refere à manutenção dos requisitos de organização do canteiro e gestão de resíduos.

Ao analisar o conteúdo das respostas foram identificadas mensagens de incentivo, observações da alta direção quanto à necessidade de melhorias das condições de segurança, principalmente para os requisitos básicos de segurança (ausência de EPI e isolamentos) e o apoio na resolução de situações de maior complexidade.

Para avaliar a variável simplificação das etapas e redução do tempo de inspeção utilizou-se como a principal fonte de evidência, os registros de dados dos voos (*Flight Log*). É importante lembrar que no Estudo de Caso A, todos os dados eram coletados com VANT em campo e após o voo era realizado a análise dos dados para preenchimento do *checklist* e relatório em laboratório, resultando em um tempo médio estimado de 205 minutos¹⁵ (Tabela 3). Enquanto isso, para o Estudo de Caso B e C

¹⁵ Este tempo considera apenas os tempos de coleta, processamento e análise, não sendo considerado o tempo gasto de deslocamento entre a obra e a universidade.

foi utilizado o sistema informatizado desenvolvido por Rey (2020) para o preenchimento do *checklist* em campo durante o voo e a geração do relatório em escritório na obra, resultando em um tempo médio estimado de 60 minutos (Tabela 5). A simplificação de etapas gerada por meio da informatização do processo ocasionou em uma redução de 70,7% do tempo total despendido nas etapas de aplicação do modelo.

Como forma de avaliar o nível de impacto do modelo na rotina do trabalhador, foi aplicado um questionário aos trabalhadores que estavam constantemente sendo monitorados pelo VANT, a fim de conhecer suas percepções acerca dos riscos e uso das informações (Tabela 9), como apresentado na seção 4.7 (Método de Pesquisa).

Tabela 9 - Resultado da percepção dos trabalhadores

Pergunta	Amostra	Média	Desvio Padrão
Durante o voo do drone, qual foi grau de invasão de privacidade que você sentiu?	63	1,27	0,63
Durante o voo do drone, qual foi o grau de distração que você teve?	63	1,29	0,58
Durante o voo com drone, qual foi o grau de preocupação de risco de queda da aeronave que você sentiu?	63	1,63	1,10
O quanto você acha que o drone pode ajudar na melhoria das condições de trabalho em canteiro?	63	4,48	0,90

Escala Likert (1-muito baixo a 5 – muito alto)

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Para as perguntas em relação ao grau de invasão de privacidade e distração, nenhum trabalhador respondeu alto ou muito alto, alcançando um resultado médio entre as faixas de percepção muito baixo e baixo, 1,27 e 1,29 respectivamente. Quanto ao grau de preocupação com o risco de queda, sete trabalhadores alegaram se preocupar (alto ou muito alto) com o risco de queda da aeronave, contudo, a média também se manteve entre as faixas de percepção muito baixo e baixo (1,67). A quarta pergunta teve como o propósito avaliar se os trabalhadores achavam positivo e benéfico as inspeções com VANT para melhoria das condições de trabalho. Ao contrário do esperado, a grande maioria acredita que o VANT contribui com uma melhor visualização do canteiro (4,68), registrando apenas três percepções nas faixas de muito baixo e baixo.

De modo geral, os resultados encontrados quanto ao grau de privacidade, distração e risco de queda corroboram com os achados discutidos por Melo (2016) e contrastam com as preocupações apresentadas por Irizarry e Costa (2016), Tatum e Liu (2017) e Golizadeh *et al.* (2019). Diante disso, é preciso ressaltar que os estudos realizados nesta tese e por Melo (2016) foram na cidade de Salvador e região metropolitana, representando dados locais. Logo, é necessário coletar a percepção de trabalhadores em outras cidades e países para uma discussão aprofundada.

Outro ponto discutido refere-se ao uso das informações para punição dos trabalhadores. Segundo os entrevistados e observações diretas, verificou-se que a equipe de produção ainda tem o *mindset* de atribuir ao trabalhador a responsabilidade pelas não conformidades e problemas identificados em campo, utilizando as informações para dar advertências verbais e escritas. Essa postura adotada pelos profissionais de produção corrobora com Lingard e Rowlinson (2005), sobre a ênfase dada na construção civil no comportamento dos indivíduos. Por outro lado, na visão da equipe de segurança, as não conformidades são causadas por razões diversas, incluindo falhas de gestão. Os profissionais de segurança relataram o uso das informações fornecidas para educar ao invés de punir.

Em relação à confiabilidade da tecnologia, os registros do *Flight log* apontam que 125 voos foram realizados para atender os processos de inspeção e o monitoramento da parede de concreto ao longo dos três estudos de casos, sendo reportadas apenas cinco situações referentes à ocorrência de falhas. As situações registradas estão associadas à: falha na visualização da câmera no aplicativo (1), perda de conexão entre a aeronave e o controle, necessitando o retorno automático da aeronave (2), perda temporária de conexão durante o voo (3) e queda da aeronave de baixa altitude (4), aproximadamente 6 metros, sem ocorrência de danos humanos e materiais.

Em comparação com o estudo de Melo (2016) houve uma melhoria significativa em relação às falhas de perda de conexão temporária e uso do retorno automático da aeronave, justificada pela maior confiabilidade do pacote de dados e pelo uso de um equipamento melhor, o DJI Phantom 4. As perdas instantâneas de conexão ao final da obra podem ser associadas às interferências eletromagnéticas causadas pela grande quantidade de equipamentos metálicos e aços das estruturas, como evidenciado no estudo de Martinez, Gheisari e Alarcón (2020) e Irizarry, Costa e Kim (2020).

Embora a autonomia da bateria seja uma das desvantagens destacadas por Kim e Irizarry (2015), no presente estudo a autonomia da bateria não foi um impedimento para a coleta de dados, sendo utilizada uma bateria para cada inspeção, com média de voo de 18 minutos. De modo geral, as aeronaves utilizadas (DJI Phantom 3 e DJI Phantom 4) apresentaram resultado satisfatório, uma vez que 96% dos voos realizados foram bem-sucedidos sem nenhum registro de falhas.

O Quadro 29 apresenta um comparativo entre os benefícios da adoção do modelo e os principais estudos apresentados na revisão da literatura (seção 3.3.2).

Quadro 29 - Comparativo dos benefícios relacionados ao monitoramento com VANT

Benefícios	[a]	[b]	[c]	[d]	[e]	[f]	[g]
Possibilidade de coleta de dados de diferentes ângulos (visão aérea)	X	x	x	x		x	x
Possibilidade de avaliar os dados segundo diferentes perspectivas (produção e segurança)	X						
Redução do tempo de inspeção	X	x	x	x		x	x
Visualização das condições do canteiro e seu entorno	X	x	x	x	x	x	x
Fácil acesso a atividades de risco, como por exemplo, trabalho em altura	X	x	x	x	x	x	x
Possibilidade de tomada de ação imediata	X		x	x	x	x	x
Conscientização das condições gerais de segurança por meio de relatório e imagens	X			x			x
Maior frequência do monitoramento	X					x	
Geração de base de dados com imagens e registro da obra e sua evolução	X		x	x			
Resgate de informação de inspeções anteriores por meio dos relatórios	X						
Possibilidade de elaborar progressões futuras e antecipar ações em obras futuras	X						
Disseminação dos resultados e boas práticas com todos os envolvidos no projeto e com outras obras (<i>Benchmarking</i> interno)	X						

[a] resultados da tese; [b] Irizarry, Gheisari e Walker (2012); [c] Kim, Irizarry e Costa (2016); [d] Melo *et al.* 2017; [e] Palacios *et al.* 2018; [f] Martinez, Gheisari e Alarcón (2020); [g] Irizarry, Kim e Costa (2020).

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Segundo a análise apresentada no Quadro 29, o modelo proposto apresenta como principal benefício a possibilidade de avaliar os dados segundo diferentes perspectivas, integrando as equipes de segurança e produção. Além disso, o modelo permite o resgate de informações de inspeções anteriores por meio dos relatórios; possibilita a elaboração de progressões futuras; favorece a aplicação das lições aprendidas em obras futuras; e facilita a disseminação os resultados e boas práticas com todos os envolvidos no projeto por e-mail e com outras obras (*Benchmarking* interno).

Conforme apresentados no Quadro 29, todos os estudos destacaram o benefício de inspecionar áreas de difícil acesso, em especial, as proteções coletivas contra queda em altura (guarda-corpos, redes de proteção e aberturas nos vãos da laje).

Durante a avaliação, os Técnicos de Segurança relataram que para atividades externas existe um elevado potencial de substituição da inspeção tradicional pelo monitoramento com VANT, haja vista que o VANT consegue monitorar grandes áreas e locais de difícil acesso em um menor tempo. Esse resultado corrobora com Melo *et al.* (2017) e Golparvard-Fard, Peña-mora e Savarese (2011) sobre a possibilidade de realizar inspeções remotas com o uso de tecnologias digitais.

Com relação a potenciais melhorias identificadas pelos usuários (Estudo de Caso A, B e C), os entrevistados destacaram as mudanças necessárias no modelo e no comportamento gerencial para o uso mais eficaz das informações fornecidas com VANT, conforme apresentado no Quadro 30.

Quadro 30 – Percepção dos entrevistados sobre as melhorias necessárias (n=12)

Melhorias gerenciais	Melhorias no modelo
Melhorar o alinhamento e comunicação entre as equipes de produção e segurança.	Avaliar os dados semanais comparando com dados anteriores.
Aumentar o uso dos ativos em DDS, treinamentos, PT, APR, SIPAT e POP.	Intensificar a frequência de reuniões de discussão de <i>feedback</i> e <i>workshop</i> envolvendo a alta direção.
Dimensionar melhor o quadro de técnicos de segurança.	Incorporar ferramentas de gestão integrada (ex. Método PDCA) e mapa com os riscos de acidentes mais recorrentes.
Realizar o planejamento da segurança integrado à produção.	Gerar produtos focados no trabalhador para disseminação dos resultados.
Disponibilizar recursos audiovisual para apresentar os resultados do monitoramento em DSS e treinamentos.	Apresentar os riscos por escala de cores e evidenciar os itens recorrentes no relatório.

Melhorias gerenciais	Melhorias no modelo
Documentar as adaptações e boas práticas realizadas em canteiro (memória organizacional).	Dificuldade em dar <i>zoom</i> nas imagens apresentadas no relatório (<i>checklist</i> digital).

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Os resultados indicam a necessidade de melhorias gerenciais, como por exemplo, o maior envolvimento dos profissionais de segurança no planejamento da produção. Outro ponto destacado foi a necessidade de um melhor dimensionamento dos profissionais de segurança, tendo em vista a elevada demanda de atividades administrativas e operacionais em canteiro. Segundo os entrevistados, a insuficiência de técnicos de segurança reflete diretamente na dificuldade de usar os ativos e informações fornecidas pelo modelo para promover ações preventivas.

Para os técnicos de segurança, é necessário um maior investimento em ferramentas de trabalho, como, por exemplo, *notebooks* e projetores, a fim de melhorar a qualidade dos treinamentos. Essa carência de recursos dificultou o uso das imagens e vídeos coletados com VANT. Sendo assim, nota-se que a ineficácia dos treinamentos pode levar a uma compreensão incompleta da situação, impactando na proposição de ações corretivas e preventivas, corroborando com Hollnagel e Woods (2005).

Com relação a potenciais melhorias no modelo, os entrevistados destacaram a necessidade de intensificar os *workshops* com a alta direção visando uma maior interação entre o nível operacional e o nível gerencial. Segundo a percepção dos profissionais de segurança, o modelo traz como limitação a baixa disseminação dos resultados para os trabalhadores do campo, sendo necessário a proposição de rotinas para integrá-los ao processo de monitoramento e aprendizado.

Para a alta direção, apesar da elevada transparência do processo de inspeção, o plano de ação não era integrado, logo, nem sempre eles tinham conhecimento da ação tomada para cada ponto levantado na inspeção. Dessa forma, percebe-se que para obter melhor compreensão da situação e das adaptações realizadas, o relatório deve conter a descrição dos problemas e como os profissionais lidaram com a situação.

6.2 DIRETRIZES PARA A IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO

Esta seção apresenta as diretrizes para implementação do modelo (Figura 57) com base nos estudos empíricos e revisão da literatura. As diretrizes propostas consideram que para uma implementação bem sucedida do modelo deve haver uma integração entre tecnologia, pessoas e organização. As pessoas compõem os indivíduos responsáveis pelo ajuste de desempenho, a organização é representada pelos processos, procedimentos, recursos, condições facilitadoras e cultura de segurança, e a tecnologia, neste caso, o VANT, é utilizado para o monitoramento das condições de segurança. As diretrizes propostas são apresentadas com detalhes a seguir:

- **Fornecer *feedback* em tempo hábil para os envolvidos no processo (diretriz 1):** o *feedback* em tempo hábil visa a dar celeridade ao processo de tomada de decisão, fornecendo informações sobre a real condição do canteiro (TEIZER, 2013; BEEK; SCHRAAGEN, 2015). As informações geradas a partir da coleta e processamento dos dados devem ser aplicadas e disseminadas para todos os envolvidos no projeto imediatamente. Para as situações de risco iminente, o *feedback* em tempo hábil é essencial para que uma ação eficaz seja implementada. Para tanto, o monitoramento deve permitir identificar os riscos no contexto específico de cada processo e avaliar o desempenho atual, dando prioridade as situações de maior risco. As situações de menores riscos devem ser avaliadas visando a propor ações corretivas e preventivas, evitando que as mesmas se tornem situações de maior complexidade. Embora o uso do VANT seja capaz de promover maior celeridade ao *feedback*, é preciso que um profissional capacitado seja responsável pelo monitoramento *on-site* e análise dos dados, avaliando os resultados segundo os objetivos e metas da empresa.

- **Criar um ambiente orientado para o desenvolvimento da prontidão (diretriz 2):** a prontidão está associada à capacidade da equipe em saber quando e como responder, ao gerenciamento dos recursos e a tomada de decisão (HOLLNAGEL, 2018). Como apresentado no modelo, as ações de resposta devem ser baseadas na avaliação da situação, ou seja, nas informações fornecidas pelo monitoramento, como discutido por Rankin, Lundberg e Woltjer (2014). Para tanto, os estudos empíricos evidenciam que é necessário a previsão de folgas e redundância em termos de recursos físicos (equipamentos e materiais) e profissionais capacitados, sendo essencial um planejamento condizente com a realidade.

A implementação de respostas não eficazes provoca o desperdício de recursos e tempo, o agravamento dos problemas e até mesmo o desestímulo da equipe. Dessa forma, é preciso desenvolver ferramentas e métodos para avaliar a efetividade das ações (avaliação de desempenho), para assim, conseguir contornar a situação em casos de implementação de ações ineficazes.

- **Incentivar a tomada de decisão de diferentes perspectivas (diretriz 3):** essa diretriz surge das diretrizes de complexidade propostas por Saurin, Rooke e Koskela (2013), nas quais argumenta-se que a tomada de decisão deve levar em consideração as diferentes percepções dos envolvidos na atividade, a fim de analisar diversos cenários e implementar ações compatíveis com a realidade do canteiro. Para isso, as discussões (formais e informais) entre as equipes após o monitoramento e as reuniões de planejamento devem ser incorporadas na rotina de segurança, uma vez que contribuem para o aumento da colaboração e melhor compreensão dos problemas, criando oportunidades para a tomada de decisão em conjunto.

- **Dar visibilidade aos processos e resultados (diretriz 4):** essa diretriz é adaptada do estudo proposto por Saurin, Rooke e Koskela (2013), em que as estratégias adotadas durante o monitoramento não devem ressaltar apenas os incidentes, erros e desvios, mas favorecer a visualização das práticas informais. Para isso, o uso do VANT deve ser orientado para a observação de como o trabalho é realizado na prática, favorecendo a compreensão das lacunas entre o trabalho realizado e o imaginado. As adaptações e boas práticas, assim como as ações propostas para correção das falhas devem ser discutidas com a equipe, para que sejam melhor compreendidas e, em seguida, ser disseminadas para todos os envolvidos. As análises dos dados devem buscar melhores condições de trabalho por meio da compreensão das práticas realizadas, ao invés de usar as informações para aplicar uma cultura de culpa centrada no comportamento humano.

- **Promover o fluxo de comunicação bidirecional (diretriz 5):** os resultados do monitoramento, as ações implementadas e as lições aprendidas devem seguir um fluxo de comunicação bidirecional, ou seja, ir ao encontro da alta direção e dos trabalhadores da linha de frente (WEHBE; HATTAB; HAMZEH, 2016). Para tanto, o com-

partilhamento das experiências e práticas informais deve ocorrer sem restrições, favorecendo a proposição de novas soluções por parte dos trabalhadores e a comunicação de eventos indesejados (incidentes e falhas).

- **Atualizar os procedimentos e ferramentas de gestão considerando o trabalho realizado (diretriz 6):** apesar da importância do trabalho imaginado no planejamento e gerenciamento do trabalho, os dados empíricos apresentam que os procedimentos e ferramentas de gestão (ex. *checklist*) tendem a restringir a forma como o trabalho é executado e inspecionado, não considerando os ajustes de desempenho realizados na prática. Para que haja flexibilidade e um olhar mais abrangente na rotina de como o trabalho é executado na prática, deve-se envolver trabalhadores da linha de frente na atualização dos procedimentos, visando a retratar de forma mais realística como o trabalho acontece e incorporar instruções claras que facilitem a tomada de decisão, especialmente para os processos críticos.

- **Criar um ambiente que ofereça suporte ao aprendizado colaborativo com base nas experiências de sucesso e falhas (diretriz 7):** para que os ajustes de desempenho sejam possíveis, é preciso que a organização ofereça suporte ao aprendizado colaborativo por meio do envolvimento dos diferentes intervenientes nas atividades de segurança e na alocação de recursos para o aprendizado e capacitação. É imprescindível compreender que o aprendizado deve ir além dos dados de acidentes, incidentes e falhas (*Safety-I*), criando oportunidades para aprender com as adaptações que contribuem para o sucesso e manutenção das operações diárias (*Safety-II*). Para tanto, a criação de ambiente voltado ao aprendizado precisa incorporar uma memória organizacional como discutido por Costa (2008), a fim de organizar as lições aprendidas ao longo do período de construção e disseminar de forma mais ampla o conhecimento na organização. Na ausência de uma memória organizacional, o aprendizado fica limitado às mentes das pessoas que vivenciaram as experiências, e as falhas e problemas acabam ocorrendo novamente em outros projetos.

De modo geral, as diretrizes apresentadas envolvem as perspectivas *Safety-I* e *Safety-II*, haja vista que ambas são necessárias para alcançar um desempenho resiliente. Esse desempenho passa a se tornar resiliente com o aumento de práticas proativas e a redução de ações reativas. Entretanto, devido à complexidade dos sistemas

e a influência de fatores externos imprevisíveis, ações reativas sempre irão acontecer, requerendo um maior esforço do sistema para monitorar e responder prontamente.

6.3 DISCUSSÕES – CONTRIBUIÇÕES DA TESE

A presente tese foi desenvolvida de acordo com os princípios da estratégia de pesquisa *Design Science Research*. Segundo Van Aken (2004), entender um problema é apenas metade do processo de pesquisa, a segunda metade consiste em desenvolver e testar a solução proposta. A solução proposta deve ser passível de generalizações e possibilitar o enquadramento de problemas de uma mesma classe, gerando conhecimento. O conhecimento gerado a partir do teste e da avaliação da solução pode ser entendido como “regra tecnológica”, uma vez que relaciona “uma intervenção ou um artefato a um resultado ou desempenho desejado em um determinado campo de aplicação” (VAN AKEN, 2004 p. 10). Portanto, a DSR objetiva ao final da pesquisa o estabelecimento de prescrições genéricas para uma classe de problemas.

A problemática de pesquisa trabalhada nessa tese abordou a dificuldade de integração das tecnologias digitais às rotinas de segurança em canteiro de obras (LIU et al., 2014; PARK; KIM; CHO, 2016; MELO et al., 2017; PALACIOS et al., 2018; MARTINEZ; GHEISARI; ALARCÓN, 2020; REY, 2020), dando ênfase ao uso pontual das tecnologias na promoção de ações reativas (perspectiva *Safety-I*) (ZHOU; IRIZARRY; LI, 2014; TEIZER, 2016). Em vista disso, essa tese aborda a lacuna de conhecimento referente à ausência de métodos voltados à integração do monitoramento da segurança com VANT ao SGS, incorporando práticas proativas (perspectiva *Safety-II*).

Sendo assim, esta seção tem como objetivo apresentar as contribuições teóricas e práticas da tese para a problemática estudada.

6.3.1 Contribuições teóricas

Essa tese apresenta cinco contribuições teóricas, envolvendo a aplicação do monitoramento com VANT, o processo de inspeção de segurança e a Engenharia de Resiliência.

O potencial de uso do VANT para monitoramento da segurança em canteiro de obras tem chamado atenção na última década, com destaque para os estudos voltados à inspeção de EPI (IRIZARRY; GHEISARI; WALKER, 2012), avaliação dos ativos

visuais para monitoramento das condições de segurança em canteiro de obras (IRIZARRY; COSTA; KIM, 2015a; IRIZARRY; COSTA, 2016), inspeção de segurança para avaliar conformidade de requisitos técnicos (MELO *et al.*, 2017; KIM; IRIZARRY; COSTA, 2020), análise de risco (PALACIOS *et al.*, 2018) e planejamento da segurança (MARTINEZ; GHEISARI; ALARCÓN, 2020). Dessa forma, apesar dos avanços quanto à sistematização do uso do VANT (PALACIOS *et al.*, 2018; KIM; IRIZARRY; COSTA, 2020; MARTINEZ; GHEISARI; ALARCÓN, 2020) pouco se discute como o monitoramento com VANT pode ser integrado ao SGS, considerando uma abordagem proativa, uma vez que as aplicações são direcionadas para identificação de situações de perigo.

Nesse contexto, a primeira contribuição consiste na proposição de um modelo para monitoramento da segurança com VANT integrado ao SGS, considerando uma abordagem proativa. Diferente dos modelos apresentados por Palacios *et al.* (2018), Kim, Irizarry e Costa (2020) e Martinez, Gheisari e Alarcón (2020), o modelo proposto incorpora o uso do VANT a práticas de gestão da segurança. Para avançar no processo de inspeção, o modelo adota a visão da Engenharia de Resiliência, no qual entende-se que é necessário monitorar os eventos negativos (não conformidades) e positivos (boas práticas e adaptações), dado que ambos são necessários para entender o comportamento do SGS praticado pelas empresas (JONES; PHIPPS; ASHCROFT, 2018; TEPERI, 2019).

A segunda contribuição consiste na proposição de aplicações e análises voltadas à perspectiva *Safety-I*. Dentre os principais ganhos referentes à perspectiva *Safety-I* têm-se o refinamento das análises de não conformidade a partir do tipo de barreiras degradadas (HOLLNAGEL, 2004), a avaliação das barreiras físicas (TROST; NERTNEY, 1995 *apud* WINGE; ALBRECHTSEN, 2018) e suas potenciais falhas (KJELLÉN; ALBRECHTSEN, 2017). Apesar do caráter reativo, tais análises enriquecem a visão *Safety-I*, melhorando a compreensão sobre as ineficiências das práticas de gestão. Além disso, os estudos empíricos evidenciaram o potencial do VANT para inspecionar as barreiras físicas, corroborando com Melo *et al.* (2017), Palacios *et al.* (2018) e Martinez, Gheisari e Alarcón (2020), as barreiras simbólicas e, em casos excepcionais, as barreiras imateriais.

De modo a ir além do modelo de gestão da segurança tradicional (*Safety-I*), esta tese inova ao adotar a perspectiva *Safety-II* e os conceitos da ER junto ao uso do VANT no âmbito da construção civil. Nessa conjuntura, o modelo proposto contribuiu para a identificação e/ou desenvolvimento de mecanismos e práticas de resiliência no âmbito operacional e gerencial, como discutido nas seções 5.2.2 e 5.3.2, constituindo a terceira contribuição teórica.

No âmbito operacional, observou-se no estudo de processo crítico que os trabalhadores da linha de frente geram, de forma espontânea, manobras para reduzir a exposição ao risco corroborando com Peñaloza, Formoso e Saurin (2017). Essas manobras podem ser classificadas como mecanismos de compensação por falhas do sistema ou de gestão, como discutido por Hollnagel (2014). As inspeções periódicas com o VANT e análises dos itens conforme possibilitaram identificar outras práticas em canteiro, por exemplo, a alocação de profissionais capacitados para as atividades de maior riscos (PEÑALOZA; FORMOSO; SAURIN, 2017), a busca por soluções alternativas (WACHS *et al.*, 2016; IFLAIFEL *et al.*, 2020) e o trabalho colaborativo (WEHBE; HATTAB; HAMZEH, 2016; WACHS *et al.*, 2016; PEÑALOZA; FORMOSO; SAURIN, 2017). Práticas relacionadas ao posicionamento e distribuições de materiais em canteiro e planejamento do *layout* também foram identificadas pelo monitoramento com VANT.

No âmbito gerencial, as rotinas de integração e uso das informações promovidas pelo modelo (Figura 57) contribuíram para o aperfeiçoamento de mecanismos e práticas voltadas ao controle dos processos, como a paralisação das atividades para intervenção imediata (BEEK; SCHRAAGEN, 2015; WAHL; KONGSVIK; ANTONSEN, 2020), reduzindo os riscos de acidentes. Assim como as análises das imagens e *feedback* imediato e as discussões dos relatórios de segurança, quando conduzidas adequadamente, tendem a favorecer o *feedback* imediato, o ambiente colaborativo e a tomada de decisão de diferentes perspectivas, contribuindo para o gerenciamento proativo, corroborando com Teizer (2010), Saurin, Rooke e Koskela (2013) e Wehbe, Hattab e Hamzeh (2016). O modelo proposto também se destaca pelas rotinas de interação e disseminação dos resultados para todos os envolvidos, favorecendo a identificação de forma rápida dos sinais de deterioração do desempenho (resiliência).

A quarta contribuição consiste nas reflexões sobre como o monitoramento da segurança com VANT contribui para o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência (seção 6.1.1). O desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência ocorre à medida que os dados coletados durante o monitoramento com VANT são transformados em informações, proativas e reativas, capazes de dar suporte às ações de resposta mais conscientes e eficazes, ações de fomento ao aprendizado e de antecipação. Para tanto, as reflexões levaram ao entendimento de que para avançar no desenvolvimento dos potenciais para resiliência existe uma maior dependência de fatores humanos e organizacionais do que do uso da tecnologia em si, dado que a ausência de um ambiente propício para o desenvolvimento das habilidades necessárias para o uso efetivo das informações, torna o VANT um mero equipamento para registro fotográfico.

Diante das contribuições apresentadas, é inevitável não se discutir sobre o papel do técnico de segurança frente às mudanças tecnológicas e de modelo de gestão. Logo, o presente trabalho discute de forma simples os desafios com relação a adoção da perspectiva *Safety-II* (seção 2.4) e o papel dos profissionais de segurança responsáveis pelo monitoramento da segurança para aplicar o modelo (seção 6.1). Em vista das discussões apresentadas por Provan *et al.* (2020) sobre as mudanças no modelo de gestão e, conseqüentemente, nas atribuições dos profissionais de segurança (seção 2.4), os estudos empíricos apresentam evidências da necessidade de capacitação dos profissionais para a compreensão e promoção de uma visão proativa, centrada na melhoria da segurança a partir do aprendizado com o trabalho real, e não na atribuição de culpa e correção de não conformidades. Sendo esta reflexão a quinta contribuição teórica da presente tese.

6.3.2 Contribuições práticas

As contribuições práticas são resultantes dos estudos de caso e da avaliação do modelo. O modelo proposto contribuiu para a melhoria das condições de segurança em canteiro, como discutido a seguir:

- Os estudos empíricos evidenciaram que a maioria das barreiras degradadas em canteiro são barreiras físicas, seguidas das barreiras simbólicas. O monitoramento das barreiras nos Estudos de Caso B e C contribuiu para o aumentar o uso das barreiras físicas.

- O modelo proposto facilitou a identificação das categorias de maior risco, facilitando a proposição de ações corretivas. Os processos de maior risco de acidentes foram a parede de concreto, a alvenaria estrutural e o telhado. Para os processos destacados, o risco de queda em altura foi predominante.
- O monitoramento do processo crítico possibilitou a identificação das práticas informais realizadas pelos trabalhadores para a manutenção das operações diárias, contribuindo para a redução do risco (seções 5.2.2.1 e 5.3.3.1). Com relação ao uso do VANT, a maior contribuição no estudo de processo crítico foi a possibilidade de se obter uma visão aérea capaz de visualizar processos difíceis de serem observados no monitoramento tradicional.
- A inspeção com VANT e o preenchimento do *checklist* foram as rotinas que tiveram um maior impacto na proposição de ações imediatas, em razão da oportunidade de atuar diretamente na fonte do perigo. Enquanto as discussões e análises dos ativos visuais apoiaram de forma mais intensa na proposição de ações corretivas devido ao ambiente colaborativo e à tomada de decisão de diferentes perspectivas.
- Com o uso do modelo, foi perceptível o impacto dos fatores organizacionais na proposição de ações de respostas eficazes, tendo como destaque a incapacidade técnica da equipe no uso das informações, a falta de flexibilidade da organização à mudança, a falta de recursos (humanos e materiais) e a ausência de folgas no processo de produção.
- Com relação aos fatores que afetaram o aprendizado, destacam-se a priorização da produtividade em sacrifício consciente da segurança, a falta de recursos, a alta demanda de trabalho pelos técnicos, os treinamentos ineficientes, as falhas de planejamento, e a ausência de cultura de segurança.

Além das contribuições práticas apresentadas, a tese propõe um conjunto de diretrizes para orientar o uso do modelo visando alcançar um desempenho resiliente.

7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Essa seção apresenta as conclusões da tese, destacando como os objetivos específicos foram alcançados, as limitações do estudo e as recomendações para estudos futuros.

Para atingir o objetivo principal deste trabalho foi proposto um modelo para orientar o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência assistido pelo monitoramento da segurança com VANT, a partir da realização de três estudos de casos em canteiros de obras. Os pressupostos teóricos que fundamentam o modelo foram desenvolvidos e refinados durante os estudos, buscando transformar os potenciais em ações observáveis, denominados mecanismos de resiliência. O modelo proposto (Figura 57) foi dividido em três etapas, envolvendo rotinas operacionais e de segurança, produtos gerados e ações de resposta (ações aplicadas pelos profissionais da obra).

Os refinamentos realizados ao longo do estudo de caso A e dos estudos de caso B e C dizem respeito às contribuições teóricas e conceituais, como o melhor entendimento da relação entre os potenciais para resiliência e o monitoramento com VANT, uma melhor compreensão dos mecanismos e práticas de resiliência, as interações entre os profissionais dentro das rotinas propostas e o papel do profissional de segurança para identificar as ações que contribuem para um desempenho resiliente. O modelo e suas diretrizes podem ser utilizados por acadêmicos e usuários da indústria da construção, cujo interesse seja desenvolver mecanismos e práticas que contribuam para um desempenho resiliente.

Como objetivos específicos, a presente tese visa: (a) propor um protocolo para monitoramento com VANT integrado às rotinas do SGS, (b) identificar as contribuições do monitoramento com VANT para o desenvolvimento das perspectivas *Safety-I* e *Safety-II*, e (c) propor diretrizes para a aplicação do modelo. Tais objetivos e seus achados serão discutidos a seguir.

7.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS E PRODUTOS ALCANÇADOS

Para atingir o objetivo principal desta tese, faz-se necessário a discussão dos objetivos específicos, uma vez que representam contribuições importantes para o desenvolvimento do modelo, discutidos com mais detalhes a seguir.

a) Propor um protocolo para monitoramento com VANT integrado às rotinas do SGS considerando conceitos da ER.

O primeiro passo do presente estudo foi desenvolver um protocolo para o monitoramento com VANT integrado às rotinas do SGS. Para isso, optou-se por adaptar o protocolo de inspeção da segurança com VANT proposto por Melo (2016). O protocolo proposto foi desenvolvido e refinado ao longo dos ciclos de implementação, e incorporado à parte operacional do modelo. As atividades do protocolo são representadas pelo *checklist* e formulários para o uso do VANT, *checklist* de segurança para inspeção dos requisitos normativos, rotinas de integração entre equipes para discussão dos resultados após o voo e envio do relatório dos resultados da inspeção. Essas atividades são visualizadas nas Etapas 1 e 2 do modelo proposto (Figura 57).

Para avançar no modelo de inspeção, o protocolo para coleta e análise dos dados incorpora conceitos da ER visando a promover uma postura proativa. Em linhas gerais, o protocolo apresenta não apenas os perigos e não conformidades, como também os itens conformes e ações positivas realizadas no canteiro. Sob o ponto de vista operacional, o protocolo proposto destaca-se pela integração com o SGS da empresa e rotinas de interação com os usuários, facilitando sua aplicação em outras obras ou em outras indústrias.

b) Identificar as contribuições do monitoramento com VANT para o desenvolvimento das perspectivas Safety-I e Safety-II.

Tendo em vista o direcionamento dos estudos apontados na revisão para a promoção de ações reativas, procurou-se deixar claro neste trabalho as contribuições em relação às perspectivas *Safety-I* e *Safety-II*. Para a perspectiva *Safety-I*, o monitoramento com VANT permitiu identificar os perigos para cada contexto de forma individual, com destaque para o trabalho em altura, escavação e operação de máquinas. As informações fornecidas pelo monitoramento possibilitaram a análise dos perigos segundo o grau de risco e a identificação das barreiras degradadas, de forma ágil e precisa. Além disso, os estudos empíricos evidenciaram a facilidade de inspecionar as barreiras físicas e simbólicas, com a possibilidade de avaliar as barreiras imateriais, sempre que o responsável pela inspeção tiver maior domínio sobre as atividades de campo e os procedimentos utilizados pela empresa. Como limitação não foi possível

monitorar barreiras funcionais, uma das possibilidades futuras seria a combinação do VANT com tecnologia de rastreamento, tipo RFID.

Ainda sobre a perspectiva *Safety-I*, o modelo proposto permitiu identificar as seguintes falhas: fatores humanos, falhas técnicas, distúrbios no fluxo de material, informações inadequadas, canteiros desorganizados, construções e estruturas precárias, falha no uso do EPI, além das barreiras físicas. As limitações encontradas referem-se ao monitoramento de desvios devido às condições fisiológicas (por exemplo, sono, álcool e drogas) e aos riscos físicos, químicos e biológicos. Tais limitações precisam ser esclarecidas, uma vez que o canteiro de obra se trata de um ambiente complexo, no qual o uso de tecnologias digitais contribui para agilizar os processos de monitoramento de determinadas situações, mas não substitui o monitoramento e controle tradicional.

Para a perspectiva *Safety-II*, o modelo permitiu conhecer boas práticas e itens conformes, possibilitando relacionar a frequência dos eventos positivos com as ações realizadas pela equipe para a manutenção das condições de segurança. Essas ações, denominadas mecanismos de resiliência, foram identificadas no âmbito operacional e gerencial. No âmbito operacional foram classificados como mecanismos, práticas como a substituição de materiais em caso de ausência ou uso inadequado, as estratégias na definição do *layout* e para o armazenamento de materiais.

No âmbito gerencial, a triangulação dos dados coletados pelo monitoramento com VANT e as demais fontes de evidência (análise documental, observação participante e entrevistas) possibilitaram identificar os mecanismos e práticas realizadas pela equipe de gestão. Sendo algumas delas associadas ao uso das informações fornecidas pelo monitoramento com VANT durante as implementações. Por exemplo, as reuniões para propor soluções para os itens identificados no monitoramento com VANT (Plano de ação) e o uso das informações para tomada de ação imediata, especialmente em situações de risco iminente de acidente. Os mecanismos e práticas tiveram um maior impacto no desenvolvimento das habilidades de monitorar e de responder, promovendo a conscientização do estado atual do canteiro e a proposição de ações imediatas e corretivas.

É importante destacar que apesar dos estudos de caso serem realizados na mesma empresa, cada estudo possui contexto e características únicas que influenciaram no desenvolvimento das ações para lidar com a variabilidade. Como as características do projeto (tamanho, localização, orçamento, duração, quantidade de unidades) e as características da equipe (dimensionamento do quadro de profissionais, tempo de experiência, capacitação e formação).

Como reflexão, os estudos evidenciaram que não existe um procedimento ou protocolo que facilite a identificação e análise das práticas informais e situações oportunas (*Safety-II*). Sendo esta, uma habilidade vinculada à experiência dos responsáveis pelo monitoramento de saber “o que observar”, capturando no contexto real a interação entre pessoas e processos. Além disso, apesar do potencial de uso, quando não incorporado ao SGS e utilizado por profissionais sem o conhecimento técnico de segurança, o VANT torna-se apenas uma ferramenta para registro de fotos e vídeos.

c) Propor diretrizes para a aplicação do modelo para desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência assistido por meio do monitoramento da segurança com VANT.

As diretrizes propostas surgiram de reflexões sobre as contribuições do monitoramento com VANT para o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência, reunindo os fatores de sucesso e de vulnerabilidades identificados nos estudos de caso. A relação entre as diretrizes e os potenciais são apresentados no Quadro 31.

Quadro 31 – Relação entre as diretrizes e os potenciais de resiliência

Diretriz	Relação com os potenciais
Fornecer <i>feedback</i> em tempo hábil para os envolvidos no projeto	É resultado da habilidade de monitorar, cujo objetivo consiste em agilizar a tomada de ação imediata e corretiva (habilidade de responder)
Criar um ambiente orientado para o desenvolvimento da prontidão	Está relacionada à habilidade de responder, tendo em vista preparar a equipe para a tomada de decisão mais conscientes e eficazes
Incentivar a tomada de decisão de diferentes perspectivas	Busca contribuir com a habilidade de responder, uma vez que permite analisar situações segundo diferentes percepções para a proposição de soluções eficazes
Dar visibilidade aos processos e resultados	Está relacionada à habilidade de monitorar o trabalho realizado e as práticas informais, contribuindo para o aumento da transparência das ações e resultados

Diretriz	Relação com os potenciais
Promover o fluxo de comunicação bidirecional	Está associada as quatro habilidades, contribuindo para o aumento da transparência e da conscientização de trabalhadores e gestores sobre as ações implementadas
Atualizar periodicamente os procedimentos e ferramentas de gestão	Contribui para o desenvolvimento das habilidades de responder e antecipar, uma vez que procedimentos mais realísticos tendem a tornar as equipes mais bem-preparadas para a tomada de decisão
Criar um ambiente que dê suporte ao aprendizado colaborativo	Favorece a capacidade de aprender com o sucesso e com as falhas, por meio de capacitações e do compartilhamento de experiências entre diferentes intervenientes

Fonte: A autora (2020).

7.2 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Ao avaliar o modelo proposto, quatro limitações precisam ser melhor discutidas. Primeiro, é importante destacar a limitação de escopo, ou seja, devido à amplitude dos conceitos trabalhados pela ER (seção 2.2), para a construção do modelo adotou-se a resiliência como sendo uma propriedade da organização de gerenciar suas atividades após eventos inesperados ou na presença de um estresse contínuo, tendo como referência os potenciais para resiliência (HOLLNAGEL, 2010; 2018). Segundo, apesar do modelo ser avaliado segundo os constructos utilidade e impactos e riscos, ainda se faz necessário uma avaliação mais robusta dos impactos gerados em nível individual e organizacional. A terceira limitação se refere ao fato de os estudos empíricos terem sido realizados em empreendimentos da mesma empresa, o que pode ter influenciado nos resultados alcançados. Por fim, não foi possível avaliar a eficácia do modelo com relação à redução da taxa de acidentes e incidentes, uma vez que os indicadores não foram disponibilizados pela empresa.

7.3 RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Com base na temática apresentada, ainda há lacunas sobre como as tecnologias digitais podem contribuir para o desenvolvimento de um ambiente resiliente. Para tanto, a partir dos resultados obtidos nessa tese, são sugeridos os seguintes estudos futuros:

- implementar o modelo juntamente com outras tecnologias digitais, como o BIM, tecnologias de rastreamento e realidade virtual.

- comparar a contribuição das tecnologias digitais para o desenvolvimento dos mecanismos de resiliência na indústria da construção.
- identificar os mecanismos de resiliência e práticas em diferentes processos críticos, buscando propor novas classificações e análises.
- avaliar a influência dos mecanismos e práticas gerenciais para o desenvolvimento de um ambiente proativo e resiliência.
- avaliar como o modelo de aprendizagem adotado pela organização influencia no desenvolvimento dos demais potenciais.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). Regulamento Brasileiro da aviação Civil Especial (RBAC-E nº94). Brasília, DF: 2017.
- ALIZADEHSALEHI, S.; YITMEN, I.; CELIK, T.; ARDITI, D. The effectiveness of an integrated BIM/UAV model in managing safety on construction sites. **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, v.1, p. 1-16, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/10803548.2018.1504487>
- Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho: AEAT 2017 / Ministério da Fazenda ... [et al.]. – vol. 1 (2009) – . – Brasília: MF, 2017. 996 p.
- ARGYRIS, C. Single-loop and double-loop models in research on decision making. **Administrative science quarterly**, p. 363-375, 1976.
- ARGYRIS, C.; SCHON, D. **Organizational Learning: a Theory of Action Perspective Reading**. 1978.
- AWOLUSI, I.; MARKS, E.; HALLOWELL, M. Wearable technology for personalized construction safety monitoring and trending: Review of applicable devices. **Automation in Construction**, v. 85, p. 96-106, 2018.
- AZADEH, A.; SALEHI, V.; MIRZAYI, M. The Impact of Redundancy and Teamwork on Resilience Engineering Factors by Fuzzy Mathematical Programming and Analysis of Variance in a Large Petrochemical Plant. **Safety and Health at Work**, v. 7, n. 4, p. 307-316, 2016.
- AZADEH, A.; ZARRIN, M. Evaluating the Impacts of Resilience Engineering on Health, Safety, Environment, and Ergonomics Factors by Z-Number Cognitive Map in a Large Petrochemical Plant. **Safety and Health at Work**, 2015.
- BENITE, A. J. **Sistema de Gestão da Segurança e Saúde do Trabalho para Empresas Construtoras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- BERGSTRÖM, J.; DEKKER, S. The 2010s and Onward: Resilience Engineering. In: Dekker, S. (Ed.). **Foundations of safety science: a century of understanding accidents and disasters**. Boca Raton: CRC Press, 2019, p. 391-429.
- BRASIL. Ministério da Economia – Secretaria Especial de Previdência e Trabalho. **Norma Regulamentadora 1 (NR- 1): Disposições Gerais e Gerenciamento de Riscos Ocupacionais**. 2020.
- BRASIL. Ministério da Economia – Secretaria Especial de Previdência e Trabalho. **Norma Regulamentadora 18 (NR-18): Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção**. 2018a.
- BRASIL. Ministério da Economia – Secretaria Especial de Previdência e Trabalho. **Norma Regulamentadora 7 (NR-7): Programa De Controle Médico De Saúde Ocupacional**. 2018b.

BRASIL. Ministério da Economia – Secretaria Especial de Previdência e Trabalho. **Norma Regulamentadora 35 (NR-35): Trabalho em altura.** 2019.

BRAUN, V.; CLARKE, V. Using thematic analysis in psychology. **Qualitative research in psychology**, v. 3, n. 2, p. 77-101, 2006.

CAMBRAIA, F. B.; SAURIN, T. A.; FORMOSO, C. T. Identification, analysis and dissemination of information on near misses: A case study in the construction industry. **Safety Science**, v. 48, n. 1, p. 91-99, 2010.

CAMBRAIA, F. **Gestão integrada entre segurança e produção: aperfeiçoamentos em um modelo de planejamento e controle.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

CHENG, T.; TEIZER, J. Real-time resource location data collection and visualization technology for construction safety and activity monitoring applications. **Automation in construction**, v. 34, p. 3-15, 2013.

COSTA, D.B. **Diretrizes para a realização de processo de benchmarking colaborativo visando à implementação de melhorias em empresas de construção civil.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.

COSTA, D.B.; MELO, R. R. S.; ÁLVARES J. S.; BELLO A. A. Evaluating the Performance of Unmanned Aerial Vehicles for Safety Monitoring. *In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Boston, p. 23-32, 2016. **Proceedings...**

COSTELLA, M. F. **Método de avaliação de sistemas de gestão de segurança e saúde no trabalho (MASST) com enfoque na engenharia de resiliência.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

COSTELLA, M. F.; SAURIN, T. A.; CAMBRAIA, F. B.; BORTOLOSSO, H. Violation or resilience? A comparison between two frameworks for making sense of work-as-done. *In: 6th Symposium of the Resilience Engineering Association (REA)*, Lisbon, 2015. **Proceedings...**

COSTIN, A. M.; TEIZER, J.; SCHONER, B. RFID and BIM-enabled worker location tracking to support real-time building protocol and data visualization. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, v. 20, n. 29, p. 495-517, 2015.

DEKKER, S. Failure to adapt or adaptations that fail: contrasting models on procedures and safety. **Applied ergonomics**, v. 34, n. 3, p. 233-238, 2003.

DEKKER, S.; PRUCHNICKI, S. Drifting into failure: theorising the dynamics of disaster incubation. **Theoretical Issues in Ergonomics Science**, v. 15, n. 6, p. 534-544, 2013. <http://dx.doi.org/10.1080/1463922X.2013.856495>

DIAS, L.A. **Inspecting occupational safety and health in the construction industry.** Turin: International Training Centre of the International Labour Organization, 2009.

DINH, L. T. T.; PASMAN, H.; GAO, X.; MANNAN, M. S. Resilience engineering of industrial processes: principles and contributing factors. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 25, n. 2, p. 233-241, 2012.

DJI. **Phantom 3 Advanced: User Manual**, V1.8. 2017a. 59 p.

DJI. **Phantom 4 Advanced / Advanced+: Manual do Usuário**, V1.0. 2017b. 67 p.

DRUPSTEEN, L.; GULDENMUND, F. W. What is learning? A review of the safety literature to define learning from incidents, accidents and disasters. **Journal of Contingencies and Crisis Management**, v. 22, n. 2, p. 81-96, 2014. DOI: 10.1111/1468-5973.12039

FAMÁ, C.C.G. **Crêterios para avaliação de sistemas de medição de desempenho na segurança e saúde no trabalho no setor da construção civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

FINNERAN, A.; GIBB, A. **W099: safety and health in construction: research roadmap report for consultation**. CIB - International Council for Research and Innovation in Building and Construction, Rotterdam, 2013. ISBN: 978-90-6363-078-2.

GHEISARI, M.; ESMAEILI, B. Applications and requirements of unmanned aerial systems (UASs) for construction safety. **Safety Science**, v. 118, p. 230-240, 2019.

GHEISARI, M.; ESMAEILI, B. Unmanned Aerial Systems (UAS) for construction safety applications. *In: Construction Research Congress*, San Juan, p. 2642-2650, 2016. **Proceedings...**

GHEISARI, M.; RASHIDI, A.; ESMAEILI, B. Using Unmanned Aerial Systems for Automated Fall Hazard Monitoring. *In: Construction Research Congress*, New Orleans, p. 62-72, 2018. **Proceedings...**

GOLIZADEH, H.; HOSSEINI, M. R.; EDWARDS, D.J.; ABRISHAMI, S.; TAGHAVI, N.; BANIHASHEMI, S. Barriers to adoption of RPAs on construction projects: a task–technology fit perspective. **Construction Innovation**, v. 19, n. 2, p. 149-169, 2019.

GOLPARVAR-FARD, M.; PE  A-MORA, F.; SAVARESE, S. Integrated sequential as-built and as-planned representation with D⁴AR tools in support of decision-making tasks in the AEC/FM industry. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 137, n. 12, p. 1099-1116, 2011. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000371.

GUO, H.; YU, Y.; SKITMORE, M. Visualization technology-based construction safety management: A review. **Automation in Construction**, v. 73, p. 135-144, 2017.

GUO, S.; LI, J.; LIANG, K.; TANG, B. Improved safety checklist analysis approach using intelligent video surveillance in the construction industry—a case study. **International journal of occupational safety and ergonomics**, p. 1-26, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/10803548.2019.1685781>

HALE, A.; HEIJER, T. Defining resilience. *In: Hollnagel, E., Woods, D. D., Leveson, N. (Eds). Resilience engineering: Concepts and precepts*. Burlington: Ashgate, 2006, p. 35-40.

- HANSEN, C. D.; JOHNSON, C. R. **The visualization handbook**. Heinemann: Elsevier Butterworth, 2005.
- HEGGELUND, C.; WIIG, S. Promoting resilience in the maternity services. *In*: Hollnagel, E.; Braithwaite, J.; Wears, R. L. (Eds.). **Delivering Resilient Health Care**. Abingdon: Routledge, 2018. p. 80-96.
- HERRERA, I. A. **Proactive safety performance indicators**. Thesis. Faculty of Engineering Science and Technology. Norwegian University of science and Technology. Trondheim, 2012.
- HEVNER, A. R. A three cycles view of design science research. **Scandinavian journal of information systems**, v. 19, n. 2, p. 4, 2007.
- HEVNER, A. R.; MARCH, S. T.; PARK, J.; RAM, S. Design Science in information systems research. **MIS Quarterly**, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004.
- HINZE, J.; THURMAN, S.; WEHLE, A. Leading indicators of construction safety performance. **Safety science**, v. 51, n. 1, p. 23-28, 2013.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2012.05.016>
- HOLLNAGEL, E. **Accident analysis and barrier functions**. Project TRAIN, IFE, 1999.
- HOLLNAGEL, E. How resilient is your organisation? An introduction to the resilience analysis grid (RAG). *In*: **Sustainable transformation: Building a resilient organization**. 2010.
- HOLLNAGEL, E. **RAG-The resilience analysis grid**. Resilience engineering in practice. A guidebook. Farnham, UK: Ashgate, p. 275-296, 2011.
- HOLLNAGEL, E. Resilience – the Challenge of the Unstable. *In*: Hollnagel, E., Woods, D. D., Leveson, N. (Eds.). **Resilience engineering: Concepts and precepts**. Burlington: Ashgate, 2006, p. 9-17.
- HOLLNAGEL, E. **Barriers and accident prevention**. Abingdon: Routledge, 2004.
- HOLLNAGEL, E. **Safety-I and safety-II: the past and future of safety management**. Burlington: Ashgate, 2014.
- HOLLNAGEL, E. **Safety-II in practice: developing the resilience potentials**. Abingdon: Routledge, 2018.
- HOLLNAGEL, E.; WEARS, R. L.; BRAITHWAITE, J. From Safety-I to Safety-II: A white paper. The resilient health care net: published simultaneously by the University of Southern Denmark, University of Florida, USA, and Macquarie University, Australia, 2015.
- HOLLNAGEL, E.; WOODS, D. D. **Joint cognitive systems: Foundations of cognitive systems engineering**. Boca Raton: CRC Press, 2005.
- HOPKINS, A. Thinking about process safety indicators. **Safety science**, v. 47, n. 4, p. 460-465, 2009. DOI:10.1016/j.ssci.2007.12.006

HOWELL, G. A.; BALLARD, G.; ABDELHAMID, T. S.; MITROPOULOS, P. Working near the edge: a new approach to construction safety. *In: 10th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), Gramado, 2002. **Proceedings...***

IFLAIFEL, M.; LIM, R. H.; RYAN, K.; CROWLEY, C. Resilient Health Care: a systematic review of conceptualizations, study methods and factors that develop resilience. **BMC health services research**, v. 20, p. 1-21, 2020. <https://doi.org/10.1186/s12913-020-05208-3>

IRIZARRY, J.; COSTA, D. B. Exploratory study of potential applications of unmanned aerial systems for construction management tasks. **Journal of Management in Engineering**, v. 32, n. 3, p. 05016001, 2016.

IRIZARRY, J.; COSTA, D.B.; KIM, S. Potential applications of Unmanned Aerial systems for construction management tasks. *In: International Conference on Innovative Production and Construction (IPC), Perth, 2015. **Proceedings...***

IRIZARRY, J.; COSTA, D.B.; KIM, S. Evaluation of Unmanned Aerial Systems in Construction Safety Applications: A Case Study at Unilever Manufacturing Facility in Independence, MO. **Final Report**. Atlanta: Georgia Institute of Technology, School of Building Construction. 2015b.

IRIZARRY, J.; GHEISARI, M.; WALKER, B. N. Usability assessment of drone technology as safety inspection tools. **Electronic Journal of Information Technology in Construction**, p. 194–212, 2012.

JIANG, W.; ZHOU, Y.; DING, L.; ZHOU, C.; NING, X. UAV-based 3D reconstruction for hoist site mapping and layout planning in petrochemical construction. **Automation in Construction**, v. 113, p. 103137, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103137>

JONES, C. ; PHIPPS, D. L.; ASHCROFT, D. M. Understanding procedural violations using Safety-I and Safety-II: the case of community pharmacies. **Safety science**, v. 105, p. 114-120, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.02.002>

KARANIKAS, N. Evaluating the horizontal alignment of safety management activities through cross-reference of data from safety audits, meetings and investigations. **Safety science**, v. 98, p. 37-49, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2017.05.008>

KIM, K.; KIM, H.; KIM, H. Image-based construction hazard avoidance system using augmented reality in wearable device. **Automation in construction**, v. 83, p. 390-403, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2017.06.014>

KIM, S.; IRIZARRY, J. Exploratory study on factors influencing UAS performance on highway construction projects: as the case of safety monitoring systems. *In: Conference on Autonomous and Robotic Construction of Infrastructure, Ames, 2015. **Proceedings...***

KIM, S.; IRIZARRY, J. Human performance in UAS operations in construction and infrastructure environments. **Journal of Management in Engineering**, v. 35, n. 6, p. 04019026, 2019.

KIM, S.; IRIZARRY, J.; COSTA, D. B. Field Test-Based UAS Operational Procedures and Considerations for Construction Safety Management: A Qualitative Exploratory Study. **International Journal of Civil Engineering**, p. 1-15, 2020. <https://doi.org/10.1007/s40999-020-00512-9>

KIM, S.; IRIZARRY, J.; COSTA, D. B. Potential factors influencing the performance of Unmanned Aerial System (UAS) integrated safety control for construction worksites. *In: Construction Research Congress, San Juan*, p. 2614-2623, 2016. **Proceedings...**

KIM, S.; IRIZARRY, J.; KANFER, R. Multilevel Goal Model for Decision-Making in UAS Visual Inspections in Construction and Infrastructure Projects. **Journal of Management in Engineering**, v. 36, n. 4, p. 04020036, 2020. DOI: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000803.

KJELLÉN, U. The safety measurement problem revisited. **Safety Science**, v. 4, n. 47, p. 486-489, 2009. DOI:10.1016/j.ssci.2008.07.023

KJELLÉN, U.; ALBRECHTSEN, E. **Prevention of accidents and unwanted occurrences – Theory, methods and tools in safety management**. 2 ed. New York: CRC Press, 2017.

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, p.58-70, 2018.

LABAKA, L.; HERNANTES, J.; SARRIEGI, J. M. Resilience framework for critical infrastructures: An empirical study in a nuclear plant. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 141, p. 92-105, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.res.2015.03.009>

LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; Antunes Júnior, J. A. V. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & Produção**, v.20, n.4, p.741-761, 2013.

LIN, K.-Y.; TSAI, M.-H.; GATTI, U.C.; LIN, J.J.-C.; LEE, C.-H.; KANG, S.-C. A user-centered Information and Communication Technology (ICT) tool to improve safety inspections. **Automation in Construction**. v. 48, p. 53-63, 2014.

LINGARD, H.; ROWLINSON, S. M. **Occupational health and safety in construction project management**. Abingdon: Taylor & Francis, 2005.

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. **Decision support systems**, v. 15, n. 4, p. 251-266, 1995.

MARTINEZ, J. G.; GHEISARI, M.; ALARCÓN, L. F. UAV integration in current construction safety planning and monitoring processes: Case study of a high-rise building construction project in Chile. **Journal of Management in Engineering**, v. 36, n. 3, p. 05020005, 2020. DOI: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000761.

MELO, R. R S. **Diretrizes para inspeção de segurança em canteiros de obra por meio de imageamento com Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT)**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

MELO, R. R. S.; COSTA, D. B.; ÁLVARES, J. S.; IRIZARRY, J. Applicability of unmanned aerial system (UAS) for safety inspection on construction sites. **Safety Science**, v. 98, p. 174-185, 2017.

MENDES, C.; SILVEIRA, B.; COSTA, D.; MELO, R. Evaluating UAS-image pattern recognition system application for safety guardrails inspection. *In*: Conference Coping with the Complexity of Safety, Health, and Wellbeing in Construction (CIB), 2018, Salvador. **Proceedings...**

MIGUEL, A. S. S. R. **Manual de Higiene e Segurança do Trabalho**. 11. ed. Portugal: Porto Editora, 2010.

MITROPOULOS, P.; TATUM, C. B. Forces driving adoption of new information technologies. **Journal of construction engineering and management**, v. 126, n. 5, p. 340-348, 2000.

MOSLY, I. Applications and Issues of Unmanned Aerial Systems in the Construction Industry Int. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 6, n. 6, p. 235-39, 2017. DOI: 10.5923/j.ijcem.20170606.02

NAKAJIMA, S.; MASUDA, S.; NAKAJIMA, K. Exploring ways to capture and facilitate work-as-done that interact with health information technology. *In*: Braithwaite, J., Wears, R. L., Hollnagel, E. (Eds.). **Resilient Health Care**. Boca Raton: CRC Press, 2016. v.3, p. 61-70.

NEMETH, C. P.; HERRERA, I. Building change: Resilience Engineering after ten years. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 141, p. 1-4, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2015.04.006>

OHSAS 18001. **Sistemas de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho**, 2007.

PALACIOS, A.T.; CORDERO, J. M. E. B.; BELLO, M. R.; PALACIOS, E. T.; GONZÁLEZ, J. L. M. New applications of 3D SLAM on risk management using Unmanned Aerial Vehicles in the construction industry. *In*: **Drones-Applications**. IntechOpen, 2018. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.73325>

PARIÈS, J. Resilience and the ability to respond. *In*: Hollnagel, E.; Woods, D.; Wreathall, J. (Eds.). **Resilience engineering in practice**. Burlington: Ashgate, 2011, p. 3-8.

PARK, C.; KIM, H. A framework for construction safety management and visualization system. **Automation in Construction**, v. 33, p. 95-103, 2013.

PARK, J. W.; KIM, K.; CHO, Y. 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, 2017.

PATRIARCA, R.; GRAVIO, G.; CONSTANTINO, F.; FALEGNAMI, A.; BILOTTA, F. An analytic framework to assess organizational resilience. **Safety and Health at Work**, v. 9, n. 3, p. 265-276, 2018.

PATTERSON, M.; DEUTSCH, E. S. Safety-I, Safety-II and Resilience Engineering. **Current problems in pediatric and adolescent health care**, v. 45, n. 12, p. 382-389, 2015.

- PEÇILLO, M. The resilience engineering concept in enterprises with and without occupational safety and health management systems. **Safety science**, v. 82, p. 190-198, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2015.09.017>
- PEÑALOZA, G. A.; FORMOSO, C. T.; SAURIN, T. A. Resilience skills used by front-line workers to assemble precast concrete structures: an exploratory study. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 4, p. 25-43, 2017.
- PEÑALOZA, G. A.; SAURIN, T. A.; FORMOSO, C. T. Monitoring complexity and resilience in construction projects: the contribution of safety performance measurement systems. **Applied ergonomics**, v. 82, p. 102978, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102978>
- PEÑALOZA, G. A.; SAURIN, T. A.; FORMOSO, C. T.; HERRERA, I. A resilience engineering perspective of safety performance measurement systems: A systematic literature review. **Safety Science**, v. 130, p. 104864, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104864>
- PEÑALOZA, G. A.; WASILKIEWICZ, K.; SAURIN, T. A.; HERRERA, I. A.; FORMOSO, C. T. Safety-I and Safety-II: opportunities for an integrated approach in the construction industry. In: 8th Symposium on Resilience Engineering Embracing Resilience (REA). Kalmar, 2019. **Proceedings...**
- PROVAN, D. J.; WOODS, D. D.; DEKKER, S. W.A.; RAE, A. J. Safety II professionals: how resilience engineering can transform safety practice. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 195, p. 106740, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.106740>
- RANKIN, A.; LUNDBERG, J.; WOLTJER, R. A framework for learning from adaptive performance. In: Nemeth, C. P.; Hollnagel, E. (Eds.). **Resilience Engineering in Practice: Becoming Resilient**. Burlington: Ashgate, 2014, v. 2, p. 79-96.
- RASMUSSEN, J. Risk management in a dynamic society: a modelling problem. **Safety Science**, v. 27, n. 2-3, p. 183-213, 1997.
- REASON, J. Achieving a safe culture: theory and practice. **Work & Stress**, v. 12, n. 3, p. 293-306, 1998.
- REASON, J. Human error: models and management. **BMJ: British Medical Journal**, v. 320, n. 7237, p. 768 - 770, 2000.
- REIMAN, T.; VIITANEN, K. Modelling the influence of safety management tools on resilience. In: Wiig, S.; Fahkbruch, B (Eds.), **Exploring Resilience: A scientific journey from practice to theory**. Cham: Springer, 2019, p. 69-77.
- REY, R. O. **Sistema informatizado para inspeção da segurança em canteiros de obra apoiado por VANT, dispositivos móveis e técnicas de reconhecimento de padrão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFBA, Salvador, 2020.
- RIAZ, Z.; PARN, E. A.; EDWARDS, D. J.; SHEN, C.; PEÑA-MORA, F. BIM and sensor-based data management system for construction safety monitoring. **Journal of**

Engineering, Design and Technology, v. 15, n. 6, p. 738-753, 2017. DOI 10.1108/JEDT-03-2017-0017

SAMARADIWAKARA, G. D. M. N.; GUNAWARDENA, C. G. Comparison of existing technology acceptance theories and models to suggest a well improved theory/model. **International technical sciences journal**, v. 1, n. 1, p. 21-36, 2014.

SAURIN, T. A. Removing waste while preserving slack: the lean and complexity perspectives. *In: 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Heraklion, p. 209-216, 2017. **Proceedings...**

SAURIN, T. A. Safety inspections in construction sites: A systems thinking perspective. **Accident Analysis & Prevention**, v. 93, p. 240-250, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2015.10.032>

SAURIN, T. A.; FORMOSO, C. T.; CAMBRAIA, F. B. An analysis of construction safety best practices from a cognitive systems engineering perspective. **Safety Science**, v. 46, n. 8, p. 1169-1183, 2008.

SAURIN, T. A.; FORMOSO, C. T.; FAMÁ, C. Criteria for assessing safety performance measurement systems: insights from resilience engineering. *In: Nemeth, C. P.; Hollnagel, E. (Eds.). Resilience Engineering in Practice: Becoming Resilient*. Burlington: Ashgate, 2014, v. 2, p. 63-78.

SAURIN, T. A.; ROOKE, J.; KOSKELA, L. A complex systems theory perspective of lean production. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 19, p. 5824-5838, 2013.

SAURIN, T. A.; ROSSO, C. B.; COLLIGAN, L. Towards a resilient and lean health care. *In: Braithwaite, J., Wears, R. L., Hollnagel, E. Resilient Health Care*. Boca Raton: CRC Press, 2016, v. 3, p. 3-17.

SAURIN, T. A.; WACHS, P.; RIGHI, A. W.; HENRIQSON, E. The design of scenario-based training from the resilience engineering perspective: A study with grid electricians. **Accident Analysis & Prevention**, v. 68, p. 30-41, 2014.

SAURIN, T. **Segurança e produção: um modelo para o planejamento e controle integrado**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

SCHAFER, D.; ABDELHAMID, T.S.; MITROPOULOS, P.; HOWELL, G.A. Resilience engineering: a new paradigm for safety in lean construction systems. *In: 16th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Manchester, p. 723-734, 2008. **Proceedings...**

SIMPSON, M.; UNDERWOOD, J.; SHELBOURN, M.; CARLTON, D.; AKSENOVA, G.; MOLLASALEHI, S. Evolve or Die: Transforming the productivity of Built Environment Professionals and Organisations of Digital Built Britain through a new, digitally enabled ecosystem underpinned by the mediation between competence supply and demand. Centre for Digital Built Britain (CDBB). 2019.

SKLET, S. Safety barriers: Definition, classification, and performance. **Journal of loss prevention in the process industries**, v. 19, n. 5, p. 494-506, 2006. DOI:10.1016/j.jlp.2005.12.004

SPARER, E. H.; DENNERLEIN, J. T. Determining safety inspection thresholds for employee incentives programs on construction sites. **Safety science**, v. 51, n. 1, p. 77-84, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2012.06.009>

SUJAN, M. A Safety-II Perspective on Organisational Learning in Healthcare Organisations. **International journal of health policy and management**, v. 7, n. 7, p. 662 - 666, 2018.

SUJAN, M. A.; HUANG, H.; BRAITHWAITE, J. Learning from incidents in health care: Critique from a Safety-II perspective. **Safety Science**, v. 99, p. 115-121, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2016.08.005>

TATUM, M. C.; LIU, J. Unmanned Aircraft System Applications in Construction. **Procedia Engineering**, v. 196, p. 167-175, 2017.

TAYLOR, J. E.; DOSSICK, C. S.; GARVIN, M. Meeting the burden of proof with case-study research. **Journal of construction engineering and management**, v. 137, n. 4, p. 303-311, 2011.

TEIZER, J. Right-time vs real-time pro-active construction safety and health system architecture. **Construction Innovation**, v. 16, n.3, p. 253-280, 2016. <https://doi.org/10.1108/CI-10-2015-0049>

TEPERI, A. M.; LAPPALAINEN, J.; PURO, V.; PERTTULA, P. Assessing artefacts of maritime safety culture—current state and prerequisites for improvement. **WMU Journal of Maritime Affairs**, v. 18, n. 1, p. 79-102, 2019. <https://doi.org/10.1007/s13437-018-0160-5>

TORRES, T. R. **Uso de indicadores de produtividade para melhoria do processo de execução de paredes de concreto**. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014. 106p.

TOOLE, T. M. Technological trajectories of construction innovation. **Journal of Architectural Engineering**, v. 7, n. 4, p. 107-114, 2001.

VAISHNAVI, V.; KUECHLER, W.; PETTER, S. **Design Science in Research in Information Systems**. 2011.

VAISMORADI, M.; TURUNEN, H.; BONDAS, T.. Content analysis and thematic analysis: Implications for conducting a qualitative descriptive study. **Nursing & Health Sciences**, v. 15, n. 3, p. 398-405, 2013.

VAN AKEN, J. E. Management research based on the paradigm of the design sciences: the quest for field-tested and grounded technological rules. **Journal of management studies**, v. 41, n. 2, p. 219-246, 2004.

VAN DER BEEK, D.; SCHRAAGEN, J. M. ADAPTER: Analysing and developing adaptability and performance in teams to enhance resilience. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 141, p. 33-44, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2015.03.019>

- VIITANEN, K.; LIINASUO, M.; SKJERVE, A. B. Learning from successful experiences: An undeveloped potential in the nuclear industry?. *In: 39th Enlarged Halden Programme Group Meeting (EHPG), Fornebu, 2016. **Proceedings...***
- WACHS, P.; RIGHI, A. W.; SAURIN, T. A. Identification of non-technical skills from the resilience engineering perspective: a case study of an electricity distributor. **Work**, v. 41, n. 1, p. 3069-3076, 2012. DOI: 10.3233/WOR-2012-0565-3069
- WACHS, P.; SAURIN, T. A.; RIGHI, A. W.; WEARS, R. L. Resilience skills as emergent phenomena: a study of emergency departments in Brazil and the United States. **Applied ergonomics**, v. 56, p. 227-237, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2016.02.012>
- WAHL, A.; KONGSVIK, T.; ANTONSEN, S. Balancing Safety-I and Safety-II: Learning to manage performance variability at sea using simulator-based training. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 195, p. 106698, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.106698>
- WEHBE, F.; HATTAB, M.; HAMZEH, F. Exploring associations between resilience and construction safety performance in safety networks. **Safety science**, v. 82, p. 338-351, 2016.
- WIERINGA, R. Design science as nested problem solving. *In: Proceedings of the 4th International conference on design science research in information systems and technology. 2009. p. 1-12. **Proceedings...***
- WILKESMANN, M.; WILKESMANN, U. Industry 4.0 – organizing routines or innovations? **VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems**, v. 48, p 238-254, 2018. DOI: 10.1108/VJIKMS-04-2017-0019.
- WINGE, S.; ALBRECHTSEN, E. Accident types and barrier failures in the construction industry. **Safety science**, v. 105, p. 158-166, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.02.006>
- WONG, P. S. P.; CHEUNG, S.O.; YIU, R.L.Y.; HARDIR, M. The unlearning dimension of organizational learning in construction projects. **International Journal of Project Management**, v. 30, n. 1, p. 94-104, 2012.
- WOODCOCK, K. Model of safety inspection. **Safety science**, v. 62, p. 145-156, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2013.08.021>
- WOODS, D. D. Essential characteristics of resilience. *In: Hollnagel, E., Woods, D. D., Leveson, N. (Eds). **Resilience engineering: Concepts and precepts**. v. 1., p. 21-34. Burlington: Ashgate, 2006.*
- WOODS, D. D. Four concepts for resilience and the implications for the future of resilience engineering. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 141, p. 5-9, 2015.
- WOODS, D. D. The theory of graceful extensibility: basic rules that govern adaptive systems. **Environment Systems and Decisions**, v. 38, n. 4, p. 433-457, 2018.
- WOODS, D. D.; BRANLAT, M.; HERRERA, I.; WOLTJER, R. Where is the organization looking in order to be proactive about safety? A framework for revealing whether it is mostly looking back, also looking forward or simply looking away. **Journal of**

Contingencies and Crisis Management, v. 23, n. 2, p. 97-105, 2015. DOI: 10.1111/1468-5973.12079

WOODS, D.; WREATHALL, J. Managing risk proactively: The emergence of resilience engineering. Columbus: Ohio University, 2003.

WREATHALL, J. Properties of resilient organizations: an initial view. *In*: Hollnagel, E., Woods, D. D., Leveson, N. (Eds). **Resilience engineering: Concepts and precepts**. v. 1., p. 275-286. Burlington: Ashgate, 2006.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e métodos**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ZHANG, H.; CHI, S.; YANG, J.; NEPAL, M.; MOON, S. Development of a safety inspection framework on construction sites using mobile computing. **Journal of Management in Engineering**, v. 33, n. 3, p. 04016048, 2016. DOI: 10.1061/(ASCE)ME.1943-479.0000495

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

ZHOU, S.; GHEISARI, M. Unmanned aerial system applications in construction: a systematic review. **Construction Innovation**, v. 18, n. 4, p. 453-468, 2018.

ZHOU, Y.; DING, L. Y.; CHEN, L. J. Application of 4D visualization technology for safety management in metro construction. **Automation in Construction**, v. 34, p. 25-36, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.10.011>

ZHOU, Z.; GOH, Y. M.; LI, Q. Overview and analysis of safety management studies in the construction industry. **Safety science**, v. 72, p. 337-350, 2015.

ZHOU, Z.; IRIZARRY, J.; LI, Q. Applying advanced technology to improve safety management in the construction industry: a literature review. **Construction Management and Economics**, v. 31, n.6, p. 606-622, 2013. DOI:10.1080/01446193.2013.798423

ZHOU, Z.; IRIZARRY, J.; LIU, Y. A multidimensional framework for Unmanned Aerial System applications in construction project management. **Journal of Management in Engineering**, v. 34, n. 3, p. 04018004, 2018. DOI: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000597.

APÊNDICE 1- CHECKLIST DE SEGURANÇA

Descrição do item do Checklist		CRITÉRIOS		Ações Pre-ventivas/Corretivas
		NA	0	
		OK	1	
		NC	2	
1.	Condições gerais, limpeza e organização do canteiro			
1.1	Principais entradas e rotas de acesso externo ao canteiro (para veículos, equipamentos e pessoas)	NA		
1.2	Existência de vigilância nos portões de entrada (guarita, portaria, seguranças)	NA		
1.3	Central de aço com cobertura adequada que proteja contra queda de materiais e intempéries	NA		
1.4	Carpintaria com cobertura adequada que proteja contra queda de materiais e intempéries	NA		
1.5	Resíduos depositados em local específico, de forma a não prejudicar a segurança e circulação de materiais, pessoas e equipamentos	NA		
1.6	Tampa para caixas de ligações elétricas, hidráulicas e telefônicas	NA		
1.7	Trabalhadores usando EPI's permanentes.	NA		
1.8	Visitantes, clientes e fornecedores providos de capacete e calçado fechado para ter acesso ao canteiro.	NA		
1.9	É obrigatório o uso de colete ou tiras refletivas na região do tórax e costa quando o trabalhador estiver a serviço em via pública, sinalizando acesso ao canteiro de obras e frentes de serviços ou em movimentação e transporte vertical de materiais.	NA		
1.10	Existência de guarda corpo em locais de acesso de pessoas que haja um ressalto a RTP.	NA		
1.11	A remoção/transporte dos entulhos, por gravidade, é feito através de calhas fechadas de material resistente, fixadas à edificação em todos os pavimentos	NA		
1.12	No ponto de descarga da calha para remoção/transporte dos entulhos existe dispositivo de fechamento	NA		
1.13	Proteção de periferia em janelas e varandas.	NA		
1.14	Proteção contra queda de materiais na entrada das torres.	NA		
2.	Armazenamento de materiais			
2.1	Manilhas e anéis de concreto, gesso acartonado, armazenados empilhados até altura máxima de 2m.	NA		
2.2	Materiais hidráulicos armazenados sobre estrados em local coberto, com placa de advertência sobre o perigo de incêndio e proibido fumar.	NA		
2.3	Materiais armazenados e estocados de modo a não prejudicar o trânsito de pessoas e de trabalhadores.	NA		
2.4	Blocos de concreto organizados.	NA		
2.5	Ferragem organizada.	NA		
2.6	Madeira organizada.	NA		

2.7	Poste com linha de vida para cubagem de caminhão.	NA		
3.	Plataforma de Proteção (Bandeja)			
3.1	Plataforma primária instalada em toda a periferia do prédio acima de 4 pavimentos a partir da concretagem da 1ª laje (2,50 cm de comprimento com complemento de 80cm em uma inclinação de 45°).	NA		
3.2	Plataforma secundária instalada de 3 em 3 lajes (1,40m de comprimento com complemento de 80 cm em uma inclinação de 45°).	NA		
3.3	Plataformas de proteção estão isentas de sobrecarga não previstas (sujeiras, entulhos, pessoas, equipamentos, ferramentas)	NA		
3.4	Bandeja com fechamento nas laterais	NA		
3.5	O estrado da plataforma apresenta-se de forma contínua e sem a presença de aberturas ou vão	NA		
3.6	Os colaboradores utilizam todos os EPI's na montagem, desmontagem e manutenção.	NA		
3.7	As ferramentas utilizadas possuem amarração que impeça sua queda acidental.	NA		
4.	Fundação, escavação de redes, hélice contínua e lajão			
4.1	A estabilidade dos taludes deve ser garantida por meio das seguintes medidas de segurança, como retaludamento, escoramento, atirantamento, grampeamento e/ou impermeabilização.	NA		
4.2	Deve ser evitada a execução de trabalho manual ou a permanência de observadores dentro do raio de ação das máquinas em atividade de movimentação de terra;	NA		
4.3	Os acessos de trabalhadores, veículos e equipamentos às áreas de escavação devem ter sinalização de advertência permanente.	NA		
4.4	Existem passarelas com largura mínima de 0,80 m (oitenta centímetros), protegidas por guarda-corpos com altura mínima de 1,20 m (um metro e vinte centímetros), quando houver necessidade de circulação de pessoas sobre as escavações;	NA		
4.5	Existe isolamento na área de escavações para evitar trânsito de pessoas não envolvidas na atividade.	NA		
4.6	Taludes instáveis das escavações com profundidade superior a 1,25m estão escorados, tendo sua estabilidade garantida.	NA		
4.7	Os taludes com altura superior a 1,75m (um metro e setenta e cinco centímetros) devem ter estabilidade garantida.	NA		
4.8	Escavações com mais de 1,25 de profundidade devem dispor de escadas ou rampa, para acesso e fuga de emergência.	NA		
4.9	Durante a execução da hélice contínua, os trabalhadores estão utilizando regularmente os EPI.	NA		
4.10	Durante a execução da hélice contínua, a área de fundação encontra-se sinalizada e isolada.	NA		
4.11	Proteção das esperas de vergalhões concretadas.	NA		
4.12	Sinalização de advertência na área informando os perigos envolvidos.	NA		
4.13	Durante a execução do lajão, vias de circulação de máquinas, sem obstáculos que impeçam o trânsito seguro de pessoas e máquinas.	NA		
4.14	Durante a execução do lajão, os funcionários utilizando EPI's adequados.	NA		

4.15	Durante a execução do lajão, os acessos para carrinhos de mão, seguros, sem improvisações.	NA		
5.	Concretagem			
5.1	No local onde se executa a concretagem, somente deve permanecer a equipe indispensável para a execução dessa tarefa.	NA		
5.2	Os trabalhadores utilizam EPI's adequadamente.	NA		
5.3	Proteção nos vergalhões.	NA		
5.4	Cobertura contra intempéries na central de massa e proteção contra queda de materiais.	NA		
5.5	As conexões dos dutos transportadores de concreto devem possuir dispositivos de segurança para impedir a separação das partes, quando o sistema estiver sob pressão.	NA		
5.6	As baias para areia, brita e argamassa têm contenção em três lados	NA		
6.	Alvenaria com proteção de periferia			
6.1	Grade instalada com distanciamento máximo de 10 cm da alvenaria.	NA		
6.2	Cancela fechada, para descarga de material.	NA		
6.3	Cavaletes em boas condições de segurança (altura não superior a 2 m e largura não inferior a 0,90 m).	NA		
6.4	Fixação das grades de forma rígida.	NA		
6.5	Trabalhadores realizam a montagem / desmontagem do gradil com o cinto de segurança preso a grampo na laje.	NA		
6.6	Vãos internos com sistema de proteção contra quedas.	NA		
6.7	Vãos do poço do elevador com sistema de proteção contra quedas.	NA		
7.	Parede de Concreto			
7.1	Os trabalhadores utilizam EPI permanentemente, de acordo com a atividade.	NA		
7.2	Trabalhador utilizando cinto de segurança com talabarte duplo, ligado a linha de vida independente da estrutura de apoio.	NA		
7.3	Entorno organizado na fase de montagem e desmontagem das formas.	NA		
7.4	Pontas de vergalhão dos aranques de apoio para telas estão protegidas.	NA		
7.5	Sobras dos recortes das telas sendo descartadas em baias ou caçambas mantendo a organização e limpeza durante o processo.	NA		
7.6	As sobras de outros materiais a serem retirados não poderão ser jogados em queda livre no canteiro de obras.	NA		
7.7	Área interna mantida limpa após a desforma.	NA		
7.8	Proteções de periferia e plataforma estão completas e instaladas de forma adequada.	NA		
7.9	Plataforma estão com fechamento, guarda – corpo em suas extremidades.	NA		
7.10	Suporte de apoio para de linha de vida está fixado através de pinos, cunhas em ângulo e gravatas.	NA		
7.11	Local de içamento de peças isolado e sinalizado.	NA		
7.12	Isolamento em toda a área de trabalho com formas e sinalização do risco de queda de materiais, peças ou ferramentas.	NA		
7.13	Andaime externo com forração e guarda – corpo instalado.	NA		
7.14	Ferramentas manuais amarradas de forma a evitar sua queda acidental.	NA		

7.15	Durante a montagem e desmontagem da forma do andaime externo, o trabalhador utiliza cinto de segurança tipo paraquedista preso a cabo de segurança.	NA		
7.16	O cabo de segurança está fixado à estrutura independente a estrutura do andaime.	NA		
7.17	O andaime dispõe de sistema de guarda-corpo de rodapé na estrutura de trabalho.	NA		
8.	Telhado e Cobertura			
8.1	Existe dispositivo que garanta a movimentação segura do trabalhador (cabo-guia ou cabo de segurança)	NA		
8.2	O cabo de segurança tem sua extremidade fixada à estrutura definitiva da edificação	NA		
8.3	Os trabalhadores utilizam cinto de segurança tipo paraquedista	NA		
8.4	O cinto de segurança está fixado através de trava-quedas no cabo de segurança	NA		
8.5	As aberturas na laje da cobertura têm fechamento provisório capaz de evitar a queda de pessoas ou objetos	NA		
8.6	Área dos prédios com isolamento em torno em substituição ao bandeirão.	NA		
9.	Escadas, rampas e passarelas			
9.1	É proibida a utilização de escadas de mão nas proximidades de portas ou áreas de circulação.	NA		
9.2	É proibida a utilização de escadas de mão nas proximidades de aberturas e vãos.	NA		
9.3	As escadas de mão estão fixadas nos piso inferior e superior ou possuem dispositivo que impeça seu escorregamento.	NA		
9.4	É proibido o uso de escadas de mão junto a redes e equipamentos elétricos desprotegidos.	NA		
9.5	As escadas, rampas e passarelas são construídas e mantidas em perfeitas condições de uso e segurança.	NA		
9.6	Não existe ressalto entre o piso e passarela.	NA		
9.7	Escadas, tábuas e outros materiais não poderão ser utilizados como rampas e passarelas, devendo ser evitada qualquer improvisação.	NA		
9.8	Escadas, rampas e passarelas possuem guarda-corpo e rodapé	NA		
9.9	Existem coberturas de proteção sobre plataformas, passarelas e elevadores, quando sob o risco de queda de materiais	NA		
9.10	Acesso às escadas, rampas e passarelas livres de obstrução (entulhos, materiais, equipamentos)	NA		
10.	Plataforma Elevatória Móvel de Trabalho (PEMT)			
10.1	As plataformas elevatórias móveis de trabalho (PEMT) devem possuir guarda-corpo e rodapé	NA		
10.2	A área de operação da PEMT estão delimitada e sinalizada, de forma a impedir a circulação de trabalhadores	NA		
10.3	Os trabalhadores que estiverem trabalhando no equipamento (PTA e andaimes) estão usando cinto de segurança com sistema trava-queda	NA		
10.4	É proibida a colocação de escadas na 'gaiola' de trabalho da PEMT	NA		
11.	Andaimes suspenso leve/cadeirinha (adaptável a outros tipos de andaimes)			
11.1	Local do andaime suspenso isolado	NA		
11.2	O andaime deve possuir no máximo 8,00 metros de comprimento.	NA		

11.3	Corda de poliamida com uso do cinto de segurança ligado ao trava-que-das de segurança este, ligado a cabo-guia fixado em estrutura independente da estrutura de fixação e sustentação do andaime suspenso.	NA		
11.4	Local de içamento de material isolado.	NA		
11.5	O andaime dispõe de sistema de guarda-corpo de rodapé na estrutura de trabalho	NA		
11.6	Todas as faces do balancim estão fechadas com tela.	NA		
11.7	O balancim possui placa com sinalização de carga máxima.	NA		
11.8	Os andaimes suspensos ou balancim e/ou cadeiras suspensas (balancim individual) devem estar niveladas	NA		
11.9	Os trabalhadores que se encontram no andaime/cadeirinha estão usando todos os EPI's recomendados	NA		
11.10	Tela mosquiteiro cobre toda a face da alvenaria onde o balancim está montado.	NA		
12.	Guincho de coluna vélox			
12.1	Cabine com fechamento em todas as faces, deixando apenas a entrada para o guincho e cobertura de madeira.	NA		
12.2	Envolvimento da torre em todo seu perímetro por tela galvanizada.	NA		
12.3	Rampa de acesso à torre do guincho contendo sistema de guarda – corpo completo e piso resistente com inclinação máxima de 15°.	NA		
12.4	Trabalhador usando cinto de segurança no recebimento e descida de material.	NA		
12.5	Fechamento do acesso ao guincho por dispositivo cancela de altura mínima de 1,80 cm..	NA		
12.6	Base de instalação da torre do guincho de concreto e nivelado.	NA		
12.7	Cargas em içamento travadas/fixadas e protegidas de quedas.	NA		
12.8	Isolamento e delimitação das áreas de carga e descarga de materiais, somente sendo permitido o acesso às mesmas ao pessoal envolvido na operação.	NA		
12.9	Proteções em todas as partes móveis, correias e polias.	NA		
13.	Máquina de força motriz			
13.1	Isolamento da área de movimentação de carga (transporte e circulação de materiais, perfis, barras, vigas e elementos estruturais) sendo proibida a circulação ou permanência de pessoas.	NA		
13.2	Sinalização do canteiro para circulação das máquinas.	NA		
13.3	Áreas de circulação destes equipamentos livres e desimpedidas.	NA		
13.4	Equipamentos pesados calçados (estabilizadores).	NA		
13.5	EPI utilizado devidamente.	NA		
13.6	Cabine de controle e operação de máquinas e equipamentos fechadas de modo a proteger o operador contra queda de materiais, intempéries e incidência de raios solares.	NA		

APÊNDICE 2- PROTOCOLO ENTREVISTA – ESTUDO DE CASO A

Universidade Federal da Bahia (UFBA)
Escola Politécnica - Departamento de Construções e Estruturas
Grupo de Pesquisa e Extensão em Gestão e Tecnologia das Construções (GETEC)



Protocolo de entrevista

Essa entrevista tem por objetivo analisar a utilidade e integração dos ativos visuais coletados por meio do VANT, quanto ao atendimento das necessidades de informações para o processo de planejamento e controle da segurança, baseado na percepção e opinião dos envolvidos no projeto.

Informações Gerais

Nome do projeto: _____

Nome: _____

Formação: _____

Função: _____

Tempo de experiência no cargo atual: _____

Utilidade e Integração dos ativos para planejamento e controle da segurança

1. Como os ativos coletados podem auxiliar no planejamento e controle da segurança?
2. Como o uso do VANT pode ser integrado de forma efetiva no planejamento e controle da segurança?
3. Em algum momento, os ativos coletados foram utilizados para tomada de decisão? Se sim, quais foram essas decisões? Se não, quais as principais justificativas para o não uso dos ativos?
4. Como o uso do VANT (seja por meio de informação em tempo real ou imagens e vídeos coletados) pode contribuir com:
 - a) o processo de identificação e antecipação de risco?
 - b) o processo de aprendizagem e conscientização da equipe de gestão e dos trabalhadores?
 - c) o processo de intervenção (resposta), em casos de necessidade de proposição de medidas corretivas ou mitigadoras?
 - d) o processo de monitoramento dos processos críticos?

APÊNDICE 3 – PROTOCOLO ENTREVISTA PROCESSO CRÍTICO

Universidade Federal da Bahia (UFBA)
Escola Politécnica - Departamento de Construções e Estruturas
Grupo de Pesquisa e Extensão em Gestão e Tecnologia das
Construções (GETEC)



Roteiro de entrevista

Essa entrevista tem por objetivo analisar como os trabalhadores se adaptam diante dos imprevistos e dificuldade enfrentadas no processo construtivo de parede de concreto. Como direcionamento, buscou-se a partir dos ativos visuais coletados por meio do VANT, especificar as áreas de maior risco para escolher os potenciais participantes dessa entrevista. Como pontos críticos no processo foram identificadas as atividades de montagem e desmontagem da plataforma externa, a montagem da escada, a instalação da linha de vida em 'T' e a desmobilização da forma.

Informações Gerais

1. Qual a sua função? _____ Idade? _____
2. Há quanto tempo trabalha na construção civil? _____
3. Há quanto tempo trabalha com o sistema de parede de concreto? _____

Como o trabalho é realizado na prática (work-as-done)

4. Como foi realizado o treinamento do processo de montagem e desmontagem da forma?
5. Você tem acesso ao procedimento de montagem e desmontagem da forma?
6. Quais as estratégias usadas para lidar com a grande quantidade de peças e componentes da forma? (Como você faz para lembrar como monta a forma, a sequência de execução)
7. Que tipo de melhorias no processo foram feitas durante a obra em relação à segurança?
8. Como as atividades de produção interferem no ciclo de montagem das proteções coletivas?
9. Quais os perigos enfrentados durante a execução da atividade? Como lidam com essas situações?
10. Em caso de situações imprevistas, você tem conhecimento das ações a serem tomadas?
11. Como as atividades de segurança influenciam a produtividade?

APÊNDICE 4 – PROTOCOLO ENTREVISTA COM TRABALHADORES

Universidade Federal da Bahia (UFBA)
Escola Politécnica - Departamento de Construções e Estruturas
Grupo de Pesquisa e Extensão em Gestão e Tecnologia das Construções (GETEC)
Parceria: Georgia Institute of Technology



Entrevista com colaboradores

Esta pesquisa tem como objetivo analisar a percepção do usuário sobre questões relacionadas a privacidade e riscos do uso de VANT em canteiro de obras.

Informações específicas

Indique, de acordo com suas percepções, questões relacionadas com a privacidade no uso de VANT e riscos associados ao uso da tecnologia em canteiro de obras.

Função:	Durante o voo do drone, qual foi o grau de invasão de privacidade que você sentiu? 1 – Muito Baixo; 2 - Baixo; 3 - Moderado; 4 - Alto; 5 – Muito Alto.
	Durante o voo do drone, qual foi o grau de distração que você teve enquanto realizada suas atividades? 1 – Muito Baixo; 2 - Baixo; 3 - Moderado; 4 - Alto; 5 – Muito Alto.
	Durante o voo do drone, qual foi o grau de preocupação com o risco de queda da aeronave que você sentiu? 1 – Muito Baixo; 2 - Baixo; 3 - Moderado; 4 - Alto; 5 – Muito Alto
	O quanto você acha que o drone pode ajudar na melhoria das condições de trabalho no canteiro de obras? 1 – Muito Baixo; 2 - Baixo; 3 - Moderado; 4 - Alto; 5 – Muito Alto

APÊNDICE 5 – PROTOCOLO DE ENTREVISTAS SOBRE OS POTENCIAS PARA RESILIÊNCIA

Potencial	Questões	I. Indique, segundo sua percepção, qual o nível de contribuição do monitoramento com VANT para o desenvolvimento dos potencial de (responder, monitorar, aprender e antecipar) frente as situações de segurança identificadas no canteiro de obras.
Responder	1	O monitoramento com VANT deu suporte ao processo de tomada de decisão no gerenciamento de trade-off entre segurança e produção?
	2	Existem folgas de recursos físicos (ex. equipamentos e materiais) e humanos (ex. técnicos de segurança) para responder prontamente as situações identificadas durante o monitoramento com VANT?
	3	Com que rapidez o feedback em tempo real (durante o voo + pós voo – análise dos ativos na obra) possibilitou que uma resposta eficaz fosse implementada?
	4	Com que rapidez o envio do relatório e feedback por e-mail possibilitou que uma resposta eficaz fosse implementada?
	5	Com que frequência os procedimentos de segurança da empresa foram usados para auxiliar na tomada de decisão das situações identificadas durante o monitoramento com VANT?
	6	Com que frequência a equipe buscou por novas soluções ou adaptações visando atuar antecipadamente a situações que possam afetar o funcionamento das atividades ou acarretar em perdas irreparáveis?
	7	As informações fornecidas com VANT favoreceu a priorização das ações de respostas (preventivas e corretivas) com base no grau de risco?
	8	Com que frequência os ativos coletados e relatórios foram usados para o planejamento da segurança?
	9	Com que frequência é verificada a efetividade do plano de ação para as respostas implementadas?
	10	As ações implementadas (ações preventivas e corretivas) são disseminadas a todos os intervenientes?
	11	As situações de risco e boas práticas foram apresentadas de forma clara de modo a facilitar o processo de tomada de decisão?
	12	A responsabilidade para propor medidas preventivas e corretivas é claramente estabelecida?
	13	Com que frequência são realizadas reuniões (intervenientes no processo de tomada de decisão) para a proposição de ações imediatas e corretivas?
	14	Com que frequência são realizadas reuniões para a proposição de ações preventivas, visando antecipar condições ou eventos que possam representar ameaças?
	15	Qual o nível de colaboração entre equipes/setores no processo de tomada de decisão e proposição de solução?
	16	Qual o nível de participação dos trabalhadores no processo de tomada de decisão e proposição de solução?
Monitorar	17	O indicador de conformidade representa o status real das condições de segurança do canteiro?
	18	O indicador utilizado é suficiente sensível para detectar a evolução das condições de segurança, capturando o efeito aprendizagem?
	19	O feedback em tempo real e análise dos ativos (fotos e vídeos) permitiu a conscientização do status atual das condições de segurança no canteiro?

Potencial	Questões	I. Indique, segundo sua percepção, qual o nível de contribuição do monitoramento com VANT para o desenvolvimento dos potencial de (responder, monitorar, aprender e antecipar) frente as situações de segurança identificadas no canteiro de obras.
	20	As informações apresentadas no relatório permitiram a gerência ter consciência do status atual das condições de segurança, mesmo não estando presente no canteiro.
	21	O feedback em tempo real e a análise dos ativos coletados (fotos e vídeos) possibilitou analisar o trabalho como realizado de ângulos diferentes, evidenciando as práticas informais adotadas?
	22	O monitoramento com VANT permitiu avaliar o desempenho de segurança das empresas contratadas?
	23	O monitoramento com VANT favoreceu a prática de reportar eventos relacionados à segurança por parte dos trabalhadores?
	24	O resultado do monitoramento é disseminado para todos os intervenientes do projeto (nível gerencial e operacional)?
	25	Com que frequência o monitoramento da segurança com VANT deve ser realizado?
	26	Qual o grau de substituição do monitoramento com VANT em relação ao monitoramento tradicional?
	27	Qual o grau de importância dos itens monitorados estarem alinhados com os itens monitorados no processo tradicional?
	28	Os funcionários que durante o monitoramento com VANT são pegos violando princípios de SST sofrem consequências/práticas punitivas?
	29	O monitoramento com VANT influenciou na mudança de comportamento dos trabalhadores?
	30	O monitoramento com VANT aumenta a pressão no ambiente de trabalho sobre o trabalhador?
Aprender	31	Com que frequência as lições aprendidas são transformadas em ações práticas? (Contínuo ou intermitente)
	32	Com que rapidez essas lições aprendidas são transformadas em ações práticas?
	33	Com que frequência as lições aprendidas são compartilhadas com a equipe de gestão (reuniões formais e informais)?
	34	As situações de sucessos (boas práticas), bem como as situações de risco identificadas com o VANT contribuíram para o aprendizado?
	35	Existem recursos alocados para investigação e aprendizado? (pessoas/recursos audiovisuais/palestras)
	36	Qual o nível de envolvimento das equipes nas atividades de segurança (análise de risco, planejamento da segurança e inspeções periódicas)?
	37	Qual o nível de envolvimento dos trabalhadores nas atividades relacionadas à segurança (análise de risco, planejamento da segurança e inspeção periódicas)
	38	O monitoramento com VANT contribuiu para o aumento da compreensão técnica da norma e requisitos de segurança?
	39	Os ativos coletados (fotos e vídeos) foram utilizados em treinamentos para o aumento da conscientização dos trabalhadores quanto as condições de segurança?
	40	O monitoramento com VANT contribuiu com a redução das diferenças entre a prática e o procedimento?

Potencial	Questões	I. Indique, segundo sua percepção, qual o nível de contribuição do monitoramento com VANT para o desenvolvimento dos potencial de (responder, monitorar, aprender e antecipar) frente as situações de segurança identificadas no canteiro de obras.
Antecipar	41	A equipe buscou após análise de causas das situações de perigos e não conformes identificadas durante o monitoramento com VANT, propor medidas para evitar recorrência?
	42	Com que frequência os procedimentos e checklist de segurança foram revisados?
	43	As informações fornecidas a partir do monitoramento com VANT contribuíram para a análise de acidentes, quase acidentes e comportamento inseguros?
	44	O registro das condições de segurança em relatório facilitou o resgate de informações e análise de posterior dos dados?
	45	As informações fornecidas a partir do monitoramento com VANT foram usados para o planejamento da segurança e produção?
	46	Com que frequência, os ativos coletados com VANT foram utilizados para avaliar oportunidades e formular estratégias em cenários futuros?
	47	O monitoramento com VANT possibilitou identificar antecipadamente, condições ou eventos que possam representar uma ameaça de risco?
	48	As informações relacionadas a ameaças e oportunidades futuras foram compartilhadas com todos os intervenientes?

APÊNDICE 6 – QUESTIONÁRIO MASST ADAPTADO

Critério	Questões
Critério 1 - Planejamento do sistema de gestão	• Quais os objetivos e políticas do SGS adotadas pela empresa? • Como é feito o planejamento da segurança? • Como os indicadores de desempenho são utilizados? • Quem são os responsáveis pela avaliação de desempenho? • Como as informações são divulgadas? • Como a alta direção participa ativamente dos esforços e interage com todas as partes interessadas?
Critério 2 - Processos de produção	• Como são identificados os perigos relacionados à segurança? • Como os trabalhadores são consultados acerca dos perigos do meio ambiente de trabalho? • Como é realizada a avaliação e a priorização dos riscos? • Como a empresa transforma em plano de ação os aspectos identificados na identificação de perigos e na avaliação de riscos? • Como é realizada a comunicação e implementação das ações preventivas? • Como é gerenciada a diferença entre o trabalho real e o prescrito?
Critério 3 – Gestão e capacitação de pessoas	• Como é desenvolvida a capacitação pessoal e profissional dos trabalhadores para realizarem suas funções dentro dos preceitos da gestão da segurança e saúde?
Critério 4 - Fatores genéricos de segurança	• Como a organização realiza a integração dos sistemas de gestão de segurança e saúde, gestão da qualidade e gestão ambiental? • Quais os procedimentos utilizados para o gerenciamento de mudanças na organização?
Critério 5 - Planejamento do monitoramento do desempenho	• Quais os indicadores reativos e proativos e como estes são coletados? • Como é monitorada a pressão da produção em relação à segurança? • Quais fatores são considerados para desenvolver e realizar uma auditoria interna? • Como é feita a sistemática para investigação de acidentes e quase-acidentes?
Critério 6 – Retroalimentação e aprendizado	• Como é realizada a retroalimentação ou aprendizagem a partir da análise da investigação de incidente? • Como os mecanismos de controle de SST contribuem para a implantação das ações corretivas e preventiva? • As ações preventivas contribuem para aproximar os procedimentos (trabalho prescrito) do trabalho real? Como?
Critério 7 - Desempenho reativo e proativo	• Existe a comparação dos indicadores com benchmarks externos? Como é realizada? • Como os resultados são divulgados aos trabalhadores e outros setores da empresa?

ANEXO 1 – CHECKLIST SMORT 1^a CANADA

B.1 Checklists

Tier 1: Sequence of events/risk situation	
☐	1.1 Work situation
☐	1.1.1 Human error, e.g. wrong action, wrong sequence, omission
☐	1.1.2 Technical failure, e.g. substandard equipment, break down, missing equipment or tools
☐	1.1.3 Disturbance in material flow, e.g. bad quality, delays
☐	1.1.4 Personnel deviations, e.g. absence, not qualified, indisposed
☐	1.1.5 Inadequate information, e.g. job procedure, permit to work, risk assessment, supervision
☐	1.1.6 Progress delay
☐	1.2 The environment
☐	1.2.1 Intersecting or parallel activities, e.g. lack of co-ordination of work
☐	1.2.2 Poor housekeeping
☐	1.2.3 Poor physical environment, e.g. excessive noise, high temperature
☐	1.2.4 Substandard building and infrastructure, e.g. roads
☐	1.3 Incident
☐	1.3.1 Loss of control of energy or person relative to energy flow
☐	1.3.2 Failure in active safety barriers
☐	1.3.3 Failure in fixed barriers
☐	1.3.4 Failure in personal protective equipment or cloths
☐	1.3.5 Persons in danger zone
☐	1.4 Development of injury/damage
☐	1.4.1 Failure in alarm and mobilisation of emergency response team
☐	1.4.2 Failure in limiting injury/damage, e.g. medical treatment and evacuation
☐	1.4.3 Failure in management of information to internal and external stakeholders

ANEXO 2 – PROTOCOLO ENTREVISTA – ESTUDO DE CASO B E C

Universidade Federal da Bahia (UFBA)
Escola Politécnica - Departamento de Construções e Estruturas
Grupo de Pesquisa e Extensão em Gestão e Tecnologia das
Construções (GETEC)



Roteiro de entrevista

Nome da Construtora: _____
Nome do Entrevistado: _____
Cargo/ Função na empresa: _____
Tempo de experiência no cargo atual: _____
Tempo de experiência na construção civil: _____
Formação: _____
Data: ____/____/____

Utilidade do método para a gestão da segurança

1. Indique, em sua opinião, qual o nível de simplicidade e rapidez no entendimento das informações relacionadas à situação da segurança no canteiro de obras, a partir dos produtos associados às etapas do método.

Produtos associados ao sistema/método	Baixo	Médio	Alto
Identificação de não conformidades a partir das imagens na tela do celular durante o voo			
Identificação de não conformidades a partir das imagens e vídeos capturados com o drone após o voo			
Entendimento dos itens da lista de verificação (checklist)			
Identificação das não conformidades e potenciais de melhoria no relatório			
Entendimento dos indicadores (gráficos) contidos no relatório			

2. Indique, em sua opinião, o nível de atendimento dos seguintes recursos do método às necessidades de informação para o monitoramento da segurança da segurança.

Produtos associados ao sistema/método	Baixo	Médio	Alto
Itens do Checklist			
Forma de apresentação geral do relatório			
Imagens contidas no relatório			
Indicador de conformidade			

3. Indique, em sua opinião, qual o seu grau de participação durante a implementação do método pela equipe de pesquisadores.

Atividades do método/sistema	Baixo	Médio	Alto
Inspeção em campo com uso do drone e checklist digital			
Análise das imagens obtidas e feedback imediato após o voo			
Tomada de decisão para correção imediata			
Análise e discussão do relatório de inspeção de segurança			
Tomada de decisão para ação corretiva das não conformidades apresentadas no relatório			

4. Indique, em sua opinião, qual o nível de contribuição dos seguintes produtos do método para as correções imediatas no canteiro.

Produtos associados ao sistema/método	Baixo	Médio	Alto
Identificação de não conformidades a partir das imagens na tela do celular durante o voo			
Identificação de não conformidades a partir das imagens e vídeos capturados com o drone após o voo			
Lista de verificação (checklist) com indicação das não conformidades - Relatório			
Indicador de conformidade - Relatório			

5. Indique, em sua opinião, qual o nível de contribuição dos seguintes produtos na tomada de decisão (ação corretiva e preventiva)

Produtos associados ao sistema/método	Baixo	Médio	Alto
Identificação de não conformidades a partir das imagens na tela do celular durante o voo			
Identificação de não conformidades a partir das imagens e vídeos capturados com o drone após o voo			
Lista de verificação (checklist) com indicação das não conformidades - Relatório			
Indicador de conformidade - Relatório			

Impactos e riscos do método para a gestão da segurança

1. Indique, em sua opinião, qual o **nível de envolvimento e interação entre os diferentes intervenientes** ligados à segurança da obra, nas atividades relacionadas ao método.

Atividades associadas ao método	Baixo	Médio	Alto
Inspeção em campo com uso do drone e checklist digital			
Análise das imagens obtidas e feedback imediato após o voo			
Tomada de decisão para correção imediata			
Análise e discussão do relatório de inspeção de segurança			
Tomada de decisão para ação corretiva das não conformidades apresentadas no relatório			

2. Cite pelo menos 3 **benefícios (pontos positivos) e dificuldades (pontos de melhoria) associados ao método** de inspeção com o drone e uso do sistema para a segurança.

ANEXO 3 - CHECKLIST PARA MISSÃO

Universidade Federal da Bahia (UFBA)
Escola Politécnica - Departamento de Construções e Estruturas
Grupo de Pesquisa e Extensão em Gestão e Tecnologia das Construções (GETEC)
Parceria: Georgia Institute of Technology



Checklist para Missão com Modelo Específico de VANT e Cadastro de Dados do Voo (DJI Phantom 3)

Cadastro de Dados do Voo	Voo		
	Bateria 1	Bateria 2	Bateria 3
Data			
Localização			
Ponto de decolagem/pouso			
Condições climáticas			
Horário de início			
Horário de término			
Duração de voo (min)			
Número de imagens obtidas			
Número de vídeos obtidos			

Itens do Checklist para Missão com VANT	Voo Checado	Comentários
A) Checklist de Pré-voo		
1. Retirar controle remoto da caixa	☐	
2. Ligar roteador (tablet ou celular)	☐	
3. Ligar controle remoto	☐	
4. Levantar antenas	☐	
5. Conectar cabo USB		
6. Retirar VANT da caixa	☐	
7. Encaixar hélices		
8. Remover proteção da câmera	☐	
9. Checar encaixe das hélices		
10. Inserir bateria do VANT	☐	
11. Ligar bateria do VANT	☐	
12. Colocar o VANT em lugar aberto e seguro para a decolagem e para que ele possa retomar a localização se a função "return to home" for acionada	☐	
13. Ligar aplicativo de controle (DJI go)	☐	

Universidade Federal da Bahia (UFBA)
Escola Politécnica - Departamento de Construções e Estruturas
Grupo de Pesquisa e Extensão em Gestão e Tecnologia das Construções (GETEC)
Parceria: Georgia Institute of Technology



Itens do Checklist para Missão com VANT	Voo Checado	Comentários
14. Verificar visualização da câmera	☐	
15. Verificar conexão de satélite (número)	☐	
16. Verificar níveis de bateria para um voo seguro (bateria do VANT, do roteador e do controle remoto) (%)	☐	
17. Verificar a indicação de "safe to fly" no aplicativo de controle	☐	
18. Observador preparado para iniciar o voo	☐	
19. Decolar	☐	

B) Checklist após Decolagem		
1. Planar o VANT a aproximadamente 3 m (10 feet) acima do chão e confirmar se ele está sob controle	☐	
2. Verificar se todos os comandos de direcionamento estão operando corretamente enquanto o VANT plana	☐	

C) Checklist de pré-pouso	Bateria 1	Comentários	Bateria 2	Comentários
1. Verificar visualização da câmera	☐		☐	
2. Parar gravação de vídeo	☐		☐	
3. Pousar em local aberto e seguro	☐		☐	

D) Checklist após pouso – Retomando o voo imediatamente	Bateria 2	Comentários	Bateria3	Comentários
1. Desligar VANT				
2. Trocar a bateria que está no VANT por outra carregada	☐		☐	
3. Ligar nova bateria				
4. Verificar a conexão do aplicativo de controle com a câmera	☐		☐	
5. Verificar conexão de satélite (número)	☐		☐	
6. Verificar níveis de bateria para um voo seguro (bateria do VANT, do roteador e do controle remoto) (%)	☐		☐	
7. Verificar a indicação de "safe to fly" no aplicativo de controle	☐		☐	
8. Iniciar gravação de vídeo	☐		☐	
9. Observador preparado para retomar o voo	☐		☐	

Universidade Federal da Bahia (UFBA)
Escola Politécnica - Departamento de Construções e Estruturas
Grupo de Pesquisa e Extensão em Gestão e Tecnologia das Construções (GETEC)
Parceria: Georgia Institute of Technology



Georgia
Tech

Itens do Checklist para Missão com VANT	Voo Checado		Comentários	
10. Decolar	☐		☐	
11. Planar o VANT a aproximadamente 3 m (10 feet) acima do chão e confirmar se ele está sob controle	☐		☐	
12. Verificar se todos os comandos de direcionamento estão operando corretamente enquanto o VANT plana	☐		☐	

E) Checklist para Fim da Missão

1. Verificar visualização da câmera	☐	
2. Pousar em local aberto e seguro	☐	
3. Desligar bateria do VANT	☐	
4. Desligar controle remoto	☐	
5. Desligar roteador (tablet ou celular)	☐	
6. Remover bateria do VANT	☐	
7. Remover hélices	☐	
8. Colocar proteção da câmera	☐	
9. Guardar VANT na caixa	☐	
10. Guardar Controle remoto e roteador na Caixa	☐	

Informações Adicionais / Comentários (aspectos gerais da decolagem, trajetória de voo e local de pouso, se possível)
