



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

VANESSA CRUZ PACHECO

**MODELO BASEADO EM AGENTES PARA ANÁLISE DA INFLUÊNCIA
DAS AÇÕES GERENCIAIS NO COMPORTAMENTO SEGURO DE
MONTADORES DE PAREDE DE CONCRETO**

SALVADOR

2024

VANESSA CRUZ PACHECO

**MODELO BASEADO EM AGENTES PARA ANÁLISE DA INFLUÊNCIA
DAS AÇÕES GERENCIAIS NO COMPORTAMENTO SEGURO DE
MONTADORES DE PAREDE DE CONCRETO**

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

Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Elaine Pinto Varela Alberte

Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Dayana Bastos Costa

Agência Financiadora: CAPES

SALVADOR

2024

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Bernadete
Sinay Neves, Escola Politécnica - UFBA.

P116 Pacheco, Vanessa Cruz.

Modelo baseado em agentes para análise da influência das ações gerenciais no comportamento seguro de montadores de parede de concreto / Vanessa Cruz Pacheco. – Salvador, 2024.

250 f.: il. color.

Orientador: Profa. Dra. Elaine Pinto Varela Alberte.

Orientador: Profa. Dra. Dayana Bastos Costa.

Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal da Bahia - Escola Politécnica, 2024.

1. Modelagem baseada em agentes. 2. Simulação. 3. Segurança. 4. Canteiros de obra. 5. Construção civil. I. Alberte, Elaine Pinto Varela. II. Costa, Dayana Bastos. III. Universidade Federal da Bahia. IV. Título.

CDD: 363.11

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA DEFESA DE MESTRADO

Vanessa Cruz Pacheco

APRESENTADA AO MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL, DA UNIVERSIDADE FEDERAL
DA BAHIA, EM 01 DE NOVEMBRO DE 2024.

BANCA EXAMINADORA


Prof.(a) Dr.(a) **Elaine Pinto Varela Alberte**
Orientadora
PPEC-UFBA

Prof.(a) Dr.(a) **Dayana Bastos Costa**
Orientadora
PPEC-UFBA

Documento assinado digitalmente
DAYANA BASTOS COSTA
Data: 21/01/2025 15:13:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.(a) Dr.(a) **Roseneia Rodrigues Santos de Melo**
PPEC-UFBA

Documento assinado digitalmente
ROSENEIA RODRIGUES SANTOS DE MELO
Data: 21/01/2025 15:20:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.(a) Dr.(a) **Sheila M B Serra**
PPGECiv- UFSCAR

Documento assinado digitalmente
SHEILA MARA BAPTISTA SERRA
Data: 21/01/2025 17:23:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.(a) Dr.(a) **Fabiano Rogerio Corr**
CONSTRUINOVA- Mestrado Profissional em Inovação- USP

Documento assinado digitalmente
FABIANO ROGERIO CORREA
Data: 22/01/2025 18:04:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, expresso minha profunda gratidão a Deus, que me concedeu forças nos momentos de dificuldade e esteve sempre ao meu lado durante toda a minha jornada.

Aos meus pais, Hidelita Teixeira Cruz Pacheco e Genivaldo Alves Pacheco, sou eternamente grata por todo o apoio, amor e dedicação ao longo da minha vida. Agradeço pelos inúmeros sacrifícios e esforços, que foram fundamentais para que eu pudesse alcançar meus objetivos. Sem vocês, não teria chegado até aqui. Obrigada por tudo, amo vocês profundamente.

Minha profunda gratidão à professora Elaine Pinto Varela Alberte, pela orientação excepcional ao longo do desenvolvimento e conclusão desta dissertação. Agradeço pelos valiosos conselhos, pelo apoio constante e incentivo, que me permitiram explorar um tema tão desafiador, contribuindo de forma essencial para o meu crescimento profissional e pessoal. Obrigada por ter respeitado o meu tempo e processo ao longo de toda essa jornada.

Agradeço à professora Dayana Bastos Costa pela orientação, pelo apoio e dedicação, e pelas valiosas contribuições que foram indispensáveis para o progresso deste trabalho e enriqueceram significativamente o processo de pesquisa.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo suporte financeiro concedido ao longo desta pesquisa.

À empresa participante do projeto e aos profissionais dessa empresa, pela atenção, interesse e colaboração, que foram essenciais para a realização deste projeto.

À Pós Doc. Roseneia Melo por todo apoio e conhecimento compartilhado, que foram imprescindíveis para o desenvolvimento dessa pesquisa, e para o meu progresso como pessoa e pesquisadora.

Agradeço ao meu amigo, Hugo Sefrian Peinado, por estar ao meu lado, contribuindo não apenas com sua experiência, mas também oferecendo motivação e incentivo, que foram essenciais para o meu progresso e sucesso nesta empreitada.

Agradeço a Guilherme dos Santos Bonfim e Márcio Costa Barros Júnior, por todo o suporte durante o desenvolvimento desta pesquisa, pelo auxílio na implementação de

minhas ideias e pelo companheirismo. Sem vocês, esta jornada teria sido muito mais solitária. Um agradecimento especial a Guilherme pelos dois anos de colaboração e pelo trabalho indispensável à conclusão deste projeto.

À Carolina Andrade de Oliveira, agradeço por me acompanhar nas visitas à obra e pela realização dos voos de drone, que contribuíram para uma parte significativa da pesquisa.

Aos colegas do GETEC, em especial a Alisson Souza, Caroline Araújo, Hugo Peinado e Luara Fernandes, deixo meus sinceros agradecimentos pelo apoio e conselhos. Estendo minha gratidão aos demais membros do GETEC pela honra de integrar este grupo tão especial.

Aos colegas do PPEC (Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da UFBA), em especial à Cibele Mota Menezes e Abraham Rodolphe Abiodoun Omore, gratidão pelo carinho e apoio durante essa jornada. A amizade que cultivamos tornou-se um presente valioso em minha vida.

Agradeço ao meu namorado, Murilo Moura, assim como a todos os meus amigos e familiares que formaram minha rede de apoio ao longo de toda esta jornada. Sou profundamente grata por tudo, pois vocês foram essenciais para que eu pudesse concluir esta etapa. Obrigada por acreditarem e confiarem em mim.

*À memória do meu pai, Genivaldo
Alves Pacheco, e da minha Vó,
Joselita Teixeira, por me transmitirem
lições e valores que ultrapassam os
limites do ambiente acadêmico.*

À Deus.

RESUMO

O setor da construção civil se destaca por ser um dos segmentos que mais registram acidentes de trabalho no Brasil. Os canteiros de obra possuem uma natureza dinâmica e apresentam uma complexidade de problemas relacionados à segurança devido à multiplicidade e instabilidade dos fatores envolvidos, sendo composto por uma diversidade de elementos envolvidos na etapa produtiva da construção (materiais, equipamentos e operários). Dentro desse contexto, observa-se a necessidade de estudos que desenvolvam ferramentas para apoio à gestão da segurança na construção. A modelagem baseada em agentes tem se destacado na literatura por analisar o tema a partir de uma abordagem *bottom-up*, ou seja, a partir da percepção da base da produção (colaboradores) sobre o ambiente organizacional e as ações gerenciais. O presente estudo objetiva desenvolver uma proposta de modelo para analisar o comportamento seguro e inseguro dos montadores de paredes de concreto ante distintas ações gerenciais voltadas à segurança do canteiro de obras a partir de uma abordagem baseada em agentes. O projeto adota o *Design Science Research* (DSR) como estratégia metodológica, apresentando as seguintes etapas de pesquisa: (1) Conscientização: mapeamento do estado atual de conhecimento sobre o assunto, incluindo revisão bibliográfica sistemática; (2) Sugestão do artefato: elaboração da concepção base para a estrutura do modelo a partir de dados teóricos e empíricos; (3) Desenvolvimento e avaliação do artefato: desenvolvimento do modelo, a partir do uso da Plataforma de software MESA, simulação com geração de resultados e realização de análise para avaliar a aplicabilidade do modelo e a validade estrutural e replicativa; (4) Conclusão: estruturação final do instrumento, incluindo descrição de suas principais limitações, pontos fortes e recomendações de melhorias. No que se refere à classificação do artefato, a proposta busca desenvolver um artefato do tipo modelo, ou seja, possui como principal objetivo representar os contextos reais da concepção do problema e os espaços de solução. Espera-se que os resultados do projeto contribuam de forma prática para a condução de ações da gestão da segurança nos canteiros de obras, através da avaliação do impacto da antecipação de riscos, a fim de melhorar a segurança no ambiente laboral da construção civil.

Palavras-Chaves: Modelagem baseada em agentes; Simulação; Segurança; Canteiros de Obra; Construção civil.

ABSTRACT

The construction industry stands out as one of the segments that most register work accidents in Brazil. Construction sites are dynamic and present a complexity of problems related to safety due to the diversity and instability of the factors involved, being composed of a variety of elements involved in the production stage of construction (materials, equipment, and workers). Within this context, there is a need for studies that develop tools to support safety management in construction. Agent-based modeling has stood out in the literature for analyzing the topic from a bottom-up approach, that is, from the perception of the production base (employees) about the organizational environment and management actions. The present study aims to develop a proposed model to analyze the safe and unsafe behavior of concrete wall assemblers in the face of different management actions aimed at construction site safety from an agent-based approach. The project adopts Design Science Research (DSR) as a methodological strategy, presenting the following research steps: (1) Awareness: mapping the current state of knowledge on the subject, including a systematic literature review; (2) Suggestion of the artifact: elaboration of the basic conception for the structure of the model based on theoretical and empirical data; (3) Development and evaluation of the artifact: development of the model, based on the use of the MESA software platform, simulation with generation of results and performance of analysis to evaluate the applicability of the model and the structural and replicative validity; (4) Conclusion: final structuring of the instrument, including a description of its main limitations, strengths and recommendations for improvements. Regarding the classification of the artifact, the proposal seeks to develop a model-type artifact, that is, its main objective is to represent the real contexts of the conception of the problem and the solution spaces. It is expected that the project's results will contribute practically to the conduction of safety management actions on construction sites, through the evaluation of the impact of risk anticipation, to improve safety in the construction work environment.

Key Words: Agent-based model; Simulation; Safety; Construction Sites; Construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura teórica do processo cognitivo-comportamental dos trabalhadores da construção civil.....	45
Figura 2- Visão geral do processo típico de modelagem	50
Figura 3- Artigos selecionados por código, autores e citações	51
Figura 4- Modelos identificados por tipo e propósito	53
Figura 5- Modelos identificados por tipo e software	54
Figura 6- Produções por país e continente.....	55
Figura 7 – Tipos de agentes.....	57
Figura 8– Modelos por software utilizado, resolução espacial e resolução temporal	58
Figura 9– Tipos de modelo, resolução espacial e temporal	60
Figura 10– Estrutura de entradas e saídas do modelo baseado em agente com base na literatura	66
Figura 11 - Delineamento da pesquisa.....	68
Figura 12-Diagrama de fluxo das atividades desenvolvidas nas etapas da pesquisa	72
Figura 13- Etapa de sugestão	77
Figura 14- Ilustração do empreendimento da Obra A.....	79
Figura 15– Fotos do empreendimento da Obra A	79
Figura 16-Matriz de Risco	83
Figura 17– Dia do pré-teste.....	86
Figura 18– Divulgação da aplicação do questionário	86
Figura 19– Dia da aplicação do questionário	87
Figura 20- Etapa de Desenvolvimento e avaliação do Artefato.....	94
Figura 21– Protocolo ODD+D.....	96
Figura 22-Distribuição do risco da atividade.....	101
Figura 23 - Cenários de Simulação	103
Figura 24– Etapa de Conclusão	104
Figura 25-Passo a passo do sistema de paredes de concreto.....	106
Figura 26 - Passo a passo de montagem do Sistema de Segurança.....	107
Figura 27 - Comportamentos inseguros durante a execução das paredes de concreto	112

Figura 28 - Estrutura conceitual do processo cognitivo-comportamental dos trabalhadores da construção civil.....	122
Figura 29 - Fluxograma da lógica do modelo.	131
Figura 30 - Estrutura conceitual do modelo baseado em agentes	133
Figura 31 - Interface de entrada de dados da plataforma no MESA	143
Figura 32- Exemplos de Saída de dados da plataforma no MESA.....	144
Figura 33 - Impacto da tolerância ao risco e da percepção de risco no número de comportamentos inseguros.	146
Figura 34 - Impacto do treinamento de segurança e do diálogo de segurança na percepção de risco de trabalhadores da construção civil.....	147
Figura 35 - Impacto do feedback de segurança na tolerância ao risco dos trabalhadores	148
Figura 36 - A relação da tolerância ao risco dos trabalhadores na atitude de segurança	148
Figura 37 - Efeitos das estratégias gerenciais na taxa de incidentes (Probabilidade baixa de feedback comportamental)	150
Figura 38 - Efeitos das estratégias gerenciais na taxa de incidentes (Probabilidade média de feedback comportamental)	152
Figura 39 - Efeitos das estratégias gerenciais na taxa de incidentes (Probabilidade alta de feedback comportamental)	153
Figura 40 - Efeitos das estratégias gerenciais na percepção de risco dos agentes (Probabilidade baixa de feedback comportamental)	155
Figura 41 - Efeitos das estratégias gerenciais na percepção de risco dos agentes (Probabilidade média de feedback comportamental)	157
Figura 42 - Efeitos das estratégias gerenciais na percepção de risco dos agentes (Probabilidade alta de feedback comportamental)	158
Figura 43 - Resumo das análises (Probabilidade baixa de feedback comportamental)	161
Figura 44 - Resumo das análises (Probabilidade média de feedback comportamental)	162
Figura 45 - Resumo das análises (Probabilidade alta de feedback comportamental)	163

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Fatores típicos de gestão segundo a realidade brasileira	37
Quadro 2: Parâmetros para a modelagem baseada em agentes para simulação do comportamento de segurança dos colaboradores da construção civil	65
Quadro 3: Variáveis de análise	73
Quadro 4: Caracterização das obras da etapa de conscientização	74
Quadro 5: Perfil dos entrevistados	75
Quadro 6: Entrevistados e tópicos de discussão.....	76
Quadro 7: Atividades do estudo empírico na Empresa X.....	80
Quadro 8: Características de voos da Obra A.....	82
Quadro 9-Relação entre Hipóteses de pesquisa e o questionário	88
Quadro 10: Métodos estatísticos e hipóteses.....	91
Quadro 11-Itens do Protocolo ODD+D.....	97
Quadro 12-Cenários de validação replicativa e estrutural	102
Quadro 13: Responsáveis pela execução das etapas de trabalho.....	108
Quadro 14: Estratégias gerencias de segurança da Empresa X.....	110
Quadro 15: Análise de Riscos e Severidade	113
Quadro 16 - Variáveis e escalas do modelo (Condições do canteiro).....	128
Quadro 17 - Variáveis e escalas do modelo (Condições do agente).....	129
Quadro 18 - Impacto dos fatores organizacionais na atitude de risco dos agentes	138

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados das hipóteses (1 a 4)	115
Tabela 2 - Resultados das hipóteses (5 a 10)	116
Tabela 3 - Resultados da hipótese 11	116
Tabela 4 - Resultados da hipótese 12 e 13	117
Tabela 5 - Resultados das hipóteses (14 a 18)	119
Tabela 6 - Parâmetros iniciais	144
Tabela 7 - Taxas de simulação	149
Tabela 8 - Parâmetros para validar a aplicabilidade do modelo	149

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ANAMT	Associação Nacional de Medicina do Trabalho
BBS	<i>Behavior-based safety</i>
CS	Clima de Segurança
CSG	Clima de segurança de grupo
CSO	Clima de segurança organizacional
DDS	Diálogo de Segurança diário
DS	<i>Design Science</i>
DSR	<i>Design Science Research</i>
DSS	Diálogo de Segurança Semanal
EPC	Equipamento de proteção coletiva
EPI	Equipamento de proteção individual
GETEC Construções	Grupo de Pesquisa e Extensão em Gestão e Tecnologia das Construções
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GSC	Gestão da segurança na construção
GSST	Gestão da Saúde e Segurança do trabalho
GST	Gestão da Segurança do trabalho
ICC	Indústria da construção civil
IDE	Ambiente de desenvolvimento integrado
MBA	Modelagem baseada em agentes
MD	Mediana
MQO	Método dos mínimos quadrados
NR	Norma Regulamentadora
ODD+D	<i>Overview, Design concepts, Details + Decision</i>
PIB	Produto Interno Bruto
RPA	<i>Remotely-Piloted Aircraft</i>
RSL	Revisão sistemática da literatura

SST	Saúde e Segurança do Trabalho
sT-DDS	Diálogo diário de segurança (sem treinamento)
sT-DSS	Diálogo semanal de segurança (sem treinamento)
TA-DDS	Treinamento anual diálogo diário de segurança
TA-DSS	Treinamento anual diálogo semanal de segurança
TB-DDS	Treinamento bienal e diálogo diário de segurança
TB-DSS	Treinamento bienal e diálogo semanal de segurança
TS-DDS	Treinamento semestral e diálogo diário de segurança
TS-DSS	Treinamento semestral e diálogo semanal de segurança
TT-DDS	Treinamento trimestral e diálogo diário de segurança
TT-DSS	Treinamento trimestral e diálogo semanal de segurança

GLOSSÁRIO

Behavior-based safety: Estratégia de segurança focada na observação e modificação de comportamentos para reduzir riscos e acidentes no local de trabalho.

Bottom-up: Abordagem que começa a partir das operações e feedbacks dos níveis inferiores da organização, influenciando as decisões gerenciais e estratégicas.

Clima de Segurança de Grupo: Conjunto unificado de percepções dos trabalhadores sobre a implementação dos procedimentos pelos supervisores na linha de frente em cada grupo de trabalho.

Clima de Segurança Organizacional: Conjunto unificado de percepções dos trabalhadores sobre os aspectos de segurança da organização.

Comportamento: Conjunto de ações e reações de um indivíduo em resposta a estímulos internos e externos, particularmente em relação às práticas de segurança.

Estratégias gerenciais de segurança: Métodos e abordagens utilizados pelos gestores para promover a segurança e minimizar riscos no ambiente de trabalho.

Mapa de risco: Representação gráfica que identifica e categoriza os riscos presentes em um ambiente de trabalho, ajudando na prevenção de acidentes.

Percepção de risco: Refere-se ao julgamento subjetivo de um indivíduo e à avaliação do perigo ao qual ele está exposto.

Sistema de gestão da segurança: Conjunto de políticas, procedimentos e processos implementados para garantir a segurança e saúde no local de trabalho.

Taxa de acidentes: Métrica que quantifica o número de acidentes ocorridos em um determinado período, geralmente expressa em relação ao número de trabalhadores ou horas trabalhadas.

Teoria da Comparação Social: Teoria que analisa como as pessoas determinam seu próprio valor baseado na comparação com outros, o que pode influenciar atitudes e comportamentos em relação à segurança.

Teoria da Identificação Social: Conceito que explora como a identificação de um indivíduo com um grupo influencia seu comportamento e percepções, incluindo a adesão a normas de segurança.

Teoria do Processamento de Informação: Abordagem que examina como os indivíduos percebem, interpretam e respondem às informações relacionadas à segurança.

Tolerância ao risco: Relaciona-se ao nível de aversão ao risco do indivíduo.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	21
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA DE PESQUISA	21
1.2. PROBLEMA DE PESQUISA	24
1.3. QUESTÕES DE PESQUISA	27
1.4. HIPÓTESES DE PESQUISA.....	27
1.5. OBJETIVOS DE PESQUISA	28
1.6. DELIMITAÇÃO DE PESQUISA.....	29
1.7. ESTRUTURA	29
2. SEGURANÇA DO TRABALHO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	31
2.1. PANORAMA DO SETOR	31
2.2. SEGURANÇA BASEADA NO COMPORTAMENTO (BBS)	34
2.3. SISTEMA DE GESTÃO DA SEGURANÇA NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	36
2.4. CLIMA DE SEGURANÇA NA CONSTRUÇÃO CIVIL	40
2.5. O PAPEL DAS TEORIAS SOCIAIS NA INTERPRETAÇÃO DO COMPORTAMENTO DOS TRABALHADORES DA CONSTRUÇÃO	42
2.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
3. MBA: DEFINIÇÕES, CONCEITOS E USOS NA GESTÃO DA SEGURANÇA NA CONSTRUÇÃO.....	48
3.1. DEFINIÇÕES E CONCEITOS.....	48
3.2. MBA APLICADA À GESTÃO DA SEGURANÇA NA CONSTRUÇÃO.....	51
3.2.1. Propósito das pesquisas	52
3.2.2. Classificação dos modelos desenvolvidos.....	52
3.2.3. Plataformas de software utilizadas nas pesquisas.....	53
3.2.4. Fundamentação adotada para desenvolvimento dos modelos	54
3.2.5. Fonte de dados utilizadas para construção dos modelos	55
3.2.6. Localização geográfica dos estudos	55

3.2.7.	Tipos de agentes considerados nos modelos desenvolvidos	56
3.2.8.	Processo construtivo objeto de modelagem	57
3.2.9.	Classificação do espaço modelado.....	58
3.2.10.	Resolução espacial e temporal.....	59
3.2.11.	Verificação, Calibração e Validação	60
3.2.12.	Modelagem do comportamento do trabalhador da construção.....	61
3.3.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
4.	MÉTODO DE PESQUISA.....	67
4.1.	ESTRATÉGIA DA PESQUISA	67
4.2.	DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	68
4.3.	CONSCIENTIZAÇÃO.....	69
4.3.1.	Compreensão Teórica.....	69
4.3.2.	Revisão Sistemática da Literatura (RSL)	70
4.3.3.	Estudo exploratório	74
4.4.	SUGESTÃO DO ARTEFATO.....	76
4.4.1.	Estudo empírico	77
4.5.	DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DO ARTEFATO	93
4.5.1.	Desenvolvimento de proposta estrutural do modelo	94
4.6.	Avaliação do modelo baseado em agentes.....	97
4.7.	CONCLUSÃO DO ARTEFATO	103
5.	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	105
5.1.	RESULTADOS DA ETAPA DE SUGESTÃO.....	105
5.1.1.	Mapeamento do sistema construtivo.....	105
5.1.2.	Mapeamento das rotinas de segurança	108
5.1.3.	Levantamento dos comportamentos inseguros	111
5.1.4.	Mapeamento dos riscos do canteiro de obras	113
5.1.5.	Percepção de segurança dos trabalhadores e dos gestores	114

5.1.6. Estrutura Conceitual do processo cognitivo-comportamental dos trabalhadores da construção civil.....	120
5.2. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA ETAPA DE SUGESTÃO.....	122
5.3. RESULTADOS DA ETAPA DE DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO.....	126
5.3.1. Apresentação do modelo desenvolvido.....	126
5.3.2. Validação do modelo desenvolvido.....	145
5.4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA ETAPA DE DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO.....	164
6. CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	170
6.1. CONCLUSÕES DO TRABALHO.....	170
6.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	175
REFERÊNCIAS.....	177
APÊNDICE I – Artigos da Revisão Sistemática da Literatura.....	190
APÊNDICE II – Framework dos artigos da Revisão Sistemática da Literatura.....	193
APÊNDICE III – ROTEIRO DE QUESTIONÁRIO PARA O MAPEAMENTO DAS PERCEPÇÕES DE CLIMA DE SEGURANÇA E COMPORTAMENTO DOS COLOBORADORES NOS CANTEIROS DE OBRA DE PAREDES DE CONCRETO.	194
APÊNDICE IV – ROTEIRO DE QUESTIONÁRIO PARA O MAPEAMENTO DAS PERCEPÇÕES DE SEGURANÇA DOS GESTORES NOS CANTEIROS DE OBRA DE PAREDES DE CONCRETO.....	206
APÊNDICE V – RESPOSTAS DOS TRABALHADORES.....	209
APÊNDICE VI – DADOS ESTATÍSTICOS.....	220
APÊNDICE VII – PARTICIPAÇÃO DA EQUIPE.....	225
APÊNDICE VIII – MODIFICAÇÃO NAS EQUAÇÕES.....	226
APÊNDICE IX – CÓDIGO-FONTE.....	228

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA DE PESQUISA

A indústria da construção civil (ICC) se destaca pela significativa contribuição à geração de emprego e renda no Brasil, figurando entre os setores de maior relevância econômica para o país. Segundo dados de 2019, o setor empregou cerca de 7,5% da força de trabalho total do país (CBIC, 2022).

Por outro lado, a ICC se caracteriza pela manutenção de modelos de produção predominantemente artesanais, nos quais a mão de obra está frequentemente envolvida em atividades intensivas e de alto risco. Deste modo, a ICC se sobressai como um dos setores mais críticos em termos de acidentes de trabalho, tanto no Brasil quanto em países desenvolvidos, o que evidencia a necessidade urgente de uma maior ênfase nas medidas de segurança e prevenção de acidentes (Saurin e Ribeiro, 2000; Saurin, 2002). O relatório da Organização Internacional do Trabalho destacou que os acidentes de trabalho custam à economia cerca de 4% do seu produto interno bruto (PIB) anual, o que equivale a 1,25 trilhão de dólares. E de acordo com o Observatório Digital de Segurança e Saúde Ocupacional (Smartlab, 2022), do total de cerca de 612,9 mil acidentes de trabalho registrados no Brasil em 2022, mais de 10 mil ocorreram dentro do setor da construção civil.

Além disso, a taxa de mortalidade relacionada a esses acidentes é significativamente alta. No âmbito global, estima-se que um em cada seis acidentes fatais ocorra no setor da construção (Zhang *et al.*, 2019), sendo as quedas de altura responsáveis por 34% dessas fatalidades (Ding *et al.*, 2018). No Brasil, a taxa de mortalidade é comparável aos valores observados no Oriente Médio e aproximadamente três vezes maior que os registrados em economias desenvolvidas. De acordo com a ANAMT (2019), a mortalidade em acidentes de trabalho no setor no Brasil é de 11,76 casos para cada 100 mil trabalhadores em regime de tempo integral por ano. No Oriente Médio, a taxa de mortalidade é de 18,6 por 100 mil (Sanni-Anibire *et al.*, 2020), enquanto em economias estabelecidas, a taxa é de 4,2 por 100 mil trabalhadores (Hämäläinen; Takala; Saarela, 2006).

Acidentes e perdas humanas continuam sendo um problema socioeconômico em todo o mundo, apesar da legislação trabalhista e dos padrões de segurança. O

fornecimento de um local de trabalho mais seguro para trabalhadores da construção civil é necessário e desafiador devido às interações não lineares entre os processos construtivos (Ding *et al.*, 2018). Vários autores associam o comportamento humano como um dos principais fatores relacionados a lesões e acidentes ocupacionais, destacando que os programas de segurança do trabalho focam no comportamento individual e na gestão de riscos (Choi e Lee, 2018; Li *et al.*, 2018; Winge *et al.*, 2019).

O ambiente de trabalho na construção civil, em particular, possui demandas mais complexas para a gestão da segurança em comparação às demais indústrias, além de exigir uma nova compreensão do conceito de clima de segurança (CS) para os canteiros de obras (Chen *et al.*, 2021). Isso ocorre devido à natureza dinâmica da construção, em que múltiplos métodos de trabalho são realizados simultaneamente pelos operários (Dalri, 2022). A participação de diversas partes interessadas é necessária (Fang e Wu, 2013) juntamente com o uso de equipamentos pesados, o que aumenta a complexidade do processo construtivo, transforma o canteiro de obras em um local perigoso (Bavafa *et al.*, 2018) e dificulta o controle dos riscos (Howell *et al.*, 2002).

A literatura destaca que treinamentos de segurança adequados, padronização de procedimentos e abertura organizacional para discutir questões de segurança são facilitadores cruciais para promover o comportamento seguro de profissionais da construção (Zhang *et al.*, 2020; Ye *et al.*, 2020). Estudos indicam que o CS prediz positivamente o comportamento de segurança dos profissionais da construção (Zhang *et al.*, 2020), uma vez que um CS positivo induz ao comportamento mais seguro do trabalhador, resultando em menos acidentes e lesões (Alruqi; Hallowell; Techera., 2018). A relação entre clima de segurança e comportamento de segurança é impactada por variáveis como a condição psicossocial e troca social entre trabalhadores e gerentes (Novieto, 2021), e fatores como estilo de liderança, coesão e orientação do grupo e a resposta de segurança dos supervisores (He *et al.*, 2015).

Dessa forma, há uma forte ligação entre clima de segurança e a cultura de segurança do ambiente organizacional em questão, indicando que o clima de segurança pode impactar significativamente a tolerância ao risco dos funcionários (Cheung e Zhang, 2020; Chen *et al.*, 2021; He *et al.*, 2022). A tolerância ao risco, por sua vez, é influenciada por determinantes individuais e socioculturais, incluindo a

cultura de segurança (Salas *et al.*, 2020). Além disso, Rundmo (2001) postula uma relação direta entre o nível de tolerância ao risco de um indivíduo e o clima organizacional geral. Para o autor, os fatores que influenciam a tolerância ao risco são características pessoais, consequências esperadas e cultura de segurança.

Estudos têm investigado os aspectos cognitivos dos trabalhadores e seu impacto nos comportamentos inseguros, que contribuem para o aumento de acidentes e lesões em canteiros de obras (Fang *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2019; Ye *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2022; Lu *et al.*, 2023; He *et al.*, 2023). Embora existam semelhanças nos processos de tomada de decisão cognitiva dos trabalhadores, cada autor introduziu critérios específicos para analisar esses processos, considerando fatores individuais, organizacionais e sociais que podem influenciar os comportamentos inseguros (Zhang *et al.*, 2019; Ye *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2022; Lu *et al.*, 2022). Os estudos enfatizam a percepção de risco, e a avaliação e tomada de decisão dos trabalhadores. Contudo, nenhum deles abordou a relação entre a percepção de risco e o clima de segurança na influência sobre o comportamento dos trabalhadores.

Com o avanço da Indústria 4.0, as tecnologias digitais estão cada vez mais presentes em todas as fases da construção (Melo, 2020). No entanto, para que a transformação digital realmente melhore os processos de gestão, é essencial que a tecnologia seja integrada às pessoas e processos, e não apenas utilizada para informatizar processos tradicionais (Simpson *et al.*, 2019). Benite (2004) ressalta que modelos de gestão focados apenas na identificação de perigos e avaliação de riscos não são suficientes para melhorar o desempenho e reduzir acidentes, sendo necessária uma mudança nas práticas de gestão.

Na ICC, a segurança está intimamente ligada ao comportamento dos trabalhadores, e a redução de acidentes está relacionada à implementação de estratégias voltadas à segurança comportamental (Cardella, 1999). É crucial considerar fatores físicos, biológicos, culturais e sociais na análise dos acidentes de trabalho. Assim, uma abordagem mais abrangente deve relacionar o comportamento dos trabalhadores com o clima de segurança e tecnologias digitais, incluindo ações gerenciais, para uma análise completa da segurança no ambiente de trabalho

1.2. PROBLEMA DE PESQUISA

No Brasil, o uso de métodos construtivos industrializados, como o sistema de parede de concreto, tem aumentado devido à sua alta produtividade e redução de custos com mão de obra (Torres, 2014). Esse sistema construtivo tem se mostrado eficaz no combate ao déficit habitacional (Missureli e Massuda, 2009), sendo amplamente empregado em moradias de programas habitacionais no país (Ceará Leste, 2023). Entre os principais benefícios da parede de concreto estão a rapidez na execução, maior durabilidade e a dispensa de mão de obra especializada (Missureli e Massuda, 2009).

No entanto, este processo apresenta desafios significativos devido à alta exposição dos trabalhadores a riscos, como queda de altura e colisão, e à velocidade de produção, o que pode comprometer o comportamento seguro e exigir uma revisão nas práticas de gestão para minimizar falhas de segurança (Melo, 2020). O comportamento humano é um fator crucial na ocorrência de lesões ocupacionais e acidentes, e os programas de segurança devem focar no gerenciamento de riscos, além de considerar aspectos relacionados ao comportamento dos indivíduos (Lingard e Rowlinson, 2005). Entretanto, como o ambiente da construção civil é um sistema complexo, nem todos os riscos podem ser controlados, tornando essencial que a gestão aumente a conscientização sobre os riscos e ofereça condições de trabalho seguras (Howell *et al.*, 2002).

Os métodos tradicionais para avaliar o comportamento dos colaboradores são majoritariamente observacionais, o que, embora útil, é demorado, trabalhoso e subjetivo (Ding *et al.*, 2018). Zhang *et al.* (2019) apontam que muitos estudos adotam uma abordagem “*top-down*” para examinar a relação entre comportamento gerencial e dos trabalhadores. No entanto, esses estudos frequentemente se baseiam apenas em análises estatísticas e, ao não encontrar correlações significativas, não conseguem explicar a ausência dessas correlações, o que simplifica excessivamente a complexidade do mundo real e pode levar a conclusões enganosas (Zhang *et al.*, 2019).

O comportamento inseguro dos trabalhadores tem recebido foco de análise nos últimos anos (Choi e Lee, 2018), visto que as investigações de acidentes apontam o desvio do procedimento de segurança do trabalho por parte dos colaboradores como

uma das causas de acidentes da construção civil (Choi e Lee, 2018). O comportamento dos trabalhadores é considerado um dos quatro principais responsáveis pela causa direta de incidentes¹ de segurança. (Li *et al.*, 2018) No entanto, para Ye *et al.* (2020), estratégias gerenciais podem reduzir o comportamento inseguro dos trabalhadores em um canteiro de obras.

Devido à multiplicidade e instabilidade dos fatores presentes nos canteiros de obra, a Modelagem Baseada em Agentes (MBA) apresenta-se como uma abordagem bastante adequada para análise deste ambiente. Este tipo de modelagem permite analisar um conjunto heterogêneo de agentes por meio de um sistema integrado de recursos, facilitando a compreensão das interações complexas e dinâmicas que influenciam o comportamento e a segurança no local (Khodabandelu e Park, 2021). O desenvolvimento de uma MBA fundamentada em uma série de evidências teóricas e empíricas possibilita a definição e análise das interações entre o pessoal envolvido e a segurança do canteiro de obras. As propriedades e comportamentos individuais dos agentes, assim como suas regras de interação, podem ser estabelecidas desde o início da modelagem, formando um sistema integrado em nível macro.

Nos últimos cinco anos, muitos estudos (Ding *et al.*, 2018; Poh *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2019; Fang *et al.*, 2020) têm explorado a interseção entre engenharia, computação, ciências sociais e psicologia. Esses estudos visam compreender o comportamento dos trabalhadores em relação aos riscos e o impacto das relações sociais na condução segura e insegura dos colaboradores. Ding *et al.* (2018) destacam que abordagens computacionais e técnicas de reconhecimento de padrões têm sido utilizadas para identificar comportamentos inseguros em canteiros de obras.

A simulação computacional é considerada uma terceira forma de fazer ciência, complementando as ferramentas tradicionais como a argumentação verbal e a quantificação matemática (Ostrom, 1988). Furtado (2018) descreve essa abordagem como algorítmica, ressaltando que ela se baseia na utilização de algoritmos e métodos computacionais para resolver problemas complexos e realizar análises detalhadas. Com o avanço tecnológico e o desenvolvimento de computadores de alto

¹ Ocorrências inesperadas durante a execução das atividades laborais que não causam lesões ou danos significativos (CASST, 2020).

desempenho, engenheiros e cientistas hoje podem utilizar modelos sofisticados para aplicações gerais, incluindo simulações ultrarrealistas com milhões de graus de liberdade (Vadyala *et al.*, 2022).

A revisão bibliográfica conduzida por Khodabandelu e Park (2021) revelou que, entre 2001 e 2020, dos 182 artigos sobre Modelagem Baseada em Agentes (MBA) na indústria da construção, apenas cerca de 8% abordam a gestão da segurança dos trabalhadores. Esses dados ressaltam a necessidade de avanços e maior atenção a essa área crítica dentro da pesquisa acadêmica. Estudos relevantes incluem a pesquisa de Zhang *et al.* (2019), que modelou as interações interpessoais entre trabalhadores e equipes de gerenciamento para avaliar seu impacto no desempenho de segurança; o trabalho de Song *et al.* (2019), que desenvolveu uma MBA para otimizar o layout dos canteiros de obras; e a análise de Xue (2005) que avaliou a entrega de materiais no canteiro usando MBA.

Os métodos tradicionais de gestão da segurança têm se mostrado ineficazes, o que justifica a crescente aplicação da MBA para estudar a relação entre cultura de segurança, estruturas e processos organizacionais formais e informais (Ye *et al.*, 2020). Dessa forma, a Modelagem Baseada em Agentes tem mostrado potencial para melhorar a gestão da segurança em canteiros de obras, ao simular diversos cenários e auxiliar na criação de ambientes laborais mais seguros, minimizando erros e desperdícios, e prevenindo acidentes inesperados que podem impactar a produção e o orçamento.

Assim, este estudo parte da premissa que a modelagem baseada em agentes pode simular o comportamento dos trabalhadores da construção civil para identificar a combinação mais eficaz de ações gerenciais que influenciam o comportamento seguro dos trabalhadores. Isso pode orientar intervenções de gestores de segurança, como treinamento, inspeção, comunicação e clima de segurança, melhorando a segurança em canteiros de obras no Brasil.

A importância desta pesquisa reside na análise da segurança a partir de uma perspectiva *bottom-up*, do nível operacional ao gerencial, e na falta de publicações nacionais sobre o tema. A proposta metodológica e a relevância científica e tecnológica do projeto são evidentes na utilização de uma abordagem multidisciplinar com MBA. Esta metodologia permite a simulação de modelos e testes de cenários em

populações artificiais, possibilitando a modelagem de processos cognitivos e interações sociais realistas, como comunicação, padrões de interação e percepções compartilhadas (Teshfatsion, 2006).

1.3. QUESTÕES DE PESQUISA

Questão Principal

- Como desenvolver um modelo baseado em agentes para analisar a influência das ações gerenciais no comportamento seguro e inseguro de montadores de parede de concreto?

Questões Específicas

- Quais parâmetros devem ser considerados para mensurar a influência das estratégias gerenciais no comportamento seguro e inseguro de montadores de parede de concreto?
- Qual a percepção de trabalhadores da construção civil sobre o impacto das estratégias gerenciais (treinamento, inspeção, comunicação e clima de segurança) na sua percepção de risco?
- Como avaliar a aplicabilidade de um artefato, de modo a ser implementado para apoiar a tomada de decisão dos gestores das obras de paredes de concreto?

1.4. HIPÓTESES DE PESQUISA

Hipótese Principal

- Às práticas de treinamento, comunicação de segurança e inspeção de segurança com feedback, aliadas ao clima de segurança organizacional e de grupo, exerce influência significativa sobre às percepções de risco, a tolerância ao risco e o comportamento seguro dos trabalhadores da construção civil.

Hipóteses Específicas

- O clima de segurança organizacional (CSO) prediz o clima de segurança de grupo (CSG).
- O clima de segurança organizacional (CSO) prediz a tolerância ao risco dos trabalhadores.

- O clima de segurança de grupo (CSO) prediz a tolerância ao risco dos trabalhadores.
- A atitude pessoal prediz a tolerância ao risco dos trabalhadores.
- Os trabalhadores apresentam diferentes percepções de risco sobre as mesmas atividades.
- Treinamentos de segurança de maior periodicidade impactam mais na percepção de risco dos trabalhadores do que treinamentos de menor

1.5. OBJETIVOS DE PESQUISA

Objetivo Principal

Propor um modelo baseado em agentes que auxilie a análise do comportamento seguro e inseguro de trabalhadores da construção civil ante distintas ações gerenciais (treinamento, inspeção, comunicação e clima de segurança) voltadas à segurança do canteiro de obras a partir de simulação computacional.

Objetivos Específicos

- Identificar os parâmetros de mensuração da influência das estratégias gerenciais no comportamento seguro e inseguro de montadores de parede de concreto;
- Analisar a percepção de trabalhadores da construção civil sobre o impacto das estratégias gerenciais (treinamento, inspeção, comunicação e clima de segurança) na sua percepção de risco;
- Avaliar a aplicabilidade do modelo baseado em agentes proposto para apoiar a tomada de decisão dos gestores das obras quanto às estratégias gerenciais de segurança no comportamento seguro e inseguro de montadores de parede de concreto moldada in loco

1.6. DELIMITAÇÃO DE PESQUISA

O estudo desenvolvido terá como foco a Gestão da Segurança do trabalho (GST), e não a Gestão da Saúde e Segurança do Trabalho (GSST), apesar de reconhecer a sua importância e influência nos estudos.

Esta pesquisa tem como escopo a análise da influência das estratégias gerenciais de segurança de acordo com a realidade dos canteiros de obras de parede de concreto moldadas in loco, de modo a analisar os processos críticos de segurança envolvidos durante a montagem das formas e plataformas de proteção coletiva.

Os dados obtidos nesta pesquisa estão restritos ao canteiro de obras onde foi conduzida, refletindo, portanto, a realidade específica da empresa e de seus colaboradores.

1.7. ESTRUTURA

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, que apresentam de forma evolutiva um estudo abrangente que integra as abordagens teórica e empírica, além do desenvolvimento do modelo baseado em agentes. Cada capítulo aborda aspectos específicos do estudo, desde a revisão de literatura até a implementação do modelo, culminando nas análises e conclusões finais.

O **Capítulo 1** apresenta a justificativa e discutir o problema de pesquisa, assim como as questões de pesquisa, principal e secundárias, os objetivos gerais e secundários do trabalho, as hipóteses de pesquisa e a delimitação da pesquisa.

O **Capítulo 2** resume a base de conhecimento responsável por orientar o desenvolvimento do modelo, às análises e discussões da pesquisa. Esta etapa é dividida em duas áreas de estudo, a primeira área refere-se ao estudo acerca do estado de conhecimento sobre a aplicação da gestão da segurança na construção civil. A segunda área busca compreender a inovação tecnologia do trabalho, através de uma revisão sistemática da literatura da aplicação da modelagem baseada em agentes para a gestão de segurança da construção civil.

O **Capítulo 3** descreve a metodologia de pesquisa adotada, detalhando as etapas aplicadas para a realização do estudo e os procedimentos para a obtenção

dos dados necessários para o desenvolvimento do modelo baseado em agentes e a realização das análises do MBA.

O **Capítulo 4** analisa e discute os resultados da pesquisa. Este capítulo é estruturado em duas partes: a primeira parte apresenta os resultados e discussões do estudo empírico, enquanto a segunda parte analisa e discute a versão final do modelo desenvolvido, incluindo as etapas de validação e a discussão dos resultados dessa fase.

O **Capítulo 5** apresenta as conclusões do trabalho, destacando suas contribuições e impactos com base nos resultados obtidos. O capítulo também aborda possíveis desfechos e oferece sugestões para futuras pesquisas.

Por fim, a pesquisa é complementada por 9 apêndices que fornecem informações adicionais. O Apêndice I lista os artigos da revisão sistemática da literatura, enquanto o Apêndice II apresenta frameworks dos trabalhos dessa revisão. Os Apêndices III e IV contêm os roteiros utilizados na coleta de dados em campo, direcionados aos trabalhadores e gestores, respectivamente. O Apêndice V reúne as respostas dos questionários, e o Apêndice VI apresenta os dados das análises estatísticas. Já o Apêndice VII detalha a participação dos membros da equipe, o Apêndice VIII apresenta as modificações realizadas nas equações do modelo, e, por último, o Apêndice IX disponibiliza o código-fonte do modelo baseado em agentes.

2. SEGURANÇA DO TRABALHO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

2.1. PANORAMA DO SETOR

O ambiente laboral da construção civil apresenta características únicas que podem influenciar na ocorrência de acidentes, bem como danos para o trabalhador. Essas particularidades incluem a alta rotatividade da mão de obra, o grande número de atividades ocorrendo simultaneamente, o caráter temporário dos canteiros de obra e o uso integrado de métodos artesanais e industrializados. Barkokébas Júnior *et al.* (2007) afirmam que o próprio meio ambiente de trabalho na construção civil pode ser considerado como um fator de risco para a ocorrência de acidentes.

No cenário brasileiro, observa-se a busca de redução do problema habitacional do país, resultando no surgimento de sistemas construtivos industrializados, como o sistema de parede de concreto. Este, como outros sistemas, apresenta características únicas e intrínsecas do próprio processo, como alta produtividade, alto grau de repetitividade, execução simultânea de estrutura e vedação, produção em larga escala, e conseqüente redução de custos com mão de obra (Torres, 2014).

Entretanto, concomitantemente a este sistema construtivo, tem-se os riscos inerentes a este processo produtivo. Segundo o estudo de Melo (2020), os processos de parede de concreto e alvenaria estrutural apresentam um índice de exposição elevada do trabalhador. Apesar da industrialização, observa-se a existência de risco de acidentes no ambiente laboral, o qual precisa ser gerido adequadamente (Melo, 2020).

Os acidentes e lesões na ICC resultam em despesas diretas e indiretas (Bavafa; Mahdiyar; Marsono, 2018). Enquanto a primeira estaria relacionada aos custos médicos e seguros de acidentes de trabalhos, a segunda refere-se aos atrasos no andamento da construção, bem como diminuição da motivação do trabalhador e efeitos negativos na reputação das empresas. Para Caponi (2004) e Vendrame e Graça (2009), os acidentes de trabalho, além de afetarem a produtividade econômica, resultam em um impacto significativo no sistema de proteção social, assim como interferem no nível de satisfação do colaborador e no bem-estar geral da população. Além de onerar o país devido a gastos com benefícios acidentários, aposentadorias especiais, assistência à saúde do acidentado, indenizações, treinamentos,

reinserção no mercado de trabalho e horas de trabalho perdidas (Caponi, 2004; Vendrame e Graça, 2009; Peinado, 2019).

Peinado (2019) afirma que a segurança do trabalhador não deve se limitar somente ao interesse dos funcionários e das empresas, mas deve contemplar também o governo e toda a sociedade, visto que os acidentes afetam não somente a vida dos trabalhadores, mas também impactam na sociedade, além do seu elevado ônus econômico. Entretanto, de acordo com Rocha, Saurin e Formoso (2000), a busca pelo lucro da construção civil leva a tomadas de decisão que muitas vezes resultam no não investimento em ferramentas de segurança, principalmente devido à dificuldade de percepção do impacto da não-segurança do trabalho na produtividade da empresa.

Benite (2004) relaciona em sua pesquisa uma lista com cerca de 17 itens de custo oriundos da não-segurança que vão desde o custo do transporte e atendimento médico do acidentado, bem como a baixa moral dos trabalhadores, perda de motivação e queda da produtividade, e custos econômicos relativos ao prejuízo da imagem da empresa frente à sociedade e clientes. Por outra parte, com relação aos custos da segurança, o autor sinaliza somente nove itens, indo do tempo e custo dos treinamentos, aquisição de equipamentos de proteção coletiva e individual e manutenção das equipes de Saúde e Segurança do Trabalho (SST).

É necessário se ter em mente que a promoção da segurança do trabalho trata-se não somente de uma obrigação legal e moral devido aos aspectos sociais, mas através do seu cumprimento é possível reduzir os custos destacados por Benite (2004), sendo imprescindível pensar em ações que reduzam as ocorrências de acidentes na construção civil (Barkokébas Júnior *et al.*, 2007).

A principal causa de acidentes na construção civil se dá devido à natureza única dessa indústria (Bavafa; Mahdiyar; Marsono, 2018). O setor possui características singulares, quando comparado com outras indústrias, como por exemplo: ambiente de trabalho dinâmico e multiplicidade de operações e equipamentos pesados, que tornam o canteiro de obras um local perigoso. De acordo com Dalri (2022), as condições dos canteiros de obras já se configuram como riscos e estes se agravam devido as variações nos métodos de trabalho que são realizados pelos operários, muitas vezes por consequência do surgimento de imprevistos, devido à falta de procedimentos de execução formalizadas na maioria das empresas.

Para Toole (2002), fatores como à falta de treinamento adequado, não utilização de EPI (Equipamentos de Proteção Individual) pelos operários, execução ineficiente das práticas de segurança, falta de postura adequada relacionada à segurança e desvio de comportamento quanto às práticas de segurança são algumas das principais causas dos acidentes na construção civil. Lima (2017) relaciona sete fatores de risco mais comuns que contribuem para a incidência de acidentes como: desorganização, falta de atenção, queda de materiais, choques elétricos, queda de altura, falta de sinalização e manuseio de ferramentas.

Shrestha, Yfantis e Shrestha (2011), por sua vez, afirmam que a supervisão inadequada se trata de uma das principais causas de acidentes na construção civil, seguido do baixo nível de visualização das condições de trabalho. Os autores relacionam muitos acidentes na construção civil ao caos encontrado nos canteiros de obra, visto às condições inseguras oriundas da supervisão inadequada.

A queda de altura se sobressai como uma das principais causas de acidentes na construção civil (Ding *et al.*, 2018). De nove causas de queda em acidentes de altura, as três principais são: distração/descuido dos trabalhadores, barreiras inadequadas nas bordas e iluminação insuficiente (Sanni-Anibire *et al.*, 2020)

Em se tratando de ambientes industrializados, Melo (2020) analisa três estudos de caso de obras de sistema de parede de concreto. Nesses casos, a autora aponta as seguintes falhas como as principais deste sistema construtivo: (1) o uso inadequado do EPI, (2) as proteções físicas incompletas ou não instaladas e (3) as construções e estruturas precárias. Estes resultados, segundo Melo (2020) chamam atenção para a necessidade de mudança nas práticas de gestão por parte da empresa para redução ou eliminação das possíveis causas.

Apesar da ocorrência dos acidentes serem provenientes de multifatores, para Hamid, Abd Majid e Singh (2008), estes não acontecem casualmente, pois estão diretamente ligados à negligência dos trabalhadores, sendo na verdade consequências de atos inseguros e/ou condições insegura. Enquanto o ato inseguro pode ser definido como a violação de um procedimento seguro que pode resultar em acidente, a condição insegura trata-se de uma condição física perigosa que pode diretamente ocasionar um acidente (Hamid, Abd Majid e Singh, 2008).

Entretanto, observa-se uma necessidade de análise da influência das ações gerenciais no comportamento dos trabalhadores, pois, segundo Ye *et al.* (2020), estratégias gerenciais podem reduzir o comportamento inseguro dos trabalhadores em um canteiro de obras, a partir da forma em que a segurança é apoiada e priorizada pela organização. Dessa forma, faz-se necessário compreender os principais comportamentos inseguros dos trabalhadores no canteiro de obras e analisar de que modo os fatores organizacionais podem influenciar ou não na redução de atos inseguros.

2.2. SEGURANÇA BASEADA NO COMPORTAMENTO (BBS)

A behavior-based safety (BBS) é uma abordagem com raízes no behaviorismo (Watson, 1924) que emergiu durante a década de 30 (Skinner, 1938) e busca intervir e alterar comportamentos humanos que sejam considerados inseguros (Depasquale e Geller, 1999; Geller, 2001). Esta abordagem explica e prevê o comportamento com base nas influências externas e foca em fatos práticos que podem ser diretamente observados (Locke e Latham, 1990). A BBS difere das abordagens tradicionais ao enfatizar o estímulo de condutas seguras, ao invés da aplicação de punições em resposta a comportamentos inseguros (Choudhry *et al.*, 2014). É uma estratégia que busca melhorar a segurança através do aumento do nível de conscientização sobre segurança, e não somente ao alterar as condições físicas do ambiente laboral (Choudhry *et al.*, 2012; Choudhry *et al.*, 2014).

Esta abordagem tem sido empregada em diversas indústrias, de modo a promover o desempenho seguro dos funcionários. Isso inclui as indústrias de processo (Rashid *et al.*, 2022), a indústria de petróleo e gás (Zhang, Qu e Chen, 2022; Galis *et al.*, 2018), usinas termelétricas (Abella *et al.*, 2023), a indústria de fabricação de equipamentos pesados (Dinagaran *et al.*, 2019), a indústria química (Zakaria *et al.*, 2023), e a indústria da construção civil (Zhang *et al.*, 2023; Meem, Hossain e Akter, 2022).

Entretanto, a adoção da BBS na indústria da construção civil enfrenta diversos obstáculos devido à natureza dinâmica e transitória dos canteiros de obras (Zhang e Fang, 2013). É uma indústria marcada pela rotatividade variável de equipe em diferentes estágios da construção, empregos de natureza temporária (Choudhry e Fang, 2008) e práticas de supervisão inadequadas (Zhang e Fang, 2013). Esses

elementos desempenham um papel crucial na moldagem do comportamento seguro dos trabalhadores (Zhang e Fang, 2013). Por isso, cerca de um terço dos comportamentos inseguros dos trabalhadores são atribuídos a falhas de gestão e supervisão (Zhang e Fang, 2013). Torna-se crucial não apenas aprimorar o comportamento seguro dos trabalhadores, mas também erradicar as práticas de supervisão deficientes que podem resultar em comportamentos inseguros por parte dos colaboradores (Zhang e Fang, 2013).

A falta de adesão dos trabalhadores às práticas seguras, em determinadas circunstâncias, pode ser considerada uma reação compreensível. É razoável esperar comportamentos inseguros quando a realização rápida de tarefas, embora arriscada, oferece vantagens econômicas, ou quando os materiais e equipamentos adequados para realizar uma tarefa com segurança não estão disponíveis (Lingard e Rowlinson, 1997). Por isso, é crucial aprimorar o comportamento seguro dos trabalhadores e erradicar às práticas de supervisão deficientes que podem resultar em comportamentos inseguros (Zhang e Fang, 2013). A aplicação eficaz das técnicas de BBS requer que os trabalhadores sejam capazes de perceber e reconhecer os perigos no local de trabalho. É imprescindível investir na conscientização e conhecimento dos trabalhadores da construção civil (Lingard e Rowlinson, 1997).

No entanto, observa-se a existência de críticas referente ao BBS. Diversos autores propuserem estratégias para complementar esta abordagem (DeJoy, 2005; Zhang e Fang, 2013; Li *et al.*, 2015; Guo, Goh e Wong, 2018). Por meio da união entre BBS e clima de segurança, é possível melhorar a gestão da segurança, pois enquanto a segurança baseada em comportamento pode produzir mudanças nas crenças e suposições das pessoas em uma organização, a mudança de comportamento é em parte promovida e mantida por uma cultura/clima de segurança positivos (Guo; Gu; Wong, 2018). Dessa forma, diversas estratégias são utilizadas como ferramentas para melhorar a segurança, desde treinamentos, remuneração, incentivos, campanhas informativas de segurança e intervenções (Choudhry *et al.*, 2012).

2.3. SISTEMA DE GESTÃO DA SEGURANÇA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A gestão da segurança é responsável por identificar, controlar e avaliar os perigos no ambiente laboral. Entretanto, devido aos altos índices de acidentes presentes na indústria da construção civil, sua eficiência tem sido questionada (Melo, 2020), sendo considerada uma das indústrias mais perigosas para os colaboradores (Poh *et al.*, 2018),

O planejamento aparece como um requisito central nos regulamentos de segurança existentes (Saurin *et al.*, 2021). A NR-18 é a principal norma de segurança relacionada à construção civil e atua como um mecanismo de gerenciamento dos canteiros de obra. Assim, a gestão da segurança na construção civil busca evitar resultados indesejáveis por meio de sua capacidade de: (1) implementar políticas voltadas à identificação e análise de perigos; (2) implementar de medidas de controle; (3) monitorar as conformidades; (3) padronizar os processos; (4) estabelecer procedimentos e (5) controlar o comportamento dos trabalhadores (Lingard e Rowlinson, 2005).

As práticas de gestão de Saúde e Segurança do Trabalho são uma das estratégias utilizadas para a redução de acidentes do trabalho na construção civil (Ferreira, 2020). Segundo Bridi *et al.* (2013), a gestão da SST é um processo gerencial que, por meio da aplicação de técnicas e ferramentas gerenciais, sejam elas obrigatórias por legislação ou voluntárias, visa realizar o controle de riscos relacionados à SST (Quadro 1).

Através de uma revisão da literatura, foram identificados quatro fatores chave de gestão tradicional que influenciam os comportamentos seguros dos trabalhadores da construção. Estes incluem treinamento de segurança, comunicação de segurança, feedback comportamental e inspeções de segurança (Ye *et al.*, 2020; Lu *et al.*, 2022). A literatura menciona como os fatores organizacionais afetam a tomada de decisões comportamentais dos trabalhadores da construção (Choi e Lee, 2018; Zhang *et al.*, 2019). O quadro 1 apresenta práticas de gestão usualmente aplicados em canteiros de obras e os relaciona com a realidade apresentada no contexto brasileiro.

Quadro 1: Fatores típicos de gestão segundo a realidade brasileira

Fatores	Descrição	Realidade Brasileira
Treinamento de segurança	Orientação teórica e/ou prática de segurança para os trabalhadores exercerem suas funções de maneira segura, e evitar acidentes de segurança. (Wachter e Yorio, 2014; Ye <i>et al.</i> , 2020)	Os trabalhadores devem receber treinamentos de segurança conforme a atividade que será executada. É obrigatório o treinamento da NR-18 (riscos gerais) e da NR-35 (atividade em altura), e o tempo máximo entre um treinamento e outro é de 2 anos (Saurin <i>et al.</i> , 2012; Takei <i>et al.</i> , 2014; Costella <i>et al.</i> , 2014; Cambraia <i>et al.</i> , 2017; Seixas <i>et al.</i> , 2022)
Comunicação de segurança/Diálogo de segurança	Conversa curta e rotineira entre um membro da equipe gerencial e os colaboradores, sobre os riscos presentes no ambiente de trabalho e como evitá-lo, rotinas de trabalho, organização e limpeza do ambiente de trabalho, uso de equipamento de proteção individual (EPI) e outros cuidados com a saúde e segurança. (Probst, 2004; Lingard <i>et al.</i> , 2011; Olson <i>et al.</i> , 2016; Versteeg <i>et al.</i> , 2019; Lu <i>et al.</i> , 2023).	É realizado antes do início das atividades, pode ser diário (diálogo diário de segurança ou DDS) ou semanal (diálogo semanal de segurança ou DSS), conduzido pelo técnico de segurança, com duração de 5 a 15 min. (Seixas <i>et al.</i> , 2022) A transferência de informações de saúde e segurança para os trabalhadores é obrigatória pela NR-01 (Item 1.4.4.1).

Fatores	Descrição	Realidade Brasileira
Feedback comportamental	Comunicação oral através de elogio verbal ou crítica a respeito do comportamento dos trabalhadores observado pela equipe de gestão. (Zhang e Fang, 2013; Choi e Lee, 2018; Ye <i>et al.</i> , 2020)	Não há obrigação regulatória quanto a esse fator de gestão. A ISO 45001 (Brasil, 2018) destaca a importância do feedback dos trabalhadores para o sistema de gestão de saúde e segurança ocupacional, promovendo sua participação ativa. O especialista em segurança registra quaisquer irregularidades e questões de segurança identificadas e as comunica aos colaboradores para expressar as preocupações observadas (Lima e Costa, 2023; Rey <i>et al.</i> , 2021; Melo e Costa, 2019; Melo <i>et al.</i> , 2017; Saurin, 2016).
Inspeção de segurança	Vistoria técnica realizada no ambiente laboral com o objetivo de identificar perigos, reconhecer e avaliar possíveis riscos e determinar medidas preventivas ou de controle, a fim de evitar acidentes (Neal <i>et al.</i> , 2000, Wachter e Yorio, 2014).	A NR-01 exige um plano de ação para implementar, melhorar ou manter medidas de prevenção, com desempenho monitorado por meio de verificação de ações, inspeções de local e equipamentos e monitoramento de condições ambientais, quando aplicável. (Brasil, 2024). A ISO 45001 (Brasil, 2018) considera inspeções e auditorias oportunidades para melhorar o desempenho do sistema de saúde e segurança ocupacional. Rotinas de feedback devem ser integradas ao processo de inspeção de segurança e podem ser fornecidas durante ou após a inspeção. Isso ajuda a melhorar a comunicação entre as práticas de gestão e facilita a transferência de conhecimento para os trabalhadores (Melo, 2020).

Fonte: A autora

Em primeiro lugar, o treinamento de segurança provou ser uma fonte significativa de conhecimento (Ye *et al.*, 2020) e pode aumentar as informações e a conscientização dos trabalhadores sobre segurança ocupacional (Wachter e Yorio, 2014). No que diz respeito à gestão da segurança no contexto brasileiro, as normas regulamentadoras (NRs) são responsáveis por orientar os funcionários e empregados sobre obrigações, direitos e deveres para garantir um ambiente de trabalho seguro e saudável. Dentre as 37 NRs existentes (Portaria MTb nº 3.214 , de 8 de junho de 1978), destacam-se:

- A NR-01 (Brasil, 2022), que aborda o gerenciamento de riscos ocupacionais e medidas de prevenção em Segurança e Saúde no Trabalho.
- A NR-35 – Trabalho em Altura (Brasil, 2023), que estabelece os requisitos mínimos de segurança para atividades realizadas acima de dois metros do solo.
- A NR-18 (Brasil, 2022), que estabelece os requisitos para garantir o conforto e a segurança nos canteiros de obras, abordando questões administrativas, organizacionais, de planejamento e medidas preventivas de segurança.

Em segundo lugar, a comunicação eficaz está positivamente correlacionada com o conhecimento de segurança (Probst, 2004) e ajuda a manter o desempenho de segurança em um nível alto e estável (Lu *et al.*, 2023). Portanto, o treinamento e a comunicação de segurança são ações gerenciais que educam os trabalhadores sobre o reconhecimento e a mitigação de riscos em seu ambiente de trabalho. Eles desempenham papéis essenciais no aumento da conscientização e do conhecimento de segurança e no aumento da percepção de risco dos funcionários.

Terceiro, o feedback de segurança (positivo ou negativo) impacta no comportamento inseguro dos trabalhadores (Ye *et al.*, 2020), servindo como uma intervenção adicional para melhorar os comportamentos de segurança (Choi e Lee, 2018). Esse feedback também impacta a atitude de segurança dos trabalhadores (Zhang e Fang, 2013). A partir dos feedbacks, os trabalhadores compreendem a tolerância ao risco dos investidores (Choi e Lee, 2018; Ye *et al.*, 2020), visto que quando positivos, servem como reforço ao comportamento seguro (Zhang e Fang 2013), e quando negativos, servem como alerta do comportamento inseguro (Choi e Lee, 2018). Finalmente, a inspeção de segurança ajuda a facilitar o foco cognitivo dos

trabalhadores nas tarefas de segurança, bem como na consciência situacional (Wachter e Yorio, 2014). Além disso, a inspeção frequente fará com que os trabalhadores se sintam pressionados a ter comportamentos seguros, e conseqüentemente, as atitudes de segurança serão melhoradas (Neal *et al.*, 2000). Assim, a frequência com que cada uma dessas atividades de segurança é realizada pode levar a um projeto mais seguro (Versteeg *et al.*, 2019).

Entretanto, mesmo que uma empresa tome todas as precauções necessárias, os trabalhadores ainda podem tomar decisões que, de alguma maneira, podem os colocar sua vida em situação de perigo (Sacks, Perlman e Barak, 2013). Dessa forma, é fundamental levar em consideração a maneira que os colaboradores enxergam e tomam decisões, ou seja, a percepção de segurança dos trabalhadores.

2.4. CLIMA DE SEGURANÇA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Nos últimos 45 anos, o conceito de clima de segurança (CS) tem sido discutido por diversos autores. Zohar (1980, p. 101) definiu o clima de segurança pela primeira vez como “o primeiro conjunto molar e unificado de cognições [detidas pelos trabalhadores] em relação aos aspectos de segurança de sua organização”. Para Mearns *et al.* (1998) o clima de segurança reflete a percepção de segurança de um determinado local em um determinado momento. Zohar (2000) analisa o clima de segurança como a percepção compartilhada pelos funcionários sobre seu ambiente laboral quando relacionado a operações de alto risco. Lingard *et al.* (2010) afirmam que a percepção dos colaboradores sobre o clima de segurança da organização se manifesta de acordo com a forma em que a segurança é recompensada e reforçada pela organização. Cheung e Rita (2020) afirmam que climas de segurança positivos estão relacionados a um melhor comportamento ou desempenho de segurança em organizações de diferentes setores e fornecem insights importantes para antecipar a ocorrência de acidentes ou lesões no ambiente de trabalho.

Assim, observa-se na literatura que apesar de haver uma quantidade considerável de pesquisas sobre o tema, a literatura não apresenta um consenso sobre a definição do constructo “clima de segurança”, assim como também não há uma definição de um único modelo para medição do clima de segurança.

Enquanto o clima de segurança organizacional é originado de procedimentos e políticas impostas pela alta administração, o clima de segurança de grupo relaciona-se à implementação dos procedimentos pelos supervisores na linha de frente em cada grupo de trabalho (Zohar e Luria, 2005). Para Lingard *et al.* (2019), o clima de segurança de grupo prevê o desempenho de segurança com mais precisão do que o clima de segurança da organização, devido ao pouco contato dos trabalhadores com os gestores seniores em comparação com o contato diário com os membros de seu grupo de trabalho, como supervisores e colegas. Porém, esses dois grupos estão interligados e desempenham um papel fundamental na percepção do clima de segurança dos trabalhadores (Zohar, 2000).

Na construção civil, estudos indicam que o clima de segurança prediz positivamente o comportamento de segurança dos profissionais da construção (Zhang *et al.*, 2020) e um CS positivo induz um comportamento mais seguro do trabalhador, resultando em menos acidentes e lesões (Alruqi, Hallowell e Techera, 2018). Climas de segurança mais elevados podem incentivar influências sociais mais fortes, como o compromisso da gestão e a percepção segurança dos supervisores e funcionários (Fang e Wu, 2013; He *et al.*, 2022). Porém, o ambiente da construção civil se difere de outras indústrias, pois, tanto a gestão da segurança é diferente quando comparada com outras indústrias, como o próprio conceito de clima de segurança apresentará diferenças quando aplicado ao canteiro de obras (Chen, Li e Goh, 2021). Isso ocorre, pois, a execução de projetos de construção demanda a participação de várias partes interessadas, as quais aumentam a complexidade do processo (Fang e Wu, 2013).

Assim, dada a relação entre comportamentos inseguros e clima de segurança (Choi e Lee, 2018), é viável melhorar a conscientização e os padrões de segurança dos trabalhadores no local de trabalho por meio da promoção de um clima de segurança positivo. Isso, por sua vez, pode levar a uma redução significativa das ações inseguras por parte dos trabalhadores (Novieto, 2021). Portanto, para melhorar o comportamento de segurança dos trabalhadores, é necessário investir em estratégias organizacionais para conscientizar e educar os trabalhadores da construção civil, de modo a melhorar a capacidade de percepção e reconhecimento dos riscos no local de trabalho (Lingard e Rowlinson, 1997).

Para isso, diversas estratégias são utilizadas como ferramentas para melhorar a segurança, desde treinamentos, pagamentos, incentivos, campanhas informativas de segurança e intervenções (Choudhry *et al.*, 2012). Desta forma, por meio da união entre a Segurança Baseada no Comportamento (BBS) e o clima de segurança (CS), é possível melhorar a gestão da segurança, pois enquanto a segurança baseada no comportamento pode produzir mudanças nas opiniões e suposições das pessoas em uma organização, a mudança de comportamento é em parte promovida e mantida por uma cultura/clima de segurança positiva (Guo *et al.*, 2018).

2.5.O PAPEL DAS TEORIAS SOCIAIS NA INTERPRETAÇÃO DO COMPORTAMENTO DOS TRABALHADORES DA CONSTRUÇÃO

A relação direta entre clima de segurança e o comportamental humano demanda a aplicação de teorias sociais, visando a compreensão de como o clima de segurança pode influenciar o comportamento seguro dos trabalhadores, tanto no âmbito da ICC quanto em outras esferas industriais. Devido a isso, observa-se na literatura uso de teorias sociais para embasar e apoiar a compreensão do comportamento humano no cenário da construção civil.

Diversos autores desenvolveram “frameworks”, embasados por teorias, a fim de representar o processo cognitivo de tomada de decisão de segurança dos trabalhadores da construção (Zhang *et al.*, 2019; Ye *et al.*, 2020). De acordo com a Teoria do Processamento da Informação, o processo cognitivo consiste em três etapas: adquirir informações, compreender as informações e responder / agir (Li *et al.*, 2023). Estas etapas são impactadas pelas interações sociais dos indivíduos com colegas de trabalho e gestores, e influenciam do instante em que percebem o risco até uma tomada de decisão, que pode ou não resultar em um acidente (Li *et al.*, 2023; Lu *et al.*, 2022).

O framework proposto por Zhang *et al.* (2019) limita-se a relacionar o processo cognitivo dos trabalhadores apenas com fatores cognitivos individuais (consciência de segurança, conhecimento de segurança, norma de assunto, atitude de segurança e controle comportamental percebido). Enquanto Ye *et al.* (2020) propuseram e simularam uma estrutura do processo cognitivo que considera a influência de fatores cognitivos individuais, fatores organizacionais (comunicação de segurança, treinamento de segurança, papel de demonstração, feedback de comportamento e

identidade social) e sociais (colega de trabalho, capataz e gerente). Lu *et al.* (2023) amplia o “framework” proposto por Zhang *et al.* (2019) ao acrescentar a influência dos fatores organizacionais, análogos aos fatores propostos por Ye *et al.* (2020), e inclui inspeção de segurança e videovigilância inteligente. Por outro lado, a estrutura de Li *et al.* (2022) relacionou o processo cognitivo, com as percepções e tolerâncias de risco dos indivíduos, a partir de cinco tipos diferentes de personalidades dos colaboradores da construção, sem relacionar a fatores sociais e organizacionais do canteiro de obras.

A Teoria do Risco é utilizada para compreender a tomada de decisão dos trabalhadores que podem gerar um comportamento inseguro. Esta teoria afirma que a percepção do risco e a tolerância ao risco são as dimensões principais que determinam o comportamento de risco do indivíduo (Wilde, 1982). Ao avaliar as atitudes dos indivíduos, especialmente em situações que envolvem segurança e níveis de risco, é essencial considerar como os próprios indivíduos entendem e percebem o risco. A percepção do risco refere-se ao julgamento subjetivo de um indivíduo e à avaliação do perigo ao qual ele está exposto (Hallowell, 2010). A tolerância ao risco está relacionada ao nível de aversão ao risco do indivíduo (Li *et al.*, 2023, Choi e Lee, 2018). Caso o risco percebido exceda a tolerância ao risco, o trabalhador realizará um comportamento seguro a fim de prevenir acidentes. Porém, caso o risco percebido não exceda a tolerância ao risco, então o trabalhador terá um comportamento inseguro (Li *et al.*, 2022).

As organizações têm empregado a Teoria da Identidade Social para compreender o comportamento de seus funcionários (Choi e Lee, 2018), uma vez que a identificação organizacional atua como um mecanismo que regula a motivação, o comportamento e a satisfação no trabalho. Pesquisas mostram que trabalhadores da construção civil, como gerentes, supervisores e colegas de trabalho, serão influenciados por grupos sociais quando praticam comportamentos de segurança (He *et al.*, 2022; Ye *et al.*, 2020). De acordo com a Teoria da Comparação Social, os indivíduos definem seus valores sociais e pessoais comparando-se com os outros (Festinger, 1957). Consequentemente, o comportamento dos trabalhadores é influenciado por suas interações (observação e comunicação) com outros trabalhadores (Choi e Lee, 2018). Portanto, os funcionários mostram comportamento

seguro com base nas ações e comportamentos de seus colegas de trabalho e gerentes.

Dessa forma, apesar de se observar uma tendência na literatura de elaboração de “frameworks” para representar o processo decisório dos trabalhadores (Zhang *et al.*, 2019; He *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2022), nota-se uma falta de estudos que desenvolvem um “framework” que relacione estratégias gerenciais, a percepção e tolerância ao risco dos trabalhadores e o clima de segurança organizacional e de grupo com o processo cognitivo de tomada de decisão dos trabalhadores da construção civil. Os parâmetros utilizados para representar o comportamento dos agentes nos modelos podem ser categorizados em três grupos: individuais, organizacionais e sociais.

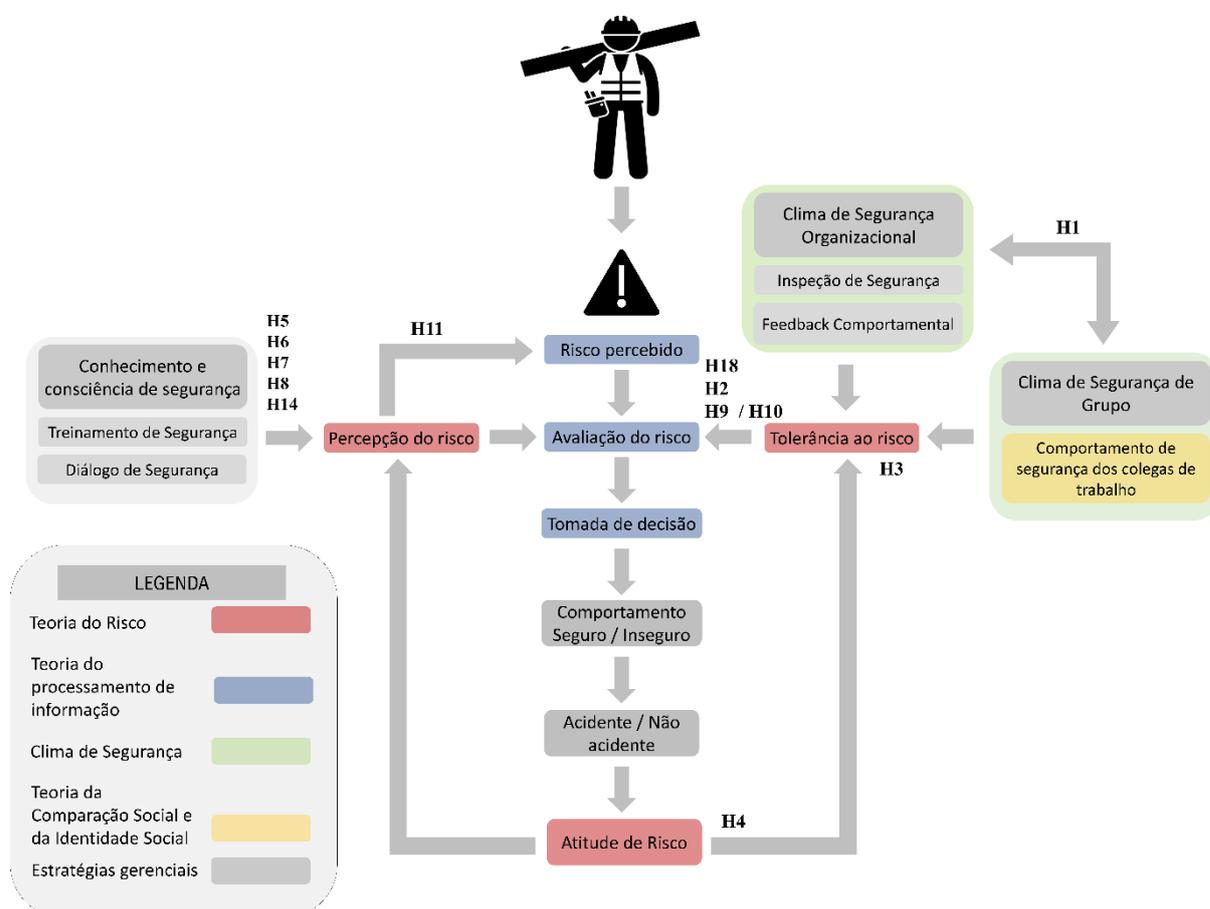
2.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este item apresenta as considerações finais sobre o referencial teórico sugerido para a compreensão do processo cognitivo de tomada de decisão dos trabalhadores da construção civil. Quatro ações gerenciais foram identificadas como fontes de influência primordiais no comportamento dos trabalhadores (comunicação de segurança, treinamento em segurança, inspeção de segurança e feedback de segurança). Estas ações gerenciais, alinhadas ao Conceito de Clima de Segurança, exercem influência proporcional à prioridade atribuída à segurança pelos membros da organização.

Além disso, considerando as análises das teorias identificadas na literatura, as seguintes teorias sociais se destacam na definição de uma estrutura do processo cognitivo de tomada de decisão dos trabalhadores da construção civil: a Teoria do Processamento de Informação, a Teoria do Risco, a Teoria de Identidade Social, a Teoria da Comparação Social e os conceitos de Clima de Segurança. Dado que os elementos culturais influenciam as percepções de risco dos trabalhadores e o impacto das estratégias de gestão no comportamento seguro dos agentes (Casey, Riseborough e Krauss, 2015), é crucial que as teorias sociais sejam selecionadas com base com em sua relação com a cultura local. O estudo optou por essas teorias devido à sua relevância para as práticas de segurança existentes na construção brasileira (Ver Quadro 1).

Após a revisão da literatura, foram identificadas diversas fontes de influência externas — como comunicação de segurança, treinamento de segurança, inspeções de segurança e feedback de segurança — que afetam o comportamento dos colaboradores. Com base nessas descobertas, este estudo propõe uma estrutura teórica destinada a explicar o processo cognitivo de tomada de decisão dos trabalhadores da construção civil. Esta estrutura possibilitou o estabelecimento de hipóteses sobre o processo cognitivo dos trabalhadores da construção civil ante uma situação de risco, conforme apresentado no Capítulo 1, que serão o foco de estudo da presente dissertação (Figura 1).

Figura 1 - Estrutura teórica do processo cognitivo-comportamental dos trabalhadores da construção civil



Fonte: A autora

A estrutura teórica apresentada representa o processo decisório dos trabalhadores como um ciclo contínuo. Esse processo começa com o trabalhador percebendo os riscos ao seu redor durante a execução das atividades. Após identificar o risco, o trabalhador deve avaliá-lo, e com base nessa avaliação, tomar uma decisão,

que pode resultar em um comportamento seguro ou inseguro. Cada um desses comportamentos pode ou não levar a um acidente. A tomada de decisão, conforme a teoria do risco, depende da comparação entre a percepção de risco do trabalhador e a sua tolerância ao risco. O resultado da tomada de decisão influenciará a atitude do trabalhador em relação ao risco. A atitude ao risco está relacionada à tendência do trabalhador de se expor ou evitar riscos, impactando sua percepção de risco e tolerância ao risco.

Por outro lado, as estratégias gerenciais desempenham um papel significativo na influência desses fatores. O treinamento de segurança e o diálogo de segurança tratam fontes de conhecimento e consciência de segurança, o qual impactam diretamente na capacidade dos trabalhadores de perceberem os riscos ao seu redor. O clima de segurança organizacional e o de grupo são responsáveis por impactar na tolerância ao risco dos colaboradores. Enquanto as inspeções de segurança com feedback comportamental tratam, neste modelo, da principal fonte de CSO, a observação dos trabalhadores em relação ao comportamento de segurança dos colegas de trabalho influencia diretamente no clima de segurança de grupo e indiretamente no clima de segurança organizacional.

Deste modo, foram identificadas um conjunto de hipóteses da pesquisa, conforme Figura 1 pelas siglas H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7, H8, H9, H10, H11, H14, H18. Essas hipóteses são testadas e validadas neste estudo (ver Capítulo 4).

A hipótese 1a examina se o Clima de Segurança Organizacional (CSO) é um fator preditivo para o Clima de Segurança Geral (CSG). Já a hipótese 2 busca verificar o impacto do CSO na previsão da tolerância ao risco dos trabalhadores. Conforme identificado na revisão da literatura, o CSO está associado à percepção dos trabalhadores sobre a prioridade que a organização dá à segurança. Visto isso, considere que as inspeções de segurança e o feedback de segurança são indicadores de priorização da segurança por parte da empresa, e impactam diretamente no CSO. Enquanto o clima de segurança organizacional e de grupo são responsáveis pela percepção de risco dos indivíduos. A hipótese 3 analisa se o CSG prediz a tolerância ao risco dos trabalhadores, por outro lado, a hipótese 4 relaciona a atitude pessoal com a tolerância ao risco. A partir de uma análise do ponto de vista social, a manutenção do clima de segurança organizacional é realizada por inspeções de segurança e feedbacks. Para esta pesquisa, considera-se como inspeções de

segurança, uma observação comportamental dos trabalhadores, que analisa se os trabalhadores estão seguindo os procedimentos de segurança, em áreas de risco ou estão desempenhando comportamentos inseguros.

A hipótese 5 avalia o impacto do treinamento de segurança para riscos gerais, enquanto a hipótese 6 foca no treinamento específico para trabalho em altura. A hipótese 7 examina o efeito da comunicação diária de segurança na percepção de risco dos trabalhadores, e a hipótese 8 investiga o impacto da comunicação semanal. As hipóteses 9 e 10 analisam, respectivamente, os efeitos dos feedbacks positivos e negativos. A hipótese 11 explora se os trabalhadores percebem o risco de uma mesma atividade de forma distinta. Por fim, a hipótese 14 estuda o impacto dos treinamentos de segurança na percepção de risco, e a hipótese 18 examina como os feedbacks influenciam a tolerância ao risco, independentemente de serem positivos ou negativos.

3. MBA: DEFINIÇÕES, CONCEITOS E USOS NA GESTÃO DA SEGURANÇA NA CONSTRUÇÃO

3.1. DEFINIÇÕES E CONCEITOS

A Modelagem baseada em Agentes (MBA) trata-se de uma metodologia computacional que permite que um modelo construído seja simulado, a fim de possibilitar a realização de testes de cenário em uma população artificial (Dill, 2020). Esse modelo pode ser entendido como uma representação simplificada da realidade, que necessita da escolha de um nível adequado de abstração, de modo a identificar as informações relevantes a serem consideradas e aquelas que não são pertinentes (Lima, 2009).

A MBA é um método de simulação computacional que busca analisar um sistema social complexo utilizando agentes virtuais a fim de imitar o comportamento e as interações entre os indivíduos no sistema (Zhang *et al.*, 2019). Segundo Ye *et al.* (2020), a modelagem baseada em agentes é uma metodologia mais adequada para modelagem não-linear, dinâmica, multifatorial, computacional, flexível e para compreender os fatores sociocognitivos dos trabalhadores.

A MBA é utilizada quando um ou mais aspectos como a heterogeneidade entre os indivíduos, interações locais e comportamento adaptativo baseado na tomada de decisão são considerados importantes para explicar o comportamento no nível do sistema (Grimm, 2008). É um tipo de simulação que foca nos agentes e nas propriedades que emergem de suas interações em um ambiente (Freitas, 2016).

Os agentes são o elemento principal deste tipo de modelagem. Eles representam sistemas autônomos situados em um ambiente, capazes de perceber e interagir com esse ambiente ao longo do tempo (Franklin e Graesser, 1997). Os agentes individuais podem ser humanos, instituições ou organismos cujos comportamentos são representados explicitamente (Thiele, Kurth e Grimm, 2014). A MBA se baseia em quatro premissas: os agentes são autônomos e interdependentes, seguem regras simples, são adaptativos e consideram o passado (Zimbres, 2006).

O componente subsequente que merece destaque é o ambiente, abrangendo todos os elementos da MBA que não são os próprios agentes. O ambiente é responsável por fornecer a infraestrutura e informações para os agentes (Freitas,

2016). Por último, encontram-se as interações, as quais são consideradas o aspecto central da MBA (Freitas, 2016). As interações representam as trocas de informações entre os agentes e entre os agentes com o ambiente, e são cruciais para entender como o sistema se desenvolve ao longo do tempo (Crooks, 2019).

Esta modelagem atingiu um nível de maturidade e tornou-se uma útil ferramenta para sociólogos, pois permite a criação de sociedades artificiais, facilitando a modelagem de processos cognitivos com capacidades de aprendizado mais realistas, como a habilidade de comunicação social, de formar e manter padrões de interação social, ou de desenvolver percepções compartilhadas (Tsfatsion, 2006). Para Zhang *et al.* (2019), a MBA tem sido utilizada mais amplamente para estudar problemas de produção, na indústria da construção. De acordo com Ye *et al.* (2020), a MBA é amplamente aplicada ao controle de processos, comunicação, sistemas de transporte e médica, e em questões da produção na indústria da construção devido à complexidade e dinâmica do ambiente do canteiro de obras.

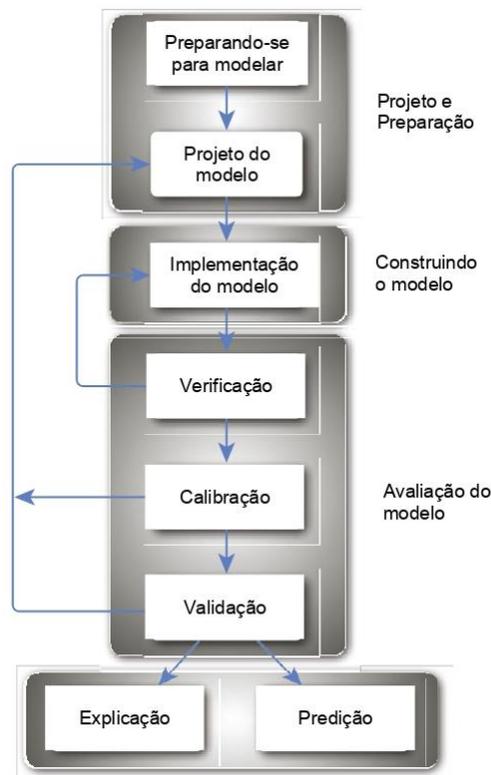
A operacionalização de um modelo baseado em agentes está relacionada na transformação de conceitos abstratos para uma implementação prática (Crooks, 2019). Seguindo a estrutura hierárquica proposta por Crooks (2019) (Figura 2) para descrever o processo de modelagem, este é subdividido em três fases principais: (1) Projeto e preparação; (2) Construindo o modelo; e (3) Avaliação do modelo.

Heath, Hill e Frank (2009) delineiam sete passos para a construção e execução de uma simulação em um modelo baseado em agentes, os quais podem ser associados às fases macro propostas por Crooks (2019).

- Projeto e preparação:
 - formulação do problema e dos objetivos da simulação (Heath, Hill e Frank, 2009);
 - definição de parâmetros iniciais, com base em pesquisas (Heath, Hill e Frank, 2009);
- Construção do modelo:
 - coleta de dados no mundo real (Heath, Hill e Frank, 2009);
 - desenvolvimento de um modelo de agente e um de simulação conduzidos por uma teoria subjacente e por dados empíricos coletados (Heath, Hill e Frank, 2009);

- implementação da simulação e geração de resultados (Heath, Hill e Frank, 2009);
- Avaliação do modelo:
 - validação conceitual do modelo (Heath, Hill e Frank, 2009);
 - validação do modelo de simulação pela comparação dos resultados com os dados coletados, que devem ser necessariamente diferentes daqueles usados para construir o modelo (Heath, Hill e Frank, 2009);

Figura 2- Visão geral do processo típico de modelagem



Fonte: Crooks (2019) traduzido pela autora

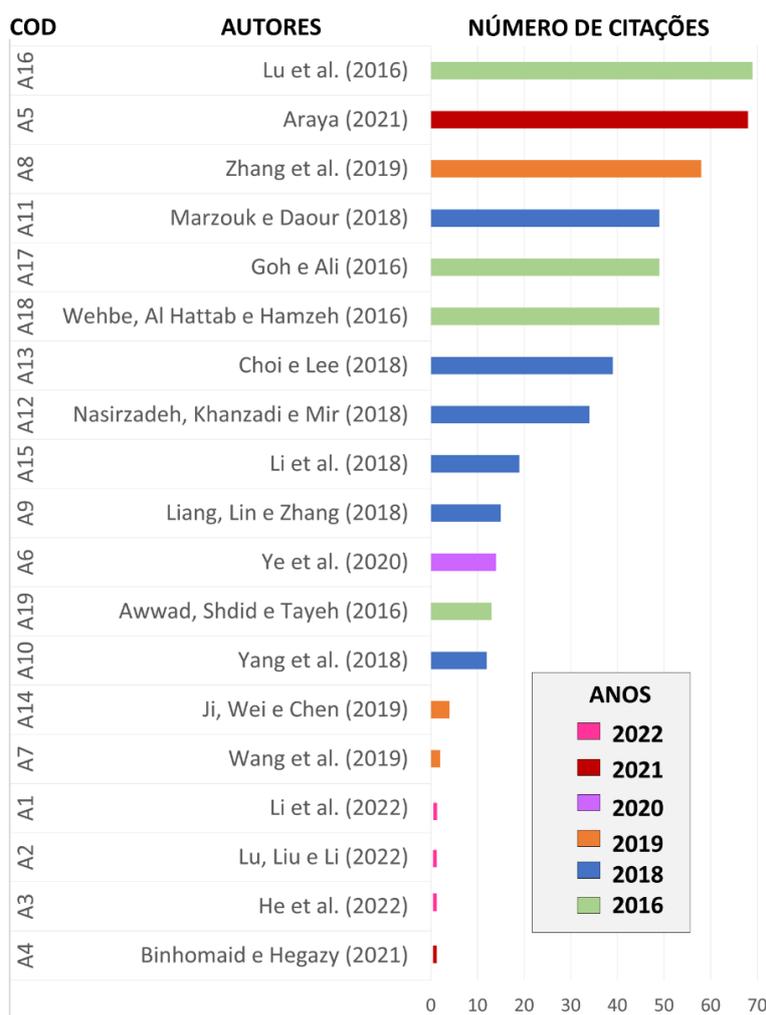
É fundamental destacar que a operacionalização de modelos baseados em agentes constitui um processo iterativo e dinâmico. A análise crítica contínua, o refinamento e os ajustes são intrínsecos a essa abordagem, possibilitando uma adaptação constante do modelo à medida que novas informações e insights são incorporados (Freitas, 2016).

3.2. MBA APLICADA À GESTÃO DA SEGURANÇA NA CONSTRUÇÃO

Este item apresenta um panorama sobre pesquisas envolvendo o desenvolvimento de MBA para avaliar a gestão da segurança na ICC. Com base em fornecer fundamentação teórica mais sólida e identificar tendências e lacunas de pesquisa na área, o panorama foi construído com o apoio de indicadores bibliométricos, como o ano de publicação e a quantidade de citações, além de variáveis de análise para caracterizar os modelos desenvolvidos, como propósito, âmbito de aplicação, fundamentação e características dos agentes envolvidos.

A Figura 3 apresenta os 19 artigos identificados / analisados por código, título e número de citações, até 2023. O artigo A16 se destaca com maior número de citações (69 citações). Em seguida, encontram-se os artigos A5 (68 citações) e o artigo A8 (58 citações).

Figura 3- Artigos selecionados por código, autores e citações



Fonte: A autora

O artigo A16 investiga como diferentes investimentos em segurança interagem com diferentes parâmetros (fatores humanos e ambientais), e como estes podem afetar o desempenho de segurança. O artigo A5 estudou o potencial impacto do COVID-19 nos trabalhadores da construção civil e buscou analisar diferentes níveis de contágio de acordo com a atividade da construção. O artigo A8 modela interações interpessoais nos canteiros entre trabalhadores e equipes de gerenciamento para estudar o efeito dessas interações no desempenho de segurança da construção.

3.2.1. Propósito das pesquisas

Após análise do conteúdo das 19 publicações, quatro tipos de propósitos foram identificados: (1) Influência de intervenções gerenciais internas na postura segura ou insegura de colaboradores da construção, (2) análise da postura comportamental de colaboradores da construção frente aos riscos, (3) Análise de planos para situação de emergência, (4) Influência de aspectos externos gerenciais na postura segura ou insegura de colaboradores da construção. Dos quais, nove (A2, A3, A6, A8, A9, A13, A15, A16 e A18) dos 19 artigos focaram no primeiro objetivo, enquanto seis (A1, A3, A4, A5, A14 e A17) focaram no segundo. Apenas dois artigos (A10, A11) analisaram a evacuação de canteiros de obras e três (A7, A12 e A19) buscaram compreender o impacto de fatores externos de gestão no comportamento dos funcionários.

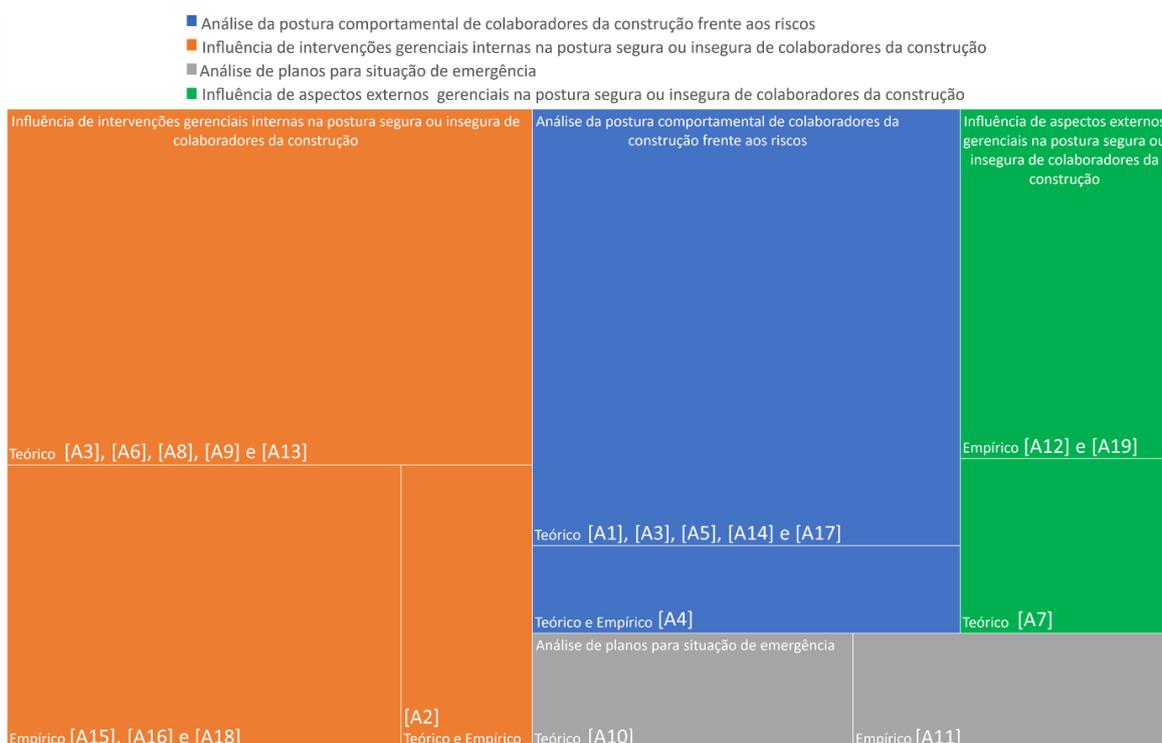
Nota-se uma tendência de estudos que relacionem as atitudes de segurança dos colaboradores da construção com as atitudes gerências, sejam essas internas, como gestores sêniores, encarregados e supervisores de segurança (A2, A6, A8), ou fatores externos, como o governo e companhia de seguros (A7, A12, A19). Isso mostra uma tendência da literatura de buscar compreender como fatores organizacionais e sociais podem interferir no processo decisório do trabalhador, a fim de analisar a possibilidade de utilizar esses fatores para estimular e influenciar o comportamento seguro dos colaboradores e assim reduzir o número de acidentes e comportamentos inseguros nos canteiros de obra.

3.2.2. Classificação dos modelos desenvolvidos

Entre os 19 estudos analisados, constatou-se um desequilíbrio na produção de modelos empíricos e teóricos. A maioria das pesquisas (12) compreendeu no desenvolvimento de modelos teóricos (A1, A3, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A13, A14 e A17), enquanto apenas cinco produziram modelos empíricos (A12, A15, A16,

A18 e A19) e apenas dois combinavam abordagens teóricas e empíricas (A2 e A4). Neste sentido, têm-se a necessidade de desenvolvimento de mais pesquisas empíricas, a fim de explorar o potencial da modelagem baseada em agentes como uma ferramenta para diagnosticar e prever acidentes reais, por meio do monitoramento dos resultados da simulação e comparação em tempo real com o progresso da obra. A Figura 4 categoriza os modelos por tipo e por propósito.

Figura 4- Modelos identificados por tipo e propósito



Fonte: A autora

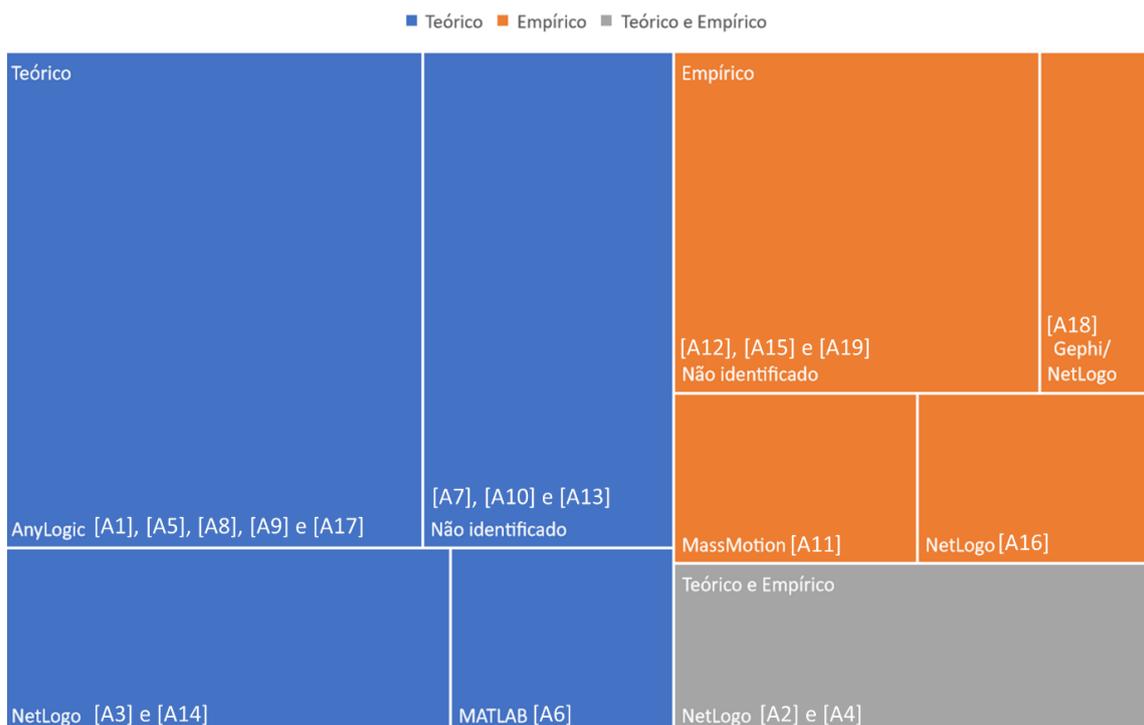
3.2.3. Plataformas de software utilizadas nas pesquisas

Em relação as plataformas de softwares utilizadas, apenas cinco foram identificadas na literatura para o desenvolvimento das MBA e simulações, apesar da ampla quantidade de plataformas e toolkits disponíveis no mercado (Freitas, 2016). Constata-se uma tendência do uso do Netlogo (A2, A3, A4, A14, A16 e A18) e do Anylogic (A1, A5, A8, A9 e A17). Estes toolkits são softwares para simulação baseada em agentes que podem ser utilizados gratuitamente, desde que visem o propósito do aprendizado e educação. Assim, observa-se como oportunidade de pesquisa o uso de softwares diferentes aos apresentados, a fim de identificar e utilizar a ferramenta

mais adequada de acordo com as necessidades desta pesquisa, bem como explorar novas abordagens e técnicas de modelagem.

A Figura 5 relaciona os modelos apresentados em cada publicação por tipo (empírico ou teórico) com as plataformas de software adotadas no desenvolvimento dos modelos.

Figura 5- Modelos identificados por tipo e software



Fonte: A autora

3.2.4. Fundamentação adotada para desenvolvimento dos modelos

As pesquisas analisadas utilizam três tipos de fundamentação para o desenvolvimento de seus modelos: fundamentação teórica, fundamentação empírica ou fundamentação teórico-empírica. É evidenciada uma tendência da literatura de desenvolver MBAs a partir de uma fundamentação teórica-empírica (A2, A3, A4, A6, A8, A9, A10, A11, A13, A14, A17 e A18), indicando como tendência a contribuição e importância da teoria para orientar o desenvolvimento das MBAs, e dos dados empíricos para aprimorar e ajustar as MBAs de acordo com a realidade observada em campo.

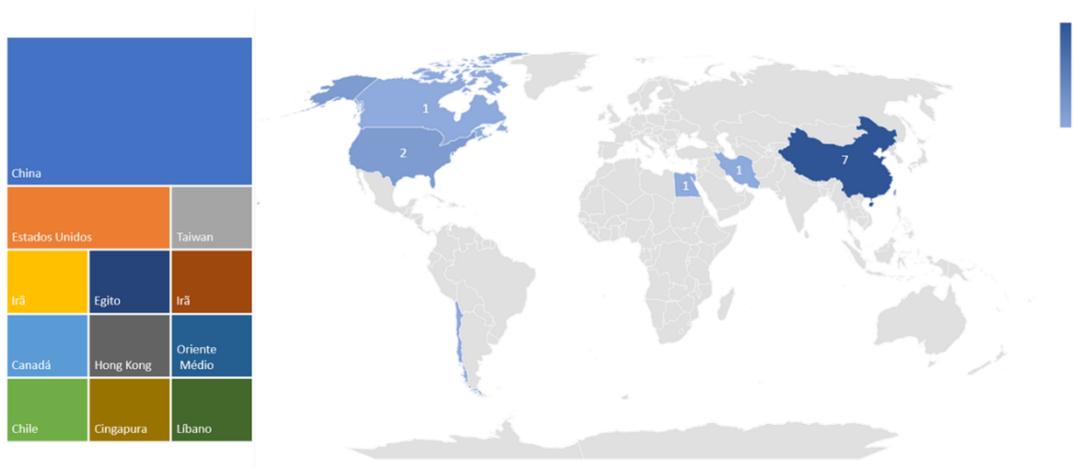
3.2.5. Fonte de dados utilizadas para construção dos modelos

Foram identificados três tipos de fontes de dados utilizados pelos autores: bibliografia, entrevistas / survey e evidências empíricas dos autores. A principal fonte de dados para o desenvolvimento da modelagem baseada em agentes foi a bibliografia (Quadro 3). Dos 19 artigos, 17 pesquisas (A1, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A13, A14, A15, A16, A17, A18 e A19) utilizaram teorias e evidências da literatura para fundamentar as decisões conceituais adotadas em seus modelos. Apenas o artigo A9, particularmente, utilizou os três tipos de fontes de dados para analisar como diferentes estratégias de gerenciamento de segurança influenciam as decisões dos indivíduos e como estes observam e aprendem com as violações de segurança dos colegas de trabalho com diferentes níveis de risco. Assim, surge a necessidade de desenvolvimento de estudos que considere tanto o embasamento teórico, quanto dados de entrevistas e evidências empíricas de profissionais da área.

3.2.6. Localização geográfica dos estudos

Quanto aos países considerados nos estudos (Figura 6), é possível notar que a China se destaca em publicações acadêmicas sobre o tema, sendo palco de análise para sete pesquisas. Seguido, em menor quantidade, dos EUA, com apenas dois publicações. Nota-se que essa tendência pode estar vinculada aos investimentos feitos por esses países em tecnologia de maneira geral, inclusive na construção civil (Choi e lee; 2018; Zhang, 2019; Lu *et al.*, 2016).

Figura 6- Produções por país e continente



Fonte: A autora

Observam-se também outras produções que buscaram analisar a segurança nos canteiros de obras em outros países, como Canadá, Irã e Egito. A única publicação na América Latina foi realizada no Chile (A5), que utilizou a modelagem baseada em agentes para analisar o impacto do contágio da COVID-19 nos trabalhadores da construção civil. Assim, tem-se como lacuna a necessidade de estudos que representem a realidade segurança nos canteiros de obras brasileiros e na América Latina.

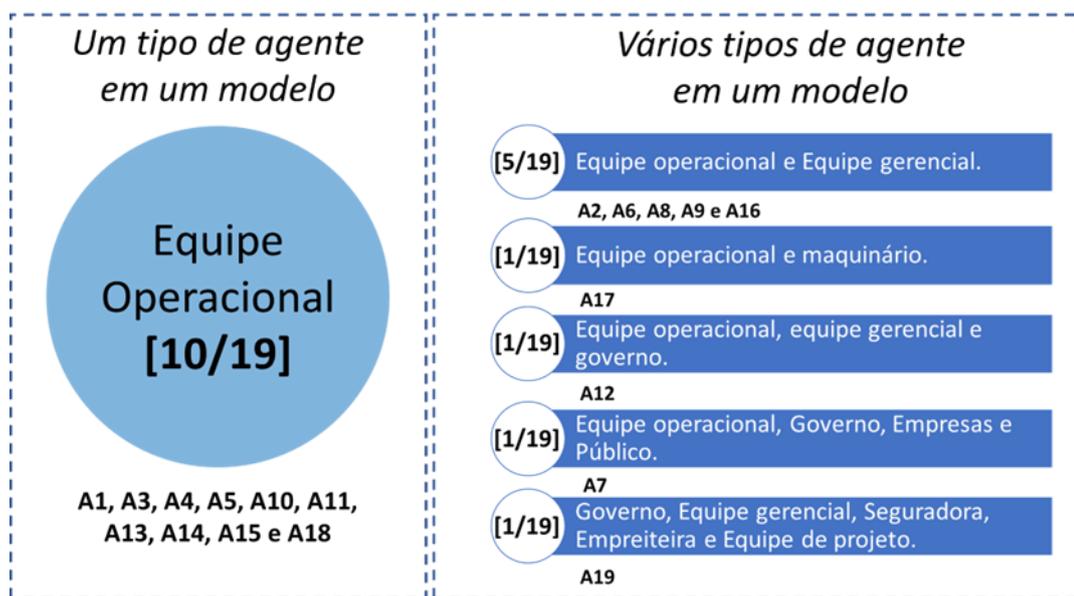
3.2.7. Tipos de agentes considerados nos modelos desenvolvidos

Com relação ao panorama atual de desenvolvimento de MBA voltado à análise da gestão da segurança em canteiros, buscou-se compreender quais os tipos de agentes considerados nos modelos.

Foram identificados dois tipos de considerações sobre agentes nos artigos (Figura 7). Enquanto dez estudos utilizaram somente um tipo de agente por modelo (A1, A3, A4, A5, A10, A11, A13, A14, A15 e A18), nove pesquisas utilizaram mais de um tipo de agente (A2, A6, A7, A8, A9, A12, A16, A17 e A19). De modo geral, observa-se que a equipe operacional está presente em 18 dos 19 modelos, visto que grande parte dos acidentes da construção estão relacionados ao comportamento inseguro dos trabalhadores, como consequência do processo de tomada de decisão dos colaboradores (Choi e Lee; 2018).

Porém, nota-se uma tendência de estudos que relacionem as atitudes de segurança dos colaboradores da construção com as atitudes gerências, sejam essas internas, como gestores sêniores, encarregados e supervisores de segurança (A2, A6, A8), ou fatores externos, como o governo e companhia de seguros (A7, A18, A19). Isso indica uma tendência da literatura de buscar compreender quais fatores externos, como fatores organizacionais e sociais podem interferir no processo decisório do agente, de modo a considerá-los para estimular e influenciar o comportamento seguro dos trabalhadores e, assim, reduzir o número de acidentes nos canteiros de obra.

Figura 7 – Tipos de agentes



Fonte: A autora

3.2.8. Processo construtivo objeto de modelagem

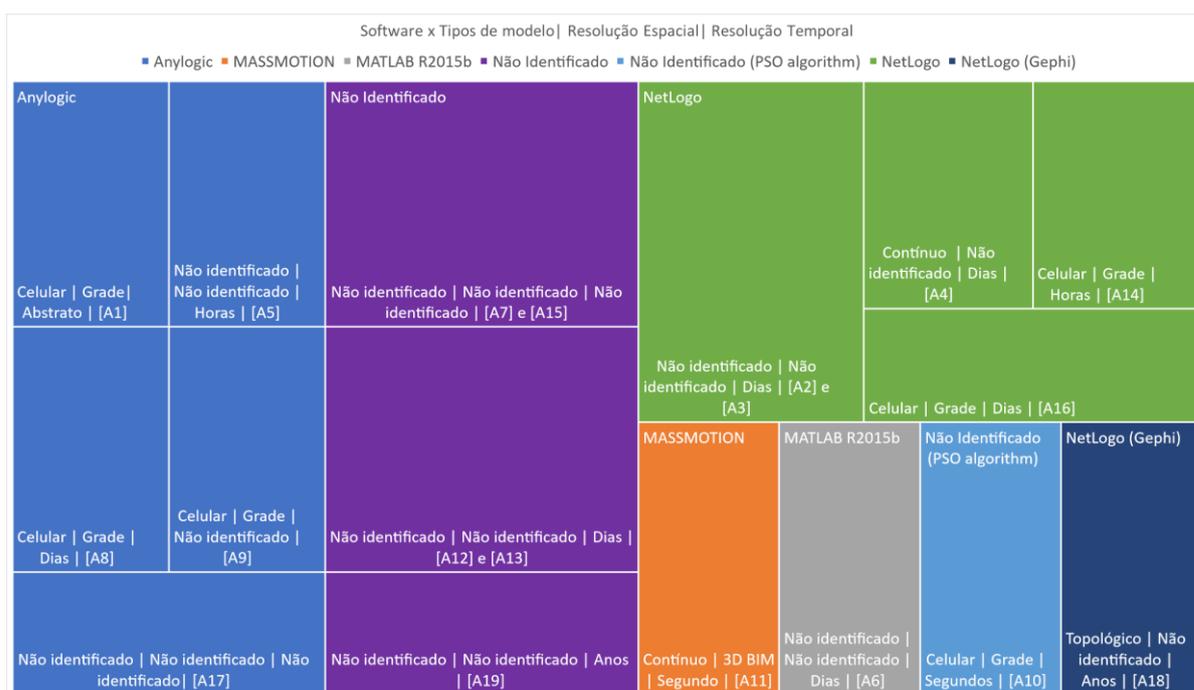
O tipo de processo construtivo objeto de modelagem foi especificado em dez artigos (A2, A4, A8, A10, A11, A12, A14, A16, A17 e A18). As nove pesquisas restantes não consideram o impacto do processo construtivo na segurança dos trabalhadores e desenvolvem modelagens que não simulam um processo específico. Entretanto, dentre os estudos que especificam o processo construtivo, não é observada uma tendência a um processo em particular. Diversos cenários são objetivo de simulação: obras de terraplanagem (A4 e A17), execução de armadura (A14 e A16), execução de gabarito e formas de viga (A8), escavação de poços de fundação profundos (A10) e expansão e modernização de rede para produção e captação de gás, construção de via expressa e estação de enxofre e dutos (A18). Dessa forma, não há um foco claro nas pesquisas em relação a um tipo específico de processo construtivo ou atividade realizada. Por outro lado, nota-se uma oportunidade para o desenvolvimento de estudos que analisem o impacto de diferentes processos construtivos no comportamento seguro dos trabalhadores, contribuindo para uma compreensão mais abrangente da segurança no setor.

3.2.9. Classificação do espaço modelado

Modelos baseado em agentes podem ser classificados em quatro tipos de acordo com o espaço modelado: contínuo, geográfico, topológico e celular (Crooks, 2019). O contínuo refere-se a espaços abstratos e não faz referência explícita a uma localização geográfica, o geográfico associa o espaço a um sistema de coordenadas. O celular apresenta uma representação em forma de grade, seja de um espaço contínuo ou geográfico. Por outro lado, o topológico pode ser referido como uma rede que conecta os objetos.

A Figura 8 apresenta os modelos identificados nos artigos, segundo tipo de software, resolução espacial e temporal.

Figura 8– Modelos por software utilizado, resolução espacial e resolução temporal



Fonte: A autora

Observa-se que a maior parte dos artigos utiliza modelos celulares (A1, A8, A9, A10, A14), os quais todos apresentam a mesma resolução espacial por meio de blocos. Em segundo, porém em menor número, aparecem os modelos contínuos (A4 e A11). Apenas um modelo pôde ser classificado como topológico (A18) e nenhum modelo geográfico foi encontrado nos 19 artigos. Têm-se como oportunidade de pesquisa a representação do espaço modelado nos estudos a partir de um modelo topológico, o qual é fundamental para entender e analisar sistemas complexos, por

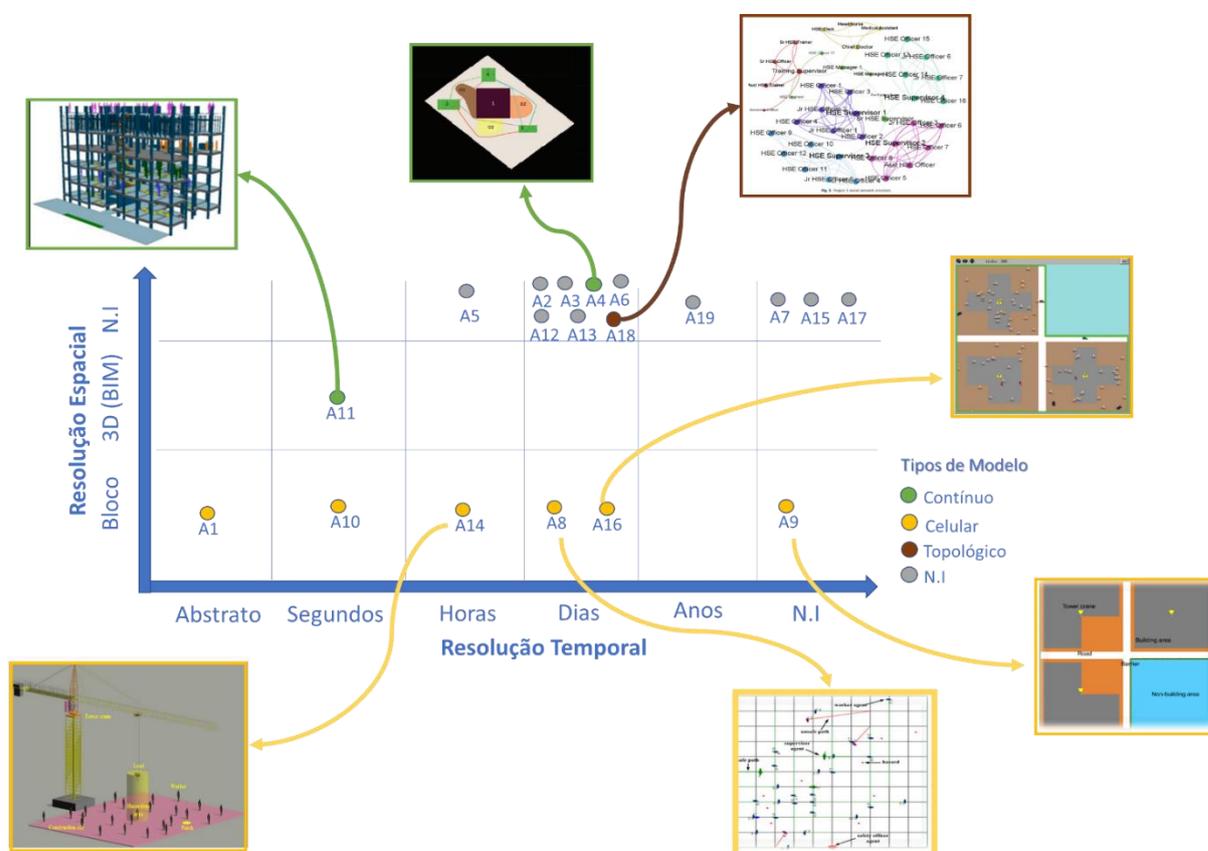
tratar-se de uma representação matemática que se preocupa em como os agentes se relacionam, independente da disposição espacial.

3.2.10. Resolução espacial e temporal

Os modelos baseados em agentes são dinâmicos e os comportamentos dos agentes são processados em intervalos de tempo (Crooks, 2019). Este intervalo deve ser curto o suficiente para capturar as ações dos agentes, mas não tão curto, de modo que uma ação não seja quase idêntica à anterior (Crooks, 2019). Assim, a resolução temporal influenciará na visualização da simulação e influenciará nos resultados do MBA.

Em uma quantidade considerável de estudos não foi possível identificar a resolução espacial (A2, A3, A4, A12, A13 e A18) e em três artigos (A7, A15 e A17) não foi identificado nenhum dos três parâmetros (resolução espacial, temporal e espaço modelado). Porém, de forma geral, grande parte dos modelos (A2, A3, A4, A8, A12, A13, A16 e A18) utilizam a resolução temporal em dias, a fim de compreender a evolução diária do número de acidentes nos canteiros de obras. Entretanto, nota-se que um estudo (A1) que utilizou o tempo abstrato, dois analisaram o tempo em segundos (A10 e A11), e um que estudou a evolução em anos (A19). Assim, nota-se como tendência de pesquisa a resolução temporal em dias. A Figura 9 associa os tipos de modelo aos diferentes tipos de resolução espacial e temporal.

Figura 9– Tipos de modelo, resolução espacial e temporal



Fonte: A autora

3.2.11. Verificação, Calibração e Validação

Em relação a verificação dos MBAs, apenas dois artigos especificaram o tipo de verificação realizada. O artigo A2 utilizou o alinhamento com os resultados esperados como forma de verificação, enquanto o artigo A9 realizou testes de código para garantir a veracidade do modelo.

No que diz respeito aos tipos de calibração, estas podem ser qualitativas, quantitativas e teóricas/empíricas. Quanto à calibração qualitativa, doze autores (A1, A2, A3, A5, A6, A9, A11, A12, A13 e A17) adotaram a validação aparente. Todos os autores que aplicaram a calibração qualitativa o fizeram em conjunto com a calibração quantitativa. Contudo, cinco estudos (A4, A7, A8, A18 e A19) optaram exclusivamente pela calibração quantitativa.

A calibração quantitativa, por sua vez, pode ser realizada de três maneiras: busca no espaço de parâmetros, análise de sensibilidade e incerteza e buscas

heurísticas. Quatro autores (A1, A4, A8 e A12) se restringiram à calibração via busca no espaço de parâmetros. Três autores aplicaram exclusivamente a análise de sensibilidade e incerteza. Por outro lado, oito autores (A2, A3, A6, A7, A9, A13, A17 e A18) combinaram as duas abordagens quantitativas, enquanto apenas o artigo A15 utilizou as três formas de calibração quantitativa simultaneamente. Além disso, somente cinco autores (A1, A5, A11, A12 e A17) recorreram à calibração teórica, enquanto nove autores empregaram calibração empírica (A2, A4, A6, A7, A8, A9, A13, A18 e A19). Apenas o artigo A3 combinou calibração teórica e empírica.

A análise dos estudos revela uma tendência crescente em combinar calibração qualitativa e quantitativa, o que sugere um reconhecimento da importância de validar modelos de forma holística. Entretanto, observa-se uma lacuna significativa na descrição detalhada dos processos de verificação e calibração, com muitos estudos não especificando claramente os métodos aplicados. Além disso, o uso exclusivo de calibração quantitativa por alguns estudos aponta para uma possível limitação na consideração de aspectos qualitativos, que são essenciais para capturar a complexidade dos MBAs em contextos empíricos.

Outra lacuna identificada é a baixa utilização de calibração teórica, seja isoladamente ou em combinação com calibração empírica, o que pode indicar uma oportunidade para aprofundar o desenvolvimento teórico dos MBAs. O uso simultâneo das três formas de calibração quantitativa, como observado em A15, ainda é raro, sugerindo uma área de pesquisa promissora para explorar os benefícios de uma abordagem mais robusta e integrada de calibração. Por fim, a carência de um enfoque sistemático na verificação dos MBAs sublinha a necessidade de diretrizes mais claras e padronizadas para garantir a validade dos modelos, o que é essencial para fortalecer a confiabilidade e a aplicabilidade dos resultados obtidos.

3.2.12. Modelagem do comportamento do trabalhador da construção

Existem dois tipos de abordagens para modelar o comportamento humano: inteligência artificial usando abordagens matemáticas e abordagens cognitivas, as quais podem ser adotadas separadamente ou em conjunto (Crooks, 2019). Foram identificadas em 6 publicações (A1, A2, A3, A6, A8 e A13) uma análise dos fatores cognitivos do trabalhador e como estes influenciam no comportamento inseguro do

colaborador, sendo responsável por aumentar o número de acidentes e lesões nos canteiros de obras.

Os parâmetros individuais, organizacionais e sociais revelam uma tendência em considerar o nível de consciência e o conhecimento de segurança dos trabalhadores para analisar suas decisões. Fatores como tolerância e percepção de risco são comumente associados à Teoria do Risco. E fator como produtividade foi abordado sem referência clara a uma teoria comportamental social.

Entre os fatores organizacionais, a influência do feedback dos gestores, treinamentos e inspeções de segurança são os mais analisados, com foco principal na influência dos colegas de trabalho no comportamento dos agentes. No entanto, uma parte dos artigos (A2, A8, A13, A16 e A19) não considera simultaneamente a influência dos colegas e as influências gerenciais internas. Alguns fatores individuais cruciais, como idade, nível de escolaridade e experiência do trabalhador, são pouco abordados, sendo considerados em apenas um ou dois artigos. Fatores fisiológicos, como fadiga, foram analisados em apenas um estudo (A4), que os relacionou com produtividade e acidentes na construção.

Há uma tendência crescente em integrar fatores individuais e organizacionais com teorias comportamentais, mas lacunas significativas permanecem, especialmente na aplicação de um framework cognitivo abrangente e na consideração de variáveis individuais como idade, escolaridade e fadiga. A influência combinada de colegas e gestão interna também é pouco explorada, apontando para uma oportunidade de pesquisa futura.

3.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de diversos estudos revela fatores cruciais que influenciam o comportamento seguro dos trabalhadores da construção civil. He *et al.* (2022) destacam que o conhecimento em segurança é um fator individual que contribui para a diminuição do comportamento inseguro. Além disso, um clima de segurança elevado e uma boa relação entre trabalhador e supervisor têm um impacto positivo no comportamento seguro. O mesmo estudo aponta que tanto fatores individuais quanto organizacionais e psicológicos desempenham um papel significativo no comportamento dos trabalhadores.

Wang *et al.* (2019) indicam que uma cultura de trabalho focada exclusivamente na produtividade, sem considerar a segurança, desestimula a melhoria das condições de trabalho, resultando em mais acidentes e na diminuição da produtividade. Para enfrentar esses desafios, Liang, Lin e Zhang (2018) recomendam a implementação de diferentes intervenções de segurança com base no nível de risco do ambiente de trabalho. Em ambientes de risco moderado, as interações sociais são fundamentais, enquanto em ambientes de alto risco, estratégias de segurança intensivas devem ser complementadas por outras intervenções.

Li *et al.* (2022) observam que ambientes mais inseguros podem aumentar a percepção de perigo dos colaboradores, o que pode, por sua vez, reduzir a ocorrência de acidentes. Ji, Wei e Chen (2019) reforçam que a experiência de acidentes marcantes pelos trabalhadores pode prevenir futuros incidentes. Além disso, Ye *et al.* (2020) afirmam que medidas preventivas são mais eficazes do que reativas na redução do comportamento inseguro e destacam a importância do treinamento de segurança e do feedback comportamental dos gerentes. No entanto, alertam que o treinamento excessivo pode não ser tão eficaz.

Zhang *et al.* (2019) sugerem que treinamentos e inspeções de segurança devem ser realizados regularmente para manter um alto desempenho em segurança. Além disso, Ji, Wei e Chen (2019) ressaltam que o apoio entre colegas pode ajudar a evitar acidentes não fatais, mas que acidentes fatais requerem conversas de segurança e o uso de EPI.

Assim, tendo em vista o referencial teórico analisado nos capítulos 2 e 3, o Quadro 2 apresenta os parâmetros, e a Figura 10 as entradas e saídas passíveis de uso no desenvolvimento de um modelo baseado em agentes destinado a análise do comportamento seguro e inseguro dos montadores de paredes de concreto ante distintas ações gerenciais voltadas à segurança do canteiro de obras (treinamento, inspeção, comunicação e clima de segurança).

A estrutura desse modelo é composta pelos agentes (tipos/quantidade), pelas regras que definem suas interações entre si e com o ambiente, e pelo tipo de espaço considerado. Para que o modelo funcione adequadamente, é preciso fornecer os dados de entrada, definindo os parâmetros que serão ajustados para simular diferentes cenários gerenciais.

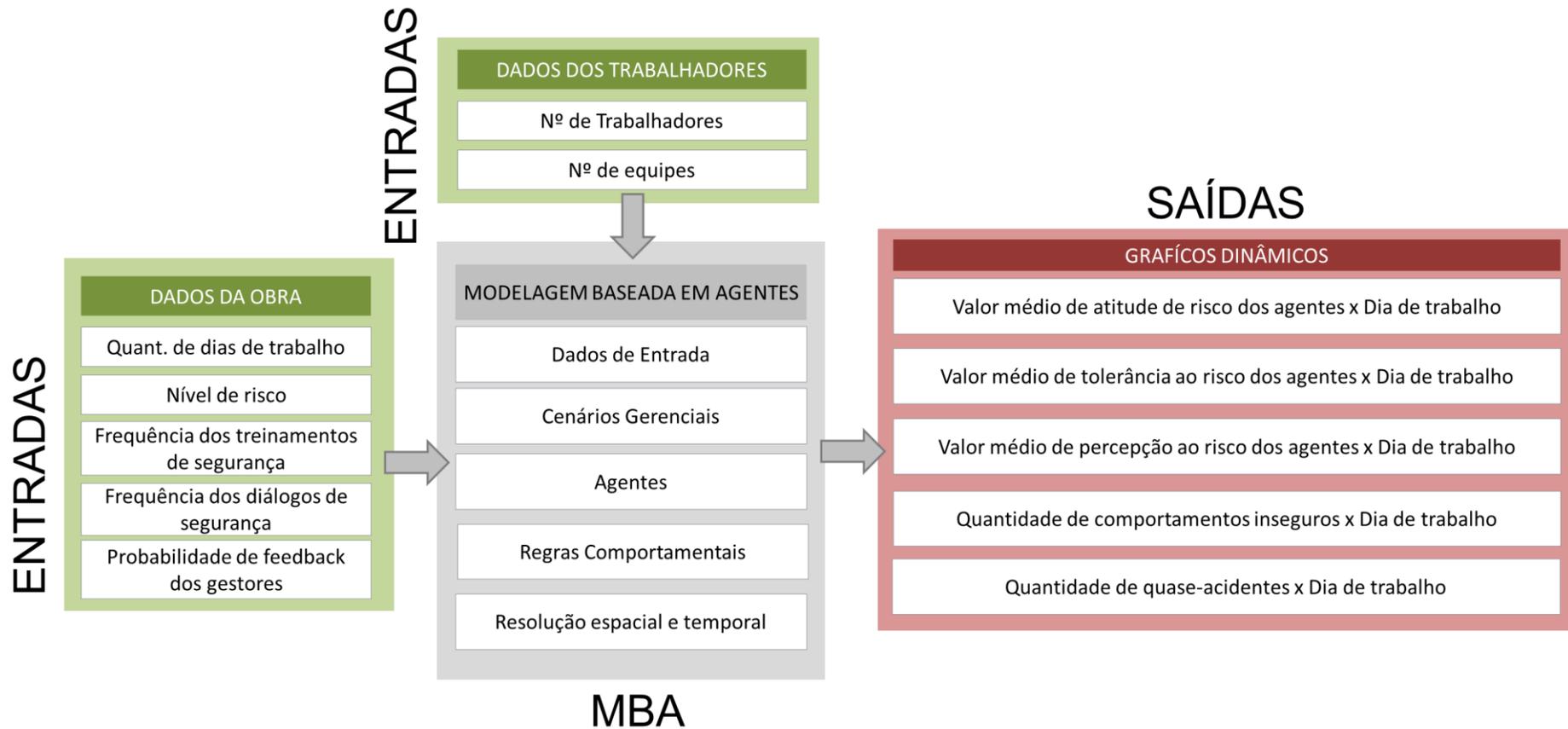
Como dados de entrada do modelo relacionado aos agentes, são definidos o número de equipes de trabalho e a quantidade de trabalhadores por equipe. Para os cenários gerenciais, os parâmetros considerados incluem a frequência de treinamentos de segurança, a periodicidade dos diálogos de segurança, e a probabilidade de os trabalhadores receberem feedback dos gestores durante as inspeções. Também são estabelecidos os dias de obra e o nível de risco do canteiro. Durante a simulação, os dados de saída incluem gráficos dinâmicos que mostram a quantidade diária de comportamentos inseguros e incidentes, além do valor médio de percepção, tolerância e atitude em relação ao risco dos agentes.

Quadro 2: Parâmetros para a modelagem baseada em agentes para simulação do comportamento de segurança dos colaboradores da construção civil

Categoria	Parâmetros	Definição	Referência
Parâmetros Básicos	Número de Trabalhadores	Número de montadores do canteiro	Choi e Lee (2018); Liang e Zhang (2018); Ye <i>et al.</i> (2020); Ji, Wei e Chen (2019); Li <i>et al.</i> (2022)
	Risco do canteiro	Risco da atividade	Choi e Lee (2018); Li <i>et al.</i> (2022);
Fatores Individuais	Nível Inicial de Percepção de Risco	Percepção de risco do trabalhador	Choi e Lee (2018); Liang e Zhang (2018); Ye <i>et al.</i> (2020); Ji, Wei e Chen (2019); Li <i>et al.</i> (2022)
	Nível Inicial de Tolerância ao Risco	Tolerância ao risco do trabalhador	Choi e Lee (2018); Liang e Zhang (2018); Ye <i>et al.</i> (2020); Ji, Wei e Chen (2019); Li <i>et al.</i> (2022)
	Comportamento Inseguro	Número de comportamentos Inseguros do trabalhador	Choi e Lee (2018); Liang e Zhang (2018); Ye <i>et al.</i> (2020);
	Comportamento Seguro	Número de comportamentos Seguros do trabalhador	Li <i>et al.</i> (2022); Lu <i>et al.</i> (2023); He <i>et al.</i> (2022)
Fatores Organizacionais	Clima de Segurança organizacional e de grupo	Coeficiente de utilidade do clima de segurança para o rendimento do comportamento de segurança	Choi e Lee (2018); Liang e Zhang (2018); Ye <i>et al.</i> (2020); He <i>et al.</i> (2022)
	Frequência de treinamentos de segurança	Periodicidade dos treinamentos de segurança	Zhang <i>et al.</i> (2019); Lu <i>et al.</i> (2023)
	Frequência de inspeções de segurança com feedback	Probabilidade de feedbacks positivos e negativos	Choi e Lee (2018); Liang e Zhang (2018); Zhang <i>et al.</i> (2019); Ye <i>et al.</i> (2020); Lu <i>et al.</i> (2023)
	Frequência de comunicação de segurança	Periodicidade de comunicação de segurança (DDS ou DSS)	Zhang <i>et al.</i> (2019); Ye <i>et al.</i> (2020); Lu <i>et al.</i> (2023)
	Número de acidentes	Número de acidentes em período da construção	Liang e Zhang (2018); Ye <i>et al.</i> (2020); Li <i>et al.</i> (2022);

Fonte: A autora

Figura 10– Estrutura de entradas e saídas do modelo baseado em agente com base na literatura



Fonte: A autora

4. MÉTODO DE PESQUISA

Esta seção apresenta a estratégia de pesquisa adotada para o desenvolvimento da dissertação, assim como o delineamento das etapas desenvolvidas.

4.1. ESTRATÉGIA DA PESQUISA

Seguindo a estratégia de pesquisa *Design Science Research* (DSR), a presente proposta busca fornecer uma solução aplicável ao problema escolhido, e trazer contribuições para o campo acadêmico relacionado. Pesquisas que utilizam DSR tem como objetivo obter soluções relevantes e contextualizadas, de acordo com seu contexto teórico e colaboração do artefato (Baskerville, 2018).

Simon (1969), em seu livro *The sciences of the artificial*, definiu as ciências da Engenharia, Computação e Educação, como constituintes das Ciências do Artificial ou Ciência do Design (*Design Science* – DS). O objetivo central das ciências do artificial é produzir conhecimento relacionado ao próprio processo de projetar um artefato (Simon, 1969). Artefatos, construídos intencionalmente para fins específicos, são produtos que vão além de objetos físicos, sendo qualquer coisa projetada para atingir um objetivo (Simon, 1969).

Sobre a classificação do artefato, o estudo desenvolve um artefato do tipo modelo, ou seja, um artefato que possui como principal objetivo representar os contextos reais da concepção do problema e os espaços de solução. Um modelo consiste em um conjunto de proposições ou declarações que delineiam as relações entre constructos, os quais representam situações, abordando tanto problemas quanto soluções (Lacerda, 2013). Embora os modelos possam tender à imprecisão em relação a detalhes, é essencial que capturem sempre a estrutura da realidade para se tornarem representações úteis (Lacerda, 2013).

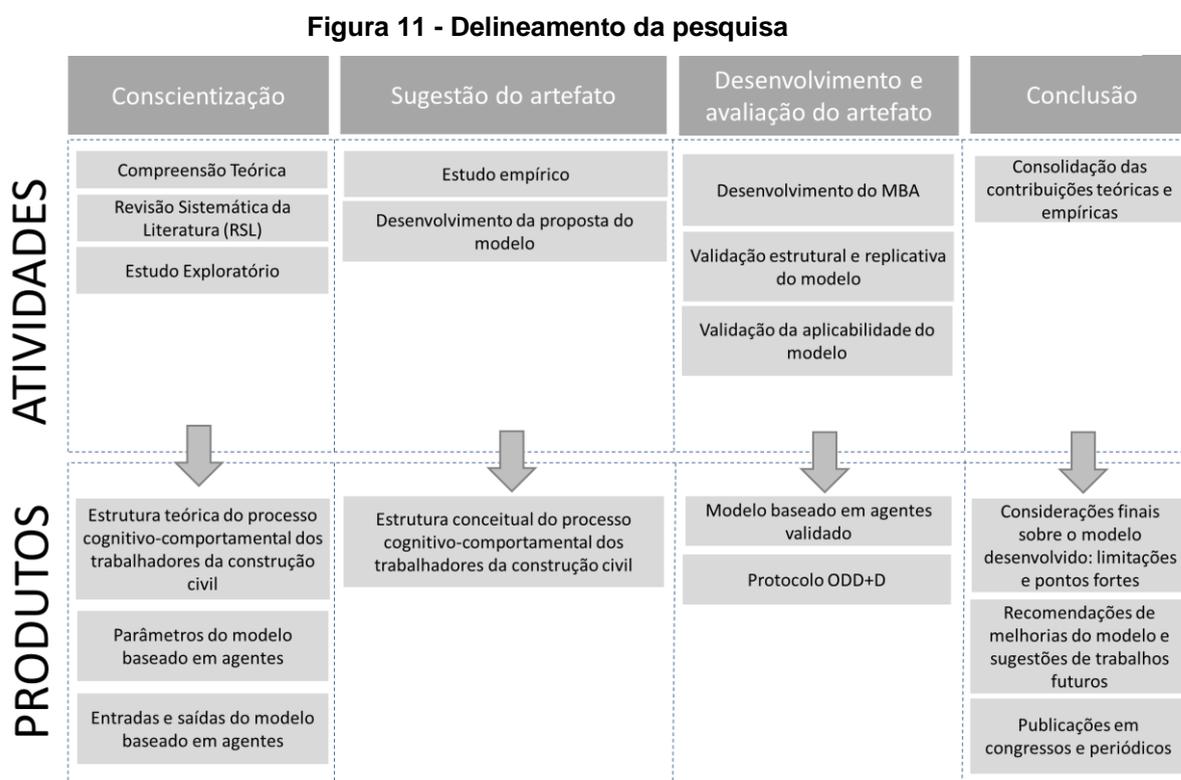
Dentro dessa perspectiva, o trabalho se propõe a desenvolver um modelo baseado em agentes para representar o processo sociocognitivo dos comportamentos de segurança dos trabalhadores da construção civil. Esse modelo permitirá a condução de experimentos que examinem o processo de tomada de decisão de segurança dos colaboradores e avaliem o impacto das

estratégias de gestão da segurança, tais como, treinamento de segurança, diálogo de segurança e inspeção de segurança com feedback nos comportamentos seguros dos trabalhadores.

De acordo com Lacerda (2013) e Van Aken e Berends (2018), uma pesquisa que adota o método do *Design Science Research* deve seguir as seguintes etapas: (a) Conscientização: refere-se à compreensão da problemática para formalização e definição do problema; (b) Sugestão: proposição de soluções para o problema; (c) Desenvolvimento: processo de constituição do artefato; (d) Avaliação: processo de verificação do comportamento do artefato e (e) Conclusão: formalização geral do processo e comunicação às comunidades acadêmicas e de profissionais.

4.2. DELINEAMENTO DA PESQUISA

A presente pesquisa foi realizada de acordo com as etapas apresentadas na Figura 11. Os subitens seguintes detalham as atividades e produtos envolvidos em cada uma das quatro etapas desenvolvidas.



Fonte: A autora

4.3. CONSCIENTIZAÇÃO

Na etapa de conscientização, foram realizadas as seguintes atividades:

- 1) **Compreensão teórica:** Uma revisão da literatura acerca dos conceitos da gestão da segurança na construção (GSC), identificando as principais definições de clima de segurança, e as principais teorias comportamentais usadas para representar o comportamento humano.
- 2) **Revisão Sistemática da Literatura (RSL):** Uma revisão sistemática da literatura foi realizada para mapear o uso da modelagem baseada em agentes na GSC, identificando as tendências e lacunas de pesquisas em áreas de atuação semelhantes à da presente pesquisa.
- 3) **Estudo exploratório:** Um estudo de caso exploratório foi desenvolvido para realizar um mapeamento e familiarização com os canteiros de obra e rotinas de gestão de segurança, com o objetivo de definir e formalizar o problema a ser solucionado.

Com base na etapa de conscientização, foi possível desenvolver o referencial teórico, definir o problema de pesquisa, estabelecer as questões e os objetivos da pesquisa, além de determinar os dados a serem coletados na próxima etapa.

4.3.1. Compreensão Teórica

A compreensão teórica trata-se de uma atividade que foi desenvolvida ao longo de toda a pesquisa, por meio da revisão da literatura de conceitos relevantes, os quais são responsáveis pelo desenvolvimento e amadurecimento da dissertação. Essa atividade envolve a localização, análise, sintetização e interpretação da investigação relacionada com a área de estudo, por meio de livros, periódicos, publicações em congressos, entre outras fontes (Cardoso; Alarcão e Celorico, 2010). Os resultados desta atividade são apresentados no item 2.6, na qual é proposta uma estrutura teórica do processo cognitivo-comportamental dos trabalhadores da construção civil (Figura 1). A partir desta etapa, observou-se a necessidade de realização de uma Revisão Sistemática da Literatura como atividade seguinte, a fim de identificar as tendências e lacunas de pesquisa, de modo a direcionar a contribuição teórica deste trabalho.

4.3.2. Revisão Sistemática da Literatura (RSL)

A revisão sistemática da literatura é “um método sistemático, explícito, abrangente e reproduzível para identificar, avaliar e sintetizar o corpo existente de trabalhos completos e registrados produzidos por pesquisadores, estudiosos e profissionais” (Fink, 2005). Esta etapa teve como objetivo responder à pergunta de pesquisa: Qual o estado da arte dos estudos relacionados a modelagem baseada em agentes e segurança nos canteiros de obras ao longo dos últimos anos?

A revisão sistemática da literatura foi dividida em duas etapas: Delimitação das publicações (Etapa 1) e Análise do conteúdo (Etapa 2). A Figura 12 esquematiza o fluxo das atividades realizadas durante as etapas 1 e 2.

A primeira etapa (Delimitação das publicações) consistiu na definição da questão e termos (*string*) da pesquisa. A *string* utilizada na busca tem como base a adaptação do método PICO (*Population, Intervention, Comparasion e Outcomes*), segundo a adaptação de Agostinho e Granja (2016). A questão e termos de pesquisa levaram em consideração três dos quatro itens do método: população (P), intervenção (I) e efeitos desejados (O). Já que não há uma comparação entre dois métodos específicos o item *Comparasion* não foi utilizado neste estudo.

A busca por publicações foi realizada nas seguintes bases de dados: Science Direct e Scopus. Tais bases foram escolhidas devido a sua representatividade e relevância dentro da área de conhecimento da construção civil. Utilizando um protocolo baseado na metodologia Prisma (Prisma, 2020), foram realizados alguns refinamentos automáticos na própria plataforma da Scopus, limitando a amostra em pesquisas publicadas em inglês nos últimos anos, publicadas em periódicos.

Seguindo o protocolo adotado, realizaram-se novos filtros utilizando outros critérios de inelegibilidade. O segundo filtro foi realizado a partir da leitura dos títulos e resumos, cuja seleção dos trabalhos teve como objetivo priorizar os artigos que abordavam questões de segurança nos canteiros de obras, excluindo aqueles relacionados especificamente à incêndio e saúde, como exposição a

materiais particulados e proteção térmica e aqueles que não eram diretamente relacionados ao tema ou que tratassem de uma revisão da literatura.

Dos 218 resultados obtidos, 16 foram identificados como duplicados na base Science Direct. Dos 202 artigos remanescentes, somente 97 eram artigos de periódicos e estes foram analisados a partir da leitura dos títulos e resumos, buscando-se confirmar sua relação direta com a questão da pesquisa. Desse primeiro filtro (triagem) foram excluídos 81 artigos na base SCOPUS.

Figura 12-Diagrama de fluxo das atividades desenvolvidas nas etapas da pesquisa



Fonte: A autora

O segundo filtro (elegibilidade) foi realizado com a leitura completa das 16 publicações remanescentes. Nesta etapa, foram selecionados apenas os artigos que estivessem apresentando um modelo baseado em agentes para analisar a segurança em canteiros de obra. No segundo filtro, apenas 14 artigos atenderam ao requisito. Cinco pesquisas foram identificadas a partir da amostra em bola de neve ou “*snowball*”, pois foi encontrada a partir de redes de referência de uma das pesquisas selecionadas. Esse método é utilizado para pesquisas com grupos de difícil acesso ou quando se trata de temas mais privados.

A segunda etapa (Análise do conteúdo) consistiu em uma análise sistemática do conteúdo da amostra final selecionada, composta por 19 artigos. Esta análise inicialmente categorizou as publicações por ano e quantidade de citações (indicadores bibliométricos).

Em seguida, a análise do conteúdo foi direcionada a analisar as características e os conceitos de design dos modelos baseados em agentes desenvolvidos por cada publicação selecionada de acordo com as variáveis apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3: Variáveis de análise

Variável	Definição
Tipo	Categoriza os modelos apresentados em cada publicação em empíricos (modelos que se concentram em um único estudo de caso e tentam replicar o máximo possível suas características geográficas) e teóricos (modelos que abordam padrões amplos sem depender de casos específicos).
Software	Identifica a plataforma de software ou toolkit adotada para implementar a modelagem proposta.
Propósito	Categoriza os modelos em função do objetivo da modelagem.
Fundamentação	Identifica os tipos de evidências (teóricas ou empíricas) que foram adotadas como premissas para o desenvolvimento da estrutura do modelo (fatores externos, escalas de espaço e tempo, população, regras físicas e de comportamento).
Agentes	Identifica os stakeholders que foram adotados no modelo como agentes responsáveis pela dinâmica social simulada.
Tipo de modelo	Representa o espaço sobre o qual ocorrerão os movimentos e as interações dos agentes.
Resolução Espacial	Identifica a visão espacial do modelo.
Resolução Temporal	Identifica o tempo de simulação dos agentes no modelo.

Variável	Definição
Processo construtivo	Identifica os processos construtivos que foram adotados como cenário para embasamento empírico da modelagem.
Teoria	Identifica as teorias que foram adotadas pelos autores como embasamento teórico do modelo.
Fatores individuais, organizacionais e sociais	Apresenta as variáveis adotadas para caracterizar os agentes, representar a interação entre agentes e com o espaço simulado.
Verificação, calibração e validação	Identifica as técnicas que foram adotadas para a verificação, calibração e validação do modelo desenvolvido.

Fonte: A autora

Os resultados da revisão bibliográfica e revisão sistemática da literatura, apresentam-se nos capítulos 2, 3 e Apêndice III e Apêndice IV, quais sejam:

- Definição da estrutura teórica do processo cognitivo-comportamental dos trabalhadores da construção civil (Capítulo 2);
- Definição dos parâmetros do MBA (Capítulo 3);
- Definição das entradas e saída do MBA (Capítulo 3), e
- Elaboração dos questionários (Apêndice III e Apêndice IV).

4.3.3. Estudo exploratório

O estudo exploratório trata-se de uma atividade desenvolvida para investigação do problema prático objeto desta pesquisa a partir de observações de campo, pesquisa documental e entrevistas com profissionais da academia e de empresas parceiras (Quadro 4). Foram realizadas três visitas à campo, em três canteiros de obras diferentes, de duas empresas parceiras, a fim de observar a execução do processo construtivo de paredes de concreto *in situ*.

Quadro 4: Caracterização das obras da etapa de conscientização

Empresa	Obra	Quant. Torres	Pavimentos	Duração
Empresa Y	Obra 1	20	Térreo + 5	30 min
Empresa X	Obra 2	8 + 1 edifício garagem	Térreo + 9	1:30h
Empresa X	Obra 3	3	Térreo + 15	1:15h

Fonte: A autora

A Empresa Y, selecionada para o estudo exploratório, é uma grande organização do mercado baiano que atua na construção desde 1987 e expandiu para incorporações em 2004. A empresa tem um histórico diversificado de

projetos, incluindo obras públicas, infraestrutura, recuperação de patrimônios públicos, além de projetos industriais e residenciais.

Durante as visitas, também foi realizada coleta de dados através de pesquisa documental, para apoiar o processo de mapeamento do sistema construtivo observado. Neste estudo, foram analisados diários de obra, instruções de trabalho e fichas de verificação de serviço disponíveis nos canteiros. Por fim, foram realizadas entrevistas com gestores e pesquisadores (Quadro 5) que atuam nos canteiros visitados, a fim de validar e comparar as percepções em campo e em pesquisa documental com a experiência prática e acadêmica dos entrevistados.

Quadro 5: Perfil dos entrevistados

Quant.	Cargo Ocupado	Entrevistado	Tipo de entrevista	Duração	Empresa	Obra
2	Engenheiro de Produção e Técnica de Segurança	Gestor	Não estruturada	30 min	Empresa Y	Obra 1
1	Auxiliar de Produção	Gestor	Não estruturada	1:30h	Empresa X	Obra 2
2	Estagiária de Qualidade e Técnica de Segurança	Gestor	Não estruturada	1:15h	Empresa X	Obra 3
2	Estudante de Doutorado e Pós-Doutoranda	Pesquisador	Semi estruturada	2:00 h	-	-
1	Estudante de Doutorado	Pesquisador	Semi estruturada	1:00 h	-	-

Fonte: A autora

As entrevistas realizadas com os gestores de obras tiveram formato não estruturado, com finalidade exploratória, de modo a investigar mais amplamente o problema de pesquisa (Boni e Quaresma, 2005). As entrevistas realizadas com pesquisadores da área de segurança, por sua vez, tiveram formato semiestruturado. Este formato permitiu um direcionamento maior para o tema,

de modo a legitimar e relacionar as percepções em campo (Boni e Quaresma, 2005). Os tópicos de discussão encontram-se no Quadro 6.

Quadro 6: Entrevistados e tópicos de discussão

Entrevistados	Tópicos de discussão
Gestores de Obra	<ul style="list-style-type: none"> • Processo executivo, • Riscos e perigos do processo executivo, • Comportamento de segurança dos trabalhadores, e • Rotina de segurança dos gestores.
Pesquisadores da área de segurança	<ul style="list-style-type: none"> • Processo executivo, • Riscos e perigos do processo executivo, e • Comportamento de segurança dos trabalhadores.

Fonte: A autora

Como produtos, nesta etapa foi possível:

- Realizar um mapeamento das atividades executadas em fluxogramas e planilhas para a montagem das formas, assim como o tempo de execução, as rotinas de segurança e percepção dos gestores sobre as principais ações inseguras dos trabalhadores e principais riscos da execução das paredes de concreto.
- Identificar de forma qualitativa a percepção de gestores e pesquisadores sobre os riscos nos canteiros de obras e ações inseguras dos colaboradores.
- Estabelecer os subitens necessários para a condução do estudo empírico da etapa de sugestão do artefato;

4.4. SUGESTÃO DO ARTEFATO

Esta etapa compreendeu a elaboração da concepção base para a estrutura do modelo baseado em agentes e caracterizou-se pela idealização do modelo e registro dos dados de entrada (Figura 13). O MBA foi desenvolvido a partir de dados teóricos e empíricos, com o intuito de permitir a análise da influência de estratégias gerenciais de segurança no comportamento dos trabalhadores.

Neste trabalho, a etapa de sugestão do artefato refere-se atividade do estudo empírico (ver item 4.4.1).

Figura 13- Etapa de sugestão



Fonte: A autora

4.4.1. Estudo empírico

Nessa etapa foi realizada visita em uma obra, a Obra **A**, com o objetivo de conhecer as características do canteiro, dos processos de execução e andamento da obra, com foco na análise e mapeamento do processo de montagem das formas das paredes de concreto, assim como a montagem das plataformas de proteção coletiva. Durante essa etapa foram levantados os dados das obras a serem utilizados como dados de entrada do modelo a ser desenvolvido.

Assim, buscou-se identificar:

- Mapeamento do sistema construtivo (características da obra, dimensões do canteiro/construção, nível de risco, número de trabalhadores, número de equipes e número limite de incidentes tolerável);
- Mapeamento das rotinas de segurança (práticas gerenciais);
- Mapeamento dos riscos do canteiro de obra;
- Levantamento dos comportamentos inseguros; e
- Levantamento da percepção de segurança dos trabalhadores e dos gestores.

A empresa construtora escolhida para este estudo, conhecida como Empresa X, é uma grande organização que opera no mercado brasileiro da construção desde 1979. Ela tem presença em mais de 150 cidades em todo o Brasil, abrangendo 22 estados e o Distrito Federal. A empresa se concentra na construção de imóveis residenciais destinados às classes média e média baixa, desempenhando atividades que englobam a concepção do projeto, a incorporação e a construção.

A escolha dessa empresa para o estudo se deve à parceria estabelecida com o Grupo de Pesquisa e Extensão em Gestão e Tecnologia das Construções-GETEC desde 2017, do qual a autora deste trabalho faz parte. Durante essa colaboração, foram conduzidas várias pesquisas, incluindo os estudos de Melo (2020), Rey (2020) e Lima (2021). Portanto, fica evidente o interesse e o comprometimento da Empresa X com o desenvolvimento deste estudo.

A obra **A** (Figuras 14 e 15) trata-se de um conjunto Habitacional de Interesse Social (Programa Minha Casa Minha Vida), localizada na cidade de Salvador – BA. O canteiro de obras possui uma área com aproximadamente 9.616,83 m², sendo 13.803,58m² de área construída. O empreendimento será composto por duas torres, cada uma com 17 pavimentos (térreo mais 16), os quais cada andar é formado por oito apartamentos, totalizando 272 unidades habitacionais.

O sistema construtivo em parede de concreto é executado por meio de uso de formas de alumínio tipo GANG Trepante, cada jogo de forma corresponde a quatro apartamentos. O sistema de proteção coletiva inclui o sistema de

ancoragem (linha de vida) constituído por 25 postes e plataforma de segurança com guarda-corpo.

Figura 14- Ilustração do empreendimento da Obra A



Fonte: Material publicitário da Empresa X

Figura 15– Fotos do empreendimento da Obra A



Fonte: A autora

O Quadro 7 apresenta a relação de atividades realizadas em campo e com os membros da Empresa X durante as etapas de mapeamento e levantamento em campo. Foram realizadas 10 visitas, envolvendo 3 profissionais, e um total de 22 horas de coleta. No quadro é descrita a atividade realizada, os profissionais da Empresa X presentes, data e duração da atividade.

Quadro 7: Atividades do estudo empírico na Empresa X

Nº da atividade e data	Atividade Realizada	Profissionais da Empresa X	Duração da atividade
1º reunião 14/09/2023 - Online	Apresentação da pesquisa e da estrutura do modelo baseado em agentes para a empresa.	Engenheira de qualidade e pós-entrega; Engenheiro de Segurança; Consultor de segurança;	50 min
2ª reunião 19/09/2023 - Online	Apresentação das obras da empresa e agendamento da 1ª visita em campo.	Engenheiro de Segurança	40 min
1ª visita 28/09/2023	Entrevistas semiestruturadas para mapeamento das rotinas de segurança e características da obra.	Supervisora de Segurança; Técnico de Segurança; Auxiliar de Engenharia	01 h 50 min
2º visita 04/10/2023	Continuação das entrevistas semiestruturadas e início da análise do processo construtivo.	Técnico de Segurança e Engenheiro de Produção	01 h 10 min
3º visita 11/10/2023	Continuação da análise do processo construtivo e início da observação dos comportamentos inseguros	Supervisora de Segurança, Técnico de Segurança, Engenheiro de Produção e Auxiliar de Engenharia	03 h 30 min
3º reunião 17/10/2023 - Online	Atualização do progresso do projeto	Engenheiro de Segurança, Supervisora de Segurança	45 min
4ª Visita 17/10/2023	Pré-teste do questionário	Técnico de Segurança; Auxiliar de Engenharia; Encarregado de Obra;	50 min
5ª visita 18/10/2023	Observação comportamental com RPA	Engenheiro de Segurança, Supervisora de Segurança e Técnico de Segurança	02 horas
6º visita 24/10/2023	Observação comportamental com RPA	Técnico de Segurança	02 horas
7ª visita 30/10/2023	Observação comportamental com RPA	Supervisora de Segurança e Técnico de Segurança	01 h 30 min
8ª visita 17/11/2023	Observação comportamental com RPA	Técnico de Segurança	01 h 30 min
9ª visita 25/11/2023	Divulgação da aplicação do questionário através de cartazes	Técnico de Segurança	30 min

Nº da atividade e data	Atividade Realizada	Profissionais da Empresa X	Duração da atividade
Treinamento 27/11/2023	Treinamento da equipe para aplicação do questionário	Estudantes de iniciação científica	02 h
10ª visita 30/11/2023	Aplicação do questionário guiado com os montadores e a equipe de engenharia	Técnico de Segurança; Supervisora de Segurança; Auxiliar de Engenharia; Encarregado	07h
4º reunião 07/12/2023	Atualização do progresso do projeto e aplicação de questionário	Engenheiro de Segurança	30 min

Fonte: A autora

Nesta atividade, foram efetuadas visitas ao local da Obra **A** (Quadro 7) com o propósito de conhecer tanto a obra em si quanto as particularidades do canteiro, do processo de execução e do progresso do trabalho, e dos riscos associados as atividades. Durante as visitas, contou-se com a presença da auxiliar de engenharia e do técnico de segurança, que fez a apresentação da obra e explicou o processo de execução das paredes de concreto, e do técnico de segurança que auxiliou na análise dos riscos associado as atividades.

A equipe responsável pela produção é composta por um gestor de produção, um engenheiro de produção, dois auxiliares de construção, um mestre de obras e três encarregados. A equipe de segurança é composta por um gestor de Segurança, Saúde e Meio Ambiente (Atuação Nacional), uma supervisora de segurança (Atuação Regional), um engenheiro de segurança (Atuação Regional), um técnico de segurança (atuação direta no canteiro de obras). A equipe de qualidade é composta por uma engenheira de qualidade e pós-entrega (Atuação Regional) e um estagiária de qualidade (atuação direta no canteiro de obras).

- **Mapeamento das rotinas de segurança**

Durante esta etapa, foram conduzidas visitas na Obra **A** com o propósito de analisar as práticas de segurança implementadas pela empresa. Essa análise demandou interações com a equipe de segurança, composta pelo engenheiro de segurança, a supervisora de segurança e o técnico de segurança, visando

obter uma compreensão abrangente das rotinas e protocolos adotados (Quadro 11).

Inicialmente, buscou-se classificar a estrutura organizacional, atribuições e responsabilidades da equipe de engenharia. Em seguida, foi realizada a identificação das práticas de segurança realizadas pela empresa, incluindo informações sobre periodicidade e os responsáveis envolvidos. Esse levantamento é de extrema importância para estabelecer uma base sólida de conhecimento sobre a gestão da segurança na obra, viabilizando a implementação de melhorias e o reforço das medidas de prevenção. Além disso, oferece insights valiosos e direcionamentos para o desenvolvimento do MBA.

- **Levantamento dos comportamentos inseguros**

Nessa etapa foram realizadas visitas na Obra **A** com o objetivo de identificar os principais comportamentos inseguros cometidos pelos colaboradores durante a execução das atividades cotidianas. Para esta pesquisa, o comportamento representa as ações e reações de pessoas em resposta a estímulos externos e internos que são observáveis.

Para auxiliar a observação de comportamentos em campo, foram realizadas coletas de imagens com uso de aeronave não tripulada (RPA) ²(Quadro 8). Para essa etapa foi empregada um drone do tipo quadricóptero, modelo DJI Air 2S, equipado com uma câmera de 20 MP que captura imagens nos formatos JPEG e DNG, vídeos em MP4, além do GPS para a captura de imagens georreferenciadas.

Quadro 8: Características de voos da Obra A

Dia da semana	Data	Equipamento Utilizado	Duração Total (min)	Distância percorrida (km)	Altitude máx. (m)	Nº de voos	Nº de fotos
Quarta-feira	18/10/2023	DJI Air 2S	51	1,72	32	4	315
Terça-feira	24/10/2023		46	1,70	40	4	181
Segunda-feira	30/10/2023		53	1,25	33	3	181
Sexta-feira	17/11/2023		52	1,02	63	3	351
Total:			3h37min	5,69	-	14	1028

² Pilotas: Carolina Andrade de Oliveira e Roseneia Rodrigues Santos de Melo

Fonte: A autora

Foram realizados intervalos de aproximadamente 20 a 30 min entre cada levantamento aéreo, visando capturar distintos momentos durante a execução das atividades.

- **Mapeamento dos riscos do canteiro de obras**

Nesta etapa, foram avaliados os riscos identificados a partir das fotos obtidas na etapa anterior. Para essa análise, utilizou-se a ferramenta de matriz de risco, com o objetivo de identificar as situações que requerem maior atenção no canteiro de obras. A matriz de risco (3 x 3) trata-se de uma ferramenta gráfica (Figura 16), que utiliza uma tabela orientada em duas dimensões: probabilidade e gravidade, que permite calcular o nível de risco da situação analisada. A gravidade e a probabilidade são avaliadas em uma escala de 1 a 3, onde: Gravidade (G) é classificada como 1 = Baixa, 2 = Moderada, 3 = Alta, e Probabilidade (P) como 1 = Baixa, 2 = Moderada, 3 = Alta. O nível de risco (G x P) é determinado multiplicando os valores de gravidade e probabilidade.

Figura 16-Matriz de Risco

IMPACTO	Alto (3)	Média (3)	Alta (6)	Alta (9)
	Médio (2)	Baixa(2)	Média(4)	Alta (6)
	Baixo (1)	Baixa(1)	Baixa(2)	Média(3)
		Baixo (1)	Médio(2)	Alto (3)
		PROBABILIDADE		

Fonte: A autora

- **Levantamento da percepção de segurança de colaboradores e gestores**

O objetivo dessa etapa é analisar as percepções de risco dos trabalhadores, mapear o clima de segurança no canteiro de obra, assim como identificar as possíveis tendências comportamentais dos colaboradores durante o cotidiano de trabalho, e entender o impacto das estratégias gerenciais na percepção e tolerância ao risco dos colaboradores, na tomada de decisão de segurança dos trabalhadores da construção civil.

Esta etapa envolveu a coleta da percepção de segurança de colaboradores e gestores por meio da elaboração e aplicação de questionários e entrevistas, seguida pela análise estatística dos dados, com o objetivo de fornecer uma base empírica para o desenvolvimento do modelo baseado em agentes.

Para desenvolver o questionário, este estudo utilizou como referência o questionário proposto por Choi (2018). Este foi adaptado com base nos resultados da etapa de **Conscientização e Sugestão**, e no mapeamento do processo construtivo da etapa de **Sugestão**. O questionário foi avaliado e discutido por dois profissionais e pesquisadores da área de segurança, com 10 e 13 anos de experiência na área de segurança na construção civil.

O questionário considera uma escala *Likert* de quatro pontos, de modo a evitar o surgimento de um termo central/neutro (Burks e Kpruta, 2012). Esses pontos foram convertidos em pontuações numéricas, conforme proposto por Choi (2018), a fim de realizar uma análise quantitativa: -2 = “Incorreto”, -1 = “parcialmente incorreto”, 1 = “parcialmente correto” e 2= “correto”. Após a conversão, esses dados foram utilizados para as análises estatísticas.

O questionário é composto por 8 grupos de perguntas:

- perfil do(a)entrevistado(a),
- percepção de risco dos colaboradores,
- percepções de comportamento de segurança,
- impacto das ações gerenciais,
- clima de segurança organizacional,
- clima de segurança de grupo,
- comportamento dos colaboradores,
- ações gerenciais de segurança.

A ser aplicada tanto aos trabalhadores quanto aos membros da equipe gerencial da obra A, a estrutura do questionário permitiu captar separadamente a percepção dos trabalhadores sobre a segurança dos colegas e a priorização da segurança pela empresa. Enquanto os trabalhadores / montadores

responderam às oito etapas do questionário, os membros da equipe gerencial se limitaram a responder apenas às duas primeiras.

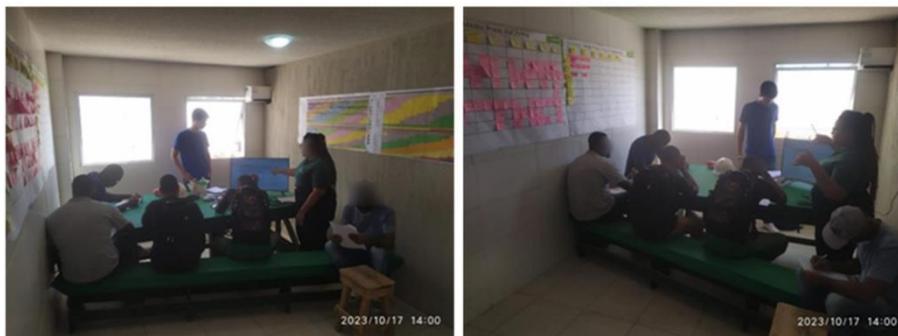
Os Apêndices III e IV deste documento apresentam respectivamente a estrutura do questionário aplicada aos trabalhadores e membros da equipe gerencial da obra A.

Antes de sua aplicação, o questionário foi validado a partir de um pré-teste envolvendo a participação de um pequeno grupo de respondentes, conforme fomentado por Fellows e Liu (2008). Esse pré-teste teve como objetivo verificar se as questões são compreensíveis, fáceis de responder e não apresentam ambiguidades, bem como analisar se os dados fornecidos pelo questionário são adequados para as análises, e se estes são adequados para fornecer resultados para validar as hipóteses de pesquisa e as tomadas de decisão do MBA.

Para o pré-teste, 5 (cinco) colaboradores foram selecionados aleatoriamente para participar. Primeiramente foi explicado o objetivo da pesquisa e do teste, e em seguida, foram passadas para os colaboradores as folhas com as perguntas e o termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE). A aplicação do teste durou cerca de 40 min (Figura 17).

Como resultado deste processo de validação, a ordem de aplicação das questões do questionário e a estratégia de condução das perguntas durante a atividade foi ajustada para facilitar o engajamento dos respondentes e garantir a veracidade das respostas. Observou-se também a necessidade de se acrescentar questões qualitativas ao final das perguntas quantitativas para validar as respostas quantitativas e a importância de se disponibilizar um *coffee-break* para os participantes, devido ao tempo necessário para realização da atividade.

Figura 17– Dia do pré-teste



Fonte: A autora

Cabe destacar que o presente projeto foi aprovado em novembro de 2023 pelo comitê de ética do Instituto de Saúde Coletiva da Universidade Federal da Bahia (CAAE 70306423.4.0000.5030), e que a coleta de dados refere a este projeto foi realizada somente após esta aprovação.

O dia da aplicação definitiva do questionário foi divulgado por meio de cartazes espalhados pelo canteiro de obras, com o objetivo de garantir o maior engajamento possível de potenciais respondentes (Figura 18).

Figura 18– Divulgação da aplicação do questionário



Fonte: A autora

Como resultado, a aplicação do questionário foi realizada de forma presencial com uma amostra de:

- 26 montadores da obra A, obtendo-se grau de confiança de 90% e 5% de margem de erro, a partir da premissa de uma população total composta por 28 montadores.

- Todos os membros da equipe gerencial que atuavam diretamente com o processo construtivo de parede de concreto (Engenheiro de Segurança, Supervisora de Segurança, Técnico de Segurança, Engenheiro de Produção, Auxiliar de Engenharia e Encarregado dos montadores).

Para aplicação do questionário guiado, inicialmente foi apresentado o projeto de pesquisa para os(as) respondentes(as) e foi informado que todos os dados e informações dos(as) participantes da pesquisa serão mantidos sob anonimato. Em seguida, foi solicitada a permissão para prosseguir com o questionário, perguntando ao indivíduo se concorda em participar como voluntário(a).

A aplicação do questionário foi realizada com apoio de estudantes de Iniciação Científica do GETEC³ e para isso foi necessária uma etapa de treinamento / capacitação da equipe, para que todos os entrevistadores seguissem as mesmas premissas e instruções durante a aplicação do questionário.

O questionário foi aplicado no mesmo dia tanto aos membros da equipe gerencial quanto aos montadores, sendo adotados momentos separados para cada grupo (Figura 19). A aplicação do questionário para todos durou cerca de duas horas. Após a finalização da aplicação do questionário ao grupo de montadores, o sorteio de cinco brindes foi realizado como forma de agradecimento pela participação dos respondentes, bem como o oferecimento do *coffee-break*.

Figura 19– Dia da aplicação do questionário



Fonte: A autora

³ Guilherme dos Santos Bonfim e Carolina Andrade de Oliveira

O Quadro 9 apresenta as hipóteses de pesquisa e as relaciona com os dados coletados em campo por meio da aplicação do questionário.

Quadro 9-Relação entre Hipóteses de pesquisa e o questionário

Hipóteses	Dados coletados
Hipótese 1: O clima de segurança organizacional (CSO) prediz o clima de segurança de grupo (CSG).	Os dados de CSO representam a percepção dos trabalhadores em relação a forma que a empresa encara a segurança, a partir da análise do papel desempenhado pela equipe de engenharia.
Hipótese 2: O clima de segurança organizacional prediz a tolerância ao risco dos trabalhadores.	Os dados de CSG representam a percepção dos trabalhadores em relação ao comportamento de segurança executado pela sua equipe/colegas de trabalho.
Hipótese 3: O clima de segurança de grupo prediz a tolerância ao risco dos trabalhadores.	A tolerância ao risco dos trabalhadores é identificada a partir da autoavaliação dos trabalhadores em relação ao seu comportamento de segurança.
Hipótese 4: A atitude pessoal prediz a tolerância ao risco dos trabalhadores.	A atitude pessoal é resultado da análise dos pensamentos e sentimentos dos trabalhadores sobre as ações gerencias de segurança.
Hipótese 5: Treinamentos de segurança de riscos gerais tem impacto alto e positivo na percepção de risco dos trabalhadores.	Os trabalhadores avaliaram de 0 a 10 o impacto dos treinamentos a cada 2 anos, o impacto do diálogo de segurança diário, e o impacto de feedbacks (positivos ou negativos)
Hipótese 6: Treinamentos de segurança de trabalho em altura tem impacto alto e positivo na percepção de risco dos trabalhadores.	
Hipótese 7: A comunicação de segurança diária tem impacto alto e positivo na percepção de risco dos trabalhadores.	
Hipótese 8: A comunicação de segurança semanal tem impacto alto e positivo na percepção de risco dos trabalhadores.	
Hipótese 9: Receber feedbacks positivos tem impacto alto e positivo na percepção de risco dos trabalhadores.	

Hipóteses	Dados coletados
Hipótese 10: Receber feedbacks negativos tem impacto alto e positivo na percepção de risco dos trabalhadores.	
Hipótese 11: Os trabalhadores apresentam diferentes percepções de risco sobre as mesmas atividades.	Os trabalhadores e os gestores avaliaram a probabilidade de acidente e grau de severidade de acidente de 5 situações relacionadas a atividades de montagem de forma e plataforma.
Hipótese 12: Os trabalhadores apresentam percepções de risco diferentes dos gestores sobre as mesmas atividades.	
Hipótese 13: Os padrões pessoais dos trabalhadores são significativamente similares aos padrões de segurança desejados pelos gestores.	Os trabalhadores e os gestores avaliaram 5 comportamentos de um trabalhador fictício, indicando se este estava correto ou incorreto.
Hipótese 14: Treinamentos de segurança de maior periodicidade impactam mais na percepção de risco dos trabalhadores do que treinamentos de menor periodicidade.	Os trabalhadores avaliaram de 0 a 10 o impacto de treinamentos com diferentes periodicidades, na identificação de riscos no ambiente de trabalho.
Hipótese 15: Treinamentos de segurança diferentes possuem impactos diferentes na percepção de risco dos trabalhadores.	Os trabalhadores avaliaram de 0 a 10 o impacto de diálogos de segurança (diário ou semanal) na identificação de riscos no ambiente de trabalho.
Hipótese 16: Comunicação de segurança diária impacta mais na percepção de risco dos trabalhadores do que comunicação de segurança semanal.	Os trabalhadores avaliaram de 0 a 10 a influência de feedbacks (positivos e negativos) no seu entendimento de ação segura ou insegura.
Hipótese 17: Treinamentos de segurança e comunicação de segurança possuem diferentes impactos mais na percepção de risco dos trabalhadores.	Ao final das avaliações foi solicitada uma explicação referente a nota atribuída.
Hipótese 18: Receber feedbacks (positivos ou negativos) impactam na percepção de risco dos trabalhadores.	

Fonte: A autora

- **Análise estatística dos dados**

Em seguida, realizou-se a **análise estatística dos dados** coletados em campo com o objetivo de examinar a correlação entre as respostas fornecidas no questionário e validar ou refutar as hipóteses de pesquisa. Essas hipóteses (Quadro 9) são cruciais para auxiliar no desenvolvimento e validação do MBA. A

expectativa seria que o MBA fosse capaz de oferecer uma simulação representativa do processo sociocognitivo dos colaboradores em obras de paredes de concreto, contribuindo para que os gestores identifiquem as melhores práticas e estratégias visando reduzir os índices de incidentes e aprimorar a segurança no ambiente de trabalho.

Foram utilizados os seguintes testes estatísticos:

- Teste de média, variância e desvio padrão;
- Teste-t de Student Independente;
- Teste-t de Student Pareado;
- Teste de regressão Linear (Método dos mínimos quadrados).

Todas as análises foram configuradas para serem executadas no R Studio, um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) dedicado à linguagem de programação R. O R Studio oferece uma interface amigável e robusta para a escrita, execução e depuração de código R, além de fornecer uma variedade de ferramentas e recursos para análise de dados, visualização e modelagem estatística. As análises estatísticas foram conduzidas com um nível de confiança de 95% e margem de erro de 5%. Hipóteses com p-valor < 0.05 foram consideradas aceitas, uma vez que a hipótese nula é rejeitada quando p-valor > 0.05 .

O **Teste de Variância e o Desvio Padrão** são métodos estatísticos empregados para avaliar a variabilidade de dados em amostras ou populações (Moretting, 2010). No contexto deste estudo, esses testes são aplicados para determinar se há variação nas percepções de riscos tanto entre os montadores quanto dentro da equipe de engenharia.

O **teste-t independente** é uma análise de hipóteses que envolve uma hipótese nula e uma hipótese alternativa em contraposição (Paes, 2008). Esse teste foi escolhido para avaliar se existe uma diferença estatisticamente significativa entre as médias de dois grupos distintos. No contexto deste estudo, a distinção entre os grupos ocorre com base nos cargos ocupados, analisando os montadores de paredes de concreto e a equipe de engenharia da obra **A**. Os resultados deste teste visam estabelecer se há ou não uma diferença significativa nas percepções de riscos entre os dois grupos.

O método do **Teste-t de Student Pareado** é uma ferramenta estatística empregada para comparar as médias de duas amostras relacionadas ou emparelhadas (Moretting, 2010). Esse teste foi utilizado quando as observações em cada amostra estão interligadas, ou quando se analisa a mesma amostra em dois momentos distintos. Nesse contexto, ocorre uma comparação entre amostras diretamente associadas, focalizando na análise das diferenças nas percepções dos montadores em relação ao impacto de diferentes estratégias gerenciais de segurança.

O **método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO)** é o mais amplamente empregado na estimação de parâmetros de regressão em modelos lineares, buscando minimizar a soma dos quadrados dos desvios entre os valores observados e a média (Figueiredo Filho, 2011). A **regressão linear** é uma técnica estatística que modela a relação entre uma variável independente (também chamada de variável preditora) e uma variável dependente (também chamada de variável de resposta) por meio de uma equação linear. Seu propósito é encontrar a linha que melhor se ajusta aos dados, permitindo previsões e compreensão da relação entre as variáveis. No contexto dessa pesquisa, ocorreu uma avaliação de predição entre o clima de segurança e a tolerância ao risco dos trabalhadores.

O Quadro 10 relaciona as etapas do questionário com o método estatístico utilizado para verificar as hipóteses de pesquisa.

Quadro 10: Métodos estatísticos e hipóteses

Etapas do questionário	Método Estatístico	Hipóteses de pesquisa
1ª etapa - SOBRE A PERCEPÇÃO DE RISCO DOS COLABORADORES	Média, Variância e Desvio Padrão	Hipótese 11: Os trabalhadores apresentam diferentes percepções de risco sobre as mesmas atividades.
	Teste-t Independente	Hipótese 12: Os trabalhadores apresentam percepções de risco diferentes dos gestores sobre as mesmas atividades.

Etapa do questionário	Método Estatístico	Hipóteses de pesquisa
2ª etapa - SOBRE AS PERCEPÇÕES DE COMPORTAMENTO DE SEGURANÇA	Teste-t Independente	Hipótese 13: Os padrões pessoais dos trabalhadores são significativamente similares aos padrões de segurança desejados pelos gestores.
3ª etapa - SOBRE O IMPACTO DAS AÇÕES GERENCIAIS	Teste Média, Variância e Desvio Padrão	<p>Hipótese 5: Treinamentos de segurança de riscos gerais tem impacto alto e positivo na percepção de risco dos trabalhadores.</p> <p>Hipótese 6: Treinamentos de segurança de trabalho em altura tem impacto alto e positivo na percepção de risco dos trabalhadores.</p> <p>Hipótese 7: A comunicação de segurança diária tem impacto alto e positivo na percepção de risco dos trabalhadores.</p> <p>Hipótese 8: A comunicação de segurança semanal tem impacto alto e positivo na percepção de risco dos trabalhadores.</p> <p>Hipótese 9: Receber feedbacks positivos tem impacto alto e positivo na percepção de risco dos trabalhadores.</p> <p>Hipótese 10: Receber feedbacks negativos tem impacto alto e positivo na percepção de risco dos trabalhadores.</p>
	Teste-t Pareado	<p>Hipótese 14: Treinamentos de segurança de maior periodicidade impactam mais na percepção de risco dos trabalhadores do que treinamentos de menor periodicidade.</p> <p>Hipótese 15: Treinamentos de segurança diferentes possuem impactos diferentes na percepção de risco dos trabalhadores.</p> <p>Hipótese 16: Comunicação de segurança diária impacta mais na percepção de risco d</p> <p>Hipótese 17: Treinamentos de segurança e comunicação de segurança possuem diferentes impactos mais na percepção de risco dos trabalhadores.</p> <p>Hipótese 18: Receber feedbacks (positivos ou negativos) impactam na percepção de risco dos trabalhadores.</p>

Etapa do questionário	Método Estatístico	Hipóteses de pesquisa
<p>4ª etapa - SOBRE O CLIMA DE SEGURANÇA ORGANIZACIONAL</p> <p>5ª etapa - SOBRE O CLIMA DE SEGURANÇA DE GRUPO</p> <p>6ª etapa - SOBRE O COMPORTAMENTO DOS COLABORADORES</p>	<p>Teste de Regressão Linear/Múltipla</p>	<p>Hipótese 1: O clima de segurança organizacional prediz o clima de segurança de grupo.</p> <p>Hipótese 2: O clima de segurança organizacional prediz a tolerância ao risco dos trabalhadores.</p> <p>Hipótese 3: O clima de segurança de grupo prediz a tolerância ao risco dos trabalhadores.</p>
<p>7ª etapa - A PERCEPÇÃO SOBRE AÇÕES DE SEGURANÇA</p>	<p>Teste de Regressão Linear/Múltipla</p>	<p>Hipótese 4: A atitude pessoal prediz a tolerância ao risco dos trabalhadores.</p>

Fonte: A autora

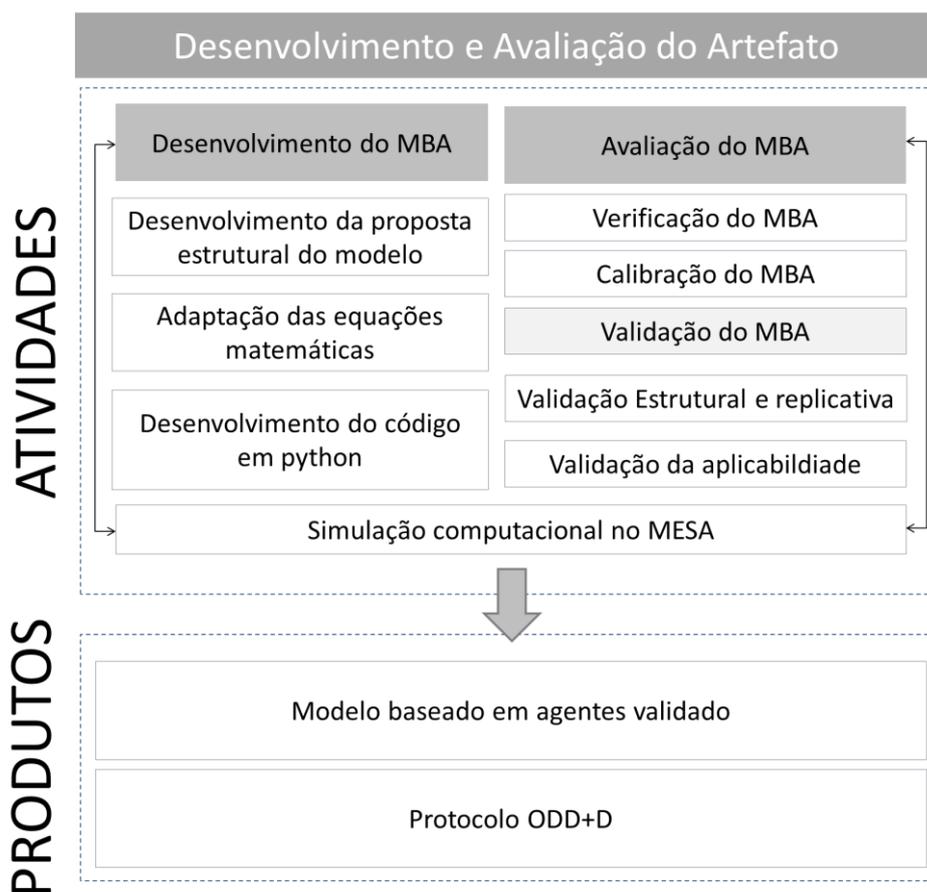
O resultado desta etapa é apresentado no capítulo 6 deste documento, sendo o seguinte:

- Estrutura conceitual do processo cognitivo-comportamental dos trabalhadores da construção civil.

4.5. DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DO ARTEFATO

Nesta etapa da pesquisa, foi desenvolvida a proposta estrutural do modelo e o modelo baseado em agentes (MBA). Além disso, foram realizadas simulações computacionais para avaliar o desempenho do modelo, testando suas respostas a diferentes adaptações. O objetivo dessas simulações foi verificar se o modelo estava cumprindo suas funções conforme esperado (Figura 20).

Figura 20- Etapa de Desenvolvimento e avaliação do Artefato



Fonte: A autora

4.5.1. Desenvolvimento de proposta estrutural do modelo

Esta etapa compreendeu a elaboração da proposta estrutural do modelo baseado em agentes, desenvolvida a partir da adaptação da estrutura sugerida por Choi (2018). Sua elaboração incluiu duas atividades, detalhadas a seguir:

- Definição de parâmetros, agentes e padrões de comportamento, e
- Desenvolvimento de um diagrama de fluxo.

A **Definição de parâmetros, agentes e padrões de comportamento** foi realizada a partir dos resultados da etapa de **Conscientização e Sugestão**. Com vistas a abarcar a complexidade de variáveis do MBA pretendido, adotou-se nesta etapa a premissa de um modelo composto por agentes que representam colaboradores do canteiro caracterizados essencialmente por distintos níveis de percepção e tolerância ao risco. Para tal, a pesquisa adotou

as seguintes teorias sociais e conceitos para definição de parâmetros, agentes e padrões: Teoria do Processamento de Informação, Teoria do Risco, Teoria da Identidade Social, Teoria da Comparação Social e Clima de Segurança Organizacional e de Grupo.

A proposta estrutural do modelo é ilustrada graficamente por meio de um **diagrama de fluxo**, desenvolvido a partir dos resultados obtidos na etapa de **Conscientização** e da análise dos dados coletados em campo durante a etapa de **Sugestão** (percepção de segurança de colaboradores e gestores). O objetivo desse diagrama é representar de forma linear e simplificada a sequência de etapas do modelo, servindo como base para a criação do código do modelo baseado em agentes. Esse modelo simula o processo de tomada de decisão dos trabalhadores, refletindo em comportamentos seguros ou inseguros, além de como eles percebem o risco, até o momento em que a simulação é finalizada e os dados, como a taxa de incidentes, são gerados.

4.5.2. Desenvolvimento do modelo baseado em agentes (MBA)

O modelo baseado em agentes foi desenvolvido a partir de adaptações ao código proposto por Choi (2018) utilizando-se o software MESA (software baseado em *Python*). Segundo Wang, Hess e Crooks (2022), o *software* MESA trata-se de uma plataforma de código aberto utilizado desde 2015 para criar modelos baseados em agentes, e, atualmente, mais de 850 repositórios públicos do GitHub dependem do MESA.

As adaptações realizadas no código-fonte proposto por Choi (2018) tiveram como objetivo incorporar ao modelo baseado em agentes (MBA) os achados teóricos da etapa de **Conscientização**, assim como os resultados empíricos da etapa de **Sugestão**. Essa fase do projeto contou com a colaboração de dois alunos de iniciação científica: um estudante de Engenharia de Computação⁴ e outro de Engenharia Elétrica⁵.

O Apêndice VIII apresenta e justifica as modificações realizadas nas equações de Choi (2018) para se adequar aos objetivos deste estudo.

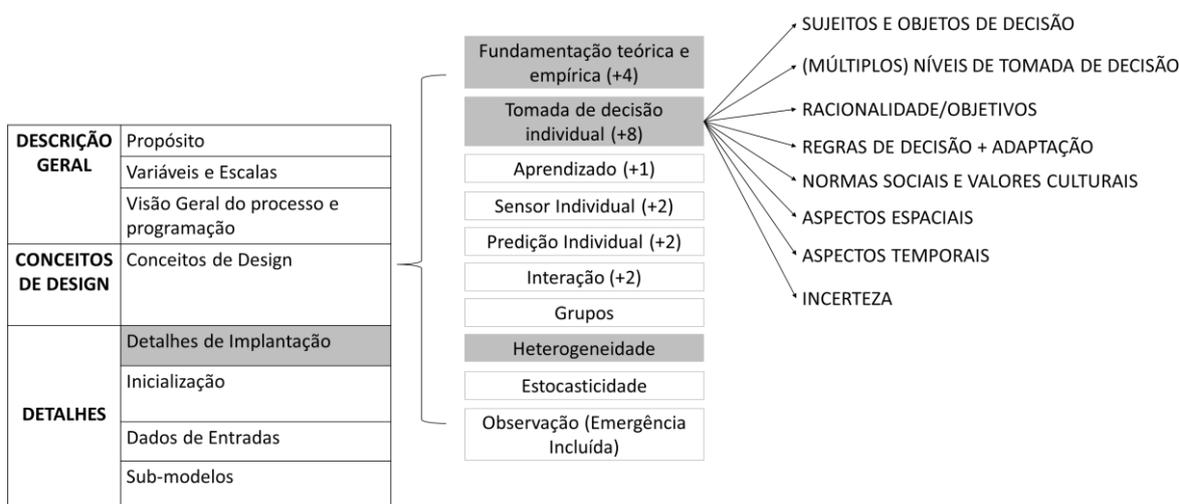
⁴ Guilherme dos Santos Bonfim

⁵ Márcio Costa Barros Júnior

Conforme as modificações eram implementadas, simulações foram conduzidas no *Visual Studio Code* para verificar a coerência dos resultados. Adicionalmente, o código foi aprimorado com a inclusão de gráficos *box-plot* para a análise dos dados de saída, complementando os gráficos dinâmicos já existentes no MESA.

Nesta etapa, o protocolo ODD+D (Overview, Design concepts, Details + Decision) foi utilizado como *checklist* para orientar a formulação rigorosa do MBA (Figura 21). Este protocolo surgiu com o intuito de padronizar a descrição dos modelos tornando-os mais compreensíveis e completos, e apoiando sua documentação e reprodução (Grimm *et al.*, 2010). Este protocolo proporciona uma visão geral do propósito, dos principais processos e das características do modelo, incluindo variáveis, escala e etapas de programação. Ele descreve os conceitos gerais subjacentes ao design do modelo e fornece detalhes com todas as informações necessárias para permitir a sua reimplementação.

Figura 21– Protocolo ODD+D



Fonte: Crooks (2019) traduzido pela autora

O Quadro 11 a seguir descreve os subitens do protocolo ODD+D que foram considerados no desenvolvimento do modelo baseado em agentes.

Quadro 11-Itens do Protocolo ODD+D

Item	Subitem	Descrição
Descrição Geral	Propósito do modelo	Definição do objetivo do estudo e para quem o modelo é projetado.
	Variáveis e Escalas	Definição das entidades do modelo, as variáveis e atributos que o caracterizam e resolução temporal e espacial do modelo.
	Visão geral do processo e programação	Definir o desenho geral dos processos e encadeamento temporal, ou seja, determinar quem faz o que.
Conceitos de Design	Fundamentação Teórica e Empírica	Definição dos princípios, teorias e hipóteses que sustentam a abordagem do modelo, bem como quais pressupostos baseiam as decisões dos agentes.
	Tomada de decisão individual	Determinação dos sujeitos e objetos de tomada de decisão, definição de como os agentes tomam suas decisões e determinação dos aspectos sociais, temporais e espaciais que influenciam no processo de decisão.
	Heterogeneidade	Determinar quais variáveis de estado e/ou processos diferem entre os agentes, e se estes apresentam diferenças no processo de tomadas de decisão.
Detalhes	Inicialização	Determinação de qual é o estado inicial do modelo quando $t=0$.
	Dados de entrada	Definição dos dados oficiais que serão lidos no processo de geração e atualização das simulações.
	Submodelos	Determinação dos submodelos que representam os processos, bem como seus parâmetros, dimensões e valores de referência.

Fonte: A autora

4.6. Avaliação do modelo baseado em agentes

Este item descreve os processos adotados para a avaliação do MBA desenvolvido. Segundo Crooks (2019), esta etapa representa um dos desafios centrais associados à modelagem baseada em agentes, sendo dividida em três sub-etapas: Verificação, Calibração e Validação do MBA (Figura 19).

As etapas de **desenvolvimento** e **avaliação** do artefato não seguiram um processo linear, com atividades ocorrendo de forma sobreposta. À medida que o código desenvolvido passava por etapas de avaliação, modificações eram realizadas com base nos resultados das simulações. Após essas alterações, o código era novamente avaliado, o que podia resultar, ou não, em novas mudanças.

- **Verificação do modelo baseado em agentes**

A verificação do modelo é fundamental para garantir que o código esteja executando exatamente o que se espera dele (Hamill e Gilbert, 2016). Essa análise busca assegurar que o algoritmo — ou seja, os passos e as regras de tomada de decisão — esteja alinhado com o que foi concebido pelo modelador durante a execução do programa (Furtado, 2018).

A verificação do modelo seguiu as diretrizes de Raoufi *et al.* (2018) e Azar *et al.* (2017). Primeiramente, todas as equações matemáticas foram calculadas manualmente e os resultados foram comparados com os valores obtidos pelo modelo. Em seguida, foi realizada a depuração do código para identificar eventuais erros de programação (Liang, Lin, Zhang, 2018; Ormerod *et al.*, 2009). Finalmente, o correto funcionamento dos componentes do modelo foi assegurado, por meio da observação e rastreamento das mudanças nas variáveis e nas interações entre os agentes ao longo da simulação (Sargent, 2013).

- **Calibração do modelo baseado em agentes**

A calibração do modelo refere-se ao processo ao qual o modelo é ajustado até parecer correto sem a necessidade de análises detalhadas (Furtado, 2018; Crooks, 2019). Esse processo pode ser tanto qualitativo, envolvendo a intuição e o conhecimento do modelador sobre o assunto, ou contando com a assistência adicional de um especialista na área, quanto quantitativo, utilizando análises estatísticas para testar o erro do modelo, ajustando os parâmetros para que estes reflitam condições observadas (Furtado, 2018; Crooks, 2019).

O presente estudo adotou tanto a análise quantitativa quanto a qualitativa. Além disso, a calibração de um modelo pode ser realizada com base em uma abordagem teórica, empírica, ou na combinação de ambas. Para este estudo, adotou-se ambas as abordagens, onde tanto o conhecimento da literatura quanto os dados obtidos em campo foram considerados.

A calibração quantitativa seguiu as diretrizes propostas por Crooks (2019). Foi realizada uma análise de sensibilidade e incerteza do modelo, avaliando o impacto de cada parâmetro individualmente. Para isso, verificou-se se as

alterações nas equações matemáticas resultavam em respostas coerentes. Os parâmetros relacionados ao treinamento de segurança, diálogo de segurança e feedback foram examinados para identificar seu impacto no modelo. Esse processo permitiu determinar quais parâmetros poderiam ser removidos sem comprometer os resultados da simulação. Com isso, o parâmetro de identificação com o projeto (Choi e Lee, 2018) foi excluído das equações.

Adicionalmente, foram realizadas comparações entre os resultados obtidos nas simulações e os resultados de outras pesquisas (Zhang et al., 2019; Ye et al.; 2018) que utilizaram parâmetros semelhantes aos acrescentados no modelo.

Para a calibração qualitativa, foram considerados os resultados da literatura obtidos na etapa de **Conscientização**, os dados do estudo empírico (**Etapa de Sugestão**) e evidências oriundas de discussão com profissionais especialistas da área de segurança sobre os resultados obtidos com as simulações.

- **Validação do modelo baseado em agentes**

A etapa de validação busca verificar a capacidade do modelo de reproduzir a realidade e capturar elementos relevantes do fenômeno modelado, de modo a compreender se o modelo desenvolvido é útil e válido para responder ao seu propósito (Furtado, 2018). Ou seja, o modelo não deve somente representar a realidade em sua forma simplificada, como também deve ser semelhante a ele, no sentido em que permite espaço para exploração e conseqüentemente melhor compreensão do fenômeno modelado (Gräbner, 2015; Mäki, 2009). Além disso, a validade de um modelo de simulação deve ser testada em relação ao seu propósito (Sargent, 2000; Gilbert, 2008).

Segundo Zeigler *et al.* (2000), o processo de validação de um modelo pode ser estrutural, replicativo ou preditivo. A validação estrutural refere-se ao processo de verificar se a estrutura interna do modelo é correta e se está construída de acordo com as teorias e conceitos que pretende representar (Furtado, 2018). Isso envolve analisar se o modelo não apenas reproduz comportamentos, mas também replica os mecanismos que produzem tais resultados (Ngo e See, 2012). A validação replicativa está relacionada à

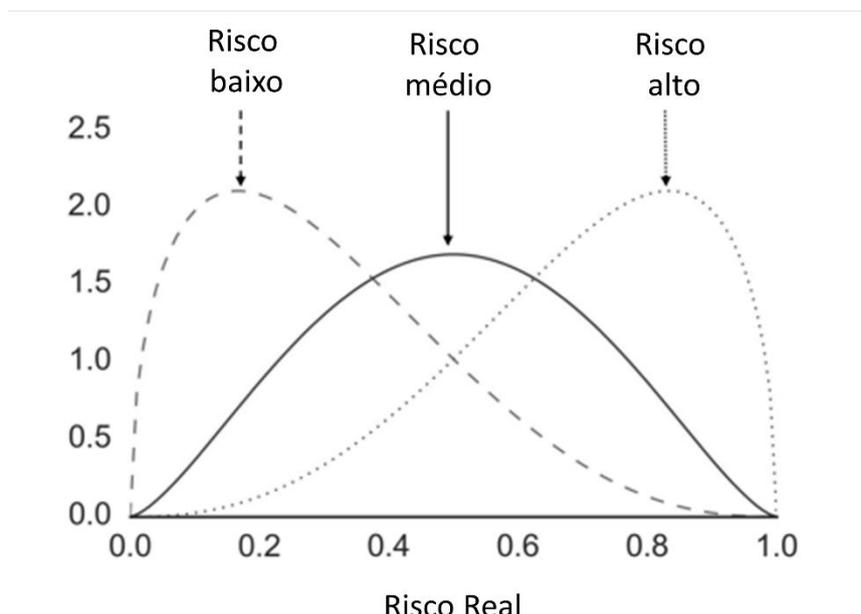
capacidade do modelo de reproduzir resultados ou padrões observados em estudos empíricos. Para isso, os dados obtidos no modelo são comparados com dados reais (Zeigler *et al.*, 2000). Finalmente, a validade preditiva fundamenta-se em teorias para avaliar se o modelo é capaz de prever com precisão os comportamentos dos agentes (Furtado, 2018).

Para **validar a aplicabilidade** do MBA proposto e sua eficácia no apoio à investigação de comportamentos relacionados à segurança em canteiros de obra, a presente pesquisa adotou essencialmente uma combinação de processos que adotam princípios das validações replicativa e estrutural. Para a **validação estrutural**, foi analisada a incorporação e reprodução das teorias e conceitos teóricos no modelo, os quais foram obtidos na etapa de **Conscientização**. Para a **validação replicativa**, foi analisada a reprodução de resultados empíricos, sendo considerados dados coletados na etapa de **Sugestão**, e em estudos empíricos anteriores.

Assim, inicialmente considerou-se um cenário de base que representa um canteiro de obras composto por três equipes de trabalho, com 20, 10 e 7 profissionais, totalizando 37 colaboradores trabalhando simultaneamente em atividades distintas, durante 900 dias. Cada equipe possui uma faixa específica de exposição ao risco, visto que diferenças nas condições e riscos do local de trabalho também podem interagir com o processo sociocognitivo relacionado ao comportamento de segurança dos trabalhadores. Dessa forma, o cenário de base também considera as distintas exposições ao risco dos três grupos de trabalhadores representados, uma vez que essas equipes, devido à natureza de suas funções, enfrentam diferentes níveis de risco. No modelo, foi atribuído um risco médio (0,5) aos agentes que representam os montadores de forma de parede e um risco alto (0,75) aos agentes que representam os montadores de andaime. As duas condições de risco simuladas refletem a probabilidade de exposição dos trabalhadores a condições inseguras e a gravidade média dos riscos associados a essas condições.

O risco real foi determinado com base em uma distribuição beta, definida como um continuum entre 0 e 1 (Figura 22). A gravidade do risco real na condição do local de risco médio mostra uma distribuição normal, enquanto a condição do local de alto risco tem uma distribuição negativamente distorcida.

Figura 22-Distribuição do risco da atividade



Fonte: Choi e Lee (2018) traduzido pela autora

Em relação as estratégias de gestão da segurança (treinamentos, diálogos e feedback), o cenário base considera que os treinamentos de segurança (NR-18 e NR-35) são realizados a cada 2 anos, os diálogos de segurança ocorrem diariamente e há uma probabilidade de 30% de aplicação de feedbacks comportamentais (positivos e negativos) aos trabalhadores durante as inspeções diárias de segurança.

O Quadro 12 apresenta os cenários de validação replicativa e estrutural analisados nesta etapa por aspectos objeto de validação e parâmetros adotados.

Quadro 12-Cenários de validação replicativa e estrutural

Aspectos de validação	Parâmetros adotados
Percepção de risco e o número de comportamentos inseguros	Os mesmos parâmetros do cenário de base. Treinamento bienal, diálogo diário e 30% de probabilidade de feedback comportamental.
Impacto do treinamento de segurança na percepção de risco	
Tolerância ao risco e atitude de segurança dos trabalhadores	
Impacto do treinamento de segurança na percepção de risco	Os mesmos parâmetros do cenário de base, exceto diálogo de segurança e feedback. Simulação considerando o treinamento e sem o treinamento.
Impacto do diálogo de segurança na percepção de risco	Os mesmos parâmetros do cenário de base, exceto treinamento de segurança e feedback. Simulação considerando o diálogo diário de segurança e sem o diálogo diário de segurança.
Impacto do feedback de segurança na tolerância ao risco	Os mesmos parâmetros do cenário de base, exceto treinamento de segurança e diálogo de segurança. Simulação considerando o feedback e sem o feedback.
Relação entre tolerância ao risco e clima de segurança organizacional (com ou sem feedback)	

Fonte: A autora

A partir do cenário de base, este estudo produziu um total de 14 cenários, considerando diferentes configurações de treinamento e diálogos de segurança. Os cenários abrangem treinamentos com periodicidades bienal, anual, semestral e trimestral, além de diálogos de segurança realizados diariamente, semanalmente ou sem a realização de diálogos (Figura 23). E para as simulações, o estudo considerou que cada cenário fosse reproduzido tendo em vista três níveis distintos de frequência do feedback de segurança: baixa (0,3), média (0,5) e alta (0,7).

Assim, as simulações variaram conforme a aplicação das três estratégias gerenciais de segurança objeto deste estudo (treinamento, diálogos e feedback), analisando a eficácia delas tanto separadamente quanto em conjunto. O impacto simultâneo desses parâmetros foi testado aplicando diferentes valores no modelo e comparando os resultados da simulação (ou seja, varredura de parâmetros).

Cada cenário / frequência de feedback foi reproduzido 100 vezes, totalizando 4200 simulações. Para cada cenário / frequência de feedback, foi

calculada a taxa de incidentes no canteiro de obras simulado de acordo com a relação entre o número de incidentes e o número de horas trabalhadas. Além disso, foi examinado o impacto na redução de comportamentos inseguros dos trabalhadores.

Figura 23 - Cenários de Simulação

ANÁLISE 1				ANÁLISE 2			
Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
TT-DDS	TS-DDS	TA-DDS	TB-DDS	TT-DSS	TS-DSS	TA-DSS	TB-DSS
Treinamento (Trimestral)	Treinamento (Semestral)	Treinamento (Anual)	Treinamento (Bienal)	Treinamento (Trimestral)	Treinamento (Semestral)	Treinamento (Anual)	Treinamento (Bienal)
Diálogo diário de segurança				Diálogo semanal de segurança			
ANÁLISE 3				ANÁLISE 4			
Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 1	Cenário 2		
TT-sD	TS-sD	TA-sD	TB-sD	sT-DDS	sT-DSS		
Treinamento (Trimestral)	Treinamento (Semestral)	Treinamento (Anual)	Treinamento (Bienal)	Diálogo diário de segurança			
Sem diálogo de segurança				Sem treinamento de segurança			

Fonte: A autora

Os resultados da etapa de **Desenvolvimento e Avaliação do artefato**, são apresentados no capítulo 6, quais sejam:

- Modelo baseado em agentes validado, e
- Protocolo ODD+D.

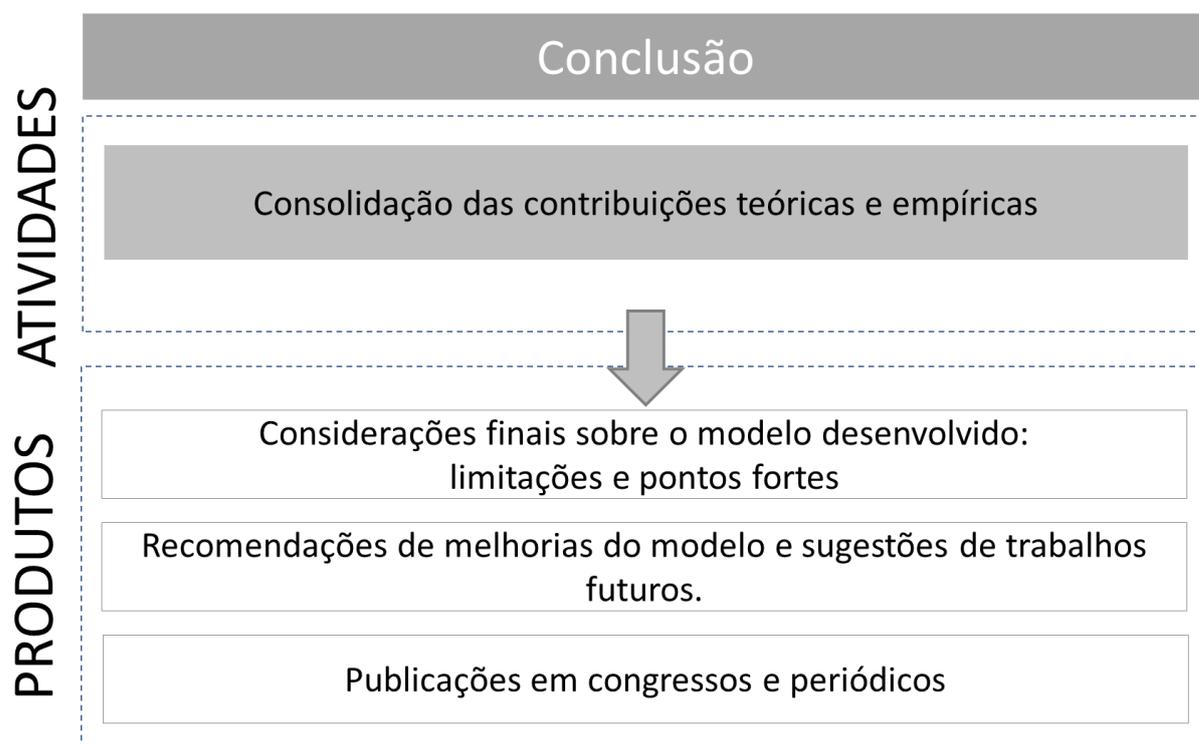
O Apêndice XI apresenta o código-fonte do modelo baseado em agentes.

4.7. CONCLUSÃO DO ARTEFATO

Nesta etapa realiza-se a estruturação final do instrumento, incluindo descrição de suas principais limitações, pontos fortes e recomendações de melhorias. Esta etapa busca solidificar as contribuições teóricas e empíricas do trabalho e produzir publicações científicas para disseminação dos resultados e discussões da pesquisa (Figura 24).

Os resultados desta etapa são apresentados capítulo 4.

Figura 24– Etapa de Conclusão



Fonte: A autora

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Neste capítulo são expostos e discutidos os resultados do presente estudo. O capítulo está dividido em quatro seções, que incluem: (1) os resultados da etapa Sugestão, apresentando os resultados do estudo empírico; (2) a discussão desses resultados em comparação com a literatura existente; (3) os resultados da etapa de Desenvolvimento e Avaliação, incluindo a estruturação final do MBA desenvolvido com base no protocolo ODD+D, bem como os resultados da validação estrutural, replicativa e de aplicabilidade; e, por fim, (4) a discussão dos resultados de simulação do MBA à luz da literatura.

5.1. RESULTADOS DA ETAPA DE SUGESTÃO

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados da etapa de sugestão, com destaque para o estudo empírico realizado na obra **A**, divididos em seis etapas: (1) mapeamento do sistema construtivo; (2) mapeamento das rotinas de segurança; (3) mapeamento dos riscos do canteiro de obra; (4) levantamento dos comportamentos inseguros dos montadores; (5) análise estatística do questionário e das entrevistas; (6) discussão dos resultados da etapa de sugestão.

5.1.1. Mapeamento do sistema construtivo

A sequência de atividades relacionadas à produção do sistema de parede de concreto moldado no local por unidade na obra **A** é apresentada na Figura 25. A execução da estrutura de cada pavimento ocorre em duas fases, com os lados A e B sendo construídos em momentos distintos. A empresa contava com apenas um conjunto de formas, suficiente para metade do pavimento. Portanto, após a concretagem das paredes do lado A e a obtenção da resistência de projeto necessária (geralmente em torno de 12 horas), as formas eram removidas do lado A e transferidas para o lado B.

Figura 25-Passo a passo do sistema de paredes de concreto



Fonte: A autora

O lado B já deveria estar preparado, com os reforços de parede, instalações elétricas e hidráulicas prontas para receber as fôrmas das paredes e dar continuidade às atividades. Após a retirada das fôrmas do lado B, uma vez que o concreto atingia a sua resistência adequada, estas foram deslocadas para prosseguir com as atividades no lado A do piso superior.

As etapas executivas são descritas a seguir:

1. **Montagem do sistema de guarda-corpo e linha de vida** – A partir do início das atividades em altura (acima de dois metros) iniciam-se as montagens do sistema de segurança no lado de execução das atividades. O sistema de segurança (Figura 26) é composto por 25 postes de linha de vida, mão francesa para instalação das plataformas de trabalho (piso metálico) e guarda-corpo ao longo das bordas da edificação. Ao terminar as atividades do lado A, é realizada a desmontagem e deslocamento do sistema para o pavimento superior.

Após a desforma do pavimento, é realizada a instalação da mão francesa, que é responsável por receber a passarela onde será alocado o piso metálico da plataforma de segurança. À medida que a plataforma do pavimento inferior é desmontada, as peças são deslocadas verticalmente e a plataforma é montada simultaneamente. Em seguida, são colocados os guarda-corpos e instalados os postes da linha de vida no pavimento.

Figura 26 - Passo a passo de montagem do Sistema de Segurança

a) Instalação de mão francesa



b) Instalação de passarela



c) Instalação do piso metálico



d) Instalação do guarda-corpo



e) Transporte e montagem do poste de linha de vida



Fonte: A autora

2. Marcação das linhas auxiliares para a montagem das formas –

Marcação das linhas auxiliares para a montagem das formas de paredes seguindo os eixos de referência (X e Y) definidos no projeto.

3. Instalação das armaduras entre as paredes e as lajes –

Realização da instalação de telas de aço soldada, de acordo com as especificações do projeto.

4. Montagem das formas -

O sistema de formas é composto por painéis pré-montados no local com parafusos, permitindo rápida montagem, transferência e desforma. Antes de cada ciclo de concretagem, aplica-se uma camada de desmoldante vegetal nas placas. A montagem requer o projeto de modulação, atenção às dimensões e posicionamento de escoras e acessórios. Após a montagem das formas das paredes, são instaladas as das lajes, escoradas conforme o projeto. A retirada do escoramento ocorre após 7 dias e resistência de 15MPa.

5. Concretagem –

A concretagem deve ser iniciada no ponto de encontro de 4 paredes (centro do bloco entre os apartamentos), permitindo que o concreto preencha toda a parte inferior da forma. Em seguida, pode-se prosseguir com a concretagem dos painéis de periferia.

6. **Remoção das formas** – É realizada a retirada das formas e acessórios (pinos e cunhas), e realizado o direcionamento das formas para o outro pavimento para iniciar a montagem.

As equipes responsáveis por cada etapa são apresentadas no Quadro 13.

Quadro 13: Responsáveis pela execução das etapas de trabalho

Equipes	Função	Quant.	Tipo
Montadores (Paredes)	Responsáveis pela montagem e desmontagem da forma das paredes e lajes, sendo o trabalho fragmentado por vão.	21	Mão de Obra própria (MOP)
Montadores (Proteção coletiva)	Responsáveis pela montagem e desmontagem das proteções coletivas.	7 (6 no andaime + líder de equipe)	MOP
Armadores	Responsáveis pela instalação das armações das paredes e lajes.	7 + 1 (prático)	MOP
Instaladores	Responsáveis pela instalação dos kits de elétrica e hidráulica.	5	Terceirizada
Pedreiros	Responsáveis pela concretagem das paredes e laje e serviços de acabamento.	2 (concretagem) + 4 (pós-forma)	MOP

Fonte: A autora

5.1.2. Mapeamento das rotinas de segurança

Antes do início de cada obra, ocorre um planejamento de segurança a longo prazo, envolvendo equipes de engenharia (produção e segurança), qualidade e suprimentos. Em intervalos de 15 dias, há um planejamento de médio prazo para identificar possíveis restrições nas atividades. Reuniões diárias da equipe de engenharia são realizadas para avaliar os treinamentos necessários e garantir a documentação adequada para as atividades da semana. A empresa não possui um limite de incidentes tolerável, e segue a política de “acidente zero”.

No início da contratação é realizado o treinamento admissional e ambientação, com quatro horas de duração. Os treinamentos relacionados às NR-18 e NR-35 são realizados de acordo com a periodicidade estabelecida nas

normas, a cada 2 anos. No entanto, no caso da NR-35, a empresa também pode optar por conduzir treinamentos práticos adicionais sempre que houver uma necessidade específica antes do início de determinada atividade.

Antes do início das atividades o técnico de segurança realiza a análise preliminar de risco (APR) da atividade. Diariamente é realizado o diálogo de segurança da empresa, que é realizado pelo técnico de segurança (duas vezes por semana) ou pelo encarregado/líder da equipe (três vezes por semana). A equipe de engenharia (segurança e produção) se divide semanalmente para percorrer o canteiro de obras e observar como os colaboradores se comportam (observação comportamental) e fornecer feedbacks aos colaboradores quando são notados comportamentos seguros e, principalmente, inseguros. Contudo, durante as observações conduzidas pelo técnico de segurança, não são fornecidos feedbacks aos colaboradores. O papel do técnico é analisar a atuação do encarregado/líder de equipe e avaliar como esse membro trata as questões relacionadas à segurança com sua equipe de trabalho.

As inspeções de segurança na empresa estão relacionadas à verificação da conformidade de máquinas e equipamentos com a NR-12. Cada item a ser inspecionado possui uma periodicidade definida e um profissional específico designado para realizar a tarefa, em conformidade com as recomendações da norma, que visa garantir a segurança no trabalho com máquinas e equipamentos. Assim, as inspeções não se relacionam com a análise do comportamento humano, mas sim com a observação comportamental, que é um procedimento interno da empresa e não possui ligação com a NR-12.

O Quadro 14 abaixo apresenta as estratégias gerenciais de segurança, periodicidade e responsável por cada atividade.

Quadro 14: Estratégias gerenciais de segurança da Empresa X

Atividade	Periodicidade	Responsável	Objetivo
Análise preliminar de risco (APR)	Antes do início da atividade	Técnico de Segurança	Identificação dos riscos das atividades a serem executadas.
Diálogo de Segurança Geral	2 vezes por semana	Técnico de Segurança	Relembrar os trabalhadores dos riscos associados as atividades que serão realizadas no dia de trabalho.
Diálogo de Segurança do Líder	3 vezes por semana	Líder da equipe	
Observação Comportamental	Engenheira de produção – 1 vez por semana Auxiliar de Engenharia – 2 vezes por semana Encarregado – 3 vezes por semana Mestre de obras – 3 vezes por semana Técnico de Segurança – Diariamente Obs.: A obra tem 2 auxiliares de engenharia, 3 encarregados e 3 mestres de obra.	Equipe de engenharia (Produção e Segurança)	Observar o comportamento dos trabalhadores durante a execução das atividades. Obs.: Podem dar feedback para os trabalhadores.
Índice de práticas seguras (IPS)	3 vezes por semana (1 da área externa, 1 da área interna e 1 da parede de concreto). Obs.: Não é dado feedback para os trabalhadores.	Técnico de Segurança	Medir a adesão dos trabalhadores aos padrões de segurança, ao aferir o número de comportamentos inseguros durante a execução das atividades.
Treinamento Admissional e Ambientação	Ao início da contratação	Técnico de Segurança	Conscientizar os trabalhadores em relação aos riscos

Atividade	Periodicidade	Responsável	Objetivo
Treinamento NR-18 e NR-35	A cada dois anos ou de acordo com a necessidade da obra.	Técnico de Segurança	associados as atividades e a como executar as tarefas de forma segura.

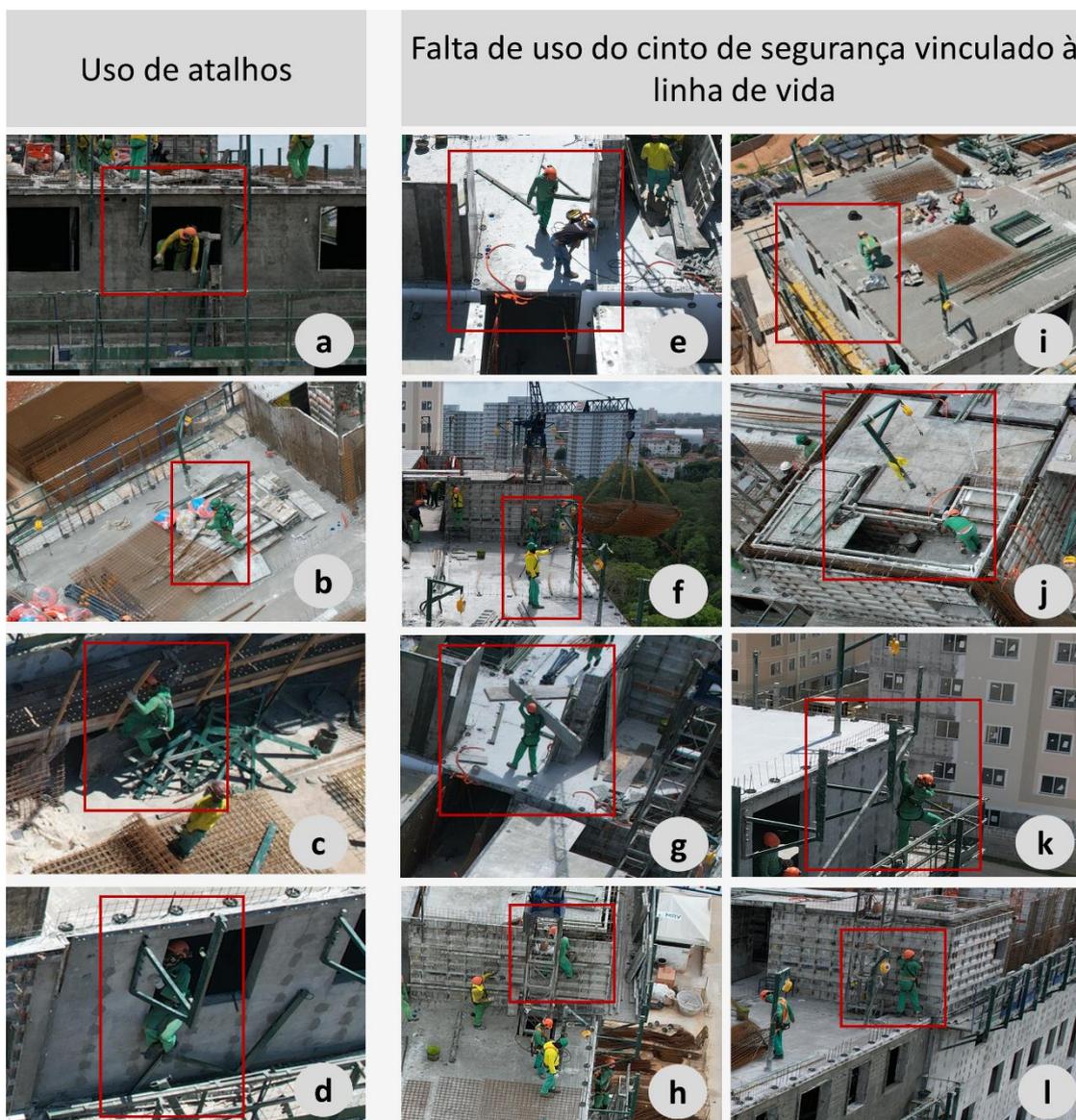
Fonte: A autora

5.1.3. Levantamento dos comportamentos inseguros

Das 1.028 fotos registradas e analisadas, 3,5% mostram comportamentos inseguros dos trabalhadores. Seguindo a classificação de Reese e Eidons (2006), foram identificadas cinco categorias de práticas inseguras: (1) violar regras de segurança conhecidas e procedimentos de trabalho seguros, (2) deixar de usar equipamentos de proteção individual exigidos, (3) envolver-se em outras práticas inseguras (não violações), (4) assumir uma posição insegura ou postura insegura e (5) usar ferramentas e equipamentos de forma insegura improvisada. Sendo que as categorias 1 e 2 se destacam pela grande quantidade de evidências de trabalhadores utilizando atalhos ou não utilizando cintos de segurança relacionados à linha de vida (Figura 27).

Na primeira categoria de análise, foram identificados problemas relacionados ao uso inadequado de atalhos, em que colaboradores foram observados passando pelas aberturas da janela [Figura 27 (a, d)], sobre materiais [Figura 27 (b)] e dando saltos para descer de plataformas [Figura 27 (c)], ao invés de seguir práticas seguras como utilizar escadas. Na segunda categoria, a falta de uso do cinto de segurança vinculado à linha de vida foi destacada [Figura 27 (e, f, g, h, i, j, l)]. Apesar da presença de postes com linha de vida, colaboradores realizaram atividades em altura sem estar devidamente ancorados. O monitoramento com drone também mostrou trabalhadores em áreas sem guarda-corpo [Figura 27 (j)], aumentando o risco de queda. Mesmo em locais com guarda-corpo, o uso inadequado desse elemento evidenciou a necessidade de ancoragem adequada para garantir a segurança do trabalhador [Figura 27 (k)].

Figura 27 - Comportamentos inseguros durante a execução das paredes de concreto



Fonte: A autora

A análise das fotos durante o levantamento dos comportamentos inseguros e o mapeamento das estratégias de segurança da Obra A levantam questões sobre sua adequação ao perfil dos colaboradores, ao nível de risco das tarefas e à eficiência do sistema de gestão de segurança da Empresa X. É possível relacionar os comportamentos inseguros dos trabalhadores com falhas no sistema de gestão de saúde e segurança da organização, visto que os comportamentos inseguros persistem semanalmente, mesmo sendo passíveis de prevenção.

5.1.4. Mapeamento dos riscos do canteiro de obras

Após a observação em campo dos comportamentos inseguros, foi possível avaliar os riscos associados as situações analisadas (Quadro 15).

Quadro 15: Análise de Riscos e Severidade

Situação	Riscos identificados	Gravidade (1 a 3)	Probabilidade** (1 a 3)	Nível de risco*** (G x P)
Execução de atividades em altura, próximo a borda da periferia, sem a instalação completa da plataforma de segurança/ guarda-corpo e sem uso de linha de vida [Figura 33 (f)]	Queda de altura Queda de materiais	3	3	9
Execução de atividades em altura, com uso de banco em cima da plataforma de segurança, sem uso de linha de vida.	Queda de altura	3	3	9
Deslocamento de formas em altura, sem montagem do guarda-corpo	Colisão Queda de altura	3	3	9
Deslocamento por cima de materiais, durante espera da montagem de armadura.	Queda de altura Perfuração	3	2	6
Uso de janelas como atalho para deslocamento pelo pavimento. [Figura 33 (a)] / Uso de atalhos para deslocamento.	Queda de altura	2	1	2

*A gravidade e a probabilidade podem ser avaliadas em uma escala de 1 a 3, onde: Gravidade (G): 1 = Baixa, 2 = Moderada, 3 = Alta. **Probabilidade (P): 1 = Baixa, 2 = Moderada, 3 = Alta. ***O Nível de Risco (G x P) é obtido multiplicando os valores de gravidade e probabilidade.

Fonte: A autora

Embora as atividades já tenham riscos inerentes, a falta de uso dos equipamentos de proteção individual (EPIs) e o início das atividades sem a instalação completa do sistema de proteção coletiva aumentam significativamente esses riscos, elevando a probabilidade de acidentes e quase-acidentes.

5.1.5. Percepção de segurança dos trabalhadores e dos gestores

Este item apresenta os principais resultados encontrados com a aplicação do questionário sobre percepção de risco e clima de segurança (Apêndice V) em 26 colaboradores da Obra A. Essa abordagem quantitativa permitiu identificar padrões, tendências e correlações entre percepções e experiências desses indivíduos no contexto específico da Obra A.

No apêndice V são apresentadas as respostas dos trabalhadores e gestores. No apêndice VI são apresentadas as tabelas com parâmetros estatísticos básicos, como mínimos, máximos, médias, desvio padrão, entre outros, para cada item analisado.

Sobre a influência do clima de segurança organizacional e de grupo no comportamento de segurança dos trabalhadores (Tabela 1):

- Não há evidências significativas para aceitar a Hipótese 1 ($p=0.1360$), dado que $p\text{-valor} > 0.05$. Ou seja, não evidência que corrobore que o CSO prediz o CSG.
- Ao se analisar a Hipótese 2 ($p= 2.2e-160$), observa-se o impacto positivo do clima de segurança organizacional no comportamento de segurança dos trabalhadores, indicado pelo $p < 0.5$.
- A Hipótese 3 ($p= 0.0272$) é aceita e indica a importância da interação social com o grupo no comportamento seguro do trabalhador.
- A Hipótese 4 ($p= 0.0334$) é validada e indica que a atitude pessoal dos trabalhadores prediz de forma significativa o comportamento seguro do trabalhador.

Tabela 1 - Resultados das hipóteses (1 a 4)

Hipótese	p-valor	Resultado
Hipótese 1	0.1360	Rejeitada
Hipótese 2	2.2e-160	Aceita
Hipótese 3	0.0272	Aceita
Hipótese 4	0.0334	Aceita

Fonte: A autora

Ao analisar o impacto individual de cada ação gerencial de segurança, de acordo com a percepção dos trabalhadores (Tabela 2), os resultados das hipóteses mencionadas indicam que:

- O impacto de treinamentos de riscos gerais (Hipótese 5) é mediano ($\mu=5,0$) e apresenta grande variabilidade nas respostas, indicando divergência entre os entrevistados.
- Treinamentos para atividades em altura (Hipótese 6) tem impacto baixo ($\mu = 3,0$), com alta divergência e variabilidade de respostas.
- Os diálogos diários de segurança (Hipótese 7) tem impacto alto ($\mu = 9,13$) e indica uniformidade nas respostas e consistência na percepção dos trabalhadores.
- Os diálogos semanais de segurança (Hipótese 8) apresenta um impacto alto ($\mu = 9,13$), com uma moderada variação nas respostas, indicando dispersão entre as opiniões.
- Os feedbacks positivos (Hipótese 9) são altamente eficazes ($\mu = 9,69$), apresentando baixa dispersão entre os dados.
- Os feedbacks negativos (Hipótese 10) são extremamente eficazes ($\mu = 9,91$), e tem uma variação mais baixa em relação aos dados.

Tabela 2 - Resultados das hipóteses (5 a 10)

Hipótese	Média	Desvio Padrão (sd)	Variância (Var)
Hipótese 5	5.00	3.5459	12.5731
Hipótese 6	3.00	3.6110	13.0395
Hipótese 7	9.13	1.1403	1.3003
Hipótese 8	8.17	1.5566	2.4229
Hipótese 9	9.69	0.9057	0.8204
Hipótese 10	9.91	0.2818	0.0794

Fonte: A autora

Ao analisar a dispersão dos dados das situações analisados (Hipótese 11), os resultados indicam que os trabalhadores têm percepções diferentes para uma mesma situação. A situação 3, em particular, apresenta a maior dispersão ($sd=2.9600$, $var=8.7586$) e representa uma situação em que mais de dois indivíduos realizam a montagem das formas na área interna de um cômodo. Nas outras situações, embora exista alguma variação, ela é menos pronunciada (Tabela 3).

Tabela 3 - Resultados da hipótese 11

Situação	sd	var
1	2.6148	6.8374
2	2.7246	7.4236
3	2.9600	8.7586
4	2.5567	6.5369
5	2.0986	4.4039

Fonte: A autora

A tabela 4 apresenta os resultados da hipótese 12 e 13. Ao se avaliar a Hipótese 12, observa-se que os trabalhadores e gestores possuem percepções de risco significativamente diferentes na situação que valida a teoria do risco (Situação 1). A situação 1 representa uma situação em que o indivíduo está realizando a montagem das formas na periferia da edificação sem a instalação completa das plataformas de proteção coletiva e sem o uso da linha de vida. Ele

está relacionado ao cenário mais perigoso e inseguro que pode ser vivenciado pelos montadores de forma, e é considerado pelos gestores da obra como a situação de maior probabilidade de acidente e com maior nível do impacto. Entretanto, enquanto os gestores possuem percepções mais rigorosas, os trabalhadores apresentam percepções variadas, as quais indicam uma visão mais branda do risco.

Porém, ao comparar a tolerância ao risco dos trabalhadores com a dos gestores (Hipótese 13), os resultados indicam que os dois grupos apresentam padrões similares de tolerância. Este resultado indicado que os trabalhadores da Obra **A** estão alinhando com as expectativas de segurança da equipe de segurança.

Tabela 4 - Resultados da hipótese 12 e 13

Hipótese	Situação	p-valor	Resultado
Hipótese 12	1	0.0133	Aceita
	2	0.4678	Rejeitada
	3	0.6619	Rejeitada
	4	0.5421	Rejeitada
	5	0.3403	Rejeitada
Hipótese 13	1	0.1313	Rejeitada
	2	0.3051	Rejeitada
	3	0.8621	Rejeitada
	4	0.4211	Rejeitada
	5	0.5443	Rejeitada

Fonte: A autora

Os resultados do estudo (Hipótese 11, 12 e 13) validam o uso da Teoria do Risco para representar o processo de tomada de decisão de segurança dos colaboradores da construção civil.

Analisando o impacto das ações gerenciais no comportamento de segurança, foi avaliado o impacto de treinamentos com diferentes periodicidades

(3, 6, 12 e 24 meses) utilizando o teste-*t* independente (Hipótese 14). Os resultados indicam que:

- Treinamentos a cada 3 e 6 meses possuem impactos similares entre si ($t=1.1172$, $p=0.2700$),
- Treinamentos a cada 3 meses comparados com os de 12 meses ($t=3.0517$, $p=0.0058$) e de 24 meses ($t=4.6927$, $p=0.0001$), apresentam um maior impacto na percepção de risco dos trabalhadores,
- Treinamentos a cada 6 meses comparados com os de 12 meses ($t=2.6289$, $p=0.0153$) e de 24 meses ($t=4.3935$, $p=0.0002$) possuem impactos mais significativos na percepção de risco dos colaboradores.

Entretanto, ao comparar treinamentos diferentes (Hipótese 15), mas com a mesma periodicidade, ou seja, a cada 3 meses ($t=0.4862$, $p=0.6293$), 6 meses ($t=0.8250$, $p=0.4183$), 12 meses ($t=0.5703$, $p=0.5715$) e 24 meses ($t=1.1124$, $p=0.2720$), observam-se impactos semelhantes para os colaboradores.

Ao comparar o impacto entre diferentes estratégias gerenciais de segurança (Hipótese 17), treinamentos de segurança e comunicação de segurança em frequências diferentes, tem-se que a comunicação de segurança diária impacta mais que treinamentos a cada 6 meses ($t=-2.9653$, $p=0.0071$), 12 meses ($t=-3.7407$, $p=0.0011$) e 24 meses ($t=-6.8829$, $p=2.448e-07$). Em relação a diferença entre a comunicação de segurança semanal e os treinamentos periódicos, nota-se um impacto mais significativo destes quando os treinamentos possuem menor periodicidade, 12 meses ($t=-2.4772$, $p=0.0192$) e 24 meses ($t=-5.4618$, $p=6.389e-06$).

Esses resultados foram validados a partir de observações (respostas qualitativas) dos colaboradores respondentes que afirmaram a importância de ambas as estratégias para manter eles e os seus colegas de trabalho longe de acidentes. Nestas observações, os respondentes pontuam a importância do diálogo de segurança como ferramenta de manutenção da segurança por: relembrar diariamente os riscos no ambiente de trabalho, permitir que os profissionais tirem dúvidas, fomentar o aprendizado com os erros do dia anterior,

e reforçar os treinamentos, por trazer os ensinamentos de como executar as atividades com segurança.

Apesar do impacto positivo da comunicação de segurança na percepção de risco dos trabalhadores, a Hipótese 16 não apresenta uma diferença estatisticamente significativa deste aspecto ($p= 0.1233$).

Tabela 5 - Resultados das hipóteses (14 a 18)

Hipótese	Cenário	T	p-value	Resultado
Hipótese 14	Treinamento Iguais (3 x 6 meses)	1.1172	0.2700	Rejeitada
	Treinamento Iguais (3 x 12 meses)	3.0517	0.0059	Aceita
	Treinamento Iguais (3 x 24 meses)	4.6927	0.0001	Aceita
	Treinamento Iguais (6 x 12 meses)	2.6289	0.0153	Aceita
	Treinamento Iguais (6 x 24 meses)	4.3935	0.0002	Aceita
Hipótese 15	Treinamentos Diferentes (a cada 3 meses)	0.4862	0.6293	Rejeitada
	Treinamentos Diferentes (a cada 6 meses)	0.8250	0.4183	Rejeitada
	Treinamentos Diferentes (a cada 12 meses)	0.5702	0.5715	Rejeitada
	Treinamentos Diferentes (a cada 24 meses)	1.1124	0.2720	Rejeitada
Hipótese 16	DDS x DSS	1.5771	0.1233	Rejeitada
Hipótese 17	Treinamento (6 meses) x DDS	-2.9653	0.0071	Aceita
	Treinamento (12 meses) x DDS	-3.7407	0.0011	Aceita
	Treinamento (24 meses) x DDS	-6.8829	2.448e-07	Aceita
	Treinamento (12 meses) x DSS	-2.4772	0.0192	Aceita
	Treinamento (24 meses) x DSS	-5.4618	6.389e-06	Aceita
Hipótese 18	Feedback Positivo x Negativo	-1.0749	0.2922	Rejeitada

Fonte: A autora

Os trabalhadores também foram questionados quanto ao impacto dos feedbacks, tanto positivos quanto negativos, na sua percepção de risco (Hipótese 18). Enquanto os feedbacks positivos se referem a elogios produzidos a partir de um comportamento seguro observado, os feedbacks negativos relacionam-se as correções feitas por parte dos gestores ao observarem um comportamento inseguro ou inadequado. Não foi observada uma diferença significativa entre eles ($p=0.2922$), mas ambos, segundo a percepção dos trabalhadores, impactam positivamente na compreensão da execução segura da atividade.

5.1.6. Estrutura Conceitual do processo cognitivo-comportamental dos trabalhadores da construção civil

Esta seção apresenta a estrutura conceitual do processo cognitivo-comportamental dos trabalhadores da construção civil para tomada de decisão (Figura 28) com base nos resultados obtidos neste presente estudo a partir do levantamento da percepção de segurança de colaboradores em campo (item 4.4.1). Esta estrutura é oriunda da estrutura teórica derivada da literatura, em especial das descobertas empíricas de Choi et al. (2017b), como apresentado no Capítulo 2.

A estrutura conceitual considera que as três etapas do processo cognitivo dos indivíduos (risco percebido, avaliação do risco e tomada de decisão) estão relacionadas com os conceitos da Teoria do risco (percepção e tolerância ao risco). Quatro ações gerenciais foram consideradas fontes de influência no comportamento dos trabalhadores (comunicação de segurança, treinamento de segurança, inspeção de segurança e feedback de segurança) (ver Quadro 1)

- A hipótese 14 e 15 validam o impacto dos treinamentos de segurança na percepção de risco dos trabalhadores;
 - A hipótese 6 foi rejeitada, indicando baixo impacto dos treinamentos para trabalho em altura. No entanto, a hipótese 5 foi aceita, confirmando o efeito positivo dos treinamentos de segurança. Embora ambas as hipóteses considerem uma periodicidade de treinamentos a cada dois anos, as hipóteses 14 e 15 sugerem que, ao aumentar a frequência

dos treinamentos, o impacto será mais significativo e positivo.

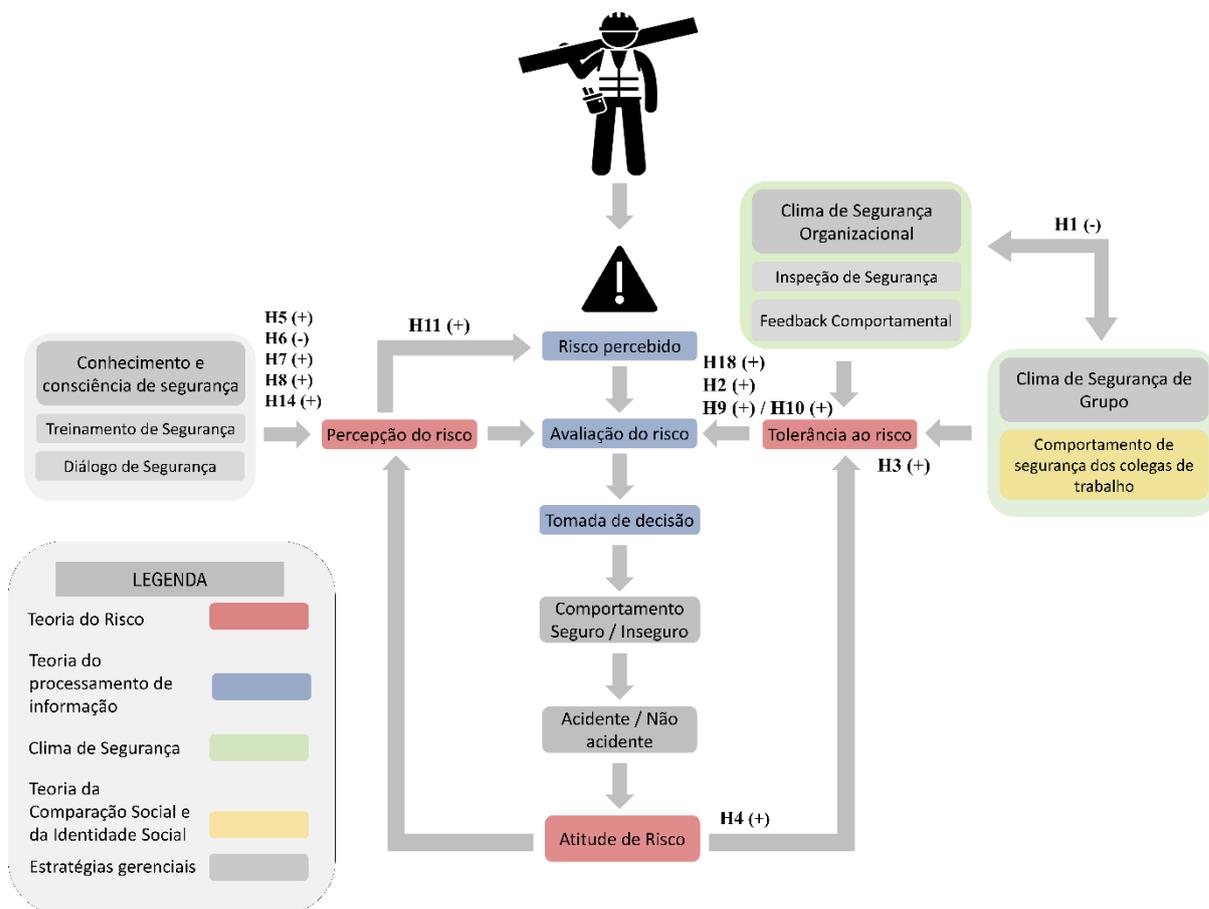
- A hipótese 16 confirma o impacto da comunicação de segurança na percepção de risco dos colaboradores, e
- A hipótese 18 demonstra que os feedbacks possuem impacto na tolerância ao risco dos trabalhadores, independentemente de ser positivo ou negativo.

Estas ações gerenciais, alinhadas ao Conceito de Clima de Segurança, exercem influência à prioridade atribuída à segurança pelos membros da organização. Além disso, com base na Teoria da Identidade Social e na Teoria da Comparação Social, os funcionários tendem a espelhar comportamentos seguros observados nos seus colegas de trabalho e gestores, e estas impactam no clima de segurança de grupo (Hipótese 3).

Embora a Hipótese 1 tenha sido rejeitada, indicando que o CSO não prediz diretamente o CSG, a estrutura conceitual considera o impacto de um sobre o outro. Visto que a rejeição da hipótese não implica que o CSO seja irrelevante, mas sim que seu efeito pode estar atenuado ou moderado por outras variáveis que não foram completamente investigadas nesta pesquisa, devido a complexidade das interações entre fatores organizacionais e individuais.

A hipótese 2 foi aceita, indicando que o CSO prediz a tolerância ao risco dos trabalhadores. Visto isso, considera-se que as inspeções de segurança e o feedback de segurança são indicadores de priorização da segurança por parte da empresa, e impactam diretamente no clima de segurança organizacional. Para a estrutura proposto, inspeções de segurança compreendem análises do comportamento / situação dos trabalhadores ante procedimentos de segurança, áreas de risco e ações inseguras.

Figura 28 - Estrutura conceitual do processo cognitivo-comportamental dos trabalhadores da construção civil



Fonte: A autora

5.2. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA ETAPA DE SUGESTÃO

Os resultados da etapa de sugestão foram essenciais para compreensão do impacto do passo a passo do processo construtivo, das práticas de segurança adotadas pela empresa e dos riscos intrínsecos às atividades, no comportamento de segurança dos trabalhadores.

A etapa de levantamento dos comportamentos inseguros foi crucial para verificar que, mesmo com a Obra **A** utilizando um sistema de construção mais industrializado e possuindo um sistema de gestão de segurança, os trabalhadores ainda exibem comportamentos inseguros, e que estes persistiram ao longo das semanas do estudo, indicando que não se trata de um acontecimento pontual. Dado que a empresa realiza observações comportamentais e coleta o índice de práticas seguras, o fornecimento de

feedbacks aos trabalhadores pode ser uma prática que colabore para a redução dos comportamentos inseguros.

Os trabalhadores precisam se conscientizar de seu comportamento indesejado, desta forma, precisam ser motivados a melhorar, a partir de um feedback corretivo (Geller, 2005). Assim, durante as práticas de segurança, os comportamentos inseguros podem ser identificados e corrigidos com feedbacks. Entretanto, nem sempre haverá alguém disponível para observar os trabalhadores, tornando impossível punir todos imediatamente e a cada vez que cometerem um comportamento indesejado (Choudhry *et al.*, 2014).

Neste sentido, uma alternativa adequada seria o compartilhamento dos principais comportamentos inseguros com toda a equipe encarregada da observação comportamental. A partir de uma reunião mensal, seriam discutidos os comportamentos indesejados observados durante o mês, de modo a fornecer feedback específico durante as observações comportamentais e incentivar a redução desses comportamentos.

Por outro lado, encorajar o trabalhador a adotar comportamentos desejáveis por meio de elogios ou reconhecimento pela organização é uma prática que apresenta resultados mais promissores na redução de comportamentos inseguros (Choudhry *et al.*, 2012; Zhang e Fang, 2013). Isso se deve ao fato de que nem sempre é possível observar os trabalhadores durante a realização de comportamentos indesejáveis (Choudhry *et al.*, 2012). A partir do encorajamento do comportamento seguro, a frequência de comportamentos desejáveis pode ser aumentada pelo reforço positivo (Lingard e Rowlinson, 1994). O uso de feedbacks positivos, ao observar comportamentos seguros dos trabalhadores e durante os diálogos de segurança, além de uma estratégia de incentivo, permite reforçar e relembrar aos trabalhadores dos comportamentos adequados e seguros durante a execução das tarefas de trabalho.

Assim, observa-se que tanto o feedback positivo quanto o negativo desempenham um papel importante e imprescindível na redução dos comportamentos inseguros dos trabalhadores nos canteiros de obras, e a união de ambos é uma alternativa válida a ser aplicada nas obras. Entretanto, o

feedback fornecido precisa ser claro e específico sobre informações relacionadas ao desempenho dos trabalhadores (Choudhry *et al.*, 2014).

Observa-se que o ritmo de produção também atua como um gatilho para comportamentos inseguros dos trabalhadores (Choudhry *et al.*, 2014). Fatores como a urgência para a conclusão do trabalho, a necessidade de cumprir metas de produção excessivas, prioridades conflitantes e cronogramas de construção apertados podem influenciar significativamente o comportamento dos trabalhadores (Choudhry *et al.*, 2012). Esses fatores foram observados durante a etapa de mapeamento do sistema construtivo, considerando que a construção de um pavimento ocorre a cada três dias de trabalho e que as atividades de montagem são realizadas em apenas um turno. Além disso, a montagem do sistema coletivo de segurança é executada simultaneamente à estrutura do pavimento.

A partir da etapa de levantamento dos comportamentos inseguros, observou-se que, em alguns momentos, atividades em altura são iniciadas sem a montagem completa das plataformas de segurança (Figura 25). Sendo este, um exemplo de priorização da produção em detrimento da segurança, levando os trabalhadores a se exporem a situações de risco, mesmo cientes dos perigos. Ao permitir esses comportamentos, a equipe de gestão transmite aos trabalhadores a ideia de que o risco não é tão grave e que é aceitável se expor a ele. Isso ocorre porque a equipe de segurança permite tais práticas e não repreende os trabalhadores por iniciar atividades sem seguir integralmente os procedimentos de segurança. Entretanto, ao fornecer feedbacks que instruem os trabalhadores a não realizar as atividades em caso de atraso na instalação da plataforma de segurança, destacariam as verdadeiras prioridades entre produção e segurança (Zang e Fang, 2013). Isso se tornaria um poderoso incentivo para promover atitudes e comportamentos de segurança entre os trabalhadores (Zang e Fang, 2013).

Ao conduzir uma análise estatística dos dados obtidos por meio do questionário aplicado na Obra **A**, foi possível obter insights valiosos sobre diversos aspectos relacionados a percepção de risco dos montadores e do clima de segurança do canteiro de obras, bem como o impacto das práticas de

segurança, sua relevância para o aprimoramento das condições laborais e da segurança no local, e desenvolvimento do modelo baseado em agentes.

O treinamento de segurança, o diálogo de segurança e os feedbacks comportamentais impactam no comportamento de segurança dos trabalhadores da construção civil. Estas ações correspondem a estratégias que buscam melhorar a segurança influenciando o comportamento dos funcionários, e não alterando as condições físicas do canteiro (Choudhry *et al.*, 2012). Os treinamentos de segurança são responsáveis por melhorar a consciência humana e os hábitos de segurança (Pearson, 1995), sendo um dos principais métodos utilizados para melhorar a segurança (Hale, 1984). Entretanto, existem evidências de que este nem sempre é eficaz, o que pode estar relacionado à variabilidade da qualidade do treinamento fornecido (Choudhry *et al.*, 2014)

O resultado do teste da hipótese 1 sugere que o clima de segurança de grupo não intercede a relação entre o clima de segurança organizacional e o comportamento de segurança, diferente do resultado encontrado por Choi e Lee (2018), que afirma que o clima de segurança de grupo intercede parcialmente a relação entre o clima de segurança organizacional e o comportamento de segurança. A aceitação das hipóteses 2, 3 e 4 é consistente com os resultados encontrados no estudo de Choi e Lee (2018). Entretanto, enquanto o estudo de Choi e Lee (2018) analisou dados de três países (Coreia, Estados Unidos e Arábia Saudita), este estudo foca na realidade brasileira. Apesar de Choi e Lee (2018) terem comprovado que o clima de segurança organizacional e de grupo são preditores significativos do comportamento de segurança, os três países apresentam relações diferentes devido às diferenças culturais e contextos organizacionais. Além disso, enquanto os autores analisaram a relação entre a identificação dos trabalhadores com o projeto e o comportamento de segurança, esta pesquisa focou no impacto das intervenções gerenciais de segurança.

O resultado do teste da hipótese 11 difere do encontrado por Choi e Lee (2018), cujos dados comprovam uma diferença significativa entre a percepção de risco dos trabalhadores e dos gestores. No entanto, os resultados deste estudo indicam que os trabalhadores possuem uma conscientização dos riscos similar à dos gestores na maioria das situações avaliadas, apresentando diferença apenas em um deles (Situação 1). Isso demonstra que, enquanto

alguns riscos são mais claros para os trabalhadores, outros precisam de mais atenção e reforço para alinhar com as expectativas de segurança dos gestores. Além disso, sugere-se a necessidade de realizar treinamentos de segurança não apenas para os trabalhadores, mas também para toda a equipe responsável pela observação comportamental, a fim de alinhar as percepções de risco entre a equipe.

5.3.RESULTADOS DA ETAPA DE DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO

Esta seção apresenta e discute os resultados da construção do modelo baseado em agentes para apoiar a gestão da segurança na construção civil desenvolvido a partir do estudo empírico realizado. Na subseção 5.3.1 os detalhes do modelo são descritos seguindo a estrutura de um protocolo ODD+D. Na subseção 5.3.2 são apresentados os resultados da validação do modelo. Na seção subseção 5.3.3 são discutidos os resultados obtidos com a construção e validação do modelo.

5.3.1. Apresentação do modelo desenvolvido

Esta subseção detalha os itens do protocolo ODD+D: descrição geral, conceitos de design e detalhes.

Descrição geral

Esse modelo foi desenvolvido para conduzir experimentos utilizando simulações computacionais, com o objetivo de analisar o impacto das estratégias de gestão da segurança, como treinamento, diálogo de segurança e inspeções com feedback, nos comportamentos seguros dos trabalhadores de um canteiro de obras. Este modelo é uma adaptação do MBA desenvolvido por Choi e Lee (2018), que foi ajustado para realizar um estudo de caso de acordo com cenário brasileiro e os objetivos deste estudo, apresentando um formato acessível e útil para gestores de obra e técnicos de segurança.

O modelo integra processos sociocognitivos dos trabalhadores, considerando sua interação com o ambiente (percepção de risco), a interação com os colegas de trabalho (clima de segurança do grupo) e a interação com os gestores (clima de segurança organizacional). O modelo examina o impacto

individual e conjunto de diferentes estratégias gerenciais, como treinamento de segurança, diálogos de segurança diários e semanais, e a frequência do feedback, sobre os comportamentos de segurança em um ambiente de alto risco.

Propósito

O modelo tem como objetivo representar o processo sociocognitivo dos comportamentos de segurança dos trabalhadores da construção civil, para compreender o impacto de diferentes ações gerenciais voltadas à segurança no processo de tomada de decisão dos trabalhadores da construção civil. Esta ferramenta visa identificar os melhores cenários e práticas a serem adotados, fornecendo suporte à tomada de decisão dos gestores de segurança ao apontar as ações mais eficazes para promover um ambiente de trabalho mais seguro e saudável nos canteiros de obras. O objetivo deste modelo é ser utilizado como uma ferramenta de diagnóstico, auxiliando os gestores na tomada de decisões durante o planejamento de longo prazo da segurança, ao determinar o melhor cenário a ser seguido de acordo com a realidade do canteiro de obras.

Variáveis e escalas

Os agentes desse modelo representam colaboradores da construção civil atuando em um canteiro de obras artificial. Os trabalhadores realizam comportamentos de segurança individualmente, influenciados pela interação entre seu processo cognitivo e o ambiente, incluindo as condições de risco do local, o comportamento dos colegas, as ações gerenciais (treinamento de segurança, diálogo de segurança e feedback comportamental) e as percepções do clima de segurança organizacional e de grupo.

Para as simulações, considerou-se os agentes como montadores de forma e andaime de obras de paredes de concreto, armadores e instaladores (hidráulica e elétrica) que trabalham em uma obra de parede de concreto.

As condições do canteiro de obras são representadas pelas seguintes variáveis:

- Risco real da atividade;
- Probabilidade do feedback gerencial;
- Frequência dos treinamentos (NR-18 e NR-35);

- Diálogo de segurança (Diário e Semanal).

O risco real da atividade representa o nível de perigo que a atividade executada pelos trabalhadores apresenta, relacionando-se a probabilidade dos trabalhadores serem expostos a condições inseguras. Condição insegura é uma situação laboral que demanda medidas proativas de segurança, aliadas ao processo cognitivo, com o intuito de evitar acidentes.

A probabilidade de exposição a condições inseguras e ao nível de risco associado a essas condições são determinadas pelo contexto de risco no local de trabalho. Quando um trabalhador se encontra em condições seguras e não comete erros, ele adota um comportamento seguro.

O Quadro 16 a seguir apresenta as variáveis e escalas do modelo relacionadas às condições do canteiro, que estão vinculadas às estratégias de gestão de segurança implementadas no local.

Quadro 16 - Variáveis e escalas do modelo (Condições do canteiro)

Variável	Descrição	Valor
Risco real da atividade	Probabilidade de ocorrência do acidente	Intervalo de 0 a 1
Frequência do feedback	Probabilidade de os trabalhadores receberem feedback dos gestores após uma ação insegura ou segura.	30%, 50% ou 70%
Frequência do treinamento de segurança (NR-18 e NR-35)	Periodicidade de treinamentos de segurança	A cada 3 meses (90 steps), 6 meses (180 steps), 12 meses (360 steps) e 24 meses (720 steps)
Diálogo de segurança	Periodicidade da comunicação de segurança	Diário ou Semanal (a cada 7 steps)

Fonte: A autora

Para o cenário de base, considera-se as seguintes condições:

- Para os montadores de forma, o modelo considera a possibilidade de execução da montagem das formas na periferia da edificação sem a instalação completa das plataformas de proteção coletiva e sem o uso da

linha de vida (Atividade acima de 2 metros). Estes cenários são considerados o de maior perigo e risco de queda dos trabalhadores.

- Para os montadores de andaime considera-se constante o grau elevado de exposição ao perigo (altura) e maior risco de queda.
- Para os demais trabalhadores, considera-se um nível médio de risco, indicando uma probabilidade média de se expor a uma condição insegura.

O Quadro 17 apresenta e descreve as variáveis que incidem sobre as condições dos agentes trabalhadores, e as faixas de valores que podem ser adotadas.

Quadro 17 - Variáveis e escalas do modelo (Condições do agente)

Variável	Descrição	Valor
Atitude de risco	Tendência de se expor ou evitar riscos	0 a 1 (adverso ao risco / busca o risco)
Tolerância ao risco	Padrão interno de um indivíduo para determinar o comportamento seguro	0 a 1 (aceita a condição de risco e não realiza um comportamento seguro para prevenir o acidente)
Percepção de risco	Padrão interno de um indivíduo para subestimar ou superestimar o risco	U (0.6, 1.2) – Distribuição uniforme
Impacto do treinamento de segurança	Impacto do treinamento na percepção de risco do trabalhador	0.2
Impacto do diálogo de segurança	Impacto da comunicação na percepção de risco do trabalhador	0.001
Comportamento Inseguro	Decisão do agente de ter um comportamento seguro ou inseguro	Variável binária (1 = ação insegura e 0 = ação segura).

Fonte: A autora

No início da simulação é atribuído um valor aleatório de atitude de risco, tolerância ao risco e percepção de risco para os agentes. Para os dois primeiros, os valores são definidos aleatoriamente de 0 a 1. Para a percepção de risco, o modelo adota uma distribuição uniforme entre 0,6 e 1,2. O impacto de

treinamento de segurança é um valor fixo de 0,2 atribuído aos agentes no dia de treinamento.

O impacto do diálogo de segurança é de 0,001, e atribuído aos agentes em dias de treinamentos diários ou semanais. O comportamento inseguro representa a consequência da tomada de decisão dos agentes, caso seja igual a um, representa que o agente teve um comportamento inseguro, caso contrário, indica um comportamento seguro do agente.

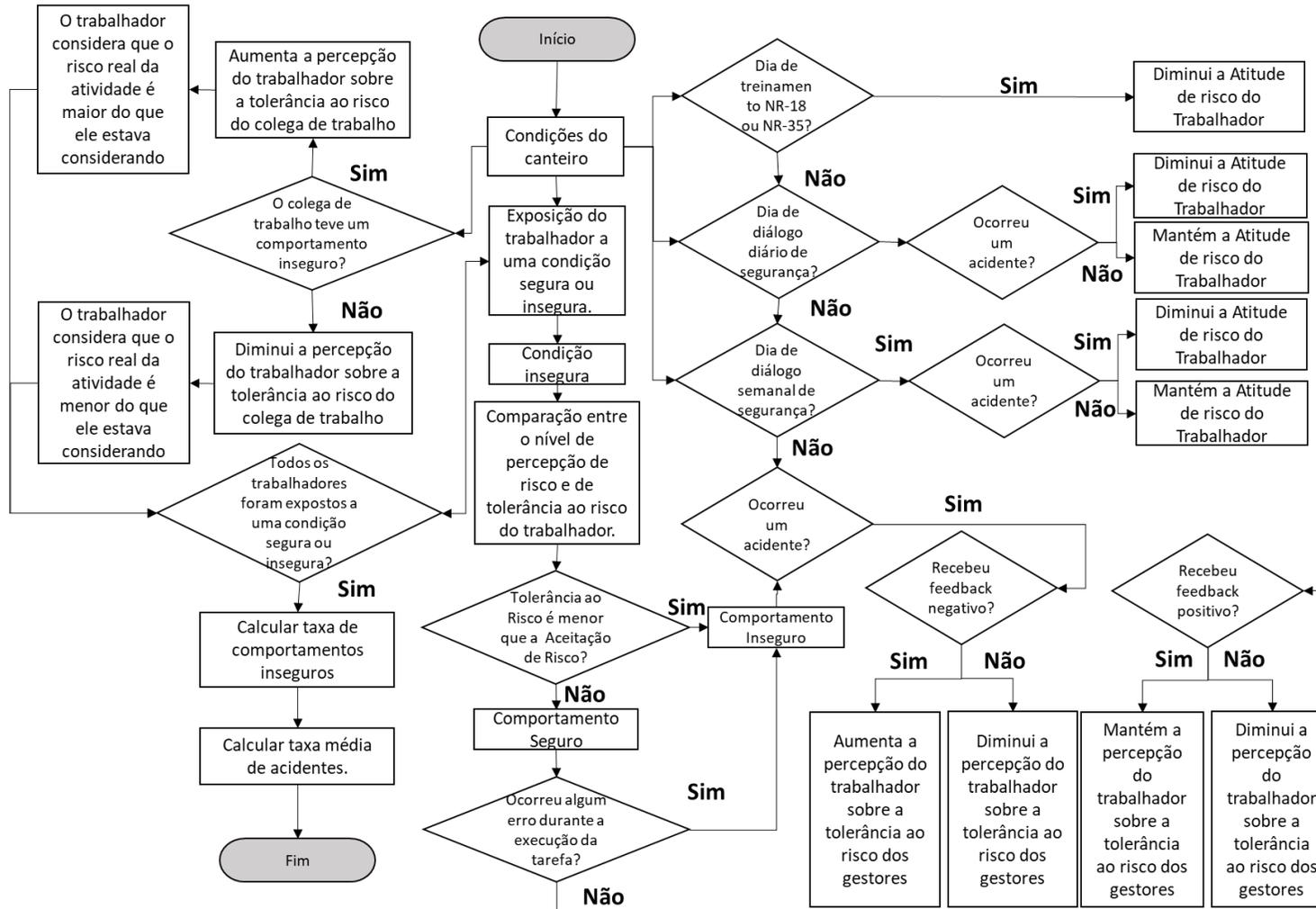
Visão geral do processo e programação

O modelo proposto considera a interação dos agentes trabalhadores entre si e com o ambiente (canteiro e as ações gerenciais). Ao ser inicializado, o modelo cria uma condição do canteiro com todos os trabalhadores, e para cada agente é definido e armazenado de modo aleatório os valores iniciais das variáveis.

Ao iniciar a simulação, o modelo avança no tempo (steps) e simula o comportamento dos agentes. A cada dia de trabalho, cada agente trabalhador será exposto a uma condição segura ou insegura e deverá decidir seu comportamento de segurança (seguro ou inseguro). Após todos os agentes trabalhadores realizarem o comportamento de segurança, serão coletadas as variáveis de cada agente para o intervalo de tempo simulado. Em seguida, será determinada a taxa de comportamento inseguro e taxa de incidentes. A execução da simulação termina após 900 dias de simulação.

A Figura 29 mostra um fluxograma da lógica do modelo.

Figura 29 - Fluxograma da lógica do modelo.



Fonte: A autora

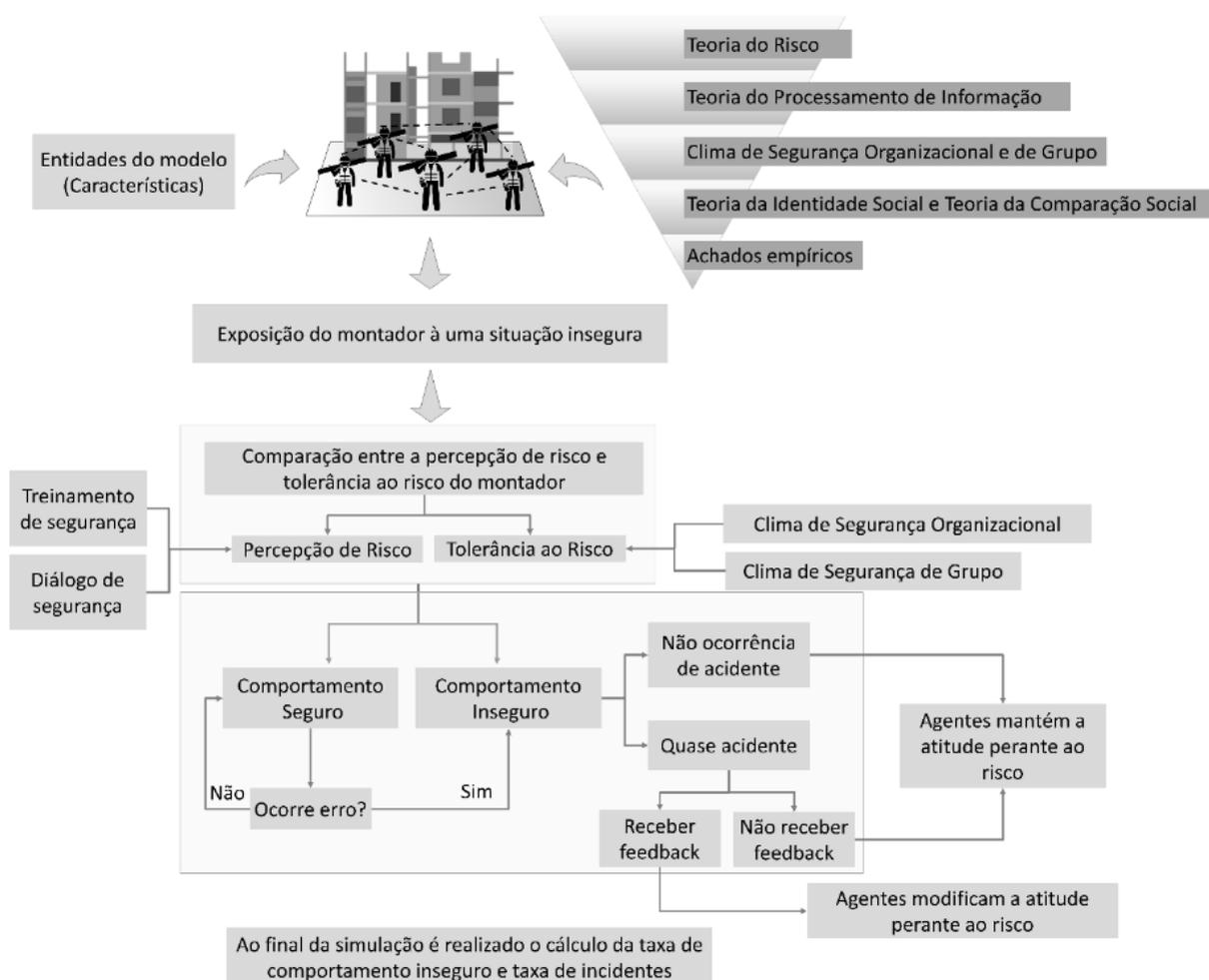
Conceitos da modelagem

- **Fundamentação teórica e empírica**

Este modelo baseia-se na integração de teorias, resultados empíricos de Choi *et al.* (2018) e resultados do estudo empírico realizado nesta pesquisa. O primeiro conceito incorporado provém da Teoria do Risco, indicando que a tomada de decisão dos agentes depende da percepção e tolerância ao risco de cada indivíduo. O segundo conceito deriva dos conceitos de Clima de Segurança, sugerindo que o nível interno de tolerância ao risco está vinculado à prioridade que a organização dá à segurança (Choi e Lee, 2018). O terceiro conceito é baseado em teorias das ciências sociais, como a teoria da comparação social e a teoria da identidade social. Assim, através da comunicação, observação e interação com o grupo, os indivíduos ajustam seus comportamentos em busca de pertencimento (Choi e Lee, 2018). O quarto conceito reflete as descobertas empíricas de Choi *et al.* (2017b), que demonstraram que os comportamentos de segurança dos trabalhadores da construção podem ser previstos por sua atitude pessoal, bem como pelo clima de segurança organizacional e de grupo. Esta premissa foi comprovada no presente estudo através da análise da percepção dos colaboradores em campo (item 5.1). O estudo foi complementado pelo estudo empírico, evidenciando o impacto das ações gerenciais na percepção e tolerância ao risco dos trabalhadores (ver item 5.1.5).

A Figura 30 ilustra a estrutura conceitual do modelo baseado em agentes, oferecendo uma visão simplificada de seu funcionamento, mostrando a interconexão entre os conceitos e o impacto desses elementos na tomada de decisão dos trabalhadores e na atitude em relação ao risco.

Figura 30 - Estrutura conceitual do modelo baseado em agentes



Fonte: A autora

- **Grupos**

Os agentes no cenário de base são montadores de forma e andaime de obras de paredes de concreto, armadores e instaladores (hidráulica e elétrica) que trabalham em uma edificação de parede de concreto.

As funções dos profissionais de construção apresentam diferentes níveis de perigo devido às distintas características das atividades desempenhadas. O modelo considera uma equipe responsável pela montagem das formas de uma parede de concreto e outra equipe encarregada da montagem das plataformas de segurança. O primeiro grupo, seguindo os procedimentos de segurança, deve realizar suas atividades apenas após a instalação do guarda-corpo. Já o segundo grupo, ao montar os guarda-corpos, trabalha em altura sem todo o sistema de proteção de segurança.

Desta forma, o primeiro grupo está menos exposto a riscos em comparação com os trabalhadores do segundo grupo.

Assim, para o cenário de base, considera-se que cada um dos grupos está exposto a um nível diferente de risco:

- (a) Montadores de parede – Risco médio;
- (b) Montadores de andaime – Risco alto, e
- (c) Trabalhadores da Construção Civil (armador, eletricista...) – Risco médio.

- **Interação**

A interação entre agentes ocorre através da observação do comportamento dos colegas de trabalho, tanto daqueles do mesmo grupo quanto de outros grupos. Essa observação influencia o clima de segurança do grupo, indicando a predominância de comportamentos seguros ou inseguros entre os colegas, com o impacto dos membros do mesmo grupo sendo maior do que o dos membros de outros grupos.

A interação entre o agente e o ambiente acontece por meio da participação em treinamentos e diálogos de segurança, que contribuem para a percepção de risco dos trabalhadores. Além disso, o feedback dos gestores sobre comportamentos seguros e inseguros afeta a tolerância ao risco dos trabalhadores e o clima de segurança organizacional.

- **Tomada de decisão individual**

Os agentes trabalhadores decidem o comportamento de segurança (seguro ou inseguro) a partir da comparação entre o risco percebido (percepção de risco) $[RP_i^{(t)}]$ e a tolerância ao risco $(TR_i^{(t)})$.

A percepção de risco é influenciada pela atitude de risco do indivíduo [Eqs. (2) e (3)], enquanto a tolerância ao risco irá depender da atitude de risco do indivíduo, do clima de segurança organizacional (interação com os gestores a partir dos feedbacks) e do clima de segurança de grupo (interação com os colegas de trabalho) [Eq. 4].

Se o risco percebido exceder a tolerância ao risco, indicando que o risco percebido não é aceitável, e o trabalhador não cometer um erro, ele seguirá um comportamento seguro.

Caso contrário, o trabalhador optará por um comportamento inseguro, o que poderá resultar em um quase acidente ou em nenhuma consequência adversa.

$$CI_i^{(t)} = \begin{cases} 0, & \text{se } RP_i^{(t)} > TR_i^{(t)} \text{ (1a)} \\ 1, & \text{se } RP_i^{(t)} < TR_i^{(t)} \text{ (1b)} \end{cases}$$

Onde, $CI_i^{(t)}$ = comportamento inseguro do trabalhador; $RP_i^{(t)}$ = risco percebido; $TR_i^{(t)}$ = tolerância ao risco.

Percepção de risco do trabalhador

O risco percebido por um trabalhador depende do seu nível individual de conhecimento e consciência de segurança. Deste modo, trabalhadores diferentes, expostos a um mesmo risco, apresentarão diferentes percepções de risco.

Para determinar a percepção de risco dos trabalhadores, o modelo determina o coeficiente de percepção de risco e a atitude de risco dos agentes. O coeficiente de percepção de risco reflete a tendência de um indivíduo subestimar ou superestimar o risco, de acordo com o seu conhecimento de segurança (Choi e Lee, 2018). O coeficiente de percepção de risco é definido como a razão entre o risco percebido e o risco real (Shin *et al.*, 2014) e é influenciado pela sua atitude em relação ao risco (Glendon e Walker 2013).

O risco percebido e o coeficiente de percepção de risco de um trabalhador são calculados usando as Eqs. (2) e (3):

$$RP_i^{(t)} = p_i^{(t)} RR_i^{(t)} \text{ (2)}$$

$$p_i^{(t)} = p_i^{(t-1)} - (AR_i^{(t)} - (AR_i^{(t-1)})) \text{ (3)}$$

Onde, $RP_i^{(t)}$ = risco percebido; $RR_i^{(t)}$ = risco real da atividade; $p_i^{(t)}$ = coeficiente de percepção de risco e $AR_i^{(t)}$ = atitude de risco.

O coeficiente de percepção de risco ($p_i^{(t)}$) é atribuído com base na distribuição uniforme de 0,6 a 1,2 (Choi e Lee, 2018). Considerando os resultados do estudo empírico (ver item 5.1.5), os trabalhadores possuem uma percepção de risco elevada, porém inferior ao dos gestores, indicando a propensão dos trabalhadores da construção civil para subestimar o risco real e superestimar sua capacidade de

controlar o ambiente, como destacado por Zhang e Fang (2013) e Wang *et al.* (2016). O valor mínimo da faixa do coeficiente de percepção de risco (ou seja, 0,6) é determinado com base nos resultados de Shin *et al.* (2014) e Choi e Lee (2018).

Assim, conforme esses valores, se o trabalhador superestimar o risco, o coeficiente de percepção de risco será maior que 1,0, indicando uma postura avessa ao risco por parte do trabalhador.

Tolerância ao risco do trabalhador

No modelo, considera-se que cada trabalhador possui um limite interno de tolerância ao risco. Caso o risco percebido ultrapasse este limite, o trabalhador realiza um comportamento seguro, de modo a prevenir o acidente. Caso contrário, o trabalhador irá se expor ao risco, o qual pode resultar em um acidente.

Os resultados de Choi *et al.* (2017b) são incorporados para estabelecer uma equação de aceitação de risco. Como mostrado na Eq. (4) de Choi (2018) modificada, a tolerância ao risco por parte de um trabalhador é uma função da atitude de risco, do clima de segurança organizacional e o clima de segurança de grupo.

$$TR_i^{(t)} = (1 - ps)AR_i^{(t)} + ps (CSO_i^{(t)} + CSG_i^{(t)}) + \varepsilon \quad (4)$$

Onde, $TR_i^{(t)}$ = tolerância ao risco; ps = peso social; $CSO_i^{(t)}$ = clima de segurança organizacional; $CSG_i^{(t)}$ = clima de segurança de grupo, $AR_i^{(t)}$ = atitude de risco e ε = flutuação aleatória da tolerância do risco devido a influência externa inexplicável.

- **Aprendizado**

Atitude de Risco do agente

A atitude de risco do agente trabalhador reflete a tendência do agente de se expor ou evitar riscos. O modelo considera um intervalo de 0 a 1 (avesso ao risco – busca ao risco). Esta será influenciada caso o agente sofra um acidente ou quase/acidente e/ou participe dos treinamentos de segurança periódicos e nos diálogos de segurança (diário ou semanal) (Eq. 4).

Parte-se da premissa que durante os treinamentos de segurança os agentes trabalhadores irão aprender o passo-a-passo da execução segura das atividades, e os diálogos de segurança servirão como forma de manutenção deste aprendizado.

Ambos correspondem a ações gerenciais que impactam na percepção de risco dos agentes, a partir da influência no conhecimento e consciência de segurança dos indivíduos.

Para a simulação é considerada a faixa de atitude ao risco de 0,1 a 0,9, a fim de excluir atitudes extremamente avessas ao risco ou de busca ao risco.

Quase-acidente/Acidente

Os agentes ajustam sua atitude de risco com base nos resultados de seu comportamento seguro. Se um agente enfrenta um quase acidente ou acidente após um comportamento inseguro, ele revisa sua atitude de risco para ser mais cauteloso (atitude de risco próxima a zero), pois o agente trabalhador fica ciente da possibilidade do acidente.

Porém, se o agente trabalhador tiver um comportamento inseguro, e não resultar em um acidente, a experiência faz com que o agente subestime a possibilidade do acidente, e se exponha mais aos riscos (Shin *et al.*, 2014; Choi e Lee, 2018) (Eq. 5).

Treinamento de Segurança

Os agentes trabalhadores ajustam a sua atitude de risco ao participar dos treinamentos de segurança de NR-18 (riscos gerais) e de atividades em altura (NR-35). Dessa forma, nos dias em que houver o treinamento, considera-se que os agentes recebem novas informações, e aumentam seu conhecimento e consciência de segurança (Eq. 5).

Comunicação de Segurança

Os agentes trabalhadores ajustam a sua atitude de risco ao participar dos diálogos de segurança diários e semanais. Dessa forma, conforme os dados empíricos (ver item 5.1.5), nos dias em que houver o treinamento, considera-se que os diálogos de segurança servem como uma ação de manutenção e revisão dos conhecimentos adquiridos durante os treinamentos de segurança. Assim, os diálogos diários de segurança irão manter diariamente a atitude de risco dos agentes, caso não ocorra acidentes no dia de trabalho. Enquanto os diálogos semanais serão responsáveis por fazer a manutenção semanal da atitude de risco dos agentes, caso não ocorra acidentes no dia de trabalho (Eq. 5).

A atitude de risco (AR) é atualizada conforme a Eq. (5):

$$AR_i^{(t)} = \begin{cases} (AR_i^{(t-1)}) - MA_i^{(t)}, & \text{se } DSS = 1 \text{ e } AC = 1 \\ AR_i^{(t-1)}, & \text{se } DSS = 1 \text{ e } AC = 0 \\ (AR_i^{(t-1)}) - MA_i^{(t)}, & \text{se } DSS = 0 \text{ e } AC = 1 \\ AR_i^{(t-1)} + MA_i^{(t)}, & \text{se } DSS = 0 \text{ e } AC = 0 \\ (AR_i^{(t-1)}) - MA_i^{(t)}, & \text{se } DDS = 1 \text{ e } AC = 1 \\ AR_i^{(t-1)}, & \text{se } DDS = 1 \text{ e } AC = 0 \\ AR_i^{(t-1)} - MA_i^{(t)}, & \text{se } AC = 0 \text{ ou } 1 \text{ e } T = 1 \end{cases}$$

Onde, $MA_i^{(t)}$ = mudança de atitude; AC = quase-acidente ou acidente; T = treinamento de segurança; DDS = diálogo de diário de segurança, DSS = diálogo semanal de segurança.

O Quadro 18 abaixo apresenta a consequência das ações dos agentes, e o impacto destas na atitude de risco dos agentes.

Quadro 18 - Impacto dos fatores organizacionais na atitude de risco dos agentes

Cenário	Consequência	Atitude de Risco
Comportamento Inseguro	Quase-acidente/Acidente	Diminui
	Sem acidente	Aumenta
Participação no Treinamento (NR-18 ou NR-35)	Aprendizado	Diminui
Participação no Diálogo diário de segurança	Manutenção diária do aprendizado	Mantém (Diariamente) – Em caso de acidente, diminui.
Participação no Diálogo semanal de segurança	Manutenção semanal do aprendizado	Mantém (Semanalmente), – Em caso de acidente, diminui.

Fonte: A autora

- **Sensor individual**

Os agentes trabalhadores adaptam sua tolerância ao risco com base na observação do comportamento de segurança dos colegas de trabalho (clima de segurança de grupo), ao receber ou não feedbacks dos gestores (clima de segurança organizacional) e por meio da alteração da atitude de risco (treinamento, comunicação de segurança e ocorrência de acidentes/quase-acidentes). Isso possibilita que os

agentes ajustem suas próprias ações e decisões com base nessas percepções, sendo crucial para simular interações realistas entre os agentes.

Cabe destacar que existem 3 grupos diferentes de agentes trabalhadores: montadores de forma, montadores de andaime, trabalhadores da Construção Civil (armador, eletricista...). Cada grupo recebe condições diferentes de trabalho e estima a gravidade do risco encontrado.

Clima de Segurança de Grupo

No modelo, o clima de segurança de grupo (CSG) é definido a partir da observação do comportamento de segurança dos colegas de trabalho ao se deparar com uma situação insegura, ou seja, a percepção dos agentes trabalhadores sobre a tolerância ao risco dos colegas de trabalho (Choi e Lee, 2018).

Assim, quando o agente i observa o comportamento inseguro do agente k (colega de trabalho), ele interpreta que k está agindo de forma insegura porque a tolerância ao risco (TR) de k é maior do que o risco real (RR) ao qual k está exposto [Eq. (6a)].

Por outro lado, ao observar o comportamento seguro, o agente i assume que a tolerância ao risco (TR) do agente k é menor do que o risco real (RR) que k enfrenta [Eq. (6b)]

A percepção do agente trabalhador sobre a tolerância ao risco do colega de trabalho (PTR) é atualizada conforme as Eqs. (6a) e (6b):

$$PTR_i^{(t)} = \begin{cases} \text{Aleatório} (RR_k^{(t)}, 1), & \text{se } (CI_k^{(t)} = 1) \quad (6a) \\ \text{Aleatório} (0, RR_k^{(t)}), & \text{se } (CI_k^{(t)} = 0) \quad (6b) \end{cases}$$

Onde, $PTR_i^{(t)}$ = percepção do agente trabalhador sobre a tolerância ao risco do colega de trabalho; $CI_k^{(t)}$ = comportamento inseguro do colega de trabalho; $RR_k^{(t)}$ = risco real da atividade.

O clima de segurança de grupo é definido pela percepção do trabalhador sobre a tolerância ao risco do colega de trabalho ($PTR_i^{(t)}$), e a partir da memória do trabalhador sobre os comportamentos dos colegas de trabalho.

Dessa forma, o clima de segurança de grupo (CSG) é expressa como a soma ponderada do CSG anterior e a percepção atual da média de tolerância ao risco dos colegas de trabalho, conforme apresentado na Eq. (7):

$$CSG_i^{(t)} = \left(1 - \frac{1}{m}\right) CSG_i^{(t-1)} + \frac{1}{m} \left(\frac{1}{n_i^{(t)}} \sum_{k=1}^{k_i^{(t)}} PTR_{ik}^{(t)} \right) \quad (7)$$

Onde, $CSG_i^{(t)}$ = clima de segurança de grupo; m = capacidade de memória do trabalhador; $n_i^{(t)}$ = número de colegas de trabalho; $PTR_{ik}^{(t)}$ = percepção do agente trabalhador sobre a tolerância ao risco do colega de trabalho.

O comportamento seguro de um agente trabalhador influencia o clima de segurança de grupo de seu colega de trabalho, influenciando assim o comportamento seguro desse colega. Por sua vez, o comportamento seguro desse colega se torna a fonte do clima de segurança de trabalho do primeiro agente.

Clima de Segurança Organizacional

No modelo, o clima de segurança organizacional (CSO) é definido a partir da percepção dos trabalhadores sobre a tolerância ao risco dos gestores, o qual é definido a partir da observação dos trabalhadores sobre os feedbacks dados pela gerência (Choi e Lee, 2018).

O agente i receberá feedback em quatro situações:

- Se tiver um comportamento inseguro (resultando ou não em acidente);
- Se tiver um comportamento seguro (resultando ou não em acidente);

O feedback pode ser positivo ou negativo a depender da situação prevista. De acordo com os resultados empíricos, tanto os feedbacks positivos quanto construtivos apresentam o mesmo impacto para os agentes trabalhadores.

Assim, se o agente i executou um comportamento seguro no dia anterior, ele não terá chance de ajustar o clima de segurança organizacional [Eq. (8a)].

Se o agente i executou um comportamento inseguro e recebeu feedback (FG) sobre o seu comportamento no dia anterior, isso representa que o risco real enfrentado pelo agente trabalhador é superior a tolerância ao risco dos gestores, dessa forma, o

agente i interpreta que a tolerância ao risco dos gestores é menor do que a sua percepção de risco [Eq. (8b)].

Por outro lado, se o agente i executou um comportamento inseguro e não recebeu nenhum feedback dos gestores, isso representa que o risco real enfrentado pelo agente é inferior a tolerância ao risco dos gestores, portanto, ele assume que a sua percepção de risco é aceitável no canteiro de obras [Eq. (8c)]

No cenário em que o agente i executou um comportamento seguro e recebeu um feedback positivo dos gestores no dia anterior, isso indica que o agente tomou atitudes corretas de segurança, de modo que o risco real enfrentado por ele está de acordo com a tolerância ao risco dos gestores, assim, o agente i assume que a sua percepção de risco é aceitável no canteiro de obras [Eq. (8d)].

$$PTG_i^{(t)} = \begin{cases} CSO_i^{(t-1)}, & \text{se } CI_i^{(t-1)} = 0 \text{ e } FG_i^{(t-1)} = 0 \text{ (8a)} \\ \text{Aleatório} \left(0, RP_i^{(t-1)} \right), & \text{se } CI_i^{(t-1)} = 1 \text{ e } FG_i^{(t-1)} = 1 \text{ (8b)} \\ \text{Aleatório} \left(RP_i^{(t-1)}, 1 \right), & \text{se } CI_i^{(t-1)} = 1 \text{ e } FG_i^{(t-1)} = 0 \text{ (8c)} \\ \text{Aleatório} \left(0, RP_i^{(t-1)} \right), & \text{se } CI_i^{(t-1)} = 0 \text{ e } FG_i^{(t-1)} = 1 \text{ (8d)} \end{cases}$$

Onde, $PTG_i^{(t)}$ = percepção do agente trabalhador sobre a tolerância ao risco dos gestores; $CSO_i^{(t)}$ = clima de segurança organizacional; FG = feedback de segurança dos gestores; $CI_i^{(t)}$ = comportamento inseguro do agente trabalhador; $RP_i^{(t-1)}$ = risco percebido.

No modelo, o agente ajusta o clima de segurança organizacional, a partir da aplicação dos feedbacks pelos gestores Eq. (9). A probabilidade de o agente receber um feedback do gestor (FG) ao realizar um comportamento inseguro (CI) é determinado pelo rigor e frequência do feedback dos gestores, que é determinado quando o modelo é inicializado.

O clima de segurança organizacional é definido pela soma ponderada do clima de segurança organizacional anterior e da percepção atual da tolerância ao risco dos gestores, conforme mostrado na Eq. (9).

$$CSO_i^{(t)} = \left(1 - \frac{1}{m}\right) CSO_i^{(t-1)} + \frac{1}{m} \left(PTG_i^{(t)}\right) \text{ (9)}$$

Onde, $PTG_i^{(t)}$ = percepção do agente trabalhador sobre a tolerância ao risco dos gestores; $CSO_i^{(t)}$ = clima de segurança organizacional; m = capacidade de memória do trabalhador.

Ao término das simulações, considerando o período determinado de duração, é calculada a taxa de incidentes, conforme apresentado na Eq. (10).

$$Taxa\ de\ Incidentes = \left(\frac{Número\ total\ de\ incidentes}{Total\ de\ horas\ trabalhadas} \right) \times \frac{200000}{10} \quad (10)$$

Heterogeneidade

No início de cada simulação, os agentes têm seus atributos, como atitude de risco e coeficiente de percepção de risco, inicializados com valores diferentes, refletindo sua diversidade. A Tabela 6 apresenta os intervalos de valores usados para determinar aleatoriamente as variáveis dos agentes no modelo.

Estocasticidade

Estocasticidade refere-se à introdução de elementos aleatórios ou probabilísticos que influenciam o comportamento dos agentes ou o ambiente em que eles interagem. Na criação dos agentes, os seguintes elementos são decididos de forma estocástica (aleatória): atitude de risco inicial e coeficiente de percepção de risco. Isso é feito atribuindo as condições de trabalho com base no risco do local, estabelecendo a tolerância do risco de acordo com a atitude de risco e clima de segurança, além de considerar se o comportamento inseguro resulta em quase acidente no modelo.

Detalhes

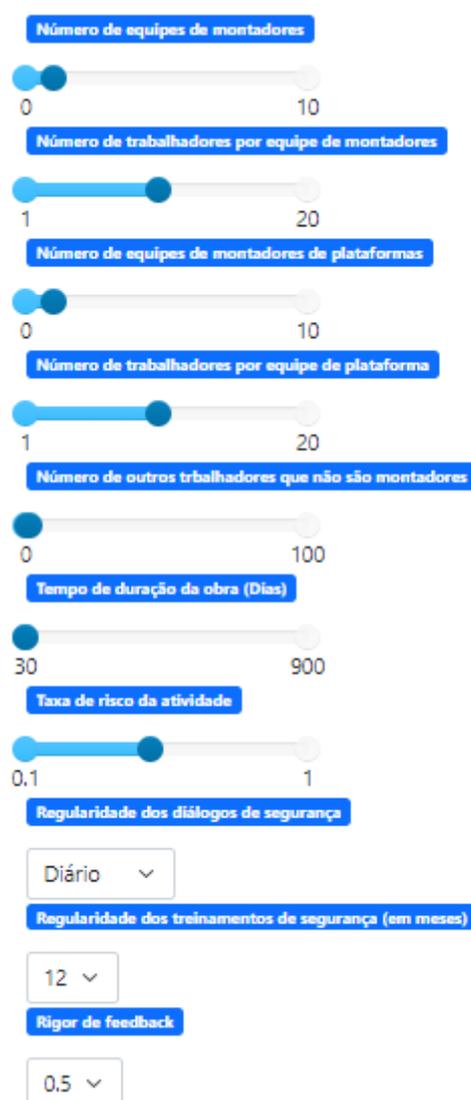
Os códigos do programa de simulação foram desenvolvidos tendo como base o MBA desenvolvido por Choi (2018). A interface de simulação foi projetada / adaptada com o software MESA versão 1.1.0. O modelo foi projetado e adaptado com o software mesa, o modelo possui a resolução temporal em dias, simulando o comportamento dos agentes a cada dia de trabalho.

Inicialização

Antes da inicialização, é preciso definir os dados de entrada, como quantidade de trabalhadores, duração das atividades e periodicidade das ações gerenciais (Figura 31). Ao ser inicializado, o modelo estabelece as condições do local e todos os agentes

presentes na simulação, definindo e armazenando os seus níveis iniciais de atitude de risco e tolerância ao risco. Após configurar o local e os agentes, o modelo avança no tempo e simula o comportamento de segurança dos trabalhadores. A simulação termina após todos os agentes trabalhadores serem expostos a uma condição segura ou insegura e tomarem uma decisão com base na comparação entre seu nível de percepção e tolerância ao risco.

Figura 31 - Interface de entrada de dados da plataforma no MESA

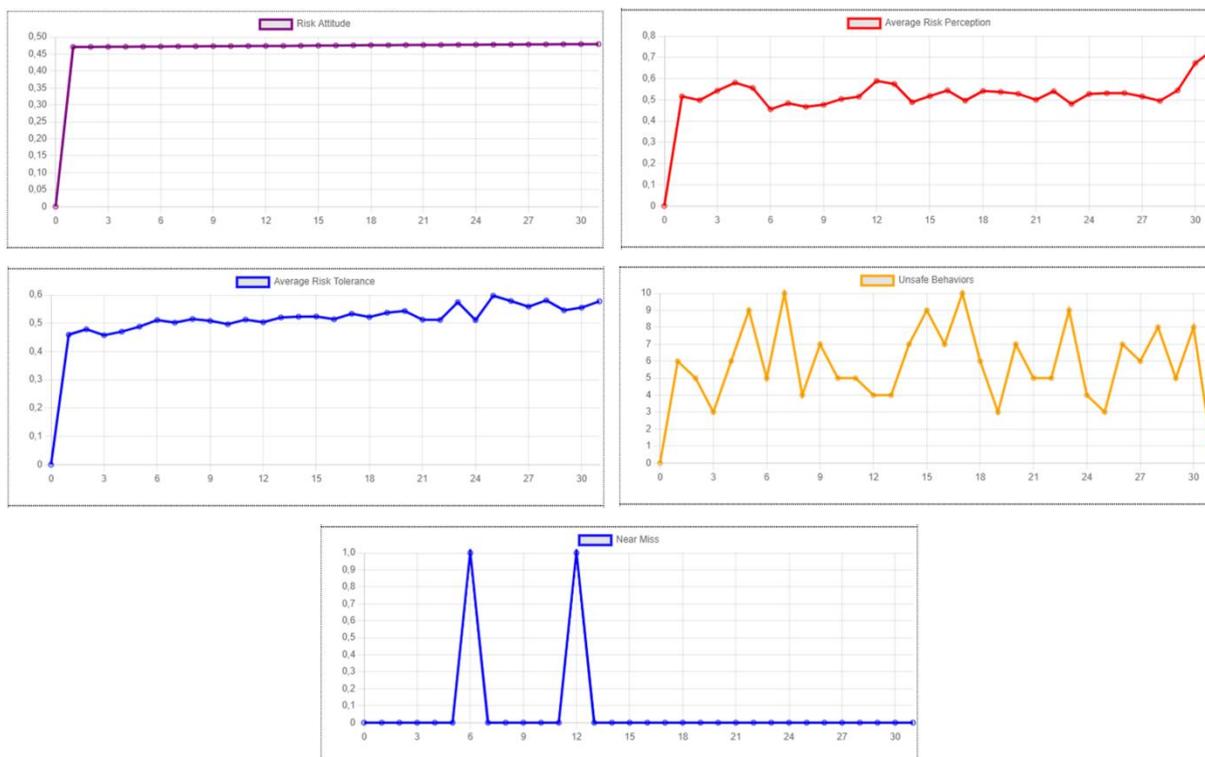


Fonte: A autora

Os resultados do modelo são apresentados através de gráficos dinâmicos, que mostram a taxa de incidentes na obra simulada, de acordo com a relação entre o número de incidentes e o número de horas trabalhadas, além do número de

comportamentos inseguros e da percepção e tolerância ao risco dos agentes ao longo dos dias de simulação (Figura 32).

Figura 32– Exemplos de Saída de dados da plataforma no MESA



Fonte: A autora

- **Dados de entrada**

A Tabela 6 abaixo apresenta os valores dos parâmetros utilizados para as simulações de aplicabilidade do modelo. Esses valores podem ser modificados de acordo com o canteiro a ser simulado.

Tabela 6 - Parâmetros iniciais

Parâmetro	Valor
Duração da atividade (steps)	900
Quantidade de grupos de trabalho	3
Número de armadores de forma	20
Número de armadores de andaime	10
Número total de trabalhadores na atividade	37
Risco real da atividade	Triangular (0.1, 0.5, 0.9)
Frequência do feedback (positivo ou negativo)	0.3
Frequência do treinamento de NR-18	24 meses

Frequência do treinamento de NR-35	24 meses
Diálogo de segurança Diário	1
Diálogo de segurança Semanal	0

Fonte: A autora

5.3.2. Validação do modelo desenvolvido

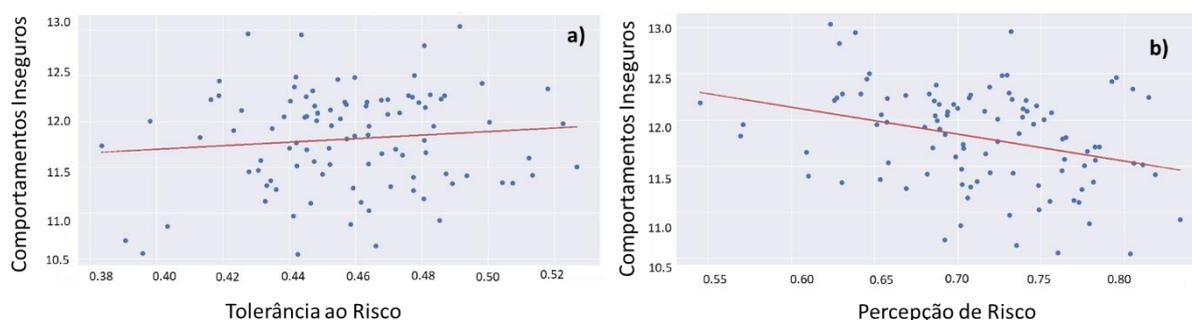
- **Validação estrutural e replicativa do modelo**

Esta etapa teve como objetivo avaliar o funcionamento do modelo com base nos conceitos teóricos e empíricos incorporados em seu desenvolvimento (ver Figura 29).

A simulação do canteiro de obras leva em conta as condições reais de uma obra de paredes de concreto, onde a montagem das formas de uma torre de 17 pavimentos (térreo mais 16), dura aproximadamente 3 meses (90 dias), considerando uma equipe de 20 montadores de forma, 10 montadores de andaime, 7 trabalhadores da construção civil (armadores e instaladores). Existem 37 trabalhadores trabalhando simultaneamente no pavimento, o qual representa o canteiro de obras neste modelo, composto por três grupos de trabalho. A duração da simulação considera uma obra de 10 torres, com 900 dias de duração.

Primeiro, foi avaliado se o modelo respondia à Teoria do Risco (Figura 33). Os gráficos representam a relação entre a tolerância ao risco [Figura 33 (a)] e a percepção de risco [Figura 33 (b)] com o número de comportamentos inseguros dos trabalhadores. Os resultados do estudo empírico (**Etapa de Sugestão**) validaram o uso dessa teoria para representar o comportamento dos trabalhadores. Os dados indicaram que os colaboradores possuem diferentes percepções e tolerâncias ao risco, tanto entre si quanto em relação à equipe de engenharia. As simulações mostraram que a tolerância ao risco dos trabalhadores está diretamente relacionada ao número de comportamentos inseguros, em uma relação proporcional: quanto maior a tolerância ao risco, maior a incidência de comportamentos inseguros. Além disso, a simulação revelou que a percepção de risco afeta a ocorrência de comportamentos inseguros: quanto mais riscos os trabalhadores percebem, maior a probabilidade de adotarem ações seguras.

Figura 33 - Impacto da tolerância ao risco e da percepção de risco no número de comportamentos inseguros.



Fonte: A autora

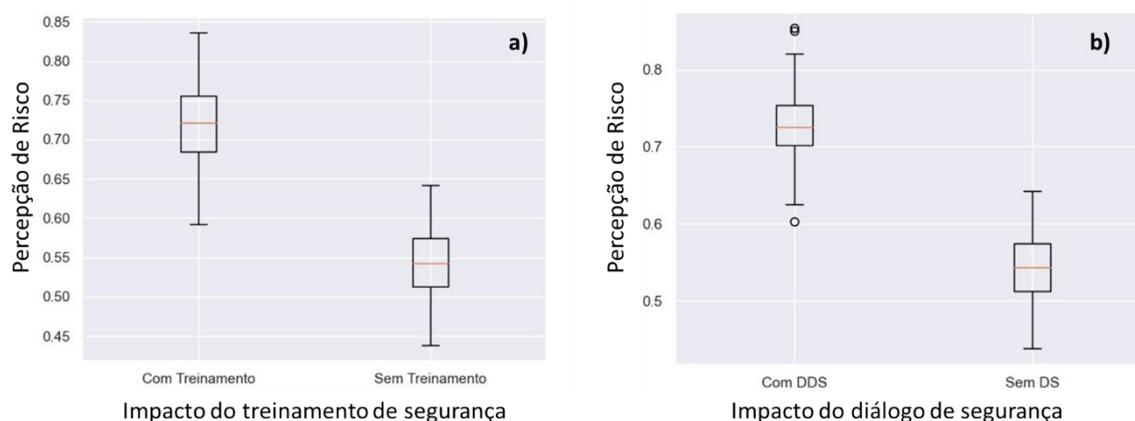
A fim de examinar como o processo sociocognitivo de comportamento de segurança dos trabalhadores responde a diferentes estratégias de gestão de segurança e produz comportamento de segurança, foi avaliado os impactos individuais de três parâmetros (treinamentos de segurança, diálogo de segurança e frequência do feedback de segurança) nos comportamentos de segurança dos trabalhadores da construção civil.

Esses três parâmetros representam possíveis estratégias gerenciais para melhorar os comportamentos de segurança dos trabalhadores em um canteiro de obras. Para reduzir os comportamentos inseguros dos trabalhadores, a gestão poderia conscientizar os trabalhadores sobre os riscos (treinamentos de segurança) e traçar estratégias para reforçar o conhecimento adquirido nos treinamentos. A gestão poderia relembrar os riscos e os comportamentos de segurança esperados durante a execução do serviço (ou seja, diálogo de segurança), e observar com mais frequência os comportamentos dos trabalhadores e fornecer feedback de segurança sobre comportamentos inseguros e seguros (ou seja, frequência do feedback de segurança).

De acordo com os resultados obtidos no estudo empírico (**Etapas de Sugestão**), ambas as estratégias influenciam a percepção de risco dos trabalhadores. Os dados coletados a partir do questionário indicam que o treinamento de segurança tem um impacto maior na percepção de risco dos trabalhadores do que os diálogos de segurança. Segundo os trabalhadores, o treinamento ensina como realizar as atividades de forma segura, enquanto os diálogos de segurança servem como uma ferramenta para manutenção e revisão do conhecimento adquirido durante o treinamento. Os gráficos da Figura 33 apresentam o impacto do treinamento de

segurança [Figura 34(a)] e do diálogo de segurança [Figura 34 (b)] na percepção de risco dos trabalhadores.

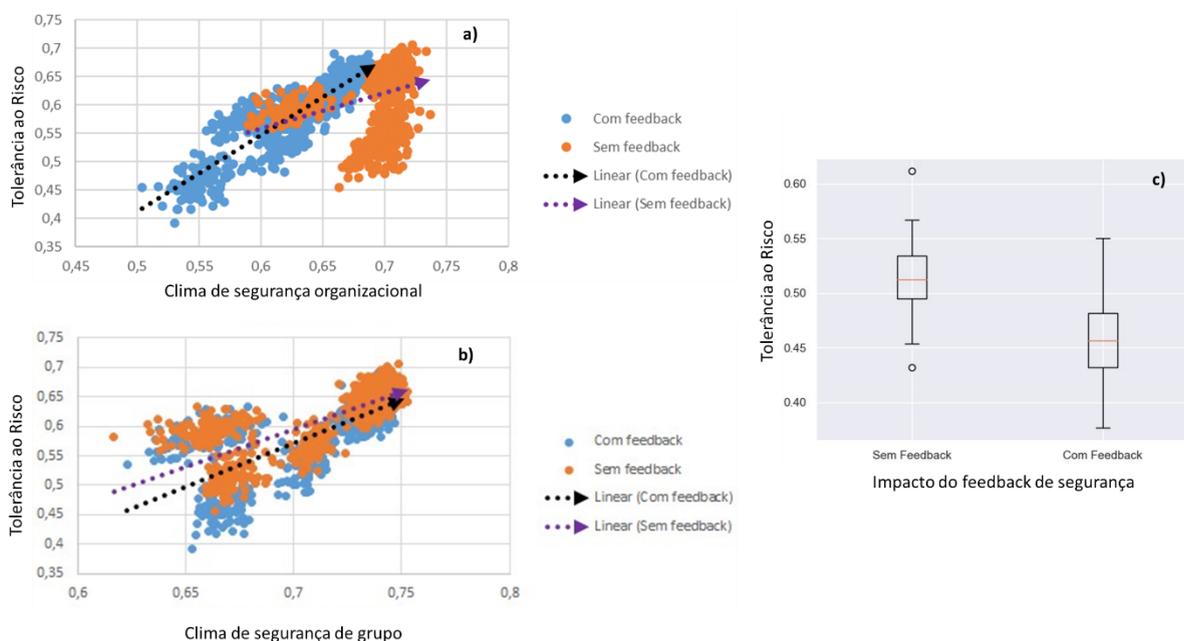
Figura 34 - Impacto do treinamento de segurança e do diálogo de segurança na percepção de risco de trabalhadores da construção civil



Fonte: A autora

Os resultados obtidos no estudo de campo (**Etapa de Sugestão**) indicaram uma forte influência do feedback (tanto positivo quanto negativo) na tolerância ao risco dos trabalhadores. Assim, com o cenário de base, foi avaliado o impacto do feedback na tolerância ao risco dos agentes [Figura 35 (c)] e sua relação com o CSO [Figura 35 (a)]. Bem como a relação da tolerância ao risco dos agentes [Figura 35 (b)] e sua relação com o CSG. Observou-se que a simulação sem feedback indicou uma maior quantidade de trabalhadores com um alto nível de tolerância ao risco, sugerindo que os trabalhadores são mais propensos a correr riscos. Em contraste, a simulação com feedback mostrou que os trabalhadores são menos tolerantes ao risco, ou seja, têm uma menor tendência à exposição a riscos.

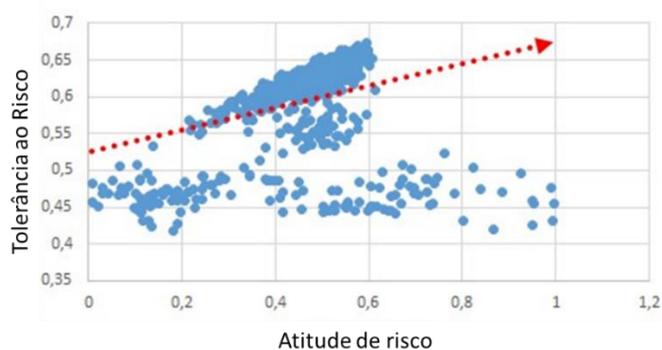
Figura 35 - Impacto do feedback de segurança na tolerância ao risco dos trabalhadores



Fonte: A autora

Terceiro, a relação entre a tolerância ao risco e a atitude de segurança dos trabalhadores foi avaliada (Figura 36). Os resultados da simulação reafirmaram a influência da atitude de segurança na tolerância ao risco e no comportamento seguro dos agentes. Conforme mostrado na Figura 36, há uma correlação significativa e positiva entre a atitude de segurança e a tolerância ao risco.

Figura 36 - A relação da tolerância ao risco dos trabalhadores na atitude de segurança



Fonte: A autora

Para assegurar a consistência quantitativa da validade **replicativa**, este estudo executou o cenário de base 100 vezes, calculou a média dos indicadores de comportamento inseguro e taxa de incidentes (Tabela 7).

Tabela 7 - Taxas de simulação

Item	Resultado da Simulação
Taxa de Comportamento Inseguro	32,41%
Taxa de Acidentes	3,68

Fonte: A autora

- **Validação da aplicabilidade do modelo**

Esta etapa descreve os parâmetros e procedimentos utilizados para validar a aplicabilidade do modelo baseado em agentes, além de apresentar os resultados obtidos a partir das simulações.

Parâmetros e procedimentos adotados

A validação do modelo envolveu simulações que modificaram os parâmetros do cenário de base. A Tabela 8 apresenta os parâmetros utilizados para validação da aplicabilidade do modelo.

Tabela 8 - Parâmetros para validar a aplicabilidade do modelo

Parâmetro	Valor
Duração da atividade (steps)	900
Quantidade de grupos de trabalho	3
Número de armadores de forma	20
Número de armadores de andaime	10
Número total de trabalhadores na atividade	37
Risco real da atividade	Triangular (0.1, 0.5, 0.9)
Frequência do feedback (positivo ou negativo)	0.3, 0.5 e 0.7
Frequência do treinamento de NR-18	3, 6, 12 e 24 meses
Frequência do treinamento de NR-35	3, 6, 12 e 24 meses
Diálogo de segurança Diário	0 ou 1
Diálogo de segurança Semanal	0 ou 1

Fonte: A autora

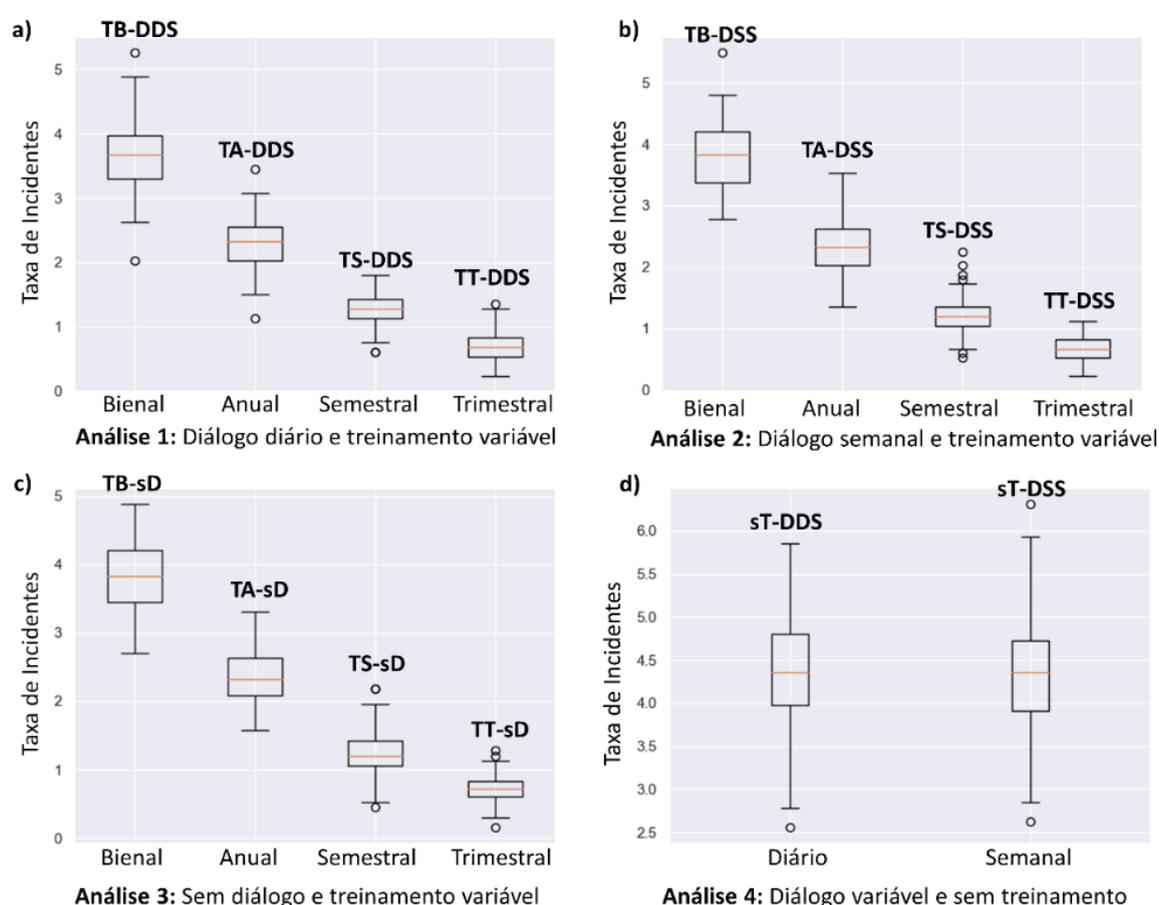
Os dados sobre a duração das atividades, a quantidade de grupos e trabalhadores foram mantidos constantes durante as simulações. Entretanto, foram realizadas simulações com diferentes periodicidades de treinamento, considerando

cenários com diálogo diário, semanal ou sem diálogo de segurança. Estas simulações foram realizadas para três níveis de frequência de feedback comportamental. A inicialização do modelo ocorre conforme apresentado no item de **Inicialização**.

Resultados da Simulação

Os efeitos diretos das três intervenções podem ser observados na Figura 37, considerando um cenário em que 30% dos trabalhadores recebem feedback sobre os seus comportamentos seguros ou inseguros. Na Figura 37, os eixos horizontais representam mudanças na frequência dos treinamentos ou diálogo de segurança e os eixos verticais referem-se à taxa de incidentes.

Figura 37 - Efeitos das estratégias gerenciais na taxa de incidentes (Probabilidade baixa de feedback comportamental)



Fonte: A autora

Observa-se através dos resultados obtidos pelas simulações que a combinação entre treinamentos trimestrais e diálogo diário de segurança (TT-DSS) ou semanal (TT

– DSS) são responsáveis pelas menores taxas de acidentes, e estes apresentam uma menor variabilidade e dispersão entre os dados, o que pode indicar que a população dos dados é mais homogênea [Figura 37 (a)].

TB-DDS, TA-DDS e TS-DDS apresentam maiores taxas de acidentes quando comparado com TT-DDS, sendo possível observar um crescimento nas taxas de acidentes à medida que diminui a periodicidade dos treinamentos de segurança. TB-DSS e TA-DSS apresentam outliers (ou valores atípicos). Neste caso, a presença de outliers pode indicar a existência de acidentes graves e/ou incomuns, sugerindo uma necessidade de investigação mais detalhada para entender as causas e implementar medidas preventivas [Figura 37 (a)].

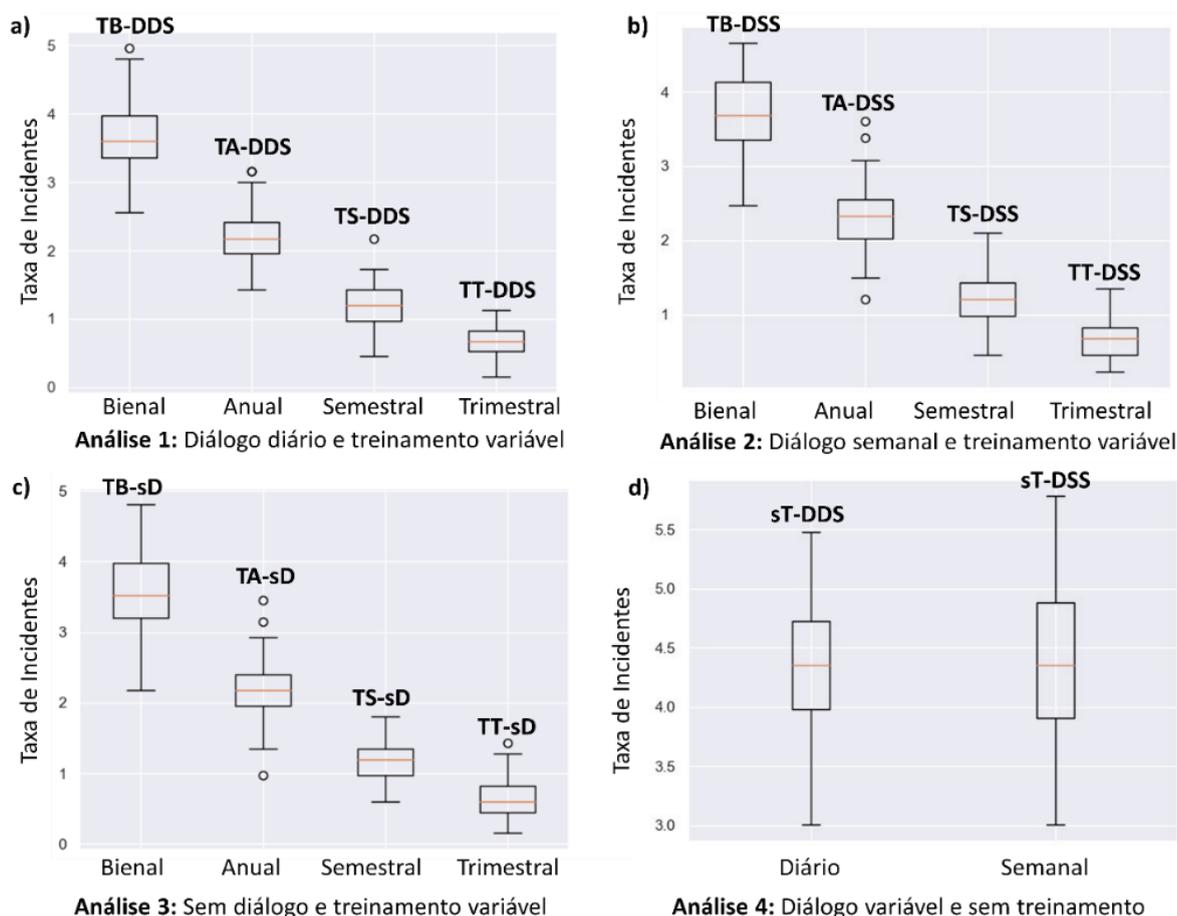
A Análise 2 também demonstra um aumento da taxa de acidentes com a redução da frequência dos treinamentos. Entretanto quando comparados com a Análise 1, os cenários apresentam valores semelhantes de mediana. Entretanto, o cenário TS-DSS, quando comparado com o TS-DDS, apresenta uma grande quantidade de outliers, demonstrando o impacto do diálogo diária para manutenção da segurança. Caso não haja diálogo diário ou semanal de segurança, como proposto na Análise 3, o melhor cenário seria a aplicação de treinamentos trimestrais [Figura 37 (c)].

A Análise 4 considera apenas o treinamento de segurança no momento de contratação do colaborador, sem levar em consideração uma periodicidade de revisão. Nesta análise, o diálogo diário de segurança é a melhor opção [Figura 37 (d)]. Entretanto, sT-DSS apresenta as maiores taxas de incidentes dentre os 14 cenários simulados, indicando o impacto positivo da maior periodicidade de treinamentos de segurança nos canteiros de obras.

Os resultados das simulações mostram que o treinamento trimestral é responsável pelas menores taxas de acidentes em todas as situações simuladas. Ao analisar o impacto dos diálogos diários de segurança e do feedback, não se observa uma diferença significativa nas taxas de incidentes, apresentando medianas semelhantes a 0,675 nos cenários com 30% e 50% de feedback (Figura 38). Essa similaridade não é vista na simulação com 70% de feedback, onde o impacto do diálogo semanal ($M_d = 0,600$) é maior do que o do diálogo diário ($M_d = 0,675$). A pior taxa de incidentes ocorre no cenário em que apenas 30% dos agentes trabalhadores

recebem feedback e não há diálogo de segurança ($M_d = 0,713$). Nota-se uma redução significativa na taxa de incidentes à medida que a proporção de feedback aumenta, permanecendo a mesma ($M_d = 0,600$), com frequência média e alta de feedback, independentemente da presença de diálogos de segurança.

Figura 38 - Efeitos das estratégias gerenciais na taxa de incidentes (Probabilidade média de feedback comportamental)



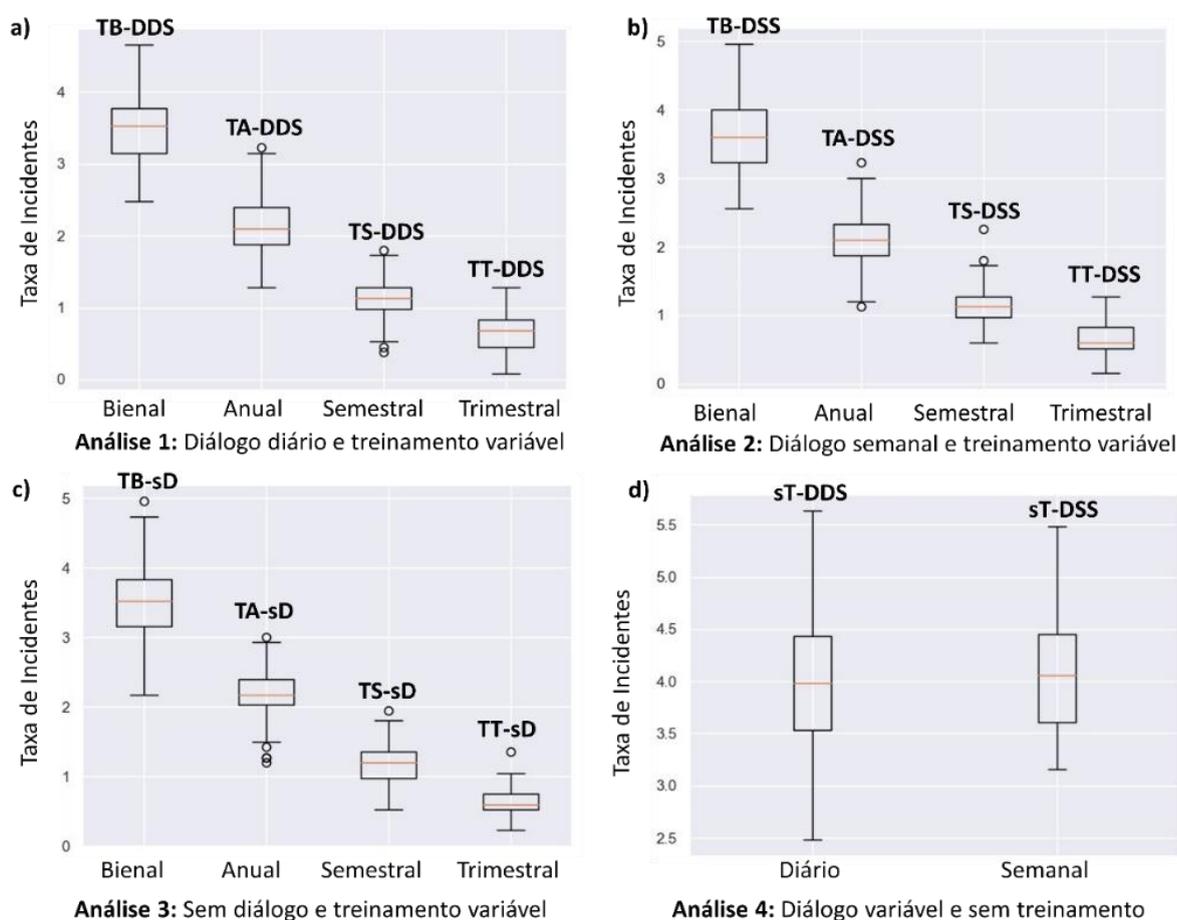
Fonte: A autora

Assim, observa-se que o diálogo de segurança tem um papel fundamental na manutenção da segurança quando a aplicação de feedbacks não é uma realidade da empresa. Entretanto, em um contexto em que a empresa tem uma maior cultura de passar feedback para os seus trabalhadores, o excesso de informação proporcionada pelos diálogos não traz um impacto positivo e significativo para a organização, sendo mais benéfico ter diálogos semanais do que diários com os trabalhadores.

Os resultados das simulações para treinamentos semestrais apresentam valores maiores para a taxa de incidentes quando comparado com o impacto dos

treinamentos trimestrais. Entretanto, nota-se uma constância nas taxas de incidentes, independente da frequência do feedback e do diálogo de segurança, com mediana = 1.201. A diferença é vista no cenário de 30% de feedback e DDS, com a maior taxa de incidentes ($M_d = 1.276$), e com 70% de feedback (Figura 39), que apresenta a mesma taxa, independentemente da frequência dos diálogos de segurança ($M_d = 1.126$), ou seja, diário ou semanal.

Figura 39 - Efeitos das estratégias gerenciais na taxa de incidentes (Probabilidade alta de feedback comportamental)



Fonte: A autora

Assim, observa-se que, embora o treinamento semestral tenha uma periodicidade menor em comparação com o treinamento trimestral, este treinamento apresenta um impacto mais constante e menor dependência de outras intervenções gerenciais, como feedback e diálogo de segurança. Foram encontrados valores semelhantes de taxa de incidentes tanto em um contexto de baixa frequência de

feedback e ausência de diálogo de segurança quanto em um cenário com frequência média ou alta de feedback.

Os resultados das simulações para treinamentos anuais apresentam valores maiores para a taxa de incidentes quando comparado com o impacto dos treinamentos trimestrais e semestrais. Os maiores valores de taxa de incidentes estão presentes no cenário com baixa frequência de feedback, e mesmo o DDS não é o suficiente para diminuir a taxa, permanecendo constante com ou sem o diálogo de segurança ($M_d = 2.327$). Ao aumentar a frequência do feedback, tem-se uma diminuição das taxas, exceto no cenário de 50% de feedback e DSS, mantendo a mediana de 2.327. As menores taxas de incidentes aparecem com a maior frequência de feedback, tanto acompanhada do diálogo diário quanto semanal ($M_d = 2.102$). Porém, a taxa volta a aumentar com a ausência do diálogo ($M_d = 2.177$), apesar da frequência alta do feedback.

Dessa forma, observa-se que ao diminuir a periodicidade do treinamento de segurança, a frequência do feedback comportamental oferece um impacto significativo nas taxas de incidentes, sendo explícita a influência dele nos resultados. Entretanto, para uma alta frequência de feedback, não é observado um impacto significativamente diferente do treinamento com DDS ou DSS, sendo ambas as opções uma estratégia satisfatória.

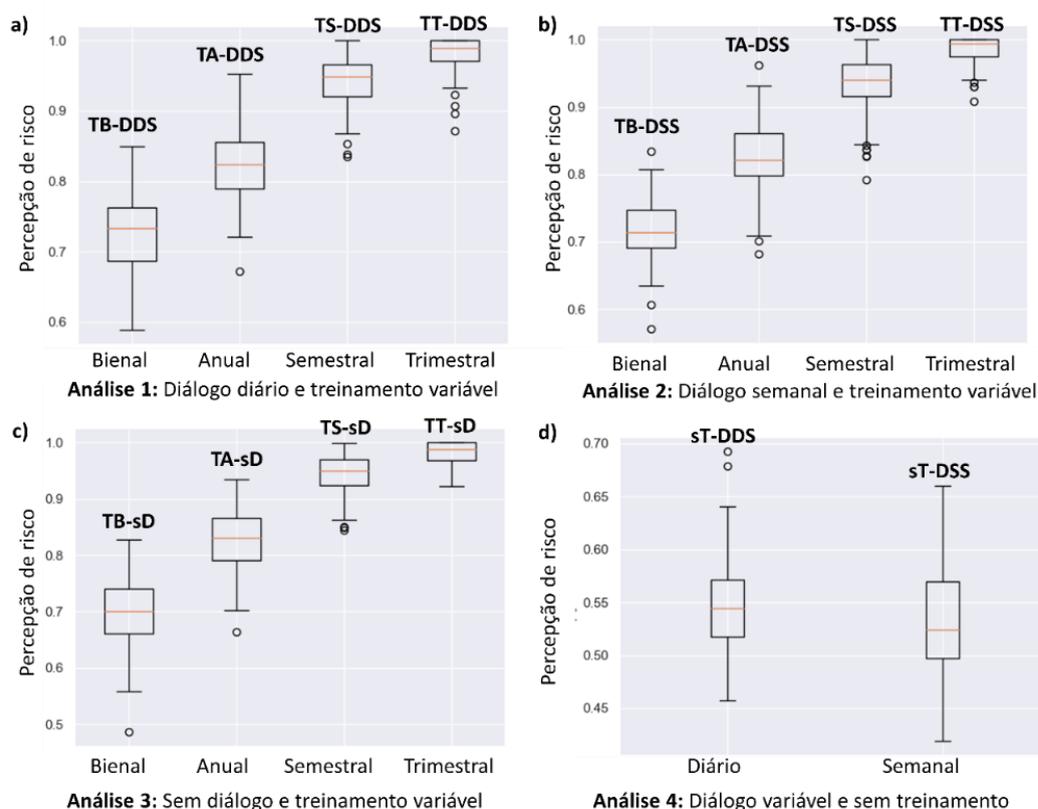
Analisando os resultados da simulação com treinamento bienal, observam-se as piores taxas de incidentes, comparando com os cenários com treinamento periódicos. As maiores taxas estão presentes no cenário com a menor frequência de feedback (30%), permanecendo alto tanto com DSS ou sem o diálogo de segurança ($M_d = 3.829$). Esse valor só diminui quando ao considerar o impacto do diálogo diário ($M_d = 3.679$). Nota-se uma diminuição das taxas de incidente ao aumentar a frequência do feedback. Entretanto, não é observado um impacto significativo do diálogo semanal de segurança quanto comparado com um cenário sem o diálogo. O menor valor de taxa de incidente ocorre na maior frequência de feedback (70%), com o diálogo diário de segurança ($M_d = 3.528$).

Comparando todas as simulações, as maiores taxas de incidentes ocorrem quando não é considerada a realização de treinamentos periódicos (Análise 4). Independente da frequência do feedback, baixa ($M_d = 4.354$), média ($M_d = 4.354$), e

alta ($M_d = 3.979$), os valores são os maiores encontrados. As taxas para os cenários de 30% e 50% de frequência de feedback permanecem as mesmas, independentemente do diálogo diário ou semanal. O impacto do diálogo diário é relevante apenas no cenário com a maior frequência de feedback (70%), com a mediana de 3.979.

A figura 40 apresenta o impacto das intervenções na percepção de risco dos agentes, para um cenário em que 30% dos trabalhadores recebem feedbacks em relação ao comportamento de segurança. A figura 41 mostra os efeitos das intervenções em um cenário onde 50% dos agentes trabalhadores recebem feedback sobre seus comportamentos seguros ou inseguros. Já a figura 42 apresenta um cenário em que 70% dos agentes trabalhadores recebem feedback sobre seus comportamentos seguros ou inseguros. Os eixos horizontais representam mudanças na frequência dos treinamentos ou diálogo de segurança e os eixos verticais referem-se aos valores de percepção de risco.

Figura 40 - Efeitos das estratégias gerenciais na percepção de risco dos agentes (Probabilidade baixa de feedback comportamental)



Fonte: A autora

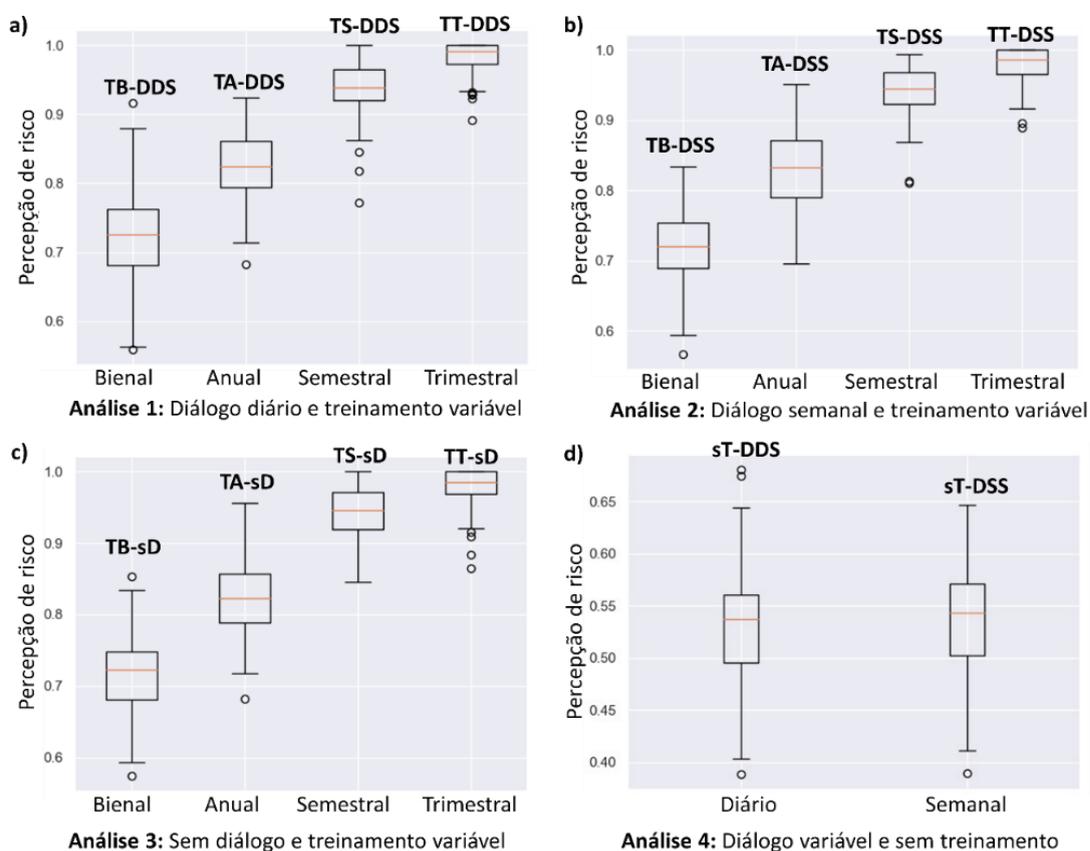
Observa-se, através dos resultados obtidos pelas simulações, que os treinamentos trimestrais influenciam nos maiores valores de percepção de risco de trabalhadores, independente do diálogo de segurança, apresentando valores similares com a combinação de treinamento trimestral com diálogo diário (Md = 0.989), semanal (Md = 0.993) ou sem o diálogo de segurança (Md = 0.988). Entretanto, observa-se na figura 39 (a), que a combinação entre treinamentos trimestrais e diálogo diário de segurança diário (TT-DSS), apresenta um maior número de outliers, indicando a presença de trabalhadores com um nível menor de percepção de risco.

Os cenários referentes a análise 1, TB-DDS (Md = 0.733), TA-DDS (Md = 0.824), e TS-DDS (Md = 0.949), apresentam menores valores de percepção de risco quando comparado com TT-DDS (Md = 0.989), sendo possível observar um aumento nos valores à medida que aumenta a periodicidade dos treinamentos de segurança. Apesar do TB-DDS ser o único cenário que não apresenta outliers, este é o que apresenta uma maior variação de dados, indicando uma maior variabilidade dentro o grupo dos trabalhadores referente a percepção de risco.

A Análise 2 também demonstra um aumento da percepção de risco com o aumento da frequência dos treinamentos. Entretanto, o cenário TS-DSS, quando comparado com o TS-DDS, apresenta uma maior dispersão dos dados, demonstrando o impacto do diálogo diário para manutenção da segurança. Caso não haja diálogo diário ou semanal de segurança, como proposto na Análise 3, o melhor cenário seria a aplicação de treinamentos trimestrais [Figura 40 (c)].

A Análise 4 considera apenas o treinamento de segurança no momento de contratação do colaborador, sem levar em consideração uma periodicidade de revisão. Nesta análise, o diálogo diário de segurança é a melhor opção [Figura 40 (d)]. Entretanto, sT-DSS apresenta o menor valor de percepção de risco dentre os 14 cenários simulados, indicando o impacto positivo da maior periodicidade de treinamentos de segurança nos canteiros de obras.

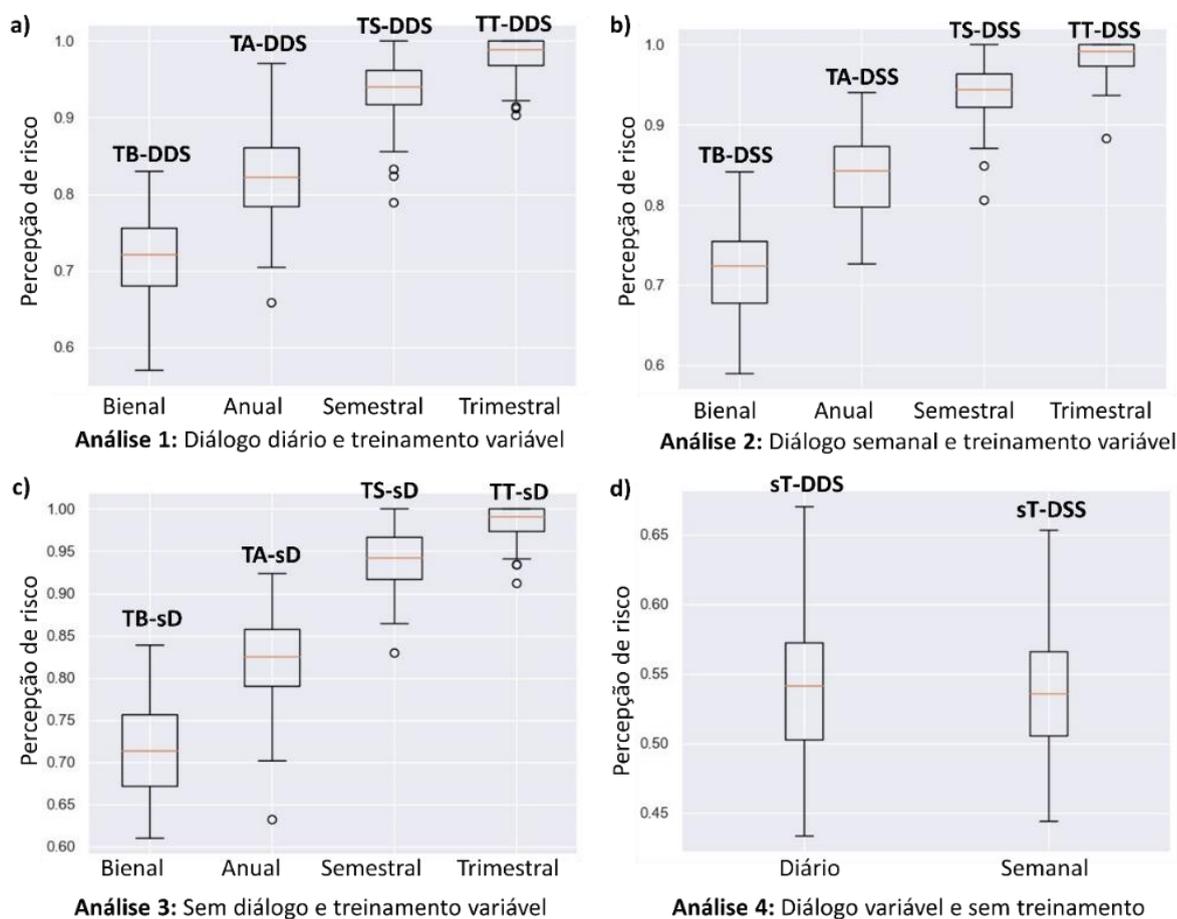
Figura 41 - Efeitos das estratégias gerenciais na percepção de risco dos agentes (Probabilidade média de feedback comportamental)



Fonte: A autora

Considerando os resultados em que 50% dos trabalhadores recebem feedbacks comportamentais (Figura 41), os cenários referentes a análise 1, TB-DDS (Md = 0.726), TA-DDS (Md = 0.824), e TS-DDS (Md = 0.939), apresentam menores valores de percepção de risco quando comparado com TT-DDS (Md = 0.992), sendo possível observar um aumento nos valores à medida que aumenta a periodicidade dos treinamentos de segurança. Entretanto, não é observada uma mudança significativa em relação as medianas para diferentes periodicidades de diálogo de segurança. A maior diferença ocorre no cenário com treinamentos anuais, em que o TA-DDS (Md = 0.824) é menor que o TA-DSS (Md = 0.832), e próximo ao TA-sD (Md = 0.823).

Figura 42 - Efeitos das estratégias gerenciais na percepção de risco dos agentes (Probabilidade alta de feedback comportamental)



Fonte: A autora

Considerando os resultados em que 70% dos trabalhadores recebem feedbacks comportamentais (Figura 42), a maior diferença entre os valores de percepção de risco ocorre no cenário com treinamentos anuais, em que o TA-DDS (Md = 0.822) é menor que o TA-DSS (Md = 0.843), e próximo ao TA-sD (Md = 0.825). Para o treinamento trimestral, a maior diferença é do TA-DSS (Md = 0.824) para o TA-sD (Md = 0.714), indicando o impacto do diálogo de segurança para a conscientização dos trabalhadores. Para treinamento semestral, ocorre um aumento da percepção de risco para um cenário com diálogo diário (Md = 0.940) para o semanal (Md = 0.945). Entretanto, em uma realidade sem treinamentos periódicos, o diálogo diário de segurança (Md = 0.542) se mostra como uma alternativa necessária e relevante, apresentando valor maior do que como diálogo semanal de segurança (Md = 0.536).

Os resultados das simulações mostram que o treinamento trimestral é responsável pelos maiores valores de percepção de risco em todas as situações simuladas. Ao analisar o impacto dos diálogos diários de segurança e do feedback, não se observa uma diferença significativa na percepção de risco, com 30% (Md = 0,990), 50% (Md = 0,992) e 70% (Md = 0,989) apresentando valores próximo a 0,990. Considerando o impacto do diálogo semanal de segurança, observa-se uma maior discrepância entre os valores com 30% (Md = 0,994), 50% (Md = 0,986) e 70% (Md = 0,992). Para treinamento trimestral, a combinação diálogo semanal e 30% de feedback é a que apresenta maior valor de percepção de risco, apesar desse valor estar próximo dos outros resultados encontrados.

O menor valor de percepção de risco ocorre no cenário em que apenas 30% dos agentes trabalhadores recebem feedback e não há diálogo de segurança (Md = 0,988). Não é observado um aumento significativo na percepção de risco à medida que a proporção de feedback aumenta, ocorrendo reduções na percepção mesmo com o aumento de frequência de feedback e com mudança de frequência de diálogo de segurança. Os resultados indicam que para uma maior frequência de treinamentos, e maior frequência de feedback comportamental, o diálogo de segurança se torna dispensável para conscientização dos trabalhadores.

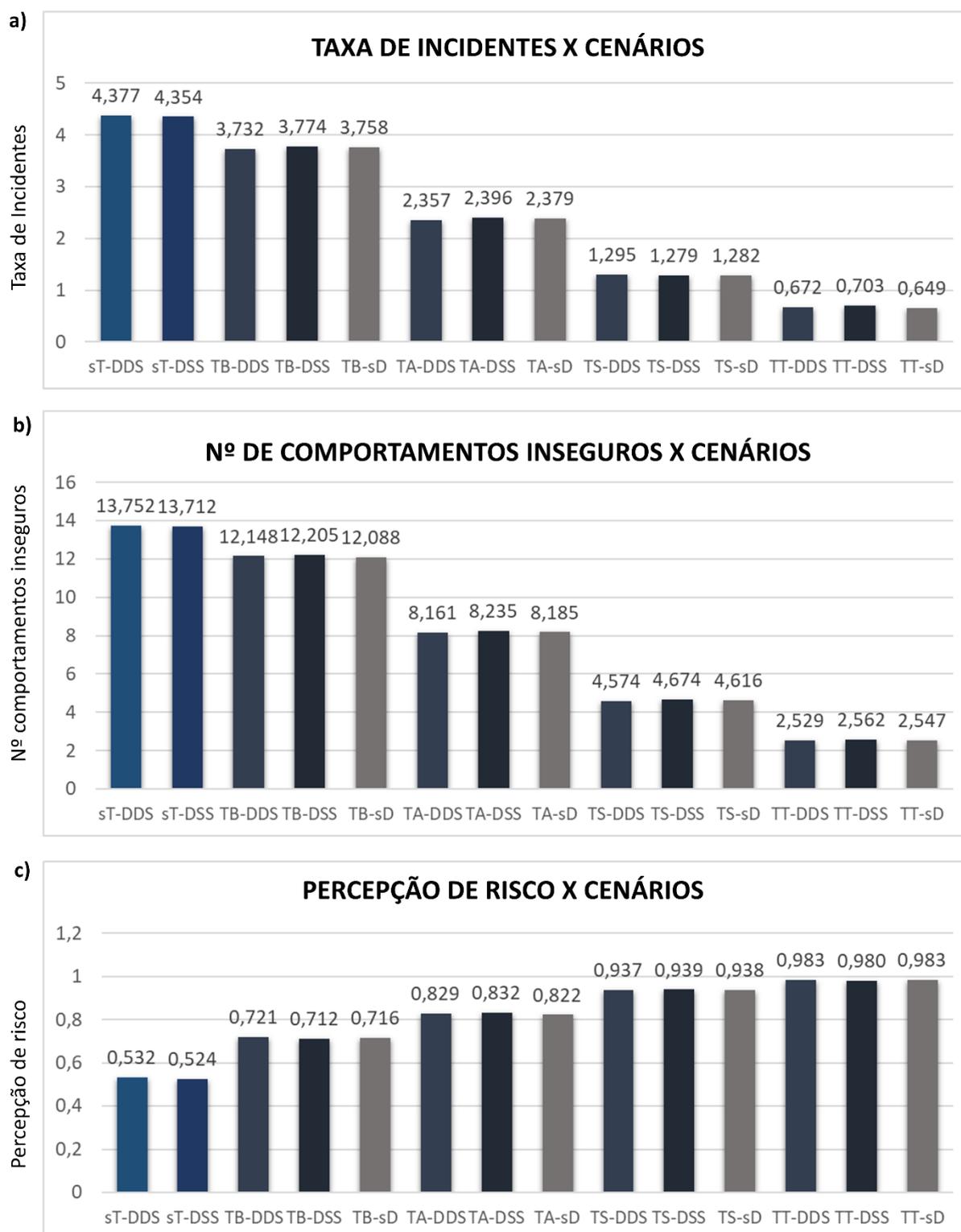
Considerando os cenários com treinamento semestral, as simulações apresentam valores de mediana próximo a 0,940, independente da frequência de feedback e da periodicidade dos diálogos de segurança. Entretanto, observa-se que o maior valor de percepção de risco ocorreu na simulação em que os trabalhadores têm 30% de probabilidade de receber feedback, sem o diálogo de segurança. Este resultado indica que os treinamentos semestrais são suficientes para garantir um maior conhecimento de segurança e dos riscos no ambiente de trabalho.

Para os cenários de treinamento anuais, observar-se uma constância na percepção de risco, independente da frequência dos feedbacks, para simulações com diálogo diário de segurança, apresentando medianas próximas a 0,820. Entretanto, considerando os cenários com diálogo semanal, observa-se um aumento gradual da percepção de risco dos trabalhadores à medida que aumenta a probabilidade do feedback (para 30% a mediana foi de 0,822, com 50% aumentou para 0,832 e com 70% a mediana apresentou o maior valor de percepção de risco, de 0,843).

Ao diminuir a periodicidade dos treinamentos, têm-se uma redução dos níveis de percepção de risco dos trabalhadores, apresentando a menor mediana de todas as simulações, sendo esta igual a 0,701, para um cenário com 30% de feedback e sem diálogo de segurança. O maior valor de percepção de risco é de 0,734, cenário em que 30% dos trabalhadores recebem feedback comportamental, e que os diálogos de segurança são diários. Observa-se uma redução da percepção de risco dos trabalhadores ao aumentar a probabilidade dos feedbacks, com diálogo diário de segurança, diminuindo para 0,726 para 50% de feedback, e para 0,721 para 70% de feedback. Entretanto, considerando o diálogo semanal, observa-se um aumento da percepção de risco à medida que aumenta a frequência do feedback. Aumentando de 0,714 (30%) para 0,721 com 50% de feedback, e finalizando com 0,724 para 70% de feedback. Observa-se que os efeitos do diálogo de segurança são mais significativos em uma realidade em que os treinamentos de segurança têm uma menor periodicidade.

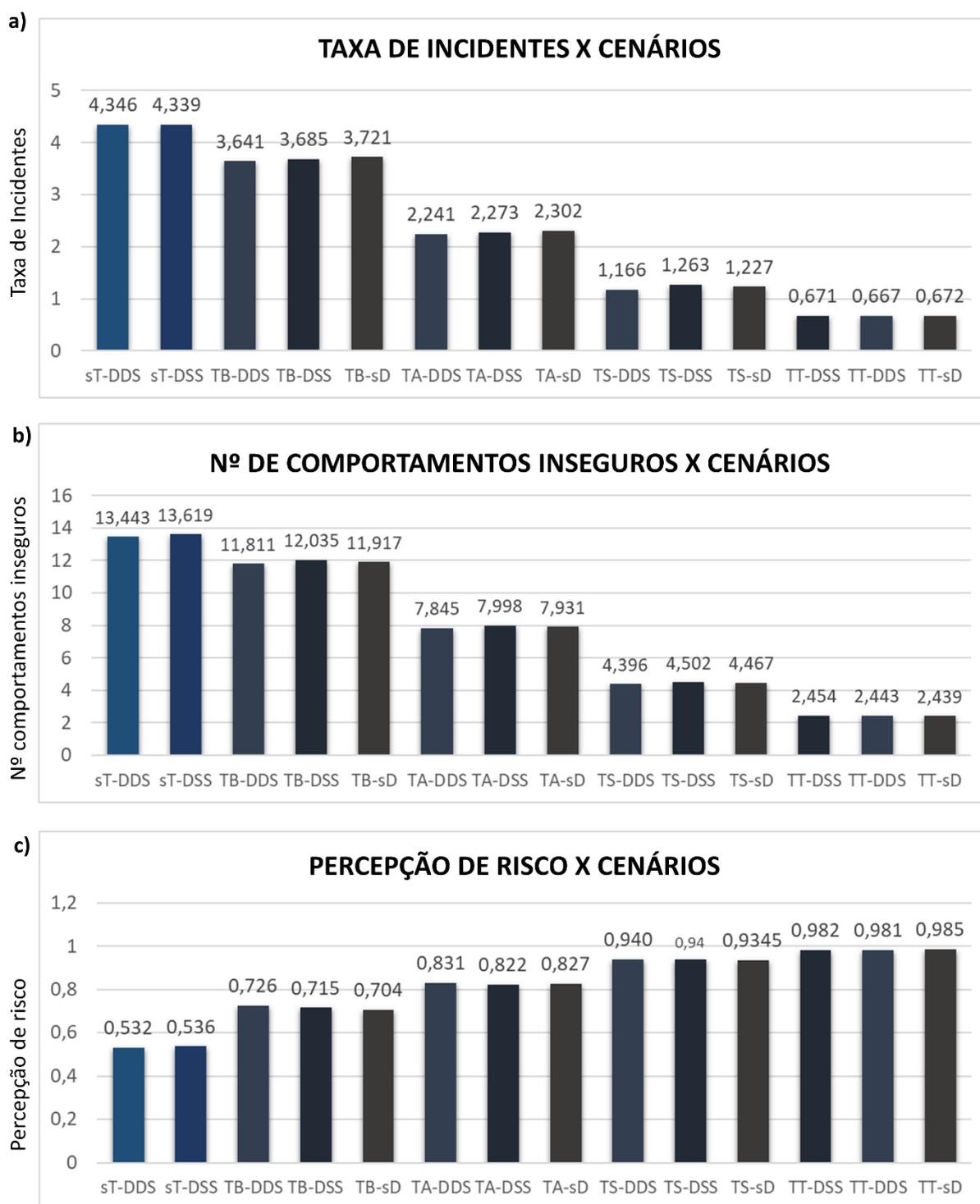
A Figura 43 apresenta o resumo dos resultados da simulação para os cenários com baixa probabilidade de feedback comportamental, a Figura 44 para a probabilidade média e a Figura 45 para a probabilidade alta.

Figura 43 - Resumo das análises (Probabilidade baixa de feedback comportamental)



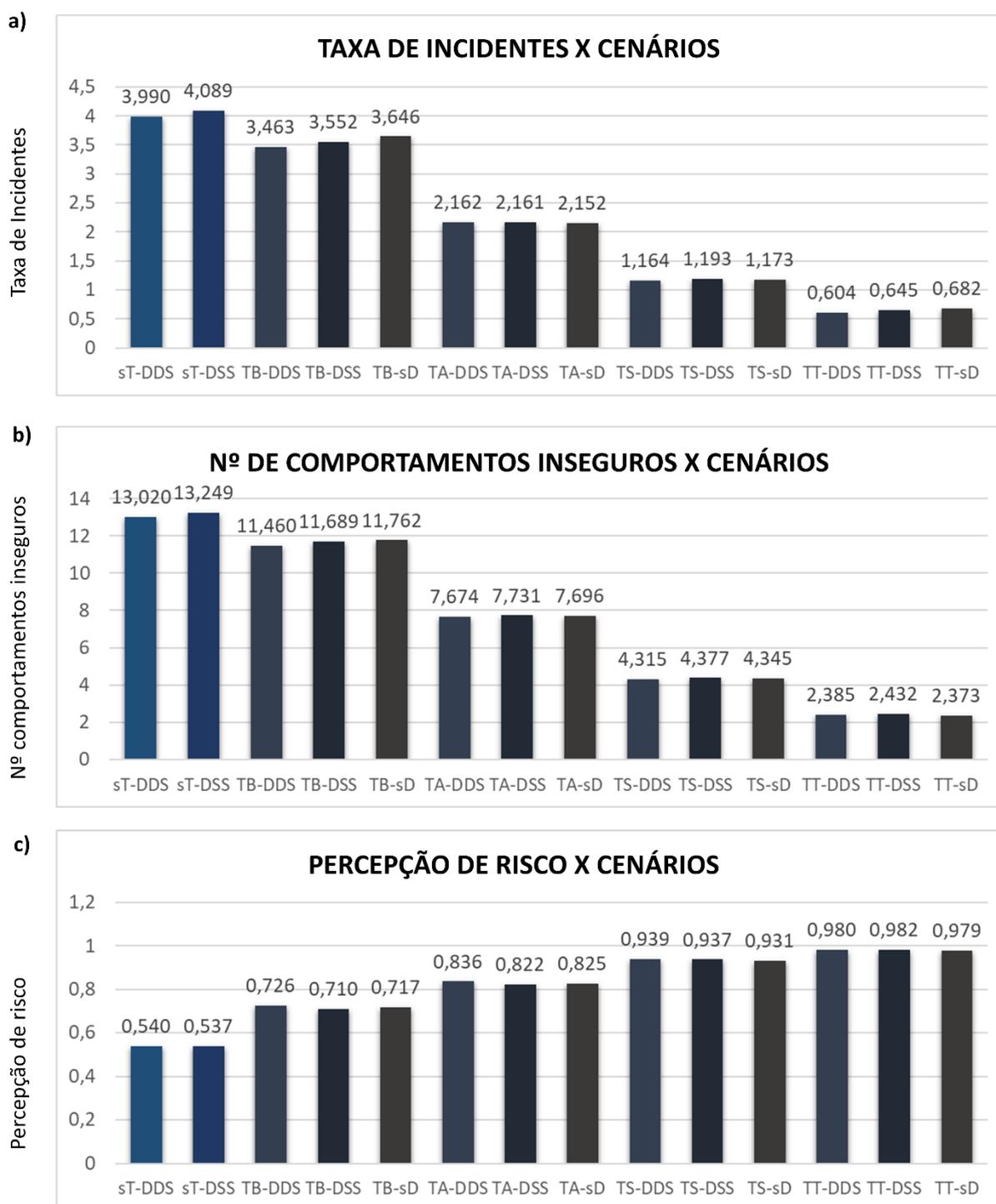
Fonte: A autora

Figura 44 - Resumo das análises (Probabilidade média de feedback comportamental)



Fonte: A autora

Figura 45 - Resumo das análises (Probabilidade alta de feedback comportamental)



Fonte: A autora

5.4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA ETAPA DE DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO

Na etapa de validação do modelo desenvolvido, os resultados obtidos confirmam a aplicação da teoria do risco para orientar a tomada de decisão dos trabalhadores. Os dados indicaram que a percepção de risco e a tolerância ao risco influenciam diretamente na ocorrência de comportamentos inseguros. Estes achados são consistentes com os encontrados na literatura (Li *et al.*, 2022; Ji, Wei e Chen, 2019; Liang e Zhang, 2018).

Assim como Li *et al.* (2022), este estudo buscou verificar a validação replicativa do modelo, mostrando que o nível de percepção de risco é inversamente proporcional ao número de comportamentos inseguros, enquanto a tolerância ao risco é diretamente proporcional ao número de comportamentos inseguros. Por outro lado, Ji, Wei e Chen (2019) não realizaram validação replicativa ou estrutural, mas apenas analisaram a aplicabilidade do modelo por meio de simulações.

Liang e Zhang (2018) analisaram a validação replicativa do modelo, verificando a relação entre o número de violações de segurança dos colegas de trabalho (comportamentos inseguros) e a tolerância ao risco dos trabalhadores. Os autores identificaram que as violações de segurança dos colegas têm um efeito positivo no nível de tolerância ao risco dos indivíduos. Este resultado está em consonância com os achados desta pesquisa, que relacionam o impacto do clima de segurança do grupo com a tolerância ao risco dos trabalhadores.

Os resultados relacionados à atitude de risco e à tolerância ao risco são coerentes com os encontrados por Choi e Lee (2018). Estes indicam que, se um trabalhador tem uma atitude de se expor a situações de risco, isso implica que ele possui uma maior tolerância ao risco.

Em relação aos indicadores analisados, como a taxa de comportamento inseguro e a taxa de incidentes, os resultados encontrados estão de acordo com os dados empíricos de estudos anteriores (Choi e Lee, 2018; Liang e Zhang, 2018). As pesquisas de Sa *et al.* (2009) e Fang e Wu (2013) indicam que um terço dos trabalhadores apresenta comportamentos inseguros. A taxa média de acidentes é

calculada e comparada com as estatísticas de outros modelos, que são próximas a 3,3 (Choi e Lee, 2018; Liang e Zhang, 2018).

Os resultados da validação da aplicabilidade demonstram a sensibilidade do modelo às alterações na periodicidade das práticas na influência sobre o comportamento inseguro dos trabalhadores. Os resultados das simulações indicam que o MBA tem o potencial de gerar informações estratégicas para auxiliar na tomada de decisões dos gestores de segurança em canteiros de obras. Este modelo se destaca ao realizar a simulação considerando simultaneamente o efeito de três estratégias de segurança: treinamento de segurança, diálogo de segurança e feedback comportamental.

Enquanto Choi e Lee (2018) analisa apenas o impacto de diferentes rigor e frequência de feedback, considerando canteiros com três níveis diferentes de risco, este trabalho avança ao considerar o impacto do treinamento de segurança e do diálogo de segurança, além do impacto de diferentes frequências de feedbacks comportamentais.

Em relação ao feedback de segurança, diversos autores avaliaram o impacto deste no comportamento dos trabalhadores (Li *et al.*, 2022; Ye *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2019; e Choi e Lee (2018). Li *et al.* (2022) consideram a assistência mútua entre os trabalhadores como a principal fonte de feedback e analisam o impacto positivo que um colaborador pode exercer no outro através de lembretes sobre comportamentos de segurança. Ye *et al.* (2020) veem o feedback como um mecanismo para os trabalhadores compreenderem o grau de tolerância ao risco por parte do encarregado e do gestor, reforçando o comportamento seguro e apresentando um impacto positivo nesse sentido. Zhang *et al.* (2019) avaliam o impacto do feedback dos supervisores e os resultados da simulação indicam que o comportamento inseguro dos trabalhadores e os incidentes de segurança estão obviamente relacionados com o comportamento dos supervisores. A pesquisa de Choi e Lee (2018) analisa o impacto do feedback em canteiros de obras com diferentes graus de risco, indicando que, em canteiros de baixo risco, outras intervenções gerenciais não terão um impacto significativo sem a aplicação de feedbacks.

Alguns autores avaliaram o impacto do treinamento de segurança e da comunicação de segurança (Lu *et al.*, 2022; Ye *et al.*, 2020 e Zhang *et al.*, 2019) no

comportamento seguro dos trabalhadores. Entretanto, os autores analisam o impacto das práticas isoladas, ao invés de analisar o impacto do uso integrado das práticas de gestão da segurança.

Os resultados do modelo desenvolvido por Ye *et al.* (2020) demonstram que o treinamento de segurança tem um enorme impacto no comportamento inseguro dos trabalhadores, porém, que o treinamento excessivo não é eficaz. O modelo de Zhang *et al.* (2019), por sua vez, indica que treinamentos de segurança devem ser realizados com frequência regular para manter o desempenho de segurança em um nível alto e estável. Visto isso, foram analisadas três frequências de treinamento no MBA desenvolvido, e os resultados indicam que os treinamentos trimestrais apresentam os melhores resultados para a redução da taxa de incidentes. Entretanto, apenas o treinamento não é suficiente para a manutenção da segurança nos canteiros de obra.

Assim, os resultados demonstram que treinamentos de segurança frequentes têm o potencial de aumentar a conscientização e o conhecimento de segurança dos trabalhadores, melhorando sua capacidade de compreender e obter informações de segurança, o que pode prevenir comportamentos inseguros.

O resultado de Lu, Liu e Li (2022) indicam que realizar treinamentos diários de segurança pode ser a melhor estratégia de gestão. Os autores analisaram o impacto de treinamentos a cada 30, 21, 14, 7 e 1 dia. Entretanto, os autores consideram treinamentos de segurança como atividades de educação e treinamento com o objetivo de melhorar a qualidade da segurança dos trabalhadores. Logo, estes resultados podem ser refletidos para o cenário brasileiro como o diálogo diário de segurança, sendo coerente com os resultados encontrados no MBA desenvolvido.

As pesquisas de Lu, Liu e Li (2022), Ye *et al.* (2020) e Zhang *et al.* (2019) analisaram o impacto do treinamento e da comunicação de segurança no comportamento seguro dos trabalhadores da construção civil.

Ye *et al.* (2020) avalia o impacto da comunicação de segurança do mestre de obras/encarregado no comportamento seguro dos trabalhadores. Os resultados obtidos indicam que a maior frequência da comunicação de segurança auxilia os trabalhadores a terem uma consciência de segurança mais forte e mais conhecimento de segurança. Sendo responsável por aumentar a percepção de risco dos

trabalhadores e a compreensão dos riscos, reduzindo assim o comportamento inseguro.

Para Lu, Liu e Li (2022) a comunicação de segurança refere-se à comunicação de informações sobre questões de segurança entre gerentes e trabalhadores. O MBA desenvolvido por Lu, Liu e Li (2022) indica que a comunicação adequada pode aumentar a conscientização dos trabalhadores sobre os riscos de segurança, mas um excesso de comunicação pode sobrecarregá-los e levar ao tédio psicológico. Assim, os autores sugerem que os gerentes devem priorizar uma frequência moderada de comunicação e prestar mais atenção aos estilos de comunicação do que à sua frequência. A revisão da literatura (Etapa de Conscientização) destacou a relação entre o clima de segurança organizacional (CSO) e a tolerância ao risco dos indivíduos (Choi e Lee, 2018).

A má comunicação de segurança é um problema expressivo na indústria da construção (Pandit *et al.*, 2019). A falta de envolvimento e inclusão dos trabalhadores durante as reuniões de planejamento de segurança é uma observação relevante, uma vez que esses momentos são fundamentais para discutir riscos de segurança e prevenção de lesões (Borys, 2012). Portanto, é essencial implementar métodos eficazes para melhorar a comunicação e o treinamento de segurança (Ye *et al.*, 2020).

Dessa forma, observa-se que os resultados obtidos no modelo estão coerentes com os resultados encontrados na literatura. Entretanto observa-se poucos estudos que analisem o impacto do treinamento e da comunicação de segurança no comportamento de segurança dos trabalhadores da construção civil, e que considerem o impacto simultâneo de mais de uma estratégia gerencial de segurança. Os resultados preliminares indicam o impacto significativo destas estratégias na percepção de riscos dos indivíduos e consequente redução dos comportamentos inseguros e diminuição das taxas de incidentes.

É crucial destacar que a norma regulamentadora NR-18 (BRASIL, 2020), descreve os itens necessários ao canteiro de obras para se garantir o conforto e a segurança deste ambiente de trabalho. No Quadro 1 do Anexo I, observa-se que a norma estabelece a obrigatoriedade da capacitação básica em segurança do trabalho a cada 2 anos, com uma carga horária de 4 horas. Ademais, a norma ressalta que é

admissível a realização de treinamentos eventuais, cuja carga horária fica a critério dos empregadores.

A NR-35 – Trabalho em Altura (BRASIL, 2019) estabelece os requisitos mínimos de segurança que devem ser assegurados para atividades executadas acima de dois metros do nível do solo e que exista risco de queda. No item 35.4.2.1, a norma determina que o treinamento inicial, com carga horária mínima de 8 (oito) horas, deve ser realizado antes de o trabalhador iniciar a atividade. E reafirma, no item 35.4.2.2, que o treinamento periódico deve ser realizado a cada dois anos, com carga horária mínima de oito horas, conforme conteúdo programático definido pelo empregador.

Entretanto, conforme os resultados obtidos com a análise dos resultados preliminares do questionário (Item 5.2.5), nota-se que a periodicidade de 24 meses é a que apresenta os piores índices de impacto na identificação dos riscos por parte dos colaboradores. Estes resultados indicam que o tempo previsto pela norma é insuficiente para garantir que os profissionais executem o seu trabalho com segurança e desenvolvam uma visão apurada da segurança, de modo a conseguirem identificar os riscos no ambiente de trabalho. Esta falta de conhecimento de segurança pode levar os profissionais a cometerem atos inseguros, não devido a decisões racionais de se colocarem a enfrentar o risco, mas pelo conhecimento insuficiente de segurança fornecidos pela empresa, apoiados por uma obrigatoriedade normativa ineficaz.

A NR-01 (BRASIL, 2020) tem como objetivo principal proporcionar a saúde e a integridade física dos colaboradores, por meio da indicação de disposições gerais, bem como ferramentas para o gerenciamento de riscos ocupacionais que podem ser ocasionados durante o trabalho. O item 1.7.1.2 indica a obrigatoriedade de três capacitações: treinamento inicial, periódico e eventual.

O treinamento inicial deve ocorrer antes do trabalhador iniciar suas atividades (Item 1.7.1.2.1). O treinamento periódico, de acordo com o item 1.7.1.2.2 da NR-01 (BRASIL, 2020), deve ocorrer de acordo com periodicidade estabelecida nas NR ou, quando não estabelecido, em prazo determinado pelo empregador. O item 1.7.1.2.3, apresenta três situações para justificar a necessidade de um treinamento eventual: a) quando houver mudança nos procedimentos; b) na ocorrência de acidente grave ou fatal; ou c) após retorno de afastamento ao trabalho por período superior a 180 (cento e oitenta) dias.

Percebe-se que as normas não incluem qualquer disposição relativa aos diálogos de segurança. Sendo possível notar a ausência de informações sobre a frequência adequada ou os tópicos a serem abordados. A norma apenas destaca a necessidade de um treinamento prévio ao início das atividades, sem, contudo, sugerir a duração apropriada ou especificar o profissional responsável pela condução dessa atividade.

Os treinamentos da NR-18 e NR-35 devem ser realizados a cada 2 anos, com uma carga horária de 4 horas ou 8 horas, respectivamente. Porém, visto os resultados do item 5.1.5, observa-se que de acordo com a percepção dos colaboradores, os diálogos de segurança se mostram mais eficientes para auxiliá-los na identificação de riscos, do que os treinamentos de segurança.

Assim, considerando os resultados da análise estatística preliminar, percebem-se potenciais melhorias no modelo baseado em agentes produzido. Primeiramente, deverá ser considerado dois tipos de treinamentos no MBA, o treinamento de riscos gerais (NR-18) e treinamento de atividades em altura (NR-35). Assim, como deve ser modificado a influência dos diálogos de segurança e dos treinamentos na percepção de riscos dos colaboradores, considerando que o DDS influencia mais que os treinamentos para identificação de riscos nos canteiros de obras. Para a definição desses valores, poderão utilizados os dados do questionário de modo a criar uma taxa para ser aplicado no código do MBA. Da mesma forma, é possível ajustar o código para permitir a indicação do número de colaboradores envolvidos durante a execução das paredes de concreto, de modo que sejam consideradas todas as equipes de trabalho envolvidas.

6. CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo, serão apresentadas as conclusões deste estudo, juntamente com sugestões para pesquisas futuras relacionadas ao tema.

6.1. CONCLUSÕES DO TRABALHO

Esta dissertação teve como principal objetivo desenvolver um modelo baseado em agentes cujo propósito é representar o processo sociocognitivo dos comportamentos de segurança dos trabalhadores da construção civil, para compreender o impacto de diferentes ações gerenciais voltadas à segurança (treinamento, inspeção, comunicação e clima de segurança) no processo de tomada de decisão dos trabalhadores da construção civil. Esta ferramenta visa identificar os melhores cenários e práticas a serem adotados, fornecendo suporte à tomada de decisão dos gestores de segurança ao apontar as ações mais eficazes para promover um ambiente de trabalho mais seguro e saudável nos canteiros de obras. O objetivo deste modelo é ser utilizado como uma ferramenta de diagnóstico, auxiliando os gestores na tomada de decisões durante o planejamento de longo prazo da segurança, ao determinar o melhor cenário a ser seguido de acordo com a realidade do canteiro de obras.

Para complementar o objetivo principal, foram definidos os seguintes objetivos específicos: (a) Identificar os parâmetros de mensuração da influência das estratégias gerenciais no comportamento seguro e inseguro de montadores de parede de concreto; (b) Analisar a percepção de trabalhadores da construção civil sobre o impacto das estratégias gerenciais (treinamento, inspeção, comunicação e clima de segurança) na sua percepção de risco; (c) Avaliar a aplicabilidade do modelo baseado em agentes proposto para apoiar a tomada de decisão dos gestores das obras quanto às estratégias gerenciais de segurança no comportamento seguro e inseguro de montadores de parede de concreto moldada in loco.

Com base no que foi apresentado e discutido ao longo desta dissertação, pode-se concluir que os objetivos propostos foram atingidos, resultando em importantes contribuições para a pesquisa. A principal contribuição deste estudo é o modelo baseado em agentes proposto, que foi verificado, calibrado e validado, com base no conhecimento teórico adquirido a partir da etapa de **Conscientização** e nos dados do

estudo empírico na etapa de **Sugestão**. Além disso, os principais resultados do trabalho são destacados a seguir.

Identificação dos parâmetros de mensuração da influência das estratégias gerenciais no comportamento seguro e inseguro de montadores de parede de concreto.

Para identificar os parâmetros a serem considerados na análise do impacto das estratégias gerenciais sobre o comportamento dos trabalhadores, foi necessário, inicialmente, compreender o processo cognitivo-comportamental dos mesmos. Isso permitiu identificar os fatores que influenciam comportamentos seguros e inseguros, e como as estratégias gerenciais podem afetar o processo decisório dos trabalhadores.

Com base na etapa de **Conscientização**, foi proposta uma estrutura teórica para o processo cognitivo-comportamental dos trabalhadores da construção civil (Figura 1). Essa estrutura relaciona os aspectos comportamentais dos trabalhadores, com as estratégias gerenciais de segurança. No entanto, essas relações geraram hipóteses de pesquisa que foram testadas para assegurar que a representação fosse o mais fiel possível à realidade. Após a análise dos dados do **estudo empírico**, foi definida a estrutura conceitual do processo cognitivo-comportamental dos trabalhadores da construção civil com as hipóteses aceitas (Figura 28).

Assim, estrutura conceitual proposta relaciona as três etapas do processo cognitivo dos trabalhadores (percepção de risco, avaliação do risco e tomada de decisão) à Teoria do Risco, considerando que a comunicação, o treinamento, as inspeções e os feedbacks de segurança influenciam diretamente a atitude de risco dos trabalhadores, o número de comportamentos inseguros e de incidentes. Os resultados confirmam que treinamentos e comunicação impactam a percepção de risco, enquanto feedbacks afetam a tolerância ao risco. Além disso, o Clima de Segurança Organizacional e de Grupo influencia a tolerância ao risco, com inspeções e feedbacks indicando a prioridade dada à segurança pela empresa.

Neste sentido, os parâmetros considerados na estrutura conceitual para mensurar a influência das estratégias gerenciais no comportamento seguro e inseguro de montadores de parede de concreto são: percepção de risco, tolerância ao risco,

avaliação do risco, tomada de decisão, atitude de risco, número de comportamentos inseguros e número de incidentes.

Análise da percepção de trabalhadores da construção civil sobre o impacto das estratégias gerenciais (treinamento, inspeção, comunicação e clima de segurança) na sua percepção de risco.

Foi aplicado um questionário guiado, com os 26 montadores da Obra A, com duração de 2 horas, composto por 8 grupos de perguntas: perfil do(a) entrevistado(a), percepção de risco dos colaboradores, percepções de comportamento de segurança, impacto das ações gerenciais, clima de segurança organizacional, clima de segurança de grupo, comportamento dos colaboradores, ações gerenciais de segurança.

Após a coleta, os dados obtidos passaram por um processo de análise estatística, os quais foram realizados os seguintes teste estatísticos: teste de média, variância e desvio padrão; *teste-t* de *Student* Independente, *teste-t* de *Student* Pareado e teste de regressão Linear (Método dos mínimos quadrados). A partir da análise de dados, foi possível aceitar ou refutar as hipóteses de pesquisas, as quais auxiliaram no desenvolvimento da estrutura teórica e das equações do modelo baseado em agentes.

A análise dos dados confirmou o impacto positivo do clima de segurança no comportamento dos trabalhadores, apesar de não confirmarem o impacto do clima de segurança organizacional no clima de segurança de grupo, mas validam a importância da interação social no comportamento seguro dos trabalhadores, e indicam que a atitude de segurança pode prever o comportamento seguro do trabalhador.

Sobre o impacto das estratégias gerenciais de segurança, tem-se que: O impacto de treinamentos de riscos gerais é mediano, Treinamentos para atividades em altura tem impacto baixo, com alta divergência e variabilidade de respostas. Os diálogos diários de segurança diário ou semanal tem impacto alto, e os feedbacks positivos e negativos são eficazes. Os resultados do estudo validam o uso da Teoria do Risco para representar o processo de tomada de decisão de segurança dos colaboradores da construção civil.

Analisando o impacto das ações gerenciais no comportamento de segurança, foi avaliado o impacto de treinamentos com diferentes periodicidades (3, 6, 12 e 24

meses). Os resultados indicam que: Treinamentos a cada 3 e 6 meses possuem impactos similares entre si; Treinamentos a cada 3 meses comparados com os de 12 meses, 24 meses apresentam um maior impacto na percepção de risco dos trabalhadores e treinamentos a cada 6 meses comparados com os de 12 meses e de 24 meses possuem impactos mais significativos na percepção de risco dos colaboradores. Entretanto, ao comparar treinamentos diferentes, mas com a mesma periodicidade, ou seja, a cada 3 meses, 6 meses, 12 meses e 24 meses, observam-se impactos semelhantes para os colaboradores.

Ao comparar o impacto entre diferentes estratégias gerenciais de segurança, treinamentos de segurança e comunicação de segurança em frequências diferentes, tem-se que a comunicação de segurança diária impacta mais que treinamentos a cada 6 meses, 12 meses e 24 meses. Em relação a diferença entre a comunicação de segurança semanal e os treinamentos periódicos, nota-se um impacto mais significativo destes quando os treinamentos possuem menor periodicidade, 12 meses e 24 meses.

Os resultados foram validados a partir de respostas qualitativas dos colaboradores respondentes que afirmaram a importância de ambas as estratégias para manter eles e os seus colegas de trabalho longe de acidentes. Nestas observações, os respondentes pontuam a importância do diálogo de segurança como ferramenta de manutenção da segurança por: lembrar diariamente os riscos no ambiente de trabalho, permitir que os profissionais tirem dúvidas, fomentar o aprendizado com os erros do dia anterior, reforçar os treinamentos, e por trazer os ensinamentos de como executar as atividades com segurança.

Apesar do impacto positivo da comunicação de segurança na percepção de risco dos trabalhadores, a não há uma diferença estatisticamente significativa entre o impacto do diálogo de segurança diário e semanal. Em relação ao impacto dos feedbacks, tanto positivos quanto negativos, na percepção de risco dos trabalhadores, não foi observada uma diferença significativa entre eles, mas ambos, segundo a percepção dos trabalhadores, impactam positivamente na compreensão da execução segura da atividade.

Avaliação da aplicabilidade do modelo proposto para apoiar a tomada de decisão dos gestores das obras quanto às estratégias gerenciais de segurança no comportamento seguro e inseguro de montadores de paredes de concreto moldadas in loco.

A aplicabilidade do modelo foi testada a partir de simulações que modificaram os parâmetros do cenário de base. Foram realizadas simulações com diferentes periodicidades de treinamento, considerando cenários com diálogo diário, semanal ou sem diálogo de segurança, e três níveis de frequência de feedback comportamental.

As simulações mostram que a combinação de treinamentos trimestrais e diálogos de segurança diários ou semanais resulta nas menores taxas de acidentes e maior homogeneidade dos dados. Cenários com menor frequência de treinamentos apresentam maiores taxas de acidentes, com a presença de outliers, sugerindo a necessidade de uma investigação mais detalhada. A redução da frequência dos treinamentos aumenta as taxas de acidentes, e a análise destaca o impacto positivo do feedback comportamental. Nos treinamentos trimestrais, o diálogo diário é menos relevante quando o feedback é frequente, sendo mais eficaz diálogos semanais. Em treinamentos semestrais, as taxas de incidentes são mais constantes, e a percepção de risco varia com a presença de feedbacks. Nos treinamentos anuais e bienais, as maiores taxas de incidentes são registradas com feedback baixo e ausência de diálogos, mostrando a importância de intervenções gerenciais.

As simulações mostram que o impacto do feedback nos níveis baixo (30%), médio (50%) e alto (70%) influencia significativamente as taxas de acidentes e a percepção de risco dos trabalhadores. No nível baixo de feedback (30%), as maiores taxas de incidentes foram observadas, especialmente na ausência de diálogos de segurança, destacando a importância de intervenções adicionais. Com feedback médio (50%), há uma redução nas taxas de incidentes, mas o impacto do diálogo de segurança ainda se mantém relevante. No nível alto de feedback (70%), as taxas de incidentes caem significativamente, e o diálogo de segurança diário ou semanal torna-se menos necessário para a manutenção da segurança, uma vez que o feedback frequente já proporciona uma conscientização suficiente. Contudo, a ausência de diálogos ainda provoca um aumento nas taxas, indicando que o feedback, mesmo em

alta frequência, não elimina completamente a necessidade de outras intervenções gerenciais.

Uma possível aplicação prática do modelo baseado em agentes é sua utilização por gestores durante a fase de planejamento de segurança de obras. Com o acesso a informações essenciais, como o número de trabalhadores por equipe e a duração prevista da obra, os gestores podem realizar simulações computacionais para definir as estratégias gerenciais mais adequadas. Essas simulações permitem identificar cenários que maximizem os resultados relacionados à segurança no trabalho, possibilitando, assim, a inclusão de treinamentos específicos no planejamento, bem como o planejamento para fornecer feedbacks aos trabalhadores com base nos resultados de simulação do modelo baseado em agentes.

Adicionalmente, em obras em execução, o modelo também pode ser empregado para estimar a probabilidade de ocorrência de acidentes, ao simular cenários que refletem as condições reais do canteiro de obras. Dessa forma, é possível analisar e testar intervenções que visem à melhoria dos índices de segurança e à redução dos riscos, contribuindo para uma gestão mais eficaz dos processos de segurança no ambiente de trabalho.

6.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nas experiências adquiridas no estudo empírico e no desenvolvimento do modelo baseado em agentes, e considerando as limitações identificadas no modelo proposto, as seguintes recomendações para pesquisas futuras são sugeridas.

- Ampliar a investigação para incluir mais obras e realizar entrevistas em projetos de diferentes empresas que utilizem o sistema construtivo de paredes de concreto, com o objetivo de expandir a base de dados e aperfeiçoar o modelo desenvolvido.
- Explorar canteiros de obras com variados climas de segurança para estabelecer uma métrica para o MBA.
- Incluir diferentes grupos de trabalhadores com variados níveis de risco, todos atuando simultaneamente no canteiro de obras.

- Incluir no modelo desenvolvido a consideração de outros fatores organizacionais e sociais, como o impacto da produtividade e da pressão, além da influência de diferentes grupos sociais, considerando diferentes hierarquias no ambiente laboral.
- Levar em conta a ocorrência de acidentes, em vez de incidentes, considerando a ausência do trabalhador no canteiro e o impacto da redução da mão de obra na produtividade e na frequência de acidentes.
- Avaliar a aplicação do modelo desenvolvido na fase de planejamento de segurança de uma obra, comparando os benefícios para a empresa em projetos com e sem o uso do modelo e seu impacto no comportamento seguro dos trabalhadores.

REFERÊNCIAS

- ABELLA, A. A., PRASETYO, Y. T., YOUNG, M. N., NADLIFATIN, R., PERSADA, S. F., REDI, A. A. N. P., & CHUENYINDEE, T. The effect of positive reinforcement of behavioral-based safety on safety participation in Philippine coal-fired power plant workers: a partial least squares structural equation modeling approach. **International journal of occupational safety and ergonomics**, v. 29, n. 3, p. 951-962, 2023.
- AGOSTINHO, H. L.; GRANJA, A. D. Comparação de Modelos Contratuais na Construção Civil: Um Mapeamento Sistemático de Literatura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais [...]** Porto Alegre: ANTAC, 2016.
- ALRUQI, W. M.; HALLOWELL, M.R.; TECHERA, U.. Safety climate dimensions and their relationship to construction safety performance: A meta-analytic review. **Safety science**, v. 109, p. 165-173, 2018.
- ANAMT. **Construção civil está entre os setores com maior risco de acidentes de trabalho**. Disponível em: <<https://www.anamt.org.br/portal/2019/04/30/construcao-civil-esta-entre-os-setores-com-maior-risco-de-acidentes-de-trabalho/>>. Acesso em: 30 maio. 2024.
- ARAYA, Felipe. Modeling the spread of COVID-19 on construction workers: An agent-based approach. **Safety science**, v. 133, p. 105022, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.105022>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2019). **NR 1: Disposições gerais e gerenciamento de riscos ocupacionais**. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2019). **NR 12: Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos**. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2019). **NR 35: TRABALHO EM ALTURA**. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2020). **NR 18: Condições de segurança e saúde no trabalho na indústria da construção**. Rio de Janeiro, 2020.
- AWWAD, R.; SHDID, C. A.; TAYEH, R. Agent-based model for simulating construction safety climate in a market environment. **Journal of computing in civil engineering**, v. 31, n. 1, p. 05016003, 2017. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000612](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000612)
- AZAR, E.; NIKOLOPOULOU, C.; PAPADOPOULOS, S. Integrating and optimizing metrics of sustainable building performance using human-focused agent-based modeling. **Applied Energy**, v. 183, p. 926-937, 2017.
- BARKOKÉBAS JÚNIOR, B.. Menos riscos nos canteiros. Proteção: **Revista Mensal de Saúde e Segurança do Trabalho**, Novo Hamburgo, n. 183, p. 72-77, 2007.
- BASKERVILLE, R., BAIYERE, A., GREGOR, S., HEVNER, A., & ROSSI, M. Design Science research contributions: Finding a balance between artifact and theory. **Journal of the Association for Information Systems**, v. 19, n. 5, p. 3, 2018.

BAVAFA, A.; MAHDIYAR, A.; MARSONO, A. K.. Identifying and assessing the critical factors for effective implementation of safety programs in construction projects. **Safety science**, v. 106, p. 47-56, 2018.

BENITE, A. G. Sistema de gestão da segurança e saúde no trabalho para empresas construtoras. Dissertação de Mestrado em Engenharia. São Paulo: USP, 2004.

BINHOMAI, O.; HEGAZY, T. Agent-based simulation of workers' behaviors, productivity, and safety around construction obstacles. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 48, n. 8, p. 969-978, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjce-2019-0320>.

BONI, V.; QUARESMA, S. J.. Aprendendo a entrevistar: como fazer entrevistas em Ciências Sociais. **Revista Interdisciplinar Científica Aplicada**, 11(3), 23–38, 2017.

BORYS, D.. The role of safe work method statements in the Australian construction industry. **Safety science**, v. 50, n. 2, p. 210-220, 2012.

BRIDI, M. E.; FORMOSO, C. T.; PELLICER, E.; FABRO, F.; CASTELLHO, M. E. V.; ECHEVESTE, M. E. S.. Identificação de práticas de gestão da segurança e saúde no trabalho em obras de construção civil. **Ambiente Construído**, v.13, n.3, p.43-58, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1678-86212013000300004>

BURKS, S. V.; KRUPKA, E. L. A multimethod approach to identifying norms and normative expectations within a corporate hierarchy: Evidence from the financial services industry. **Management Science**, v. 58, n. 1, p. 203-217, 2012.

CAMBRAIA, F. B.; SANTOS, T. W. S. dos; LANTELME, E. M. V.. Disseminação de práticas de segurança e saúde do trabalho entre empresas de construção por meio de ambientes colaborativos de aprendizagem. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 4, p. 425-439, 2017.

CAPONI, A. C. **Proposta de método para identificação de perigos e para avaliação e controle de riscos na construção de edificações**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2004

CARDELLA, B. **Segurança no Trabalho e Prevenção de Acidentes – Uma Abordagem Holística: Segurança Integrada à Missão Organizacional com Produtividade, Qualidade, Preservação Ambiental e Desenvolvimento de Pessoas**. São Paulo: Atlas, 1999.

CARDOSO, T.; ALARCÃO, I.; CELORICO, J. A.. **Revisão da literatura e sistematização do conhecimento**. Porto Editora, 2010.

CASEY, T. W., RISEBOROUGH, K. M., & KRAUSS, A. D. Do you see what I see? Effects of national culture on employees' safety-related perceptions and behavior. **Accident analysis & prevention**, v. 78, p. 173-184, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.03.010>

CASST. Desvios, Incidentes e Acidente de Trabalho. 2020. Disponível em: <https://institucional.ufrj.br/casst/desvio-incidentes-acidente-de-trabalho/>. Acesso em: 17 out. 2024.

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **PIB Brasil e Construção Civil – PIB e Investimento**. 2022. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>. Acesso em: 28 mar. 2022.

CEARÁ LESTE. **Parede de concreto é solução para programas habitacionais**. Ceará Leste, 2023. Disponível em: <https://cearaleste.com.br/2023/07/02/parede-de-concreto-e-solucao-para-programas-habitacionais/>. Acesso em: 17 out. 2024.

CHEN, H.; LI, H.; GOH, Y. M.. A review of construction safety climate: definitions, factors, relationship with safety behavior and research agenda. **Safety science**, v. 142, p. 105391, 2021.

CHEUNG, C. M.; ZHANG, R. P.. How organizational support can cultivate a multilevel safety climate in the construction industry. **Journal of Management in Engineering**, v. 36, n. 3, p. 04020014, 2020.

CHOI, B. **The Role of Socio-Cognitive Process in Construction Workers' Safety Behaviors**. Orientador: SangHyun Lee. 2018. 194 p. Tese de doutorado (Engenharia Civil), University of Michigan, 2018a.

CHOI, B.; AHN, S.; LEE, S.. Role of social norms and social identifications in safety behavior of construction workers. I: Theoretical model of safety behavior under social influence. **Journal of construction engineering and management**, v. 143, n. 5, p. 04016124, 2017.

CHOI, B.; LEE, S. An empirically based agent-based model of the sociocognitive process of construction workers' safety behavior. **Journal of construction engineering and management**, v. 144, n. 2, p. 04017102, 2018b. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001421](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001421)

CHOUDHRY, R. M. Implementation of BBS and the impact of site-level commitment. **Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice**, v. 138, n. 4, p. 296-304, 2012.

CHOUDHRY, R. M.; FANG, D. Why operatives engage in unsafe work behavior: Investigating factors on construction sites. **Safety science**, v. 46, n. 4, p. 566-584, 2008.

CHOUDHRY, R.M. Behavior-based safety on construction sites: A case study. **Accident analysis & prevention**, v. 70, p. 14-23, 2014.

COSTELLA, M. F.; JUNGES, F. C.; PILZ, S. E.. Avaliação do cumprimento da NR-18 em função do porte de obra residencial e proposta de lista de verificação da NR-18. **Ambiente Construído**, v. 14, p. 87-102, 2014.

CROOKS, A.; HEPPENSTALL, A.; MANLEY, E.; MALLESON, N.. **Agent-based modelling and geographical information systems: a practical primer**. 2018.

DALRI, T.S.. Acidentes de Trabalho registrados na Construção Civil entre 2015 a 2020. 2022.

DEJOY, D. M. Behavior change versus culture change: Divergent approaches to managing workplace safety. **Safety science**, v. 43, n. 2, p. 105-129, 2005.

DEJOY, D. M.; GERSHON, R.R.M; SCHAFFER, B. S. Safety climate: Assessing management and organizational influences on safety. **Professional Safety**, v. 49, n. 7, p. 50, 2005.

DEPASQUALE, J. P.; GELLER, E. S.. Critical success factors for behavior-based safety: A study of twenty industry-wide applications. **Journal of safety research**, v. 30, n. 4, p. 237-249, 1999.

DILL, A. R. VIDA: **Modelagem Baseada em Agentes para Simulação de Violência Doméstica**. 2020. Disponível em: https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/226454/Resumo_68405.pdf?sequence=1. Acesso em: 7 mar 2021

DINAGARAN, D., BALASUBRAMANIAN, K. R., SIVAPIRAKASAM, S. P., & GOPANNA, K. Behaviour-based safety approach to improving workplace safety in heavy equipment manufacturing industry. **International journal of human factors and ergonomics**, v. 6, n. 3, p. 249-272, 2019.

DING, L.; FANG, W.; LUO, H.; LOVE, P. E.; ZHONG, B.; OUYANG, X..A deep hybrid learning model to detect unsafe behavior: Integrating convolution neural networks and long short-term memory. **Automation in construction**, v. 86, p. 118-124, 2018.

FANG, D.; WU, C.; WU, H.. Impact of the supervisor on worker safety behavior in construction projects. **Journal of management in engineering**, v. 31, n. 6, p. 04015001, 2016.

FANG, D.; WU, H.. Development of a Safety Culture Interaction (SCI) model for construction projects. **Safety science**, v. 57, p. 138-149, 2013.

FANG, W.; LUO, H.; XU, S.; LOVE, P. E.; LU, Z.; YE, C.. Automated text classification of near-misses from safety reports: An improved deep learning approach. **Advanced Engineering Informatics**, v. 44, p. 101060, 2020.

FELLOWS, R.; LIU, A.. Impact of participants' values on construction sustainability. In: **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability**. Thomas Telford Ltd, 2008. p. 219-227.

FERREIRA, M.L.. Gestão da saúde e segurança do trabalho na construção civil. **Entrepreneurship**, v. 4, n. 2, p. 43-51, 2020.

FESTINGER, L.. **Social comparison theory**. *Selective Exposure Theory*, v. 16, p. 401, 1957.

FIGUEIREDO FILHO, D., NUNES, F., DA ROCHA, E. C., SANTOS, M. L., BATISTA, M., & SILVA JÚNIOR, J. A.. O que fazer e o que não fazer com a regressão: pressupostos e aplicações do modelo linear de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). **Revista Política Hoje**, v. 20, n. 1, 2011.

FINK, A. **Conducting research literature reviews: From the Internet to paper** (2 ed.). Thousand Oaks: Sage, 236 p., 2005.

FRANKLIN, S.; G., Art. **Is it an Agent, or just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents**. In: *International workshop on agent theories, architectures, and languages*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1997. p. 21-35.

FREITAS, J. F.. Modelagem baseada em agentes nas Ciências Sociais e Relações Internacionais. 2016. 61 p. Dissertação (Graduação em Relações Internacionais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

FURTADO, B. A.. **PolicySpace: modelagem baseada em agentes**. Rio de Janeiro: Ipea, 2018.

GALIS, A. A., HASHIM, N., ISMAIL, F., YUSUWAN, N. M. The factors affecting Behaviour Based Safety (BBS) implementation in oil and gas industry. **International Journal of Engineering and Technology** (UAE), v. 7, n. 3, p. 157-161, 2018.

GELLER, E. S. Behavior-based safety and occupational risk management. **Behavior modification**, v. 29, n. 3, p. 539-561, 2005.

GELLER, E. S. Behavior-based safety in industry: Realizing the large-scale potential of psychology to promote human welfare. **Applied and Preventive Psychology**, v. 10, n. 2, p. 87-105, 2001.

GILBERT, N. **Agent-based models**, Sage, Thousand Oaks, CA, 2008.

GLENDON, A. I.; WALKER, B. L. Can anti-speeding messages based on protection motivation theory influence reported speeding intentions?. **Accident Analysis & Prevention**, v. 57, p. 67-79, 2013.

GOH, Y. M.; ALI, M. J. A. A hybrid simulation approach for integrating safety behavior into construction planning: An earthmoving case study. **Accident Analysis & Prevention**, v. 93, p. 310-318, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.09.015>

GRÄBNER, C.. Agent-based computational models—a formal heuristic for institutionalist pattern modelling?. **Journal of Institutional Economics**, v. 12, n. 1, p. 241-261, 2015.

GRIMM, V.. **Individual-Based Models**. In S. Jørgensen (Ed.). *Encyclopedia of Ecology*. Oxford: Elsevier, 2008. p. 1959–1968. DOI:10.1016/b978-008045405-4.00188-9

GRIMM, V.; BERGER, U.; DEANGELIS, D. L.; POLHILL, J. G.; GISKE, J.; RAILSBACK, S. F.. The ODD protocol: a review and first update. **Ecological modelling**, v. 221, n. 23, p. 2760-2768, 2010.

GUO, B. HW; GOH, Y.M.; WONG, K. L. X.. A system dynamics view of a behavior-based safety program in the construction industry. **Safety science**, v. 104, p. 202-215, 2018.

GUO, H.; YU, Y.; SKITMORE, M.. Visualization technology-based construction safety management: A review. **Automation in Construction**, v. 73, p. 135-144, 2017.

HALLOWELL, M.. Safety risk perception in construction companies in the Pacific Northwest of the USA. **Construction management and economics**, v. 28, n. 4, p. 403-413, 2010.

HÄMÄLÄINEN, P.; TAKALA, J.; SAARELA, K. L.. Global estimates of occupational accidents. **Safety science**, v. 44, n. 2, p. 137-156, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2005.08.017>

HAMID, Abdul Rahim Abdul; ABD MAJID, Muhd Zaimi; SINGH, Bachan. Causes of accidents at construction sites. **Malaysian journal of civil engineering**, v. 20, n. 2, 2008.

HAMILL, L.; GILBERT, N. **Agent-based modelling in economics**. John Wiley & Sons, 2016.

HE, C.; JIA, G.; MCCABE, B.; CHEN, Y.; ZHANG, P.; SUN, J. Psychological decision-making process of construction worker safety behavior: an agent-based simulation approach. **International journal of occupational safety and ergonomics**, n. just-accepted, p. 1-27, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/10803548.2021.2022351>

HE, Q., DONG, S., ROSE, T., LI, H., YIN, Q., CAO, I. Systematic impact of institutional pressures on safety climate in the construction industry. **Accident Analysis & Prevention**, v. 93, p. 230-239, 2015.

HEATH, B.; HILL, R.; C., FRANK. A survey of agent-based modeling practices (January 1998 to July 2008). **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 12, n. 4, p. 9, 2009.

HOWELL, G. A.; BALLARD, G.; ABDELHAMID, T. S.; MITROPOULOS, P.. Working near the edge: a new approach to construction safety. In: **10st Annual Conference of the International Group for Lean Construction**. Gramado, Brazil. 2002.

JI, T.; WEI, H.; CHEN, J. Understanding the effect of co-worker support on construction safety performance from the perspective of risk theory: an agent-based modeling approach. **Journal of civil engineering and management**, v. 25, n. 2, p. 132-144, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3846/jcem.2019.7642>

KHODABANDELU, A.; PARK, J. Agent-based modeling and simulation in construction. **Automation in Construction**, v. 131, p. 103882, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103882>.

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, p. 741-761, 2013.

LI, H.; LU, M.; HSU, S. C.; GRAY, M.; HUANG, T. Proactive behavior-based safety management for construction safety improvement. **Safety science**, v. 75, p. 107-117, 2015.

LI, K.; WANG, T. K.; YU, A.; CHEN, J. H..The Influence of Mutual Assistance of Construction Workers with Different Personality Traits on Team Safety. **Computational Intelligence and Neuroscience**, v. 2022, 2022.

LI, X., LI, H., SKITMORE, M., WANG, F.. Understanding the influence of safety climate and productivity pressure on non-helmet use behavior at construction sites: A case study. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 29, n. 1, p. 72-90, 2022.

LI, Z.; LV, X.; ZHU, H.; SHENG, Z. Analysis of complexity of unsafe behavior in construction teams and a multiagent simulation. **Complexity**, v. 2018, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/6568719>

LIANG, H.; LIN, K.; ZHANG, S. Understanding the social contagion effect of safety violations within a construction crew: a hybrid approach using system dynamics and agent-based modeling. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 15, n. 12, p. 2696, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph15122696>

LIMA, M. I. S. C.; COSTA, D. B.. Recomendações e boas práticas para a integração do monitoramento da segurança com drone ao planejamento e controle da segurança de obras. **Ambiente Construído**, v. 23, n. 1, p. 213-231, 2022.

LIMA, M. I. S. C.. **Recomendações para integração do monitoramento de obras com VANT para a melhoria contínua do planejamento e controle da segurança**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de pós-graduação em Engenharia civil, Universidade Federal da Bahia, Salvador, p. 103, 2021.

LIMA, T. F. M. de; FARIA, S. D.; SOARES FILHO, B. S.; DE SENNA CARNEIRO, T. G.. Modelagem de sistemas baseada em agentes: Alguns conceitos e ferramentas. XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Natal Brasil, **Anais [...]** Natal, 2009, p. 25-30.

LINGARD, H. C.; COOKE, T.; BLISMAS, N.. Properties of group safety climate in construction: The development and evaluation of a typology. **Construction Management and Economics**, v. 28, n. 10, p. 1099-1112, 2011.

LINGARD, H.; ROWLINSON, S. M. **Occupational health and safety in construction project management**. Abingdon: Taylor & Francis, 2005.

LINGARD, H.; ROWLINSON, S.. Behavior-based safety management in Hong Kong's construction industry. **Journal of safety research**, v. 28, n. 4, p. 243-256, 1997

LINGARD, H.; ZHANG, R. P.; OSWALD, D.. Effect of leadership and communication practices on the safety climate and behaviour of construction workgroups. **Engineering, construction and architectural management**, 2019.

LOCKE, E. A.; LATHAM, G. P. **A theory of goal setting & task performance**. Prentice-Hall, Inc, 1990.

LU, M.; CHEUNG, C. M.; LI, H.; HSU, S. C. Understanding the relationship between safety investment and safety performance of construction projects through agent-based modeling. **Accident Analysis & Prevention**, v. 94, p. 8-17, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.05.014>

LU, Y.; LIU, S.; LI, C.. Understanding the Effect of Management Factors on Construction Workers' Unsafe Behaviors Through Agent-Based Modeling. **Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering**, p. 1-13, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40996-022-00898-7>

MÄKI, U. Missing the world: models as isolations and credible surrogate systems. **Erkenntnis**, v. 70, n. 1, p. 29-43, Jan. 2009.

MARZOUK, M.; AL DAOUR, I. Planning labor evacuation for construction sites using BIM and agent-based simulation. **Safety science**, v. 109, p. 174-185, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.04.023>

MEARNS, K., FLIN, R., GORDON, R., FLEMING, M.. Measuring safety climate on offshore installations. **Work & Stress**, v. 12, n. 3, p. 238-254, 1998.

MEEM, T. I.; HOSSAIN, M. M.; AKTER, J. BIM-based analysis of construction safety tracking using behavior-based safety in Bangladeshi construction industry. **International Journal of Building Pathology and Adaptation**, n. ahead-of-print, 2022.

MELO, R. R. S. de. **Modelo para desenvolvimento e aperfeiçoamento dos potenciais para resiliência assistido por meio do monitoramento da segurança com VANT**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de pós-graduação em Engenharia civil, Universidade Federal da Bahia, Salvador, p. 264, 2020.

MELO, R. R. S. de; COSTA, D. B.. Integrating resilience engineering and UAS technology into construction safety planning and control. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 26, n. 11, p. 2705-2722, 2019.

MELO, R. R. S. de; 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.

MISURELLI, H.; MASSUDA, C. **Como construir paredes de concreto**. Revista Técnica. 2009. Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/147/paredes-deconcreto-285766-1.aspx>. Acesso em 01 outubro 2024.

MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. **Estatística basica**. São Paulo: Saraiva, 2010.

NASIRZADEH, F.; KHANZADI, M.; MIR, M. A hybrid simulation framework for modelling construction projects using agent-based modelling and system dynamics: an application to model construction workers' safety behavior. **International Journal of Construction Management**, v. 18, n. 2, p. 132-143, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/15623599.2017.1285485>

NEAL, A.; GRIFFIN, M. A.; HART, P. M.. The impact of organizational climate on safety climate and individual behavior. **Safety science**, v. 34, n. 1-3, p. 99-109, 2000.

NGO, T. A.; SEE, L.. Calibration and validation of agent-based models of land cover change. **Agent-based models of geographical systems**, Dordrecht: Springer Netherlands, p. 181-197, 2012.

NOVIETO, D. T.. Safety climate and occupational safety behaviours: the mediating role of psychological ownership among construction professionals. **Engineering, Construction and Architectural Management**, 2021.

OIT - ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO. Convenção nº 81 sobre a Inspeção do Trabalho. Genebra : OIT, 1947.

OLSON, R.; VARGA, A.; CANNON, A.; JONES, J.; GILBERT-JONES, I.; ZOLLER, E.. Toolbox talks to prevent construction fatalities: Empirical development and evaluation. **Safety Science**, v. 86, p. 122-131, 2016.

ORMEROD, P.; ROSEWELL, . Validation and verification of agent-based models in the social sciences. In: **International workshop on epistemological aspects of computer simulation in the social sciences**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006. p. 130-140.

OSTROM, T. M. Computer simulation: the third symbol system. **Journal of Experimental Social Psychology**, v. 24, n. 5, p. 381-392, 1988.

PAES, A. T.. Por dentro da estatística. Einstein: Educ. Contin. Saúde, v. 6, p. 107-108, 2008.

PANDIT, B.; ALBERT, A.; PATIL, Y.; AL-BAYATI, A. J. Impact of safety climate on hazard recognition and safety risk perception. **Safety science**, v. 113, p. 44-53, 2019.

PEINADO, H.S. **Segurança e saúde do trabalho na indústria da construção civil**. São Carlos: Editora Scienza, 2019.

POH, C. Q.; UBEYNARAYANA, C. U.; GOH, Y. M..Safety leading indicators for construction sites: A machine learning approach. **Automation in construction**, v. 93, p. 375-386, 2018.

PRISMA. **PRISMA 2020 flow diagram for new systematic reviews which included searches of databases**, registers and other sources. 2020. Disponível em: <http://www.prismastatement.org/documents/PRISMA_2020_flow_diagram_new_SR_s_v2.docx>. Acessado em: 11dez. 2022.

PROBST, T. M. Safety and insecurity: exploring the moderating effect of organizational safety climate. **Journal of occupational health psychology**, v. 9, n. 1, p. 3, 2004.

RAOUFI, M.; ROBINSON FAYEK, A. Fuzzy agent-based modeling of construction crew motivation and performance. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 32, n. 5, p. 04018035, 2018.

RASHID, M. I., ATHAR, M., NOOR, F., HUSSAIN, A. Behavior-based safety program for process industries. **International journal of occupational safety and ergonomics**, p. 1-11, 2022.

REY, R. O.; MELO, R. R. S. de; COSTA, D. B.. Design and implementation of a computerized safety inspection system for construction sites using UAS and digital checklists–Smart Inspects. **Safety science**, v. 143, p. 105430, 2021.

REY, R. O. **Sistema informatizado para inspeção da segurança em canteiros de obra apoiado por VANT, dispositivos móveis e técnicas de reconhecimento de padrão**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de pós-graduação em Engenharia civil, Universidade Federal da Bahia, Salvador, p. 258, 2021.

ROCHA, C. A.; SAURIN, T. A.; FORMOSO, C. T. **Avaliação da aplicação da NR-18 em canteiros de obras**. Encontro Nacional de Engenharia de Produção. São Paulo, 2000. Disponível em: <http://www.cpgcec.ufrgs.br/norie/nr18/carocha.pdf>.

RUNDMO, T.. Employee images of risk. **Journal of Risk Research**, v. 4, n. 4, p. 393-404, 2001.

SA, J.; SEO, D.; CHOI, S. D. Comparison of risk factors for falls from height between commercial and residential roofers. **Journal of safety research**, v. 40, n. 1, p. 1-6, 2009.

SACKS, R.; PERLMAN, A.; BARAK, R.. Construction safety training using immersive virtual reality. **Construction Management and Economics**, v. 31, n. 9, p. 1005-1017, 2013.

SALAS, R.; HALLOWELL, M.; BALAJI, R.; BHANDARI, S. Safety risk tolerance in the construction industry: cross-cultural analysis. **Journal of construction engineering and management**, v. 146, n. 4, p. 04020022, 2020.

SANNI-ANIBIRE, M. O.; MAHMOUD, A. S.; HASSANAIN, M. A.; SALAMI, B. A.. A risk assessment approach for enhancing construction safety performance. **Safety science**, v. 121, p. 15-29, 2020.

SARGENT, R. G. An introduction to verification and validation of simulation models. In: **2013 Winter Simulations Conference (WSC)**. IEEE, 2013. p. 321-327.

SARGENT, R. G. Verification, validation and accreditation of simulation models. In: **2000 Winter Simulation Conference Proceedings (Cat. No. 00CH37165)**. IEEE, 2000. p. 50-59.

SAURIN, T. A. ; GRANDO, M. L.; COSTELLA, M. F.. Método para classificação de tipos de erros humanos: estudo de caso em acidentes em canteiros de obras. **Production**, v. 22, p. 259-269, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0103-65132012005000007>

SAURIN, T. A.; FORMOSO, C. T.; CAMBRAIA, F. B.. Planejamento integrado entre segurança e produção. **Formoso, Carlos Torres (Org.). Gestão da segurança e saúde no trabalho na construção civil: novas abordagens teóricas e boas práticas em países iberoamericanos**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2020. p. 271-285, 2020.

SAURIN, T. A.; FORMOSO, C. T.; RECK, R.; BECK DA SILVA ETGES, B. M.; RIBEIRO, J. L. D.. Findings from the analysis of incident-reporting systems of construction companies. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 141, n. 9, p. 05015007, 2016.

SAURIN, T. A..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.

SAURIN, T. A.; RIBEIRO, J. L. D.. Segurança no trabalho em um canteiro de obras: percepções dos operários e da gerência. **Production**, v. 10, p. 05-17, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-65132000000100001>

SEIXAS, R. D. M.; MAUÉS, L. M. F.; ROSA, C. C. N.; OLIVEIRA, F. D. A.. Building Information Modeling (BIM) para gestão da segurança do trabalho em obras de habitações populares. **Ambiente Construído**, v. 22, n. 3, p. 235-254, 2022.

SHIN, M., LEE, H. S.; PARK, M., MOON, M.; HAN, S.. A system dynamics approach for modeling construction workers' safety attitudes and behaviors. **Accident Analysis & Prevention**, v. 68, p. 95-105, 2014.

SHRESTHA, P. P.; YFANTIS, E. A.; SHRESTHA, K. Construction safety visualization. In: Proceedings of the 4th International Multi-Conference on Engineering and Technological Innovation (IMETI'11). 2011. p. 243-248. **Proceedings..**

SIMON, H. A. **The Sciences of the Artificial**. Cambridge:MIT Press, 1969.

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.

SKINNER, B. F. **The behavior of organisms: An experimental analysis**. BF Skinner Foundation, 1938.

SmartLab. Observatório Digital de Saúde e Segurança do Trabalho. Frequência de Notificações –CAT. 2022. Disponível em: <https://smartlabbr.org/sst/localidade/0>. Acesso em: 28 março 2022.

SONG, X.; PENA-MORA, F.; SHEN, C.; ZHANG, Z.; XU, J. Modelling the effect of multi-stakeholder interactions on construction site layout planning using agent-based decentralized optimization. **Automation in Construction**, v. 107, p. 102927, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102927>

TAKEI, E. M.; MATOSKI, A.; NEVES, S. A.; CATAI, R. E.. COMPORTAMENTO DOS TRABALHADORES DA CONSTRUÇÃO CIVIL–ESTUDO DE CASO. **INOVAE-Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation (ISSN 2357-7797)**, v. 2, n. 3, p. 65-76, 2014.

TESFATSION, L. Agent-based computational economics: A constructive approach to economic theory. **Handbook of computational economics**, v. 2, p. 831-880, 2006. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1574-0021\(05\)02016-2](https://doi.org/10.1016/S1574-0021(05)02016-2)

THIELE, J. C.; KURTH, W.; GRIMM, V. Facilitating parameter estimation and sensitivity analysis of agent-based models: A cookbook using NetLogo and R. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 17, n. 3, p. 11, 2014. DOI: 10.18564/jasss.2503

TOOLE, M.T. Construction Site Safety Roles. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 128, n. 3, 2002. VAN DER SCHAAF, T. W. Near miss reporting in the chemical process industry: an overview. **Microelectronics and Reliability**, v. 35, n. 9-10, p. 1233-1243, Sept./Oct. 1995.

TORRES, T. R. **Uso de indicadores de produtividade para melhoria do processo de execução de paredes de concreto**. 106p.2014. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso) –Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

VADYALA, S. R.; BETGERI, S. N.; MATTHEWS, J. C.; MATTHEWS, E.. A review of physics-based machine learning in civil engineering. **Results in Engineering**, p. 100316, 2022.

VAN AKEN, J. E.; BERENDS, H.. **Problem solving in organizations**. Cambridge university press, 2018.

VENDRAME, A. C.; GRAÇA, S. A. FAP/NTEP: aspectos jurídicos e técnicos: impacto nas finanças das empresas e reflexos na contratação de empregados e terceiros. São Paulo: LTR Editora Ltda., 2009.

VERSTEEG, K.; BIGELOW, P.; DALE, A. M.; CHAURASIA, A.. Utilizing construction safety leading and lagging indicators to measure project safety performance: A case study. **Safety Science**, v. 120, p. 411-421, 2019.

WACHTER, J. K.; YORIO, P. L. A system of safety management practices and worker engagement for reducing and preventing accidents: An empirical and theoretical investigation. **Accident Analysis & Prevention**, v. 68, p. 117-130, 2014.

WANG, B.; HESS, V.; CROOKS, A.. Mesa-Geo: A GIS Extension for the Mesa Agent-Based Modeling Framework in Python. In: **Proceedings of the 5th ACM SIGSPATIAL International Workshop on GeoSpatial Simulation**. 2022. p. 1-10.

WANG, J.; ZOU, P. XW; LI, P. P. Critical factors and paths influencing construction workers' safety risk tolerances. **Accident analysis & prevention**, v. 93, p. 267-279, 2016.

WANG, Q.; CURCURUTO, M.; MEI, Q.; LIU, S.; ZHOU, Q.; ZHANG, J..Agent-based modeling of employee protection-oriented safety proactivity behaviors at small scale enterprises. **BioMed Research International**, v. 2019, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/2471418>

WATSON, J.B.. **Behaviorism**. Norton, New York, W.W, 1924.

WEHBE, F.; AL HATTAB, M.; HAMZEH, F. Exploring associations between resilience and construction safety performance in safety networks. **Safety science**, v. 82, p. 338-351, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.10.006>

WILDE, G. JS. The theory of risk homeostasis: implications for safety and health. **Risk analysis**, v. 2, n. 4, p. 209-225, 1982.

WINGE, Stig; ALBRECHTSEN, Eirik; MOSTUE, Bodil Aamnes. Causal factors and connections in construction accidents. **Safety science**, v. 112, p. 130-141, 2019.

XUE, X., LI, X., SHEN, Q., & WANG, Y. An agent-based framework for supply chain coordination in construction. **Automation in construction**, v. 14, n. 3, p. 413-430, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.08.010>

YANG, W.; HU, Y.; HU, C.; YANG, M. An agent-based simulation of deep foundation pit emergency evacuation modeling in the presence of collapse disaster. **Symmetry**, v. 10, n. 11, p. 581, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/sym10110581>

YE, G.; YUE, H.; YANG, J.; LI, H.; XIANG, Q.; FU, Y.; CUI, C. Understanding the sociocognitive process of construction workers' unsafe behaviors: an agent-based modeling approach. **International journal of environmental research and public health**, v. 17, n. 5, p. 1588, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17051588>

ZAKARIA, J., CHE HASSAN, C. R., HAMID, M. D., & SUKADARIN, E. H. The effectiveness of behavior-based safety observation program (BSOP) in the chemical manufacturing industry. **Process Safety Progress**.2023.

ZEIGLER, B. P.; KIM, T. G.; PRAEHOFER, H. Theory of modeling and simulation: Integrating discrete event and continuous complex dynamic systems. **Academic Press**, San Diego, 2000.

ZHANG, F.; FLEYEH, H.; WANG, X.; LU, M.. Construction site accident analysis using text mining and natural language processing techniques. **Automation in Construction**, v. 99, p. 238-248, 2020.

ZHANG, J.; QU, Q.; CHEN, Xue-Bo. Assessing the sustainable safety practices based on human behavior factors: an application to Chinese petrochemical industry. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 29, p. 44618-44637, 2022.

ZHANG, M.; FANG, D.. A cognitive analysis of why Chinese scaffolders do not use safety harnesses in construction. **Construction Management and Economics**, v. 31, n. 3, p. 207-222, 2013.

ZHANG, P.; LI, N.; JIANG, Z.; FANG, D.; ANUMBA, C. J. An agent-based modeling approach for understanding the effect of worker-management interactions on construction workers' safety-related behaviors. **Automation in Construction**, v. 97, p. 29-43, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.10.015>

ZHANG, R. P., LINGARD, H., OSWALD, D.. Impact of supervisory safety communication on safety climate and behavior in construction workgroups. **Journal of construction engineering and management**, v. 146, n. 8, p. 04020089, 2020.

ZHANG, Z., GUO, H., GAO, P., WANG, Y., FANG, Y. (2023). Impact of owners' safety management behavior on construction workers' unsafe behavior. **Safety science**, v. 158, p. 105944, 2023.

ZIMBRES, R. A. Modelagem baseada em agentes: Uma terceira maneira de se fazer ciência. **Anais do 30º Encontro da ANPAD**, Salvador, 2006.

ZOHAR, D.. A group-level model of safety climate: testing the effect of group climate on microaccidents in manufacturing jobs. **Journal of applied psychology**, v. 85, n. 4, p. 587, 2000.

ZOHAR, D.. Safety climate in industrial organizations: theoretical and applied implications. **Journal of applied psychology**, v. 65, n. 1, p. 96, 1980.

ZOHAR, D.; LURIA, G.. A multilevel model of safety climate: cross-level relationships between organization and group-level climates. **Journal of applied psychology**, v. 90, n. 4, p. 616, 2005.

APÊNDICE I – Artigos da Revisão Sistemática da Literatura

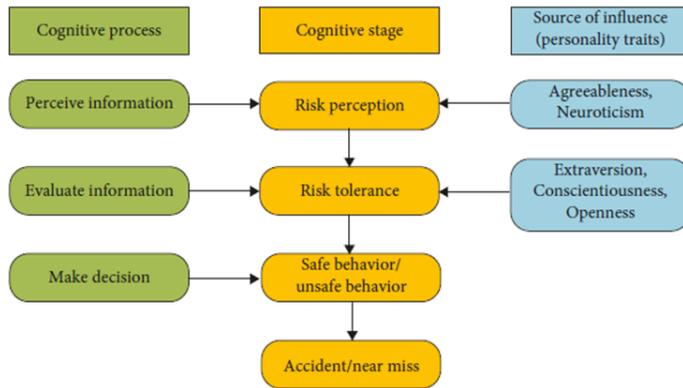
Código	Título	Autores	Periódico	DOI	Local
A1	The Influence of Mutual Assistance of Construction Workers with Different Personality Traits on Team Safety	Li, K. et al (2022)	Computational Intelligence and Neuroscience	https://doi.org/10.1155/2022/1396368	Taiwan
A2	Understanding the Effect of Management Factors on Construction Workers' Unsafe Behaviors Through Agent-Based Modeling	Lu, Liu and Li (2022)	Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering	https://doi.org/10.1007/s40996-022-00898-7	Irã
A3	Psychological decision-making process of construction worker safety behavior: an agentbased simulation approach	He et al. (2022)	International Journal of Occupational Safety and Ergonomics	https://doi.org/10.1080/10803548.2021.2022351	China
A4	Agent-based simulation of workers' behaviors, productivity, and safety around construction obstacles	Binhomaid and Hegazy (2021)	Canadian Science Publishing	https://doi.org/10.1139/cjce-2019-0320	Canadá
A5	Modeling the spread of COVID-10 on constructions workers: An agent-based approach	Araya (2020)	Safety Science	https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.105022	Chile
A6	Understanding the Sociocognitive Process of ConstructionWorkers' Unsafe Behaviors: An Agent-Based Modeling Approach	Ye et al. (2020)	International Journal of Environmental Research and Public Health	https://doi.org/10.3390/ijerph17051588	China

A7	Agent-Based Modeling of Employee Protection-Oriented Safety Proactivity Behaviors at Small Scale Enterprises	Wang et al (2019)	BioMedResearchInternational	https://doi.org/10.1155/2019/2471418	China
A8	An agent-based modeling approach for understanding the effect of workmanagement interactions on construction workers' safety-related behaviors	Zhang, P. et al. (2019)	Automation in Construction	https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.10.015	Xangai (China)
A9	Understanding the Social Contagion Effect of Safety Violations within a Construction Crew: A Hybrid Approach Using System Dynamics and Agent-Based Modeling	Liang, Lin and Zhang (2018)	International Journal of Environmental Research and Public Health	doi:10.3390/ijerph15122696	China
A10	An agent-based simulation of deep foundation pit emergency evacuation modeling in the presence of collapse disaster	Yang, W. et al. (2018)	Symmetry	10.3390/sym10110581	China
A11	Planning labor evacuation for construction sites using BIM and agent-based simulation	Marzouk and Al Daour (2018)	Safety Science	https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.04.023	Egito
A12	A hybrid simulation framework for modelling construction projects using agent-based modelling and system dynamics: an application to model construction workers' safety behavior	Nasirzadeh et al (2017)	International Journal of Construction Management	http://dx.doi.org/10.1080/15623599.2017.1285485	Irã
A13	An Empirically Based Agent-Based Model of the Sociocognitive Process of Construction Workers' Safety Behavior	Choi and Lee (2018)	Journal of Costruction Engineering and Management	https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001421	Estados Unidos

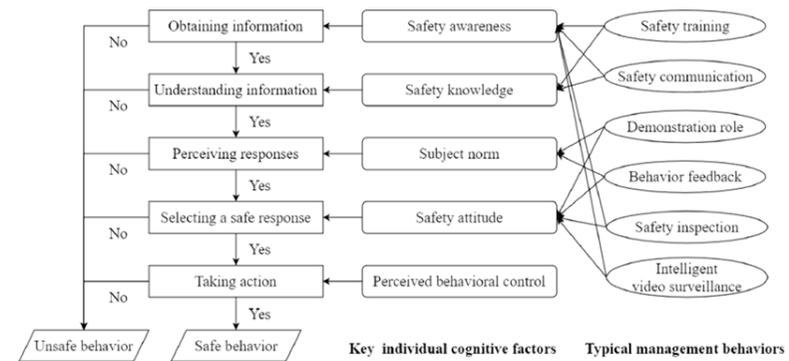
A14	Understanding the effect of co-worker support on construction safety performance from the perspective of risk theory: An agent-based modeling approach	Ji, Wei and Chen (2019)	Journal of Civil Engineering and Management	doi.org/10.3846/jcem.2019.7642	Estados Unidos
A15	Analysis of complexity of unsafe behavior in construction teams and a multiagent simulation	Li et al. (2018)	Complexity of Construction Mega Infrastructure Project	https://doi.org/10.1155/2018/6568719	China
A16	Understanding the relationship between safety investment and safety performance of construction projects through agent-based modeling	Lu et al. (2016)	Accident Analysis and Prevention	http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2015.09.015	Hong Kong
A17	A hybrid simulation approach for integrating safety behavior into construction planning: An earthmoving case study	Goh and Ali (2016)	Accident Analysis and Prevention	https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.09.015	Singapura
A18	Exploring associations between resilience and construction safety performance in safety networks	Wehbe, HattabandHamzeh (2016)	Safety Science	http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2015.10.006	Oriente Médio
A19	Agent-based model for simulating construction safety climate in a market environment	Awwad, ShdidandTayeh (2016)	Journal of Computing in Civil Engineering	https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000612	Líbano

APÊNDICE II – Framework dos artigos da Revisão Sistemática da Literatura

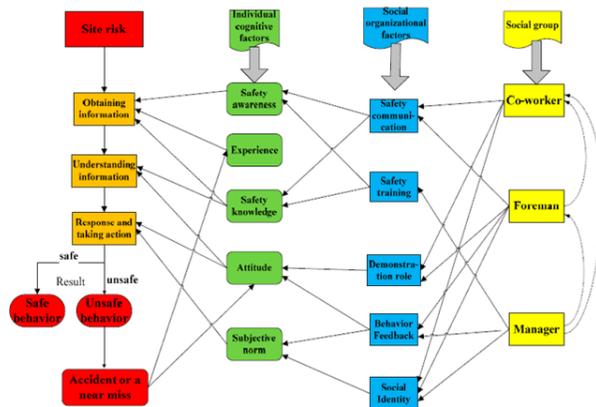
Li et al. (2022)



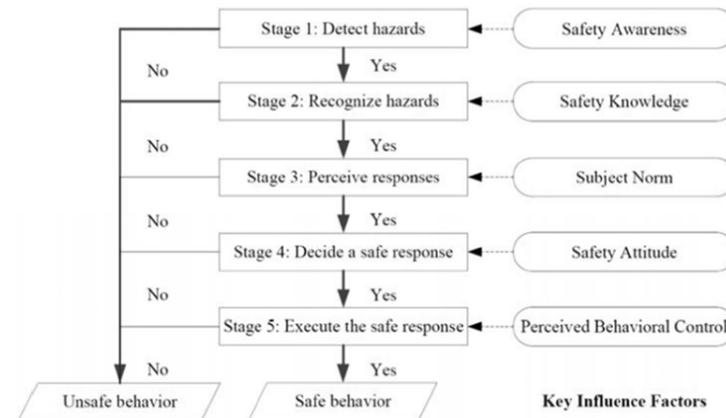
LU, LIU e LI (2022)



YE et al. (2020)



ZHANG et al. (2019)



APÊNDICE III – ROTEIRO DE QUESTIONÁRIO PARA O MAPEAMENTO DAS PERCEPÇÕES DE CLIMA DE SEGURANÇA E COMPORTAMENTO DOS COLOBORADORES NOS CANTEIROS DE OBRA DE PAREDES DE CONCRETO.

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL–UFBA –
UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**

Pesquisa acadêmica autorizada com sigilo absoluto em suas respostas.

Pesquisadora:Vanessa Cruz Pacheco

Tema: Gestão da segurança em canteiros de obras: Uma abordagem a partir de modelo baseado em agentes

Orientadora: Elaine Pinto Varela Alberte

Coorientadora: Dayana Bastos Costa

PERFIL DO ENTREVISTADO:

1.1. Nome: _____

1.2. Idade:

1.3. Cor ou raça/etnia:

() Branca () Preta () Parda () Amarela () Indígena

1.4. Escolaridade

() analfabeto () ensino fundamental completo

() ensino fundamental incompleto () ensino médio completo () ensino médio incompleto () Outro _____

1.5. Tempo de trabalho na construção civil

(anos/meses/dias): _____

1.6. Cargo exercido: _____

1.7. Tempo no cargo atual (anos/meses/dias): _____

1.8. Período de realização do último treinamento de NR-18 (Integração):

entre Julho e Novembro de 2023 entre Julho e Novembro de 2022

entre Janeiro e Junho de 2023 entre Janeiro e Junho de 2022

1.9. Período de realização do último treinamento de NR-35 (Treinamento em altura):

entre Julho e Novembro de 2023 entre Julho e Novembro de 2022

entre Janeiro e Junho de 2023 entre Janeiro e Junho de 2022

SOBRE A PERCEPÇÃO DE RISCO DOS COLABORADORES

Analise os cenários e indique, para cada um, a probabilidade de acontecer um acidente, e caso o acidente aconteça, indique o nível de gravidade desse acidente.

Situação 1) Execução da montagem das formas na periferia da edificação sem a instalação completa das plataformas de proteção coletiva e sem o uso da linha de vida. (Atividade acima de 2 metros) – **Risco de queda de altura.**

a) Probabilidade de acontecer um acidente:

baixo médio alto

b) Nível do impacto do acidente:

baixo médio alto

Situação 2) Execução da montagem das formas na periferia da edificação com a instalação completa das plataformas de proteção coletiva, sem o uso da linha de vida. (Atividade acima de 2 metros). – **Risco de queda de altura.**

a) Probabilidade de acontecer um acidente:

baixo médio alto

b) Nível do impacto do acidente:

baixo médio alto

Situação 3) Montagem das formas na área interna no cômodo com mais de 2 montadores. – **Risco de colisão.**

a) Probabilidade de acontecer um acidente:

baixo médio alto

b) Nível do impacto do acidente:

baixo médio alto

Situação 4) Remoção de forma e dos acessórios de fixação das formas sem o uso de EPIs (bota, capacete, óculos de proteção, protetor auricular e outros). – **Risco de corte nas mãos e dedos.**

a) Probabilidade de acontecer um acidente:

baixo médio alto

b) Nível do impacto do acidente:

baixo médio alto

Situação 5) Desmontagem das plataformas de proteção coletiva sem o uso da linha de vida. (Atividade acima de 2 metros). – **Risco de queda de altura.**

a) Probabilidade de acontecer um acidente:

baixo médio alto

b) Nível do impacto do acidente:

baixo médio alto

SOBRE AS PERCEPÇÕES DE COMPORTAMENTO DE SEGURANÇA

Imagine que Gustavo é um membro da sua equipe e ele trabalha com você desde o início da obra. Escolha a opção que representa o que você pensaria sobre o comportamento de Gustavo.

Nº	Comportamento	Incorreto	Parcialmente incorreto	Parcialmente correto	Correto
1	Gustavo conecta seus ganchos (mosquetão) a um ponto de ancoragem somente quando percebe o perigo de queda.				
2	Gustavo sempre conecta seus ganchos (mosquetão) a um ponto de ancoragem. Se ele não conseguir encontrar um objeto ao qual possa conectar seus ganchos com segurança, ele não continuará a trabalhar.				
3	Gustavo sempre conecta seus ganchos (mosquetão) a um ponto de ancoragem sempre que uma proteção contra quedas é necessária. No entanto, ele continua a trabalhar mesmo que ele não consiga encontrar um objeto ao qual possa conectar seus ganchos com segurança.				
4	Gustavo não conecta seus ganchos (mosquetão) a um ponto de ancoragem mesmo que esteja trabalhando em uma tarefa perigosa e o sistema de proteção contra quedas não incomode seu trabalho.				
5	Gustavo conecta seus ganchos (mosquetão) a um ponto de ancoragem somente quando percebe o perigo de queda e o sistema de proteção contra quedas não atrapalha seu trabalho.				

SOBRE O IMPACTO DAS AÇÕES GERENCIAIS

Analise o impacto dessas atividades para te ajudar a identificar os riscos no seu ambiente de trabalho. Dê uma nota de 0 a 10 para cada um.

Exemplo: Se a nota for 0, significada que essa atividade não influencia, para você, na identificação de riscos.

Se a nota for 10, significa que o nível de influência dessa atividade na identificação de riscos, para você, é alto.

Nenhum Baixo Razoável Médio Alto

Nº	Avalie de 0 a 10 o nível de influência dessas atividades na identificação de RISCOS GERAIS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Treinamentos de segurança antes do início das atividades (Integração)											
2	Treinamentos de segurança ao mudar de função.											
3	Treinamentos de segurança a cada 3 meses											
4	Treinamentos de segurança a cada 6 meses											
5	Treinamentos de segurança a cada 1 ano											
6	Treinamento de segurança a cada 2 anos											
7	Treinamentos de segurança após um quase-acidente ou acidente.											

Por que você acha que os treinamentos em uma periodicidade **maior ou menor** contribui para que você consiga identificar os riscos no seu ambiente de trabalho?

SOBRE O IMPACTO DAS AÇÕES GERENCIAIS

Analise o impacto dessas atividades para te ajudar a identificar os riscos no seu ambiente de trabalho. Dê uma nota de 0 a 10 para cada um.

Exemplo: Se a nota for 0, significada que essa atividade não influencia, para você, na identificação de riscos.

Se a nota for 10, significa que o nível de influência dessa atividade na identificação de riscos, para você, é alto.

		Nenhum	Baixo			Razoável			Médio			Alto
Nº	Avalie de 0 a 10 o nível de influência dessas atividades na identificação de RISCOS DE QUEDA DE ALTURA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Treinamentos de segurança em altura antes do início das atividades em altura.											
2	Treinamentos de segurança em altura a cada 3 meses											
3	Treinamentos de segurança em altura a cada 6 meses											
4	Treinamentos de segurança em altura a cada 1 ano											
5	Treinamento de segurança em altura a cada 2 anos											
6	Treinamentos de segurança em altura após um quase-acidente ou acidente de queda.											

QUEREMOS OUVIR VOCÊ.

Por que você acha que os treinamentos de segurança em **ALTURA** em uma periodicidade **maior ou menor** contribui para que você consiga identificar os riscos no seu ambiente de trabalho?

SOBRE O IMPACTO DAS AÇÕES GERENCIAIS

Analise o impacto dessas atividades para te ajudar a identificar os riscos no seu ambiente de trabalho. Dê uma nota de 0 a 10 para cada um.

Exemplo: Se a nota for 0, significada que essa atividade não influencia, para você, na identificação de riscos.

Se a nota for 10, significa que o nível de influência dessa atividade na identificação de riscos, para você, é alto.

Nenhum Baixo Razoável Médio Alto

Nº	Avalie de 0 a 10 o nível de influência dessas atividades na identificação de riscos GERAIS e de ALTURA.	Baixo			Razoável			Médio			Alto	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Diálogos diários de segurança (DDS).											
2	Diálogos semanais de segurança (DSS).											
3	Diálogo de segurança com o técnico de segurança											
4	Diálogo de segurança com o líder de equipe											

QUEREMOS OUVIR VOCÊ.

Por que você acha que os diálogos de segurança mais ou menos frequentes contribuem para que você consiga identificar os riscos no seu ambiente de trabalho?

QUEREMOS OUVIR VOCÊ.

Qual contribui mais para você identificar os riscos no seu ambiente de trabalho, **TREINAMENTOS** ou **DIÁLOGOS DE SEGURANÇA (DDS)**? Por que?

QUEREMOS OUVIR VOCÊ.

Por que receber elogio **te ajuda ou não** no entendimento de uma ação segura?

Explique por que você deu a nota acima.

SOBRE O CLIMA DE SEGURANÇA ORGANIZACIONAL

As afirmações que se seguem referem-se à empresa em que você trabalha no momento. Por isso, quando responder, **pense na empresa como um todo**.

Por favor, indique até que ponto cada uma das frases descreve a forma como a sua empresa encara as questões de segurança.

Nº	Cenários de segurança	Discordo	Discordo parcialmente	Concordo parcialmente	Concordo
1	A equipe de engenharia desse empreendimento acha que eu devo parar de trabalhar se não houver um ponto de ancoragem para conectar o mosquetão quando estiver realizando a montagem das formas na periferia da edificação acima de 2 metros ou mais do nível inferior.				
2	A equipe de engenharia desse empreendimento acha que eu sempre devo utilizar todos os EPIs (bota, luva, capacete, óculos de proteção e protetor auricular) durante a montagem e desmontagem das formas, mesmo que eles diminuam o meu ritmo de trabalho.				
3	A equipe de engenharia desse empreendimento acha que eu devo sempre conectar meu mosquetão a um ponto de ancoragem quando estiver realizando a montagem das formas acima de 2 metros, mesmo que pareça não haver perigo de queda.				
4	A equipe de engenharia desse empreendimento acha que a montagem das formas nos pavimentos superiores não pode ser iniciada caso a proteção coletiva não esteja completamente instalada.				

SOBRE O CLIMA DE SEGURANÇA DE GRUPO

Por favor, indique até que ponto cada uma das frases descreve a forma como asua **equipe, seus colegas de trabalho**, encaram as questões de segurança.

Nº	Cenários de segurança	Discordo	Discordo parcialmente	Concordo parcialmente	Concordo
1	Os membros da minha equipe de trabalho param de trabalhar se não conseguirem encontrar um ponto de ancoragem para conectar o mosquetão quando estão realizando a montagem das formas na periferia da edificação acima de 2 metros do nível inferior.				
2	Os membros da minha equipe de trabalho sempre usam todos os EPIs (bota, luva, capacete, óculos de proteção e protetor auricular) durante a montagem e desmontagem das formas, mesmo que eles diminuam o ritmo de trabalho.				
3	Os membros da minha equipe de trabalho sempre conectam o mosquetão a um ponto de ancoragem quando estão realizando a montagem das formas acima de 2 metros ou mais do nível inferior, mesmo que pareça não haver perigo de queda.				
4	Os membros da minha equipe de trabalho não iniciam a montagem das formas nos pavimentos superiores caso a proteção coletiva não esteja completamente instalada.				

SOBRE O COMPORTAMENTO DOS COLABORADORES

Por favor, indique até que ponto cada uma das frases descreve a forma como você encara as questões de segurança.

Nº	Cenários de segurança	Discordo	Discordo parcialmente	Concordo parcialmente	Concordo
1	Eu paro de trabalhar se eu não conseguir encontrar um ponto de ancoragem para conectar o mosquetão durante a montagem das formas na periferia da edificação acima de 2 metros do nível inferior.				
2	Eu sempre uso todos os EPIs (bota, luva, capacete, óculos de proteção e protetor auricular) durante a montagem e desmontagem das formas, mesmo que eles diminuam o meu ritmo de trabalho.				
3	Eu sempre conecto o mosquetão a um ponto de ancoragem quando estou realizando a montagem das formas acima de 2 metros do nível inferior, mesmo que pareça não haver perigo de queda.				
4	Eu não início a montagem das formas nos pavimentos superiores caso a proteção coletiva não esteja completamente instalada.				

A PERCEPÇÃO SOBRE AÇÕES DE SEGURANÇA

Diversas atividades são executadas no ambiente de trabalho com o objetivo de assegurar a segurança no local. Exemplos são os treinamentos, o diálogo diário ou semanal de segurança, as observações comportamentais, etc. Você será solicitado a nos dizer o que pensa e sente sobre esses tipos de ações no ambiente de trabalho.

Por favor, **circule a palavra** que melhor corresponde aos pensamentos e sentimentos sobre as ações de segurança.

1	Eu sinto que ações de segurança são:			
	Desagradáveis	Parcialmente Desagradáveis	Parcialmente Agradáveis	Agradáveis

2	Eu penso que as ações de segurança são:			
	Desvantajosas	Parcialmente Desvantajosas	Parcialmente Vantajosas	Vantajosas

3	Eu penso que as ações de segurança são:			
	Inúteis	Parcialmente inúteis	Parcialmente úteis	Úteis

4	Eu penso que as ações de segurança são:			
	Prejudiciais	Parcialmente Prejudiciais	Parcialmente Benéficas	Benéficas

QUEREMOS OUVIR VOCÊ.

Por que você **avalia** as ações de segurança dessa forma?

APÊNDICE IV – ROTEIRO DE QUESTIONÁRIO PARA O MAPEAMENTO DAS PERCEPÇÕES DE SEGURANÇA DOS GESTORES NOS CANTEIROS DE OBRA DE PAREDES DE CONCRETO.

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL–UFBA –
UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**

Pesquisa acadêmica autorizada com sigilo absoluto em suas respostas.

Pesquisadora: Vanessa Cruz Pacheco

Tema: Gestão da segurança em canteiros de obras: Uma abordagem a partir de modelo baseado em agentes

Orientadora: Elaine Pinto Varela Alberte

Coorientadora: Dayana Bastos Costa

PERFIL DO(A) ENTREVISTADO(A):

1.1. Nome: _____

1.2. Idade:

1.3. Cor ou raça/etnia:

() Branca () Preta () Parda () Amarela () Indígena

1.4. Gênero:

() Feminino () Masculino

1.5. Escolaridade

() ensino superior incompleto () ensino superior completo

() especialização () mestrado

() doutorado () Outro: _____

1.6. Tempo de trabalho na construção civil (anos/meses):

1.7. Cargo exercido: _____

1.8. Tempo no cargo atual (anos/meses): _____

SOBRE A PERCEPÇÃO DE RISCO DA EQUIPE DE ENGENHARIA

Analise os cenários e indique, para cada um, a probabilidade de acontecer um acidente, e caso o acidente aconteça, indique o nível de gravidade desse acidente.

Situação 1) Execução da montagem das formas na periferia da edificação sem a instalação completa das plataformas de proteção coletiva e sem o uso da linha de vida. (Atividade acima de 2 metros). – **Risco de queda de altura.**

a) Probabilidade de acontecer um acidente:

baixo médio alto

b) Nível do impacto do acidente:

baixo médio alto

Situação 2) Execução da montagem das formas na periferia da edificação com a instalação completa das plataformas de proteção coletiva, sem o uso da linha de vida. (Atividade acima de 2 metros). – **Risco de queda de altura.**

a) Probabilidade de acontecer um acidente:

baixo médio alto

b) Nível do impacto do acidente:

baixo médio alto

Situação 3) Montagem das formas na área interna no cômodo com mais de 2 montadores. - **Risco de colisão.**

a) Probabilidade de acontecer um acidente:

baixo médio alto

b) Nível do impacto do acidente:

baixo médio alto

Situação 4) Remoção da forma e dos acessórios de fixação das formas sem o uso de EPIs (bota, capacete, óculos de proteção, protetor auricular e outros). - **Risco de corte nas mãos e dedos.**

a) Probabilidade de acontecer um acidente:

baixo médio alto

b) Nível do impacto do acidente:

() baixo () médio () alto

Situação 5) Desmontagem das plataformas de proteção coletiva sem o uso da linha de vida. (Atividade acima de 2 metros). – **Risco de queda de altura.**

c) Probabilidade de acontecer um acidente:

() baixo () médio () alto

d) Nível do impacto do acidente:

() baixo () médio () alto

SOBRE AS PERCEPÇÕES DE COMPORTAMENTO DE SEGURANÇA

Imagine que Gustavo é um membro da sua equipe e ele trabalha pra você desde o início da obra. Escolha a opção que representa o que você pensaria sobre o comportamento de Gustavo.

Nº	Comportamento	Incorreto	Parcialmente incorreto	Parcialmente correto	Correto
1	Gustavo conecta seus ganchos (mosquetão) a um ponto de ancoragem somente quando percebe o perigo de queda.				
2	Gustavo sempre conecta seus ganchos (mosquetão) a um ponto de ancoragem. Se ele não conseguir encontrar um objeto ao qual possa conectar seus ganchos com segurança, ele não continuará a trabalhar.				
3	Gustavo sempre conecta seus ganchos (mosquetão) a um ponto de ancoragem sempre que uma proteção contra quedas é necessária. No entanto, ele continua a trabalhar mesmo que ele não consiga encontrar um objeto ao qual possa conectar seus ganchos com segurança.				
4	Gustavo não conecta seus ganchos (mosquetão) a um ponto de ancoragem mesmo que esteja trabalhando em uma tarefa perigosa e o sistema de proteção contra quedas não incomode seu trabalho.				
5	Gustavo conecta seus ganchos (mosquetão) a um ponto de ancoragem somente quando percebe o perigo de queda e o sistema de proteção contra quedas não atrapalha seu trabalho.				

APÊNDICE V – RESPOSTAS DOS TRABALHADORES

Etapa 1: PERFIL DO(A) ENTREVISTADO(A):

Dados dos trabalhadores								
Nº	Gênero	Idade	Raça	Escolaridade	Tempo na Construção (anos)	Tempo de trabalho (anos)	NR-18	NR-35
01	M	-	Parda	E.M.I*	13	2,75	2023.1	2023.2
02	M	38	Parda	E.M.I	17,75	2,67	2023.2	2023.2
03	M	31	Preta	E.M.C**	5,5	3,5	2023.2	2023.2
04	M	29	Parda	E.F.I ***	10	2	-	2022.2
05	M	-	Preta	E.F.I	10	11,25	2023.2	2023.2
06	M	47	Parda	E.F.I	13	3	2022.2	2022.2
07	M	-	Branca	Analfabeto	10	0,83	2023.2	2023.2
08	M	30	Preta	E.M.C	11	0,33	2023.2	2023.2
09	M	38	Preta	E.F.I	13	0,33	2023.2	2023.2
10	M	34	Preta	E.M.C	10	0,33	2023.2	2023.2
11	M	35	Parda	E.F.I	14	1,17	2023.2	2023.2
12	M	-	Preta	E.M.C	7	2,58	2023.1	2023.1
13	M	-	Preta	E.F.C****	6	2	2023.1	2023.1
14	M	41	Parda	E.M.I	10	0,25	2023.2	2023.2
15	M	32	Parda	E.M.C	6	0,33	2023.2	2023.2
16	M	-	Preta	E.F.I	23	-	2022.2	2022.2
17	M	38	Parda	E.F.I	0,33	-	2023.2	2023.2
18	M	35	Parda	E.F.I	10	0,33	2023.2	2023.2
19	M	45	Preta	E.M.I	11	11	2022.2	2022.1
20	M	39	Parda	E.F.C	9	7	2023.1	2023.1
21	M	30	Preta	E.M.I	9	-	2022.1	2023.1
22	M	38	Parda	E.M.C	14	0,33	2023.2	2023.2
23	M	39	Preta	E.M.I	15	0,33	2022.1	2023.1
Nº	Gênero	Idade	Raça	Escolaridade	Tempo na Construção	Cargo Exercido		
24	M	33	Parda	E.S.I*****	9	Técnico de Segurança do trabalho		
25	F	25	Parda	E.S.I	0,42	Auxiliar de Engenharia		
26	M	26	Branca	Especialização	3	Engenheiro Civil		
27	M	-	Preta	-	5	Encarregado de Obra		
28	F	35	Branca	Especialização	0,75	Supervisora de Segurança		
29	M	36	Preta	Especialização	9	Engenheiro de Segurança		

*Ensino médio completo; **Ensino médio Incompleto; ***Ensino Fundamental Incompleto; ****Ensino Fundamental Completo;

*****Ensino Superior Incompleto

Etapa 2: SOBRE A PERCEPÇÃO DE RISCO DOS COLABORADORES

Nº	PR-1	PR-2	PR-3	PR-4	PR-5
01	9	9	1	9	9
02	9	6	4	9	9
03	9	3	4	9	9
04	6	9	2	9	9
05	6	4	1	1	9
06	2	9	9	4	1
07	4	6	4	4	4
08	4	1	2	9	6
09	1	2	9	9	4
10	9	6	1	9	9
11	9	4	1	9	9
12	9	6	1	4	6
13	9	9	9	9	9
14	4	9	2	4	9
15	9	6	2	9	9
16	6	9	1	4	9
17	6	6	9	9	6
18	6	9	6	9	9
19	1	1	1	9	6
20	6	6	1	9	9
21	6	9	1	9	9
22	9	6	3	9	6
23	9	9	9	9	9
24	9	9	2	9	9
25	9	4	1	2	9
26	9	9	4	9	9
27	9	4	1	9	9
28	9	3	6	6	9
29	9	3	4	6	9

Etapa 3: SOBRE AS PERCEPÇÕES DE COMPORTAMENTO DE SEGURANÇA

Nº	PCS-1	PCS-2	PCS-3	PCS-4	PCS-5
01	1	2	-2	-2	-1
02	1	2	-2	-2	-1
03	1	2	-2	-2	-1
04	2	1	-1	-2	2
05	-2	2	-2	-2	-2
06	-2	2	-2	-2	-2
07	-2	2	-2	-2	-2
08	-2	2	-2	-2	-2
09	-1	2	-2	-1	-2
10	-2	2	-1	-2	-2
11	-1	2	-1	-2	-1
12	-2	2	-1	-2	1
13	-2	2	-2	-2	-2
14	1	2	2	-2	-1
15	-2	2	-2	-2	-2
16	-2	2	-2	2	-2
17	-2	2	-2	-2	-2
18	-1	2	-2	-2	-2
19	-1	2	-2	2	-2
20	-2	2	-2	-2	-2
21	-1	2	-2	-2	-2
22	-1	1	2	-2	1
23	-1	2	-1	-2	-2
24	-1	2	-2	-2	-2
25	-2	2	-2	-2	1
26	-2	1	-2	-2	-2
27	-2	1	2	-2	1
28	-2	2	-2	-2	-2
29	-2	2	-2	-2	-2

Etapa 4: SOBRE O IMPACTO DAS AÇÕES GERENCIAIS

- Impacto das ações gerenciais (Riscos Gerais)

Nº	IAGg-1	IAGg-2	IAGg-3	IAGg-4	IAGg-5	IAGg-6	IAGg-7
01	10	10	10	6	0	0	1
02	8	9	5	8	2	1	0
03	10	10	10	10	9	6	10
04	7	7	9	10	8	6	9
05	10	10	8	8	10	8	10
06	10	10	10	10	9	10	10
07	10	10	10	8	8	10	10
08	10	10	10	8	6	5	4
09	9	5	6	6	5	7	5
10	10	10	10	10	10	10	0
11	7	9	6	7	10	9	6
12	7	6	7	8	9	9	10
13	10	9	10	10	2	0	0
14	10	8	8	10	10	0	10
15	9	8	10	7	6	7	10
16	10	10	10	5	3	0	10
17	10	10	10	8	9	2	7
18	10	10	10	8	6	1	8
19	10	10	9	10	5	5	10
20	9	9	8	9	7	2	9
21	10	8	9	10	4	4	10
22	10	7	10	6	9	5	10
23	10	10	7	8	6	5	9

- Impacto das ações gerenciais (Riscos de Queda em Altura)

Nº	IAGqa-1	IAGqa-2	IAGqa-3	IAGqa-4	IAGqa-5	IAGqa-6
01	10	10	5	0	0	10
02	8	10	5	2	1	0
03	10	10	10	9	6	10
04	10	8	9	10	7	9
05	8	5	10	0	0	10
06	10	10	10	10	10	10
07	10	10	10	10	0	10
08	10	10	6	5	3	10
09	5	5	6	10	10	0
10	10	9	9	10	9	3
11	8	9	6	10	7	6
12	10	9	10	9	7	6
13	10	9	10	10	0	0
14	10	2	8	0	0	10
15	10	9	8	7	6	10
16	10	10	9	5	0	10
17	8	9	6	3	7	9
18	8	9	6	1	0	9
19	10	10	9	5	3	10
20	9	8	7	5	0	8
21	10	9	8	4	2	10
22	10	7	6	9	2	10
23	10	9	10	6	5	10

- Impacto das ações gerenciais (Diálogos de Segurança)

Nº	IAGd-1	IAGd-2	IAGd-3	IAGd-4
01	9	10	10	10
02	10	9	10	10
03	10	6	10	10
04	7	9	10	9
05	8	10	10	10
06	9	10	10	10
07	10	8	10	10
08	8	6	9	7
09	6	5	5	5
10	10	9	10	10
11	9	10	10	10
12	10	7	10	10
13	10	8	10	10
14	10	8	10	10
15	10	9	9	9
16	8	8	10	10
17	8	7	9	9
18	9	6	9	9
19	10	9	10	10
20	9	6	9	9
21	10	9	8	7
22	10	9	10	10
23	10	10	10	10

- Impacto das ações gerenciais (Feedback)

Nº	IAGin-1	IAGse-1
01	10	10
02	10	10
03	10	10
04	8	9
05	10	10
06	10	10
07	10	10
08	10	10
09	6	10
10	10	10
11	10	10
12	10	10
13	10	10
14	10	10
15	9	9
16	10	10
17	10	10
18	10	10
19	10	10
20	10	10
21	10	10
22	10	10
23	10	10

Etapa 5: SOBRE O CLIMA DE SEGURANÇA ORGANIZACIONAL

Nº	CSO-1	CSO-2	CSO-3	CSO-4
01	1	1	1	1
02	2	2	2	2
03	2	2	2	2
04	2	2	2	2
05	2	2	2	2
06	2	2	2	2
07	2	2	2	2
08	2	2	2	2
09	2	2	2	2
10	2	2	2	2
11	1	2	2	2
12	2	2	2	2
13	2	2	2	2
14	2	2	2	2
15	1	2	-2	2
16	2	2	1	2
17	-2	1	1	2
18	-2	1	1	2
19	2	2	2	2
20	-2	1	1	2
21	2	2	2	2
22	2	2	1	-2
23	2	2	2	2

Etapa 6: SOBRE O CLIMA DE SEGURANÇA DE GRUPO

Nº	CSG-1	CSG-2	CSG-3	CSG-4
01	1	1	1	1
02	2	2	1	2
03	2	2	2	2
04	2	2	2	2
05	2	2	2	2
06	2	2	2	2
07	2	2	2	2
08	1	2	2	2
09	1	2	2	2
10	1	2	2	2
11	1	2	1	2
12	1	1	2	2
13	2	2	2	2
14	2	2	2	2
15	2	2	2	2
16	2	2	2	2
17	2	2	2	2
18	1	2	2	2
19	2	2	2	2
20	2	2	2	2
21	2	2	2	2
22	2	2	1	1
23	1	2	2	1

Etapa 7: SOBRE O COMPORTAMENTO DOS COLABORADORES

Nº	CSC-1	CSC-2	CSC-3	CSC-4
01	2	2	2	2
02	2	2	1	2
03	2	2	2	2
04	1	2	2	2
05	2	2	2	2
06	2	2	2	2
07	2	2	2	2
08	2	2	2	2
09	2	2	2	2
10	2	2	2	2
11	2	1	2	2
12	2	2	2	2
13	-2	2	2	2
14	-2	2	2	2
15	2	2	2	2
16	2	2	2	2
17	2	2	2	2
18	2	2	2	2
19	2	2	2	2
20	2	2	2	2
21	2	2	2	2
22	1	2	2	1
23	1	2	2	2

Etapa 8: A PERCEPÇÃO SOBRE AÇÕES DE SEGURANÇA

Nº	AGS-1	AGS-2	AGS-3	AGS-4
01	2	2	2	2
02	1	2	2	2
03	2	2	2	2
04	2	2	2	1
05	2	2	2	2
06	2	2	2	2
07	2	2	2	2
08	2	2	2	2
09	2	2	2	1
10	2	2	2	2
11	2	2	2	2
12	2	2	2	2
13	2	2	2	2
14	2	2	2	2
15	2	2	2	2
16	2	2	2	2
17	2	2	2	2
18	1	1	2	2
19	2	2	2	2
20	1	1	2	2
21	2	2	2	2
22	2	2	1	2
23	2	2	2	2

APÊNDICE VI – DADOS ESTATÍSTICOS

Hipótese 1: O clima de segurança organizacional (CSO) prediz o clima de segurança de grupo (CSG).

Variável	Coefficiente	p-valor	Estatísticas Gerais	
Intercepto	1.6521	$p < 2e-16$	Erro padrão residual (RSE)	0.7192
CSG-2	0.2608	0.2200	Graus de Liberdade residual	176
CSG-3	0.1739	0.4130	R ² múltiplo	0.0600
CSG-4	0.2173	0.3070	R ² ajustado	0.0227
CSO-1	0.3043	0.1530	Estatística F	1.6070
CSO-2	0.1739	0.4130	Graus de Liberdade	7 e 176
CSO-3	0.0869	0.6820	p-valor	0.1360
CSO-4	0.1304	0.539 0		

Hipótese 2: O clima de segurança organizacional prediz a tolerância ao risco dos trabalhadores.

Variável	Coefficiente	p-valor	Estatísticas Gerais	
Intercepto	1.3478	$p < 1.34e-9$	Erro padrão residual (RSE)	1.016
CSO-2	0.4783	0.1119	Graus de Liberdade residual	198
CSO-3	0.2174	0.4688	R ² múltiplo	0.7015
CSO-4	0.4348	0.1482	R ² ajustado	0.6895
PCS-1	-2.3478	$2.74e-13$	Estatística F	58.17
PCS-2	0.5652	0.0606	Graus de Liberdade	8 e 198
PCS-3	-2.7826	$< 2e-16$	p-valor	$< 2.2e-16$
PCS-4	-2.9565	$< 2e-16$		
PCS-5	-2.6957	$< 2e-16$		

Hipótese 3: O clima de segurança de grupo prediz a tolerância ao risco dos trabalhadores.

Variável	Coefficiente	p-valor	Estatísticas Gerais	
Intercepto	1.5217	$p < 2e-16$	Erro padrão residual (RSE)	0.5088
CSC-2	0.4348	0.0042	Graus de Liberdade residual	176
CSC-3	0.4348	0.0042	R ² múltiplo	0.08462
CSC-4	0.4348	0.00424	R ² ajustado	0.04821
CSG-1	0.1304	0.3858	Estatística F	2.324
CSG-2	0.3913	0.0099	Graus de Liberdade	7 e 76
CSG-3	0.3043	0.04402	p-valor	0.0272
CSG-4	0.3478	0.0216		

Hipótese 4: A atitude pessoal prediz a tolerância ao risco dos trabalhadores.

Variável	Coefficiente	p-valor	Estatísticas Gerais	
Intercepto	1.86957	$p < 2e-16$	Erro padrão residual (RSE)	0.4757
AGS-2	0.04348	0.7570	Graus de Liberdade residual	176
AGS-3	0.08696	0.5361	R ² múltiplo	0.0817
AGS-4	0.04348	0.7570	R ² ajustado	0.04518
CSC-1	-0.34783	0.0141	Estatística F	2.237
CSC-2	0.08696	0.5361	Graus de Liberdade	7 e 76
CSC-3	0.08696	0.5361	p-valor	0.0334
CSC-4	0.08696	0.5361		

Hipótese 5: Treinamentos de segurança de riscos gerais tem impacto alto e positivo na percepção de risco dos trabalhadores.

Variável	Mín.	1º Quad.	Mediana	Média	3º Quad.	Máx.	sd	var
IAGg-6	0	1.5	5.0	4.87	7.50	10.0	3.5459	12.5731

Hipótese 6: Treinamentos de segurança de trabalho em altura tem impacto alto e positivo na percepção de risco dos trabalhadores.

Variável	Mín.	1º Quad.	Mediana	Média	3º Quad.	Máx.	sd	var
IAGqa-5	0	0	3.0	3.696	7.0	10.0	3.6110	13.0395

Hipótese 7: A comunicação de segurança diária tem impacto alto e positivo na percepção de risco dos trabalhadores.

Variável	Mín.	1º Quad.	Mediana	Média	3º Quad.	Máx.	sd	var
IAGd-1	6.0	8.5	10.0	9.13	10.0	10.0	1.1403	1.3003

Hipótese 8: A comunicação de segurança semanal tem impacto alto e positivo na percepção de risco dos trabalhadores.

Variável	Mín.	1º Quad.	Mediana	Média	3º Quad.	Máx.	sd	var
IAGd-2	5.0	7.0	9.0	8.17	9.0	10.0	1.5566	2.4229

Hipótese 9: Receber feedbacks negativos tem impacto alto e positivo na percepção de risco dos trabalhadores.

Variável	Mín.	1º Quad.	Mediana	Média	3º Quad.	Máx.	sd	var
IAGin-1	6.0	9.0	10	9.69	10	10	0.9057	0.8204

Hipótese 10: Receber feedbacks positivos tem impacto alto e positivo na percepção de risco dos trabalhadores.

Variável	Mín.	1º Quad.	Mediana	Média	3º Quad.	Máx.	sd	var
IAGse-1	9.0	10.0	10.0	9.91	10.0	10.0	0.2818	0.0794

Hipótese 11: Os trabalhadores apresentam diferentes percepções de risco sobre as mesmas atividades.

Situação	Mín.	1º Quad.	Mediana	Média	3º Quad.	Máx.	sd	var
1	1.0	6.0	9.0	6.86	9.0	9.0	2.6148	6.8374
2	1.0	4.0	6.0	6.10	9.0	9.0	2.7246	7.4236
3	1.0	1.0	2.0	3.48	4.0	9.0	2.9600	8.7586
4	1.0	6.0	9.0	7.41	9.0	9.0	2.5567	6.5369
5	1.0	6.0	9.0	7.76	9.0	9.0	2.0986	4.4039

Hipótese 12: Os trabalhadores apresentam percepções de risco diferentes dos gestores sobre as mesmas atividades.

Cenário	t	df	p-valor
PR-1	2.7273	19.057	0.01335
PR-2	-0.73652	27	0.4678
PR-3	-0.44217	27	0.6619
PR-4	-0.61751	27	0.5421
PR-5	0.97069	27	0.3403

Hipótese 13: Os padrões pessoais dos trabalhadores são significativamente similares aos padrões de segurança desejados pelos gestores.

Cenário	t	df	p-valor
PCS-1	-1.5564	27	0.1313
PCS-2	-1.1239	5.84	0.3051
PCS-3	0.17539	27	0.8621
PCS-4	-0.81693	27	0.4211
PCS-5	0.61411	27	0.5443

Hipótese 14: Treinamentos de segurança de maior periodicidade impactam mais na percepção de risco dos trabalhadores do que treinamentos de menor periodicidade.

Variável		Mín.	1º Quad.	Mediana	Média	3º Quad.	Máx.	df	t	p-value
Treinamento Iguais	3 meses (IAGg3)	5.0	8.0	10.0	8.783	10.0	10.0	43.992	1.1172	0.2700
	6 meses (IAGg4)	5.0	7.5	8.0	8.261	10.0	10.0			
	3 meses (IAGg3)	5.0	8.0	10.0	8.783	10.0	10.0	22.0	3.0517	0.0059
	12 meses (IAGg5)	0.0	5.0	7.0	6.652	9.0	10.0			
	3 meses (IAGg3)	5.0	8.0	10.0	8.783	10.0	10.0	22.0	4.6927	0.0001
	24 meses (IAGg6)	0.0	1.5	5.0	4.870	7.50	10.0			
	6 meses (IAGg4)	5.0	7.5	8.0	8.261	10.0	10.0	22.0	2.6289	0.0153
	12 meses (IAGg5)	0.0	5.0	7.0	6.652	9.0	10.0			

Hipótese 15: Treinamentos de segurança diferentes possuem impactos diferentes na percepção de risco dos trabalhadores.

Variável		Mín.	1º Quad.	Mediana	Média	3º Quad.	Máx.	df	t	p-value
Treinamento Diferentes	3 meses (IAGg3)	5.0	8.0	10.0	8.783	10.0	10.0	41.748	0.4862	0.6293
	3 meses (IAGga2)	2.0	8.5	9.0	8.522	10.0	10.0			
	6 meses (IAGg4)	5.0	7.5	8.0	8.261	10.0	10.0	22	0.8250	0.4183
	6 meses (IAGga3)	5.0	6.0	8.0	7.957	10.0	10.0			
	12 meses (IAGg5)	0.0	5.0	7.0	6.652	9.0	10.0	41.779	0.5702	0.5715
	12 meses (IAGga4)	0.0	3.5	6.0	6.087	10.0	10.0			
	24 meses (IAGg6)	5.0	1.0	5.0	4.870	7.50	10.0	43.985	1.1124	0.2720
	24 meses (IAGga5)	0.0	0.0	3.0	3.696	7.0	10.0			

Hipótese 16: Comunicação de segurança diária impacta mais na percepção de risco dos trabalhadores do que comunicação de segurança semanal.

Variável	Mín.	1º Quad.	Mediana	Média	3º Quad.	Máx.	df	t	p-value
DDS (IAGd1)	6.0	8.5	10.0	9.130	10.0	10.0	36.854	1.5771	0.1233
DSS (IAGd2)	5.0	7.0	9.0	8.174	9.0	10.0			

Hipótese 17: Treinamentos de segurança e comunicação de segurança possuem diferentes impactos mais na percepção de risco dos trabalhadores.

Variável		Mín.	1º Quad.	Mediana	Média	3º Quad.	Máx.	t	p-value
Treinamento Periódico X Diálogo de segurança	6 meses (IAGga3)	5.0	6.0	8.0	7.957	10.0	10.0	-2.9653	0.0071
	DDS	6.0	8.5	10.0	9.130	10.0	10.0		
	12 meses (IAGga4)	0.0	3.5	6.0	6.087	10.0	10.0	-3.7407	0.0011
	DDS	6.0	8.5	10.0	9.130	10.0	10.0		
	24 meses (IAGga5)	0.0	0.0	3.0	3.696	7.0	10.0	-6.8829	2.448e-07
	DDS	6.0	8.5	10.0	9.130	10.0	10.0		
	12 meses (IAGga4)	0.0	3.5	6.0	6.087	10.0	10.0	-2.4772	0.0192
	DSS	5.0	7.0	9.0	8.174	9.0	10.0		
	24 meses (IAGga5)	0.0	0.0	3.0	3.696	7.0	10.0	-5.4618	6.389e-06
	DSS	5.0	7.0	9.0	8.174	9.0	10.0		

Hipótese 18: Receber feedbacks (positivos ou negativos) impactam na percepção de risco dos trabalhadores.

Variável	Mín.	1º Quad.	Mediana	Média	3º Quad.	Máx.	df	t	p-value
Negativo (IAGin1)	6.0	10.0	10.0	9.696	10.0	10.0	26.219	-1.0749	0.2922
Positivo (IAGse1)	9.0	10.0	10.0	9.913	10.0	10.0			

APÊNDICE VII – PARTICIPAÇÃO DA EQUIPE

Nome	Atividades desempenhadas
Vanessa Cruz Pacheco	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento de todas as etapas da dissertação; • Orientação e liderança de alunos de iniciação científica, incluindo repasse de demandas, análise e correção das entregas, além de discussões sobre os trabalhos realizados; • Realização de visitas em obras e reuniões online; • Acompanhamento dos voos de drone; • Análise dos dados coletados em campo, e • Participação no acompanhamento e nas discussões em todas as etapas de desenvolvimento do modelo baseado em agentes.
Márcio Costa Barros Júnior	<ul style="list-style-type: none"> • Auxílio na revisão sistemática da literatura, e • Desenvolvimento da versão preliminar do modelo baseado em agentes.
Guilherme dos Santos Bonfim	<ul style="list-style-type: none"> • Auxílio na revisão sistemática da literatura; • Auxílio na aplicação do questionário em campo; • Acompanhamento em visitas no canteiro de obras; • Realização dos testes estatísticos no software R, e • Desenvolvimento da versão final do modelo baseado em agentes, incluindo testes de verificação, calibração e validação.
Carolina Andrade de Oliveira	<ul style="list-style-type: none"> • Pilotagem de drone no canteiro de obras para aquisição de imagens, e • Auxílio na aplicação do questionário em campo.
Roseneia Rodrigues Santos de Melo	<ul style="list-style-type: none"> • Discussões durante a etapa de Conscientização, • Pilotagem de drone no canteiro de obras para aquisição de imagens, • Auxílio no desenvolvimento dos questionários, • Acompanhamento em visitas no canteiro de obras e • Discussões para desenvolvimento do <i>framework</i>.
Hugo Sefrian Peinado	<ul style="list-style-type: none"> • Discussões durante a etapa de Conscientização, e • Auxílio no desenvolvimento dos questionários,

APÊNDICE VIII – MODIFICAÇÃO NAS EQUAÇÕES

1. Tolerância ao risco

a) Equação original (Choi, 2018):

$$TR_i^{(t)} = (1 - ps)AR_i^{(t)} + ps (IP_iCSO_i^{(t)} + (1 - IP_i)CSG_i^{(t)}) + \varepsilon$$

b) Equação modificada:

$$TR_i^{(t)} = (1 - ps)AR_i^{(t)} + ps (CSO_i^{(t)} + CSG_i^{(t)}) + \varepsilon \quad (4)$$

- Não foi considerado o impacto da identificação com o projeto (IP) na equação 4, pois esse aspecto não fazia parte dos objetivos da pesquisa. Além disso, o impacto da identificação com o projeto no comportamento dos trabalhadores não seria avaliado. A pesquisa se concentrou apenas em um processo construtivo.

2. Atitude de Risco

a) Equação original (Choi, 2018)⁶:

$$AR_i^{(t)} = \begin{cases} AR_i^{(t-1)}, & \text{se } CI = 0 \\ (AR_i^{(t-1)}) + MA_i^{(t)}, & \text{se } CI = 1 \text{ e } AC = 0 \\ (AR_i^{(t-1)}) - MA_i^{(t)}, & \text{se } CI = 1 \text{ e } AC = 1 \end{cases}$$

a) Equação modificada:

$$AR_i^{(t)} = \begin{cases} (AR_i^{(t-1)}) - MA_i^{(t)}, & \text{se } DSS = 1 \text{ e } AC = 1 \\ AR_i^{(t-1)}, & \text{se } DSS = 1 \text{ e } AC = 0 \\ (AR_i^{(t-1)}) - MA_i^{(t)}, & \text{se } DSS = 0 \text{ e } AC = 1 \\ AR_i^{(t-1)} + MA_i^{(t)}, & \text{se } DSS = 0 \text{ e } AC = 0 \\ (AR_i^{(t-1)}) - MA_i^{(t)}, & \text{se } DDS = 1 \text{ e } AC = 1 \\ AR_i^{(t-1)}, & \text{se } DDS = 1 \text{ e } AC = 0 \\ (AR_i^{(t-1)}) - MA_i^{(t)}, & \text{se } AC = 0 \text{ ou } 1 \text{ e } T = 1 \end{cases}$$

⁶ As equações apresentadas não constam explicitamente no trabalho do autor. Elas foram formuladas com base nas informações fornecidas ao longo do estudo de Choi (2018).

- A alteração na atitude de risco está vinculada ao impacto das estratégias gerenciais (diálogo de segurança e treinamento) e na ocorrência ou não de acidentes ou quase-acidentes (AC).
- Essa modificação foi realizada com base nos resultados da revisão da literatura e do estudo empírico. O objetivo das alterações foi alinhar o modelo ao propósito do estudo, incorporando a influência das estratégias gerenciais no comportamento de segurança dos trabalhadores.

3. Percepção da tolerância ao risco dos gestores

a) Equação original (Choi, 2018):

$$PTG_i^{(t)} = \begin{cases} CSO_i^{(t-1)}, & \text{se } CI_i^{(t-1)} = 0 \text{ e } FG_i^{(t-1)} = 0 \\ \text{Aleatório} \left(0, RP_i^{(t-1)} \right), & \text{se } CI_i^{(t-1)} = 1 \text{ e } FG_i^{(t-1)} = 1 \\ \text{Aleatório} \left(RP_i^{(t-1)}, 1 \right), & \text{se } CI_i^{(t-1)} = 1 \text{ e } FG_i^{(t-1)} = 0 \end{cases}$$

b) Equação modificada:

$$PTG_i^{(t)} = \begin{cases} CSO_i^{(t-1)}, & \text{se } CI_i^{(t-1)} = 0 \text{ e } FG_i^{(t-1)} = 0 \text{ (8a)} \\ \text{Aleatório} \left(0, RP_i^{(t-1)} \right), & \text{se } CI_i^{(t-1)} = 1 \text{ e } FG_i^{(t-1)} = 1 \text{ (8b)} \\ \text{Aleatório} \left(RP_i^{(t-1)}, 1 \right), & \text{se } CI_i^{(t-1)} = 1 \text{ e } FG_i^{(t-1)} = 0 \text{ (8c)} \\ \text{Aleatório} \left(0, RP_i^{(t-1)} \right), & \text{se } CI_i^{(t-1)} = 0 \text{ e } FG_i^{(t-1)} = 1 \text{ (8d)} \end{cases}$$

- Foi considerado feedback positivo quando não houver comportamento inseguro do trabalhador (8d);
- As evidências do estudo empírico mostraram que tanto o feedback positivo quanto o negativo exercem grande influência no comportamento dos trabalhadores. Com base nisso, o modelo foi ajustado para incluir a influência do feedback positivo, em vez de considerar apenas o feedback em situações de comportamentos inseguros.

APÊNDICE IX – CÓDIGO-FONTE

```
# Importe a biblioteca Mesa
from pyexpat import model
import mesa
import csv

# Importe classes e métodos necessários da biblioteca Mesa
from mesa.time import RandomActivation
from mesa.datacollection import DataCollector
import random
import pandas as pd

# Importe bibliotecas científicas
import numpy as np
import seaborn
seaborn.set()

# Defina a classe do agente Worker, que representa um trabalhador na simulação
class Worker(mesa.Agent):

    # Método utilizado para a inicialização da classe Worker
    def __init__(self, model, worker_id, crew, crew_type, p_unsafe_condition, risk_perception_coeff,
attitude_change,
                    perceived_workgroup_norm, memory_capa, perceived_management_norm,
min_risk_acceptance,
                    max_risk_acceptance, error_rate, weight_social, risk_attitude, freq_reun,
                    freq_trein_1):

        self.total_safe_behaviors = 0 # Inicializando o contador total de comportamentos seguros
        self.total_unsafe_behaviors = 0 # Inicializando o contador total de comportamentos inseguros

    # Variáveis de estado do agente Worker
    self.model = model # Referência ao modelo
    self.worker_id = worker_id # ID do trabalhador
```

```
self.crew_type = crew_type # Tipo de equipe (Equipe 1 - Montadores. Equipe 2 - Montadores de
plataforma)

self.crew = crew # Equipe do trabalhador

self.p_unsafe_condition = p_unsafe_condition # Probabilidade de condição insegura no canteiro
self.actual_risk = 0 # Risco real

# Coeficiente de percepção de risco é determinado pela mudança na atitude de risco
self.risk_perception_coeff = risk_perception_coeff
self.attitude_change = attitude_change # Mudança na atitude de risco

# Norma de grupo de trabalho percebida
self.perceived_workgroup_norm = perceived_workgroup_norm

# Capacidade de memória do trabalhador
self.memory_capa = memory_capa

# Norma percebida da gestão
self.perceived_management_norm = perceived_management_norm
self.perceived_manager_risk_acceptance = perceived_management_norm

# Aceitação de risco máximo e mínimo
self.max_risk_acceptance = max_risk_acceptance
self.min_risk_acceptance = min_risk_acceptance

# Taxa de erro ao realizar uma atividade segura
self.error_rate = error_rate

# Peso social do trabalhador
self.weight_social = weight_social

# Atitude de risco do trabalhador
self.risk_attitude = risk_attitude

# Frequência de reuniões
self.freq_reun = freq_reun
```

```
# Frequências de treinamento transformadas em dias entre os treinamentos
self.freq_trein_1 = 360 / freq_trein_1

# Contadores de dias
self.day = 1
self.day2 = 1
self.day3 = 1
self.day4 = 1

# Ação gerencial aleatória
self.managerial_action = np.random.uniform(0.4, 0.6)

# Percepção de risco percebida, gerada aleatoriamente
self.perceived_risk = 0

# Mudança na atitude gerencial
self.managerial_attitude_change = 0

# Perdas diárias
self.daily_lost = 0
self.lost_freq_trein_1 = 0

# Contadores de meses
self.month_1 = 1
self.month_2 = 1

# Fator de influência na atitude gerencial
self.fma = 0.5

# Taxas de treinamento
self.taxa_2 = 0
self.taxa_1 = 0

# Sorteio para determinar se o agente terá ou não um comportamento perigoso
if np.random.uniform(0, 1) > 0.5:
```

```

        self.unsafe_behavior = 0

    else:
        self.unsafe_behavior = 1

    # Lista de vizinhos e comportamento do grupo de trabalho
    self.neighbor_list = []
    self.workgroup_behavior = []

    # Verifica se o agente está em uma condição insegura
    if np.random.uniform(0, 1) < self.p_unsafe_condition:
        self.unsafe_condition = 1
    else:
        self.unsafe_condition = 0

def hazard_detection(self):
    if np.random.uniform(0, 1) < self.p_unsafe_condition:
        self.unsafe_condition = 1
    else:
        self.unsafe_condition = 0

def perceiving_risk(self):
    self.risk_perception_coeff -= self.attitude_change

    self.perceived_risk = self.actual_risk * self.risk_perception_coeff

    if self.perceived_risk > 1.0:
        self.perceived_risk = 1.0
    else:
        self.perceived_risk = self.perceived_risk

    return

def perceiving_workgroup_norm(self):
    self.previous_perceived_workgroup_norm = self.perceived_workgroup_norm

```

```

if len(self.workgroup_behavior) == 0:
    self.perceived_workgroup_norm = self.previous_perceivd_workgroup_norm
else:
    self.avgerage_workgroup_behavior = sum(
        self.workgroup_behavior) / len(self.workgroup_behavior)

        self.perceived_workgroup_norm = (1 - 1 / self.memory_capa) *
self.previous_perceivd_workgroup_norm + (
        1 / self.memory_capa) * self.avgerage_workgroup_behavior

return

def perceiving_management_norm(self):
    self.previous_perceivd_management_norm = self.perceived_management_norm

        self.perceived_management_norm = (1 - 1 / self.memory_capa) *
self.previous_perceivd_management_norm + (
        1 / self.memory_capa) * self.perceived_manager_risk_acceptance

return

def determining_risk_acceptance(self):
    if np.random.uniform(0, 1) < self.model.r_square:
        self.risk_acceptance = (1 - self.weight_social) * self.risk_attitude + self.weight_social * (
            (self.perceived_management_norm + self.perceived_workgroup_norm) / 2)
    else:
        self.risk_acceptance = np.random.uniform(
            self.min_risk_acceptance, self.max_risk_acceptance)

return

def decision_making(self):
    if self.perceived_risk >= self.risk_acceptance:
        if np.random.uniform(0, 1) < self.error_rate:
            self.unsafe_behavior = 1

```

```

        self.total_unsafe_behaviors += 1
    else:
        self.unsafe_behavior = 0
        self.total_safe_behaviors += 1
    else:
        self.unsafe_behavior = 1
        self.total_unsafe_behaviors += 1

def receiving_manager_feedback(self):
    if np.random.uniform(0, 1) < self.model.feedback_frequency:
        if np.random.uniform(0, 1) < 0.3:
            if self.unsafe_behavior == 1:
                self.manager_feedback = 0 # Com feedback negativo
            else:
                self.manager_feedback = 1 # Com feedback positivo
        else:
            self.manager_feedback = 0 # Sem feedback
    else:
        self.manager_feedback = 0 # Sem feedback

    return self.manager_feedback

def updating_manager_standard(self):
    if self.unsafe_behavior == 0:
        if self.manager_feedback == 1:
            self.perceived_manager_risk_acceptance = np.random.uniform(
                0, self.perceived_risk)
        else:
            self.perceived_manager_risk_acceptance = self.perceived_manager_risk_acceptance
    else:
        if self.manager_feedback == 1:
            self.perceived_manager_risk_acceptance = np.random.uniform(
                0, self.perceived_risk)

```

```
    else:
        self.perceived_manager_risk_acceptance = np.random.uniform(
            self.perceived_risk, 1)

    return

def near_miss_occurrence(self):

    if self.unsafe_behavior == 1 or self.unsafe_behavior == 2:
        if np.random.uniform(0, 1) < self.model.near_miss_occurrence_coeff * self.actual_risk:
            self.near_miss = 1
        else:
            self.near_miss = 0
    else:
        self.near_miss = 0

    return self.near_miss

def updating_risk_attitude(self):
    self.previous_risk_attitude = self.risk_attitude

    if self.unsafe_behavior == 1:
        if self.near_miss == 0:
            self.attitude_change = self.model.optimism_rate
        else:
            self.attitude_change = -self.model.arousal_rate
    else:
        self.attitude_change = 0

    self.risk_attitude = self.previous_risk_attitude + self.attitude_change

def updating_risk_attitude_2(self):
    self.previous_risk_attitude = self.risk_attitude
    self.attitude_change = 0
```

```

# ----- AÇÕES GERENCIAIS -----
if self.month_1 == 0:
    if self.day2 % 30 == 0:
        self.lost_freq_trein_1 = self.taxa_1
        self.month_1 = 1
    else:
        self.lost_freq_trein_1 = 0

if self.day2 == self.freq_trein_1:
    self.attitude_change += - np.random.uniform(
        self.model.arousal_rate_min, self.model.arousal_rate_max)
    self.month_1 = 0
    self.taxa_1 = - np.random.uniform(
        self.model.arousal_rate_min, self.model.arousal_rate_max)
    self.day2 = 1

else: #Diálogo Diário de Segurança
    self.day2 += 1
    self.day4 += 1
    if self.freq_reun == 1:
        if self.model.near_miss_existence > 0:
            self.attitude_change += - np.random.uniform(
                0, self.model.optimism_rate)
        else:
            self.attitude_change += 0
    elif self.freq_reun == 0:
        if self.day3 == 7:
            if self.model.near_miss_existence > 0:
                self.attitude_change += -np.random.uniform(
                    0, self.model.optimism_rate)
            else:
                self.attitude_change += 0
        else:
            if self.model.near_miss_existence > 0:
                self.attitude_change += -self.model.optimism_rate

```

```

        else:
            self.attitude_change += self.model.optimism_rate
        self.day3 += 1
    else:
        self.attitude_change += 0

    return

# In[11]:

class Model(mesa.Model):

    def __init__(self, num_crews_1, num_worker_per_crew_1, num_crews_2, num_worker_per_crew_2,
num_other_workers,
            n_steps, activity_risk, freq_reun, freq_trein_1, feedback_frequency):
        """
        Método de inicialização da classe Model.
        """

        # Atributos da instância do modelo
        self.nsteps = n_steps # Número total de etapas de simulação
        self.running = True

        # Número de equipes e trabalhadores por equipe
        self.num_crews_1 = num_crews_1
        self.num_worker_per_crew_1 = num_worker_per_crew_1
        self.num_crews_2 = num_crews_2
        self.num_worker_per_crew_2 = num_worker_per_crew_2
        self.num_other_workers = num_other_workers
        self.total_workers = num_crews_1 * num_worker_per_crew_1 + \
            num_crews_2 * num_worker_per_crew_2 + num_other_workers

        # Parâmetros do modelo
        self.activity_risk = activity_risk # Risco da atividade
        self.num_steps = n_steps
        self.ingroup_obs_ratio = 1

```

```
self.outgroup_obs_ratio = 0.03
self.error_rate = 0.01 # Taxa de erro
self.min_risk_perception_coeff = 0.6 # Coeficiente mínimo de percepção de risco
self.max_risk_perception_coeff = 1.2 # Coeficiente máximo de percepção de risco
self.min_perceived_workgroup_norm = 0.1 # Norma mínima percebida do grupo de trabalho
self.max_perceived_workgroup_norm = 0.9 # Norma máxima percebida do grupo de trabalho
self.min_perceived_management_norm = 0.1 # Norma mínima percebida da gestão
self.max_perceived_management_norm = 0.9 # Norma máxima percebida da gestão
self.memory_capa = 15 # Capacidade de memória
self.min_manager_standard = 0.2 # Padrão mínimo do gerente
self.max_manager_standard = 0.3 # Padrão máximo do gerente
self.attitude_change = 0 # Mudança de atitude
self.weight_social = 0.75 # Peso social
self.near_miss_occurrence_coeff = 0.01 # Coeficiente de ocorrência de quase acidente
self.min_risk_acceptance = 0.1 # Aceitação mínima de risco
self.max_risk_acceptance = 0.9 # Aceitação máxima de risco
self.min_risk_attitude = 0.1 # Atitude mínima em relação ao risco
self.max_risk_attitude = 0.9 # Atitude máxima em relação ao risco
self.min_project_identity = 0.1 # Identidade mínima do projeto
self.max_project_identity = 0.9 # Identidade máxima do projeto
self.r_square = 0.85 # Coeficiente de determinação
self.feedback_frequency = feedback_frequency # Frequência de feedback
self.arousal_rate = 0.2 # Taxa de excitação
self.arousal_rate_min = 0.2 # Taxa mínima de excitação (teste do feedback)
self.arousal_rate_max = 0.3 # Taxa máxima de excitação (teste do feedback)
self.optimism_rate = 0.001 # Taxa de otimismo
self.near_miss_existence = 0

if freq_reun == 'Diário':
    self.freq_reun = 1
elif freq_reun == 'Semanal':
    self.freq_reun = 0
elif freq_reun == 'None':
    self.freq_reun = 2
else:
```

```
self.running = False
print('Erro: Frequência de reunião inválida')

self.freq_trein_1 = freq_trein_1 # Frequência de treinamento
self.t = 1 # Tempo inicial
self.worker = [] # Lista de trabalhadores

# Saídas a cada step
self.history_unsafe_behavior = []
self.history_near_miss = []
self.history_near_miss_parede = []
self.history_near_miss_outros = []
self.history_near_miss_plataforma = []
self.history_near_miss_montadores = []
self.history_risk_attitude = []
self.history_perceived_risk = []
self.history_risk_acceptance = []
self.history_perceived_workgroup_norm = []
self.history_perceived_management_norm = []
self.history_incident_rate = []
self.history_unsafe_behavior_ratio = []

# Configuração das variáveis de histórico
self.setup_worker() # Configuração dos trabalhadores
self.datacollector_risk = DataCollector({
    "Risk Attitude": Model.get_avg_risk_attitude_2,
    "Average Risk Tolerance": Model.get_avg_risk_acceptance,
    "Average Risk Perception": Model.get_avg_risk_perception,
}) # Coletor de dados para risco
self.datacollector_behavior = DataCollector({
    "Unsafe Behaviors": Model.get_unsafe_behavior_2,
    "Near Miss": Model.get_near_miss,
}) # Coletor de dados para comportamento
```

```
# Método para configurar os trabalhadores no modelo
```

```
def setup_worker(self):
```

```
    range_1 = self.num_crews_1 * self.num_worker_per_crew_1
```

```
    a = 1
```

```
    id = 0
```

```
    for i in range(range_1):
```

```
        if i % self.num_worker_per_crew_1 == 0:
```

```
            a += 1
```

```
            self.worker.append(Worker(model=self, worker_id=id, crew=a, crew_type=1,
```

```
                                     p_unsafe_condition=self.activity_risk,
```

```
                                     risk_perception_coeff=np.random.uniform(self.min_risk_perception_coeff,
```

```
                                     self.max_risk_perception_coeff),
```

```
                                     perceived_workgroup_norm=np.random.uniform(self.min_perceived_workgroup_norm,
```

```
                                     self.max_perceived_workgroup_norm),
```

```
                                     perceived_management_norm=np.random.uniform(
```

```
                                     self.min_perceived_management_norm,
```

```
                                     self.max_perceived_management_norm),
```

```
                                     max_risk_acceptance=self.max_risk_acceptance,
```

```
                                     attitude_change=self.attitude_change,
```

```
                                     risk_attitude=np.random.uniform(self.min_risk_attitude,
```

```
                                     self.max_risk_attitude),
```

```
                                     freq_reun=self.freq_reun, freq_trein_1=self.freq_trein_1))
```

```
            id += 1
```

```
    for j in range(self.num_crews_2 * self.num_worker_per_crew_2):
```

```
        if j % self.num_worker_per_crew_1 == 0:
```

```
            a += 1
```

```
            self.worker.append(Worker(model=self, worker_id=id, crew=a, crew_type=2,
```

```
                                     p_unsafe_condition=self.activity_risk,
```

```
                                     risk_perception_coeff=np.random.uniform(self.min_risk_perception_coeff,
```

```
                                     self.max_risk_perception_coeff),
```

```
                                     perceived_workgroup_norm=np.random.uniform(self.min_perceived_workgroup_norm,
```

```
                                     self.max_perceived_workgroup_norm),
```

```
                                     perceived_management_norm=np.random.uniform(
```

```
                                     self.min_perceived_management_norm,
```

```
                                     max_risk_acceptance=self.max_risk_acceptance,
```

```
                                     attitude_change=self.attitude_change,
```

```
                                     risk_attitude=np.random.uniform(self.min_risk_attitude,
```

```
                                     self.max_risk_attitude),
```

```
                                     freq_reun=self.freq_reun, freq_trein_1=self.freq_trein_1, ))
```

```
            id += 1
```

```
    a += 1
```

```
    for k in range(self.num_other_workers):
```

```

self.worker.append(Worker(model=self, worker_id=id, crew=a, crew_type=3,
                           p_unsafe_condition=self.activity_risk,
                           risk_perception_coeff=np.random.uniform(self.min_risk_perception_coeff,
                           self.max_risk_perception_coeff),
                           perceived_workgroup_norm=np.random.uniform(self.min_perceived_workgroup_norm,
                           self.max_perceived_workgroup_norm),
                           memory_capa=self.memory_capa,
                           perceived_management_norm=np.random.uniform(
                           self.min_perceived_management_norm,
                           self.max_perceived_management_norm),
                           min_risk_acceptance=self.min_risk_acceptance,
                           max_risk_acceptance=self.max_risk_acceptance,
                           error_rate=self.error_rate,
                           attitude_change=self.attitude_change,
                           weight_social=self.weight_social,
                           risk_attitude=np.random.uniform(self.min_risk_attitude,
                           self.max_risk_attitude), freq_reun=self.freq_reun, freq_trein_1=self.freq_trein_1,))
id += 1

```

Método para determinar os vizinhos de cada trabalhador

```
def get_worker_neighbors(self):
```

```
    """
```

```
    Método para determinar os vizinhos de cada trabalhador
```

```
    """
```

```
    for i in range(self.total_workers):
```

```
        del self.worker[i].neighbor_list[0:len(
```

```
            self.worker[i].neighbor_list)]
```

```
        for j in range(self.total_workers):
```

```
            if j == self.worker[i].worker_id:
```

```
                self.worker[i].neighbor_list = self.worker[i].neighbor_list
```

```
            else:
```

```
                if self.worker[j].crew == self.worker[i].crew:
```

```
                    if np.random.uniform(0, 1) < self.ingroup_obs_ratio:
```

```
                        self.worker[i].neighbor_list.append(j)
```

```
                    else:
```

```
                        self.worker[i].neighbor_list == self.worker[i].neighbor_list
```

```
                else:
```

```
                    if np.random.uniform(0, 1) < self.outgroup_obs_ratio:
```

```
                        self.worker[i].neighbor_list.append(j)
```

```
                    else:
```

```
                        self.worker[i].neighbor_list = self.worker[i].neighbor_list
```

```
def get_near_miss_x(self):
```

```
    """
```

Método para calcular o número total de quase acidentes em uma equipe

```
"""
total = 0
for worker in self.worker:
    if worker.crew_type != 3:
        total += worker.near_miss
#print(total)
return total
```

Método para interagir entre trabalhadores

```
def step_interact(self):

    self.get_worker_neighbors()
    self.near_miss_existence_vector = []
    random_order = list(
        range(self.total_workers))
    np.random.shuffle(random_order)

    for i in random_order:

        if self.worker[i].crew_type == 2:
            self.worker[i].actual_risk = random.betavariate( 10 * self.activity_risk
                ,4.5-5*self.activity_risk)
        else:
            self.worker[i].actual_risk = random.betavariate(
                5 * self.activity_risk, 5-5*self.activity_risk)

    self.worker[i].hazard_detection()

    if self.worker[i].unsafe_condition == 0:
        if np.random.uniform(0, 1) < self.error_rate:
            self.worker[i].unsafe_behavior = 2
            self.worker[i].near_miss_occurrence()
            if self.worker[i].near_miss == 1:
                self.worker[i].attitude_change = - \
```

```

        self.arousal_rate
    else:
        self.worker[i].attitude_change = 0
        self.worker[i].risk_attitude += self.worker[i].attitude_change
    else:
        self.worker[i].unsafe_behavior = 0
        self.worker[i].near_miss_occurrence()
        self.worker[i].attitude_change = 0
        self.worker[i].risk_attitude += self.worker[i].attitude_change
    else:
        self.worker[i].perceiving_risk()

    del self.worker[i].workgroup_behavior[0:len(
        self.worker[i].workgroup_behavior)]

    for j in self.worker[i].neighbor_list:

        if self.worker[j].unsafe_condition == 1:
            if self.worker[j].unsafe_behavior == 0:
                observation = np.random.uniform(
                    0, self.worker[j].actual_risk)
            elif self.worker[j].unsafe_behavior == 1:
                observation = np.random.uniform(
                    self.worker[j].actual_risk, 1)
            self.worker[i].workgroup_behavior.append(
                observation)
        else:
            print(self.worker[j].unsafe_behavior, "= error")
    else:
        self.worker[i].workgroup_behavior = self.worker[i].workgroup_behavior

    self.worker[i].perceiving_workgroup_norm()
    self.worker[i].perceiving_management_norm()
    self.worker[i].determining_risk_acceptance()
    self.worker[i].decision_making()

```

```

        self.worker[i].receiving_manager_feedback()
        self.worker[i].updating_manager_standard()
        self.worker[i].near_miss_occurrence()
        self.worker[i].updating_risk_attitude()
        self.worker[i].updating_risk_attitude_2()
        self.worker[i].determining_risk_acceptance()
        self.worker[i].perceiving_risk()

self.near_miss_existence = self.get_near_miss_x()

# Função para calcular a percepção média de risco entre todos os trabalhadores
@staticmethod
def get_avg_risk_perception(self):
    total = 0
    a = 0
    for worker in self.worker:
        if worker.crew_type != 3:
            total += worker.perceived_risk
            a = a + 1
    return total / a

# Função para calcular o número total de comportamentos inseguros
@staticmethod
def get_unsafe_behavior(self):
    total_safe_behavior = 0
    total_unsafe_behavior = 0
    for worker in self.worker:
        if worker.unsafe_behavior == 0:
            total_safe_behavior += 1
        else:
            total_unsafe_behavior += 1

total_comportamentos = total_safe_behavior + total_unsafe_behavior
media_comportamentos_inseguros = total_unsafe_behavior / total_comportamentos

```

```
#print(media_comportamentos_inseguros)

return total_safe_behavior, total_unsafe_behavior, media_comportamentos_inseguros

# Função para calcular o número total de quase acidentes
@staticmethod
def get_near_miss(self):
    total = 0
    for worker in self.worker:
        if worker.crew_type != 3:
            total += worker.near_miss
    return total

# Função para calcular a atitude média em relação ao risco entre todos os trabalhadores
@staticmethod
def get_avg_risk_attitude(self):
    total = 0
    a = 0
    for worker in self.worker:
        if worker.crew_type != 3:
            total += worker.risk_attitude
            a = a + 1
    return total / a

# Método de instância para calcular a aceitação média de risco entre todos os trabalhadores
def get_avg_risk_acceptance(self):
    total = 0
    a = 0
    for worker in self.worker:
        if worker.crew_type != 3:
            total += worker.risk_acceptance
            a += 1
    return total / a if a > 0 else 0 # Verificação para evitar divisão por zero

def get_avg_risk_perception_2(self):
```

```
total = 0
a=0
for worker in self.worker:
    if worker.crew_type != 3:
        total += worker.perceived_risk
        a=a+1
return total / a

def get_unsafe_behavior_2(self):
    total = 0
    for worker in self.worker:
        if worker.crew_type != 3:
            if worker.unsafe_behavior == 1 or worker.unsafe_behavior == 2:
                total += 1
            else:
                total = total
    return total

def get_near_miss_2_pareda(self):
    total = 0
    for worker in self.worker:
        if worker.crew_type == 1:
            total += worker.near_miss
    return total

def get_near_miss_2_plataforma(self):
    total = 0
    for worker in self.worker:
        if worker.crew_type == 2:
            total += worker.near_miss
    return total

def get_near_miss_2_outros(self):
    total = 0
    for worker in self.worker:
```

```
        if worker.crew_type == 3:
            total += worker.near_miss
    return total

def get_near_miss_2_todos(self):
    total = 0
    for worker in self.worker:
        total += worker.near_miss
    return total

def get_avg_risk_attitude_2(self):
    total = 0
    a=0
    for worker in self.worker:
        if worker.crew_type != 3:
            total += worker.risk_attitude
            a=a+1
    return total / a

def get_avg_risk_acceptance_2(self):
    total = 0
    a=0
    for worker in self.worker:
        if worker.crew_type != 3:
            total += worker.risk_acceptance
            a = a+1
    taxa_risk_acceptance = total / a
    return taxa_risk_acceptance

def get_perceived_management_norm(self):
    total = 0
    for worker in self.worker:
        total += worker.perceived_management_norm
    return total / len(self.worker)

def get_perceived_workgroup_norm (self):
```

```

total = 0
for worker in self.worker:
    total += worker.perceived_workgroup_norm
return total / len(self.worker)

def info_matrix(self):
    matrix = np.array([self.history_near_miss, self.history_near_miss_parede,
self.history_near_miss_plataforma,
self.history_near_miss_montadores, self.history_near_miss_outros,
self.history_risk_attitude,
self.history_risk_acceptance, self.history_perceived_risk])
    return matrix

def incident_rate(self):
    total_near_miss = sum(self.history_near_miss)
    total_working_hour = (self.nsteps)*(self.total_workers)*8
    taxa_de_incidentes = (total_near_miss/total_working_hour)*(200000/10)
    return taxa_de_incidentes

def incident_rate_1(self):
    total_near_miss = sum(self.history_near_miss_parede)
    total_working_hour = (
self.nsteps)*(self.num_crews_1*self.num_worker_per_crew_1)*8
    return (total_near_miss/total_working_hour)*(200000/10)

def incident_rate_2(self):
    total_near_miss = sum(self.history_near_miss_plataforma)
    total_working_hour = (
self.nsteps)*(self.num_crews_2*self.num_worker_per_crew_2)*8
    return (total_near_miss/total_working_hour)*(200000/10)

def incident_rate_3(self):
    total_near_miss = sum(self.history_near_miss_montadores)
    total_working_hour = (
self.nsteps)*(self.num_crews_1*self.num_worker_per_crew_1+self.num_crews_2*self.num_wo
rker_per_crew_2)*8
    return (total_near_miss/total_working_hour)*(200000/10)

```

```
def incident_rate_4(self):
    total_near_miss = sum(self.history_near_miss_outros)
    total_working_hour = (
        self.nsteps)*(self.num_other_workers)*8
    return (total_near_miss/total_working_hour)*(200000/10)

def get_unsafe_behavior_2(self):
    total = 0
    for worker in self.worker:
        if worker.unsafe_behavior == 1 or worker.unsafe_behavior == 2:
            total += 1
        else:
            total = total
    return total

def get_unsafe_behavior_media(self):
    # Calcula a média de comportamentos inseguros
    unsafe_behavior_media = sum(self.history_unsafe_behavior) / len(self.history_unsafe_behavior)
    return unsafe_behavior_media

def export(self):
    # Cria o DataFrame com os arrays
    df = pd.DataFrame({'history_unsafe_behavior': self.history_unsafe_behavior,
                      'history_near_miss': self.history_near_miss,
                      'history_near_miss_parede': self.history_near_miss_parede,
                      'history_near_miss_plataforma': self.history_near_miss_plataforma,
                      'history_near_miss_montadores': self.history_near_miss_montadores,
                      'history_near_miss_outros': self.history_near_miss_outros,
                      'history_risk_attitude': self.history_risk_attitude,
```

```

        'history_risk_acceptance': self.history_risk_acceptance,
        'history_perceived_risk': self.history_perceived_risk,
        'history_perceived_management_norm':self.history_perceived_management_norm,
        'history_perceived_workgroup_norm': self.history_perceived_workgroup_norm))

# exportando o DataFrame para um arquivo CSV
df.to_csv('gerencial_mesa_dados.csv', index=False)

def step(self):

    self.step_interact()
    # MESA COLLECTORS
    self.datacollector_risk.collect(self)
    self.datacollector_behavior.collect(self)

    # Arrays para outros gráficos
    self.history_unsafe_behavior.append(self.get_unsafe_behavior_2())
    self.history_near_miss.append(self.get_near_miss_2_todos())

    self.history_near_miss_parede.append(self.get_near_miss_2_parede())
    self.history_near_miss_outros.append(self.get_near_miss_2_outros())
    self.history_near_miss_plataforma.append(
        self.get_near_miss_2_plataforma())
    self.history_near_miss_montadores.append(
        (self.get_near_miss_2_plataforma() + self.get_near_miss_2_parede())/2)

    self.history_risk_attitude.append(self.get_avg_risk_attitude_2())
    self.history_risk_acceptance.append(self.get_avg_risk_acceptance_2())
    self.history_perceived_risk.append(self.get_avg_risk_perception_2())
    self.history_perceived_management_norm.append(self.get_perceived_management_norm())
    self.history_perceived_workgroup_norm.append(self.get_perceived_workgroup_norm ())

    self.t = self.t+1

    if self.t - 2 == self.nsteps:

```

```
self.export()  
self.running = False  
return
```