

SIMULAÇÃO BASEADA EM AGENTES PARA GESTÃO DA SEGURANÇA EM CANTEIROS DE OBRAS: APLICABILIDADE DO MODELO

Agent-Based Simulation for Safety Management on Construction Sites: Model Applicability

Vanessa Cruz Pacheco

Universidade Federal da Bahia | Salvador, BA | pacheco.vanessa@ufba.br

Guilherme dos Santos Bonfim

Universidade Federal da Bahia | Salvador, BA | guilhermebonfim@ufba.br

Elaine Pinto Varela Alberte

Universidade Federal da Bahia | Salvador, BA | elaine.varela@ufba.br

Dayana Bastos Costa

Universidade Federal da Bahia | Salvador, BA | dayanabcosta@ufba.br

RESUMO

Os canteiros de obras são ambientes dinâmicos e complexos, nos quais a gestão da segurança do trabalho enfrenta desafios associados à interação de fatores humanos, organizacionais e operacionais. Este artigo apresenta um modelo baseado em agentes desenvolvido com base em fundamentos teóricos e dados empíricos, com o objetivo de representar o processo sociocognitivo relacionado aos comportamentos de segurança dos trabalhadores da construção civil. Adota-se como estratégia metodológica a Design Science Research (DSR), estruturada nas seguintes etapas: (1) Conscientização; (2) Sugestão do artefato; (3) Desenvolvimento e avaliação; e (4) Conclusão. A ferramenta proposta busca apoiar a tomada de decisão gerencial, permitindo identificar cenários e práticas mais eficazes para a promoção de ambientes de trabalho seguros. Este artigo apresenta um recorte da pesquisa, com foco na etapa de desenvolvimento e validação do modelo, especificamente na avaliação de sua aplicabilidade. Os resultados obtidos demonstram que o modelo é válido como instrumento de apoio à simulação de diferentes práticas gerenciais, auxiliando gestores na escolha de ações mais eficazes para a redução de riscos e incidentes nos canteiros de obras.

Palavras-chave: Segurança do trabalho; Canteiro de obras; Simulação Computacional; Normas regulamentadoras; Modelagem baseada em agentes

ABSTRACT

Construction sites are dynamic and complex environments where occupational safety management faces challenges arising from the interaction of human, organizational, and operational factors. This article presents an agent-based model developed based on theoretical foundations and empirical data, aiming to represent the sociocognitive processes associated with safety behaviors among construction workers. The research adopts the Design Science Research (DSR) methodology, structured in the following stages: (1) Awareness; (2) Suggestion of the artifact; (3) Development and evaluation; and (4) Conclusion. The proposed tool is intended to support managerial decision-making, enabling the identification of scenarios and practices that are more effective in promoting safer work environments. This article presents a portion of the broader study, focusing on the development and validation phase, particularly on assessing the applicability of the model. The results demonstrate that the model is valid as a decision-support tool for simulating various management practices, assisting safety professionals in identifying the most effective actions to reduce risks and incidents on construction sites.

Keywords: Occupational safety; Construction site; Computational simulation; Regulatory standards; Agent-based modeling

1 INTRODUÇÃO

A construção civil destaca-se como um dos setores com maior representatividade econômica, especialmente por seu papel na geração de emprego e renda (OIT, 2003). Segundo dados do Observatório Digital de Saúde e Segurança do Trabalho (SMARTLAB, 2022), foram registrados aproximadamente 612,9 mil acidentes de trabalho no Brasil apenas em 2022, sendo mais de 10 mil relacionados ao setor da construção. A taxa de mortalidade na construção civil brasileira é de 11,76 casos para cada 100.000 trabalhadores em regime de tempo integral por ano (ANAMT, 2019). Além disso, a Organização Internacional do Trabalho (OIT, 2003) estima que os acidentes ocupacionais representem um custo de aproximadamente 4% do Produto Interno Bruto (PIB) mundial, o que equivale a cerca de 1,25 trilhão de dólares por ano.

O ambiente de trabalho na construção civil apresenta demandas, particularmente, complexas para a gestão da segurança, superando em desafios aqueles observados em outras indústrias. Nesse contexto, as práticas de gestão de Saúde e Segurança do Trabalho (SST) constituem uma das principais estratégias adotadas para a redução de acidentes laborais na construção civil (Ferreira, 2020). Tais práticas gerenciais compreendem um conjunto estruturado de ações sistemáticas direcionadas à mitigação de riscos, ao cumprimento das normas regulamentadoras e à melhoria contínua do desempenho em segurança nos canteiros de obras (Bridi *et al.*, 2013). Dentre essas ações, destacam-se a realização de treinamentos, a condução de inspeções periódicas e a adoção de medidas preventivas (Bridi *et al.*, 2013).

Diante desse cenário, a ascensão da Indústria 4.0 tem proporcionado novas oportunidades para a aplicação de metodologias computacionais voltadas ao desenvolvimento de ferramentas de apoio à gestão da segurança. Estudos indicam que práticas gerenciais bem estruturadas exercem influência significativa sobre o comportamento seguro dos trabalhadores nos canteiros de obras (Alruqi, Hallowell e Techera, 2018; Zhang *et al.*, 2019), reforçando a importância de incorporar soluções tecnológicas ao processo decisório.

Nesse contexto, destaca-se a modelagem baseada em agentes (MBA), uma metodologia computacional voltada à simulação de sistemas sociais complexos, por meio de agentes autônomos que interagem entre si e com o ambiente (Zhang *et al.*, 2019). Essa abordagem permite representar processos de decisão e comportamentos individuais em contextos como o canteiro de obras, caracterizado por múltiplos agentes heterogêneos atuando em tempo e espaço definidos (Furtado, 2018). Como metodologia, a MBA abrange diferentes métodos, como a definição dos agentes e seus comportamentos (Franklin, 1997), a especificação do ambiente (Freitas, 2016), a modelagem das interações (Crooks, 2019) e a simulação computacional com posterior validação (Heath, Hill e Frank, 2009). Sua aplicação na segurança do trabalho possibilita a análise de riscos e o planejamento de práticas gerenciais mais eficazes (Zhang *et al.*, 2019).

Neste artigo, propõe-se a aplicação da modelagem baseada em agentes como ferramenta de apoio à gestão da segurança do trabalho em canteiros de obras, por meio da simulação de diferentes cenários de práticas gerenciais. A análise concentra-se na avaliação da aplicabilidade do MBA para representar o impacto isolado e combinado de duas práticas gerenciais amplamente utilizadas no setor — o treinamento de segurança e o diálogo de segurança — considerando distintas frequências de aplicação. O objetivo é identificar quais práticas, quando adotadas de forma individual ou integrada, são mais eficazes na redução de comportamentos inseguros e na promoção de ambientes de trabalho mais seguros, contribuindo para decisões gerenciais mais fundamentadas e alinhadas à realidade da construção civil.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Diversos estudos têm investigado os fatores que influenciam o comportamento seguro dos trabalhadores da construção civil, revelando a complexidade das interações entre aspectos individuais, organizacionais e contextuais. He *et al.* (2022) destacam que o conhecimento em segurança, a percepção de risco, o clima organizacional e a qualidade da relação entre trabalhadores e supervisores exercem papel relevante na redução de comportamentos inseguros. Wang *et al.* (2019) complementam essa visão ao argumentar que uma cultura organizacional excessivamente focada na produtividade, sem considerar a segurança, compromete o desempenho e contribui para o aumento da incidência de acidentes nos canteiros de obras.

Nesse sentido, Liang, Lin e Zhang (2018) defendem que a eficácia das práticas gerenciais na segurança depende do nível de risco do ambiente de trabalho. Em cenários de risco moderado, estratégias baseadas em interações sociais apresentam bons resultados; em contrapartida, ambientes de alto risco demandam abordagens mais intensivas, complementadas por outras formas de intervenção (Liang, Lin e Zhang, 2018). Outros estudos reforçam a influência da percepção dos trabalhadores sobre seu próprio comportamento: Li *et al.* (2022) observaram que ambientes inseguros podem elevar a percepção de risco e, paradoxalmente, induzir

comportamentos mais cautelosos. Ji, Wei e Chen (2019) acrescentam que experiências anteriores com acidentes também podem servir como elemento preventivo para futuras ocorrências.

Além disso, práticas de prevenção contínua são amplamente reconhecidas como fundamentais para a promoção da segurança. Ye *et al.* (2020) e Zhang *et al.* (2019) enfatizam a importância de treinamentos periódicos, inspeções sistemáticas e feedbacks comportamentais para a promoção da segurança.

Esses elementos, amplamente abordados em normas regulamentadoras brasileiras como a NR-01 (disposições gerais e gerenciamento de riscos ocupacionais), NR-18 (Segurança e Saúde no Trabalho na Indústria da Construção) e nos requisitos do Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR), fornecem diretrizes que orientam a implementação de medidas preventivas em canteiros de obras. Assim, os parâmetros definidos para o modelo computacional desenvolvido neste estudo — como frequência de treinamentos, periodicidade dos diálogos de segurança, práticas de inspeção e estímulo à comunicação — foram construídos a partir tanto das evidências da literatura quanto das exigências normativas, com o objetivo de simular comportamentos seguros e inseguros em diferentes estratégias gerenciais.

3 MÉTODO DE PESQUISA

A presente pesquisa adota a abordagem Design Science Research (DSR), que tem como propósito o desenvolvimento de soluções práticas e contextualizadas para problemas reais (Lukka, 2003; Baskerville, 2018). O artefato proposto consiste em um modelo baseado em agentes (MBA), empregado para realizar simulações que analisam o processo de tomada de decisão dos trabalhadores em relação à segurança e o impacto de diferentes estratégias gerenciais sobre seus comportamentos de segurança.

Para o desenvolvimento do MBA, foi conduzido um estudo de caso entre setembro e dezembro de 2023, em uma obra da Empresa X, situada em Salvador (BA), composta por duas torres de 17 pavimentos executadas com paredes de concreto moldadas in loco. Realizou-se o mapeamento das rotinas de segurança da Empresa X, além da aplicação de questionários e entrevistas estruturadas com os trabalhadores (CAAE 70306423.4.0000.5030), permitindo a coleta de dados sobre a percepção de risco, o comportamento dos trabalhadores frente aos riscos, o impacto das práticas gerenciais de segurança e o clima de segurança organizacional e de grupo (Pacheco, 2024). A estrutura do modelo foi desenvolvida a partir de adaptações ao código proposto por Choi e Lee (2018), as quais foram implementadas utilizando o Visual Studio Code (VS Code), um editor de código-fonte gratuito. As simulações foram conduzidas com a biblioteca MESA, versão 1.1.0, um software de modelagem baseada em agentes desenvolvido em Python, voltado à simulação de sistemas complexos.

A adaptação da pesquisa incorporou especificidades do contexto brasileiro, com ênfase na representação de práticas gerenciais alinhadas à legislação nacional, às percepções dos trabalhadores coletadas em campo e aos objetivos da pesquisa. Essa adaptação teve como propósito assegurar que os resultados obtidos fossem coerentes com a realidade observada, por meio da simulação de um ambiente representativo tanto dos riscos associados ao sistema construtivo analisado quanto do comportamento dos trabalhadores diante desses riscos. Dessa forma, o desenvolvimento do modelo foi fundamentado em dados teóricos, coletados na etapa de Conscientização, e dados empíricos, obtidos na etapa de Sugestão da pesquisa. A base teórica abrange conceitos como a Teoria do Risco, a Teoria da Identidade Social, a Teoria da Comparação Social e os constructos de clima de segurança organizacional e de grupo. No aspecto empírico, o modelo foi calibrado com os dados obtidos no estudo de caso.

Por meio da simulação computacional, busca-se identificar os cenários mais eficazes para aplicação de práticas gerenciais, com o objetivo de promover comportamentos mais seguros no ambiente de trabalho. A pesquisa foi estruturada em cinco etapas metodológicas (Figura 1), sendo este artigo focado na etapa de desenvolvimento e avaliação, voltada à validação da aplicabilidade do modelo desenvolvido.

Para a avaliação do artefato, foram conduzidas três etapas de validação: estrutural, replicativa e de aplicabilidade. A validação estrutural teve como objetivo verificar se a arquitetura interna do modelo estava corretamente formulada e alinhada aos fundamentos teóricos que o embasam (Furtado, 2018). A validação replicativa buscou avaliar a capacidade do modelo de reproduzir resultados ou padrões identificados em estudos empíricos (Furtado, 2018). A validação da aplicabilidade, por sua vez, teve como propósito verificar a utilidade e a aderência do MBA ao seu objetivo, bem como sua robustez e sensibilidade diante de diferentes combinações de estratégias gerenciais, refletindo situações compatíveis com a realidade dos canteiros de obras. Para isso, foram simulados 14 cenários distintos de gestão da segurança (Figura 2), com o intuito de avaliar o desempenho e a aplicabilidade do modelo proposto (Furtado, 2018).

Figura 1: Delineamento de pesquisa



Fonte: Os autores

Para a validação da aplicabilidade do MBA, foi definido um modelo de referência que representa um canteiro de obras com sistema de paredes de concreto moldadas in loco, composto por três grupos de trabalhadores: 20 montadores de forma, 10 montadores de plataforma de segurança e 7 trabalhadores da construção civil (armadores e instaladores), totalizando 37 profissionais atuando simultaneamente em diferentes atividades no mesmo pavimento.

Para viabilizar a simulação de todos os cenários propostos (Figura 2), considerou-se o intervalo máximo de dois anos entre treinamentos, conforme estabelecido pelas normas regulamentadoras NR-18 (Segurança e Saúde no Trabalho na Indústria da Construção) e NR-35 (Trabalho em Altura). Visando representar o impacto da realização dos treinamentos no limite desse prazo, a duração total da simulação foi definida como equivalente à execução de uma obra composta por 10 torres, totalizando 900 dias de operação. Essa configuração baseia-se na dinâmica observada no estudo de caso, no qual a mesma equipe de trabalhadores seria responsável pela execução de todas as torres ao longo do empreendimento.

Cada grupo foi exposto a um nível específico de risco, conforme a natureza da atividade desempenhada: (1) montadores de parede – risco médio; (2) montadores de plataforma de segurança – risco alto; e (3) demais trabalhadores da construção civil – risco médio. Essa definição baseou-se no estudo de caso, que indicou que os montadores de parede atuam em altura com linha de vida e plataformas já instaladas, enquanto os montadores de segurança realizam montagem e desmontagem das plataformas expostos, sem guarda-corpos, utilizando apenas linha de vida. Com o intuito de avaliar a aplicabilidade do modelo, foram simulados 14 cenários distintos de gestão da segurança, com 100 repetições cada, totalizando 1.400 simulações.

As simulações contemplaram diferentes configurações de aplicação das práticas gerenciais — treinamento e diálogo de segurança — tanto de forma isolada quanto combinada, permitindo observar os efeitos individuais e conjuntos das práticas gerenciais na redução da taxa de incidentes. Essa abordagem permitiu identificar o efeito de cada prática sobre o comportamento dos trabalhadores, bem como os efeitos decorrentes da sua integração. Para fins desta pesquisa, incidentes são definidos como ocorrências inesperadas durante a execução das atividades laborais que não resultam em lesões ou danos significativos (CASST, 2020).

Figura 2: Cenários de Simulação

a) Treinamento de segurança				b) Diálogo de Segurança	
ANÁLISE 1				ANÁLISE 2	
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	Diálogo semanal de segurança
Sem diálogo de segurança				Sem treinamento de segurança	

c) Diálogo de Segurança e Treinamento de Segurança							
ANÁLISE 3				ANÁLISE 4			
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			

Fonte: Os autores

4 RESULTADOS

Esta seção apresenta o modelo baseado em agentes desenvolvido, bem como a validação de aplicabilidade.

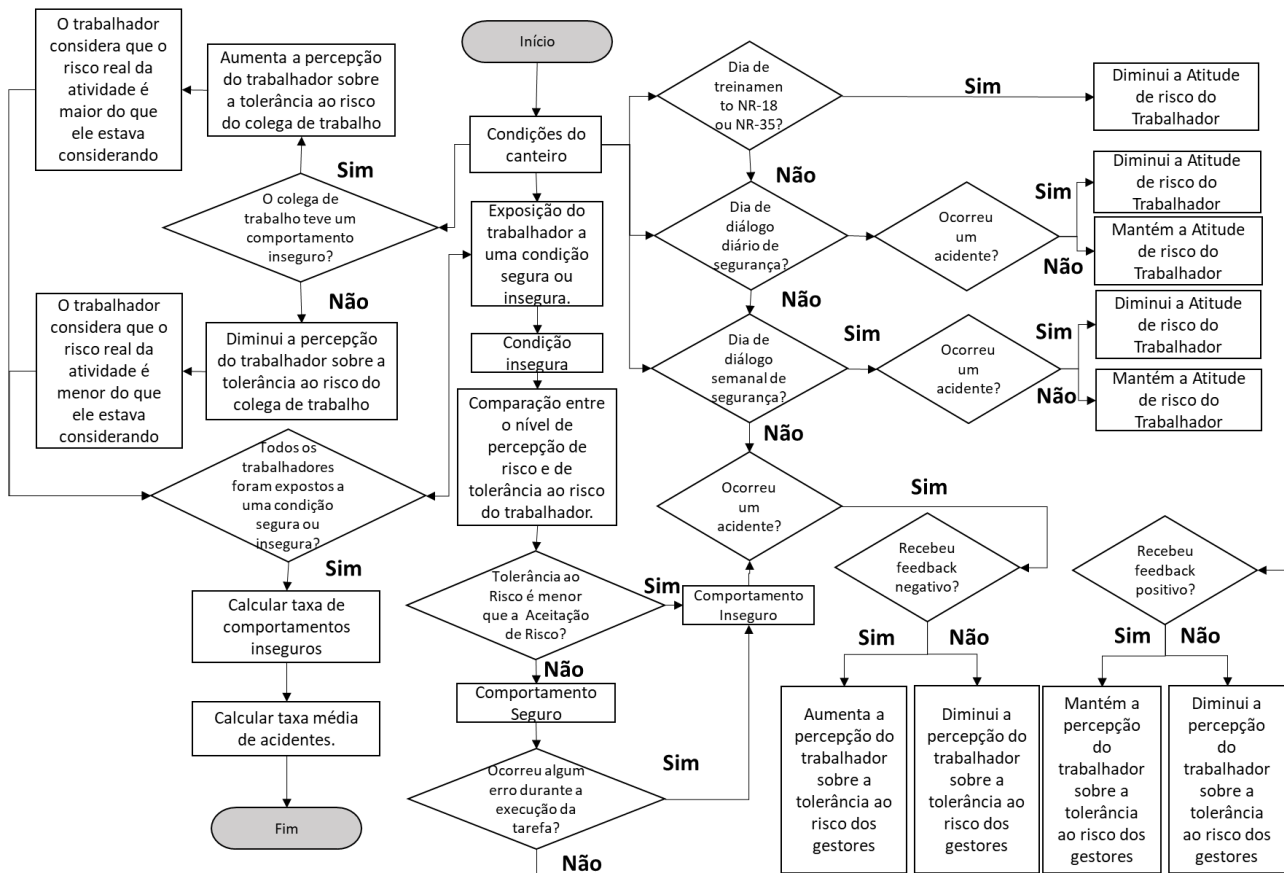
4.1 MODELO BASEADO EM AGENTES PARA GESTÃO DA SEGURANÇA

O modelo representa o comportamento seguro dos trabalhadores com base em processos sociocognitivos, considerando três níveis de interação: com o ambiente (percepção de risco), com os colegas (clima de segurança do grupo) e com os gestores (clima organizacional). As decisões dos agentes são influenciadas pela observação dos colegas, pela participação em treinamentos e diálogos de segurança, e pela frequência de feedbacks recebidos durante inspeções.

Na inicialização, o modelo configura as condições do ambiente de trabalho e define os perfis dos trabalhadores simulados, atribuindo a cada agente valores iniciais de atitude frente ao risco, percepção de risco e tolerância ao risco. Com essas definições, a simulação avança no tempo, reproduzindo de forma iterativa os comportamentos de segurança dos agentes em resposta às condições do ambiente e às estratégias gerenciais adotadas (Figura 3).

Cada passo da simulação corresponde a um dia de trabalho, em que os trabalhadores interagem com o ambiente e entre si, atualizando sua atitude, percepções e tolerância ao risco. A simulação é concluída após todos os agentes serem expostos a condições seguras ou inseguras e tomarem decisões com base em seus níveis internos de risco. O modelo permite avaliar o impacto isolado e combinado de diferentes práticas gerenciais — como treinamentos com diversas frequências, diálogos diários ou semanais e feedbacks — em um cenário de alto risco. Os resultados são apresentados por meio de gráficos dinâmicos, que indicam a taxa de incidentes em função do impacto das estratégias gerenciais no comportamento dos trabalhadores.

Figura 3: Fluxograma da lógica do modelo baseado em agentes



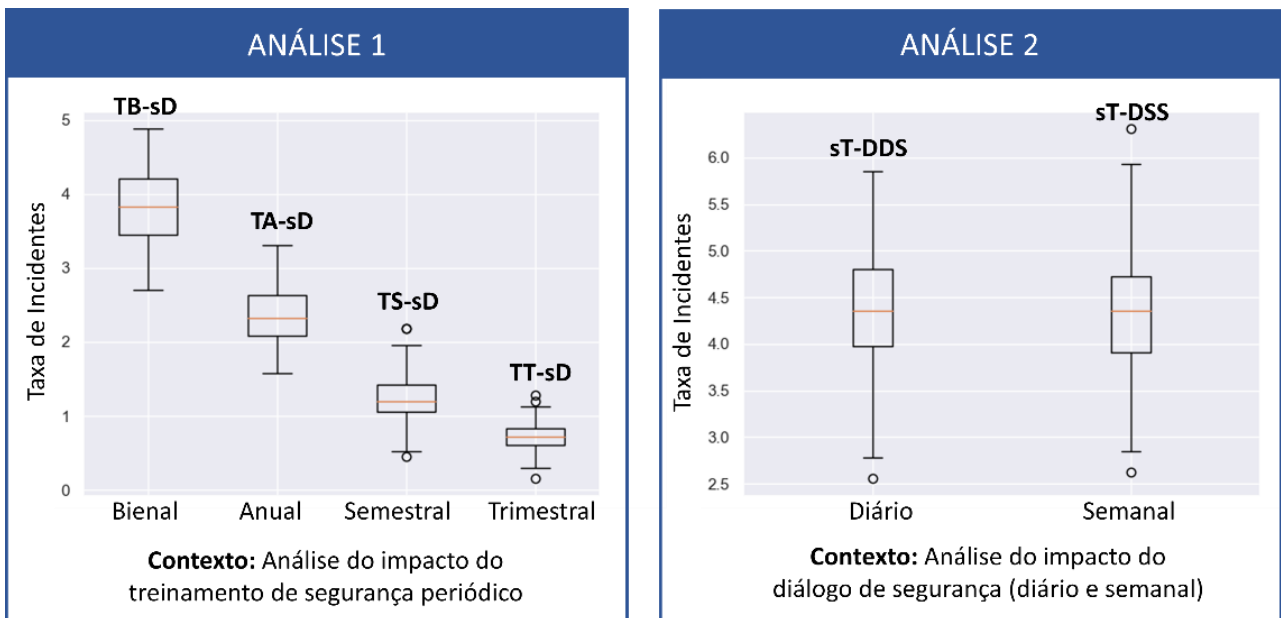
Fonte: Os autores

4.2 ANÁLISE DA APLICABILIDADE DO MBA VIA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Os efeitos das práticas gerenciais, aplicadas de forma isolada e combinada, estão representados nas Figuras 4 e 5, respectivamente. As simulações consideram um cenário em que 30% dos trabalhadores recebem feedback sobre seus comportamentos seguros ou inseguros. Nas figuras, os eixos horizontais indicam a variação na frequência dos treinamentos ou dos diálogos de segurança, enquanto os eixos verticais correspondem à taxa de incidentes registrados no canteiro simulado.

A análise dos cenários com aplicação isolada de práticas gerenciais evidencia que os treinamentos periódicos (Análise 1) apresentam impacto significativamente superior ao do diálogo de segurança (Análise 2) na redução da taxa de acidentes. Observa-se uma relação inversamente proporcional entre a frequência dos treinamentos e a ocorrência de incidentes: o cenário com treinamento bienal apresentou mediana de 3,8288 (TB-sD), seguido pelos treinamentos anual ($M_d=2,3273 - TA-sD$), semestral ($M_d=1,2012 - TS-sD$) e trimestral ($M_d=0,7132 - TT-sD$). Além da redução da mediana, o aumento da frequência do treinamento também está associado a menor variabilidade dos dados e redução dos outliers, indicando maior estabilidade e consistência no comportamento seguro dos trabalhadores. Os cenários com treinamentos bienal (TB-sD) e anual (TA-sD) mostraram maiores medianas e ampla variabilidade, com presença de outliers superiores, o que sugere instabilidade no controle dos riscos e possível ocorrência de eventos mais graves. O cenário trimestral, em particular, apresentou menor dispersão e poucos valores atípicos, reforçando sua efetividade como estratégia preventiva.

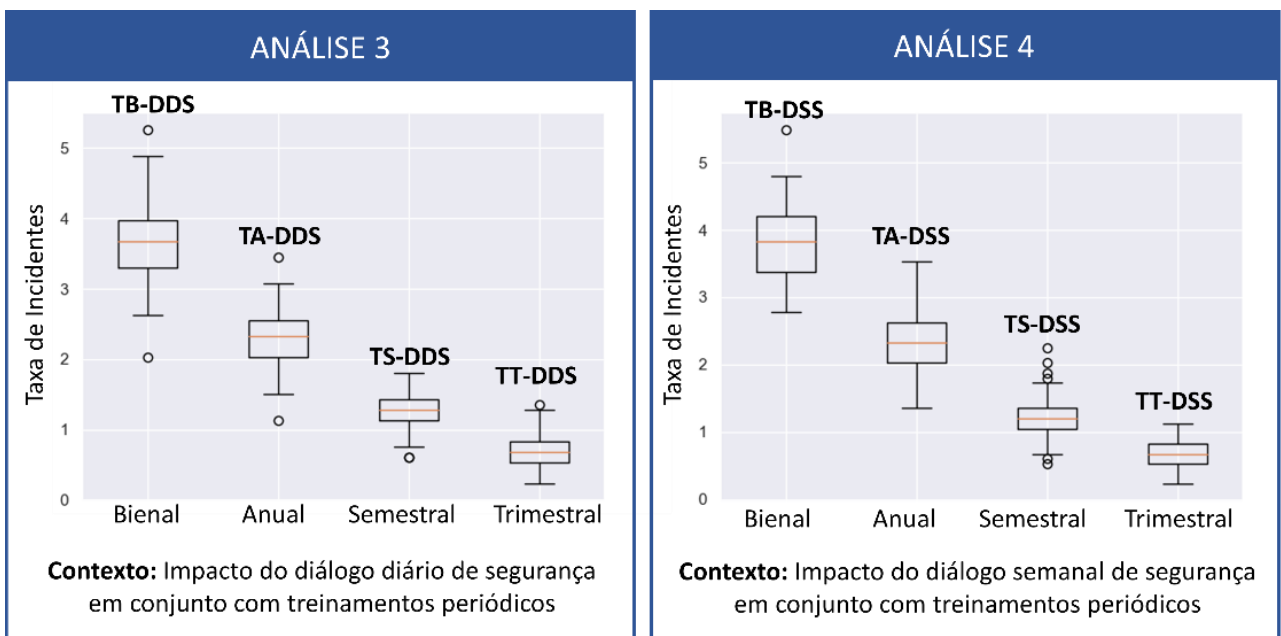
Figura 4: Resultados de simulação – Práticas Isoladas



Fonte: Os autores

Em contrapartida, o diálogo de segurança, quando aplicado de forma isolada, seja na frequência diária (sT-DDS) ou semanal (sT-DSS), não apresentou impacto significativo na mitigação de riscos, registrando a mesma mediana elevada de taxa de incidentes ($M_d=4,3544$) em ambos os casos. Embora os resultados sejam semelhantes em termos de tendência central, o cenário com diálogo semanal apresentou maior dispersão e presença de outliers superiores, indicando episódios com taxas de incidentes mais elevadas do que os observados nos demais cenários. A ampla variabilidade observada em ambas as frequências sugere que, na ausência de treinamentos técnicos, o diálogo de segurança isolado não é capaz de estabilizar o comportamento dos trabalhadores. Assim, os resultados indicam que a efetividade do diálogo está condicionada à sua articulação com outras práticas gerenciais, especialmente treinamentos periódicos, para gerar efeitos consistentes na promoção da segurança.

Figura 5: Resultados de simulação – Práticas em conjunto



Fonte: Os autores

A aplicação conjunta de treinamentos periódicos e diálogos de segurança demonstrou impacto positivo na redução das taxas de acidentes, especialmente nos cenários com maior frequência de treinamento. Observou-se que, tanto com diálogo diário (DDS) quanto semanal (DSS), os resultados seguiram uma tendência decrescente conforme aumentava a frequência do treinamento, com destaque para os cenários trimestrais, que apresentaram a menor taxa de acidentes ($M_d=0,6757$) em ambos os formatos de diálogo. A combinação com DDS obteve desempenho semelhante ao DSS, com pequenas variações a depender da periodicidade. No entanto, o cenário com treinamento bienal combinado ao diálogo semanal ($M_d=3,8288$) resultou na maior taxa de acidentes entre os analisados, sugerindo que a efetividade das práticas combinadas está diretamente associada à regularidade das intervenções e à sinergia entre os elementos aplicados. Tais achados reforçam a importância de integrar ações formativas e comunicacionais de maneira coordenada e frequente para a promoção de ambientes de trabalho mais seguros.

Além das reduções nas taxas médias de acidentes, os cenários que combinam treinamentos trimestrais com diálogos de segurança (diário ou semanal) apresentaram também menor variabilidade e dispersão nos dados, sugerindo uma população mais homogênea e comportamentos mais consistentes por parte dos trabalhadores. Por outro lado, nos cenários com menor frequência de treinamento, observou-se aumento na taxa de acidentes e a presença de outliers, especialmente nos cenários TB-DSS e TA-DSS, o que pode indicar a ocorrência de acidentes graves ou situações incomuns. Esses dados apontam para a necessidade de investigações complementares nesses casos, visando a identificação de causas específicas e o planejamento de ações corretivas mais direcionadas. A análise também revelou que, na ausência de diálogo de segurança, o treinamento trimestral isolado ainda se configura como a alternativa mais eficaz. No entanto, a falta de periodicidade revisional, como nos casos em que o treinamento é aplicado apenas na admissão, resultou nas maiores taxas de incidentes ($M_d=4,3544$) entre os 14 cenários simulados, evidenciando a importância de práticas formativas contínuas e sistemáticas.

5 DISCUSSÃO

Os achados obtidos por meio da simulação baseada em agentes demonstram que tanto a frequência das práticas gerenciais de segurança quanto sua aplicação isolada ou combinada impactam diretamente o comportamento dos trabalhadores da construção civil. De modo geral, os cenários que aliam treinamentos trimestrais ao diálogo de segurança (seja diário – DDS ou semanal – DSS) apresentaram as menores taxas de incidentes e menor variabilidade nos dados, indicando maior homogeneidade no comportamento seguro dos agentes simulados. Esses resultados estão em consonância com os estudos de Ye et al. (2020) e Zhang et al. (2019), que ressaltam a importância de práticas gerenciais contínuas, regulares e articuladas para a consolidação de uma cultura de segurança eficaz nos canteiros.

No que se refere ao marco normativo brasileiro, destaca-se a limitação das diretrizes vigentes nas NR-18 e NR-35, que estabelecem treinamentos bienais com cargas horárias reduzidas (4 e 8 horas, respectivamente). Conforme evidenciado nos resultados, esse intervalo de tempo mostrou-se insuficiente para manter padrões consistentes de comportamento seguro. A Análise 2, por exemplo, revelou que cenários com treinamento apenas no momento da contratação, sem revisões periódicas, apresentaram as maiores taxas de incidentes, o que sugere que a periodicidade estipulada atualmente pelas normas não é compatível com a dinâmica e os riscos do ambiente de obra.

Outro ponto relevante diz respeito à ausência de regulamentação específica sobre o diálogo de segurança. As normas não estabelecem diretrizes mínimas quanto à frequência, ao conteúdo ou à responsabilidade pela condução dessas atividades. Essa lacuna normativa pode contribuir para a condução informal e pouco estruturada dos diálogos nos canteiros. Os resultados deste estudo indicam que, quando associados a treinamentos periódicos, os diálogos de segurança atuam como reforço comportamental, potencializando a redução de comportamentos inseguros. Portanto, evidencia-se a necessidade de avanços normativos que reconheçam e formalizem essa prática como parte integrante da gestão da segurança no setor da construção civil.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo analisou o impacto isolado e combinado de práticas gerenciais de segurança — treinamento e diálogo de segurança — no comportamento dos trabalhadores da construção civil, por meio de simulações em um modelo baseado em agentes. A abordagem se mostrou eficaz para representar a dinâmica dos canteiros, permitindo avaliar cenários diversos com realismo e flexibilidade, além de considerar variáveis sociais e comportamentais que são difíceis de capturar por métodos tradicionais. Os resultados indicaram que o treinamento trimestral foi a prática mais eficaz de forma isolada, e que sua combinação com o diálogo de segurança potencializa a redução de incidentes e a estabilidade dos comportamentos seguros. As simulações também evidenciaram limitações nas normas brasileiras, como a baixa frequência exigida para treinamentos e a ausência de diretrizes sobre os diálogos de segurança, o que pode comprometer a efetividade das práticas gerenciais adotadas no canteiro de obras.

Este estudo reforça que a integração entre diferentes práticas é mais efetiva do que sua aplicação isolada, e que ferramentas computacionais, como a modelagem baseada em agentes, podem apoiar a gestão da segurança, permitindo a visualização de cenários alternativos antes de sua aplicação prática. Além disso, destaca-se o potencial da simulação como suporte à tomada de decisão em ambientes complexos, auxiliando gestores no planejamento da segurança de canteiros de obras. Contudo, reconhece-se a necessidade de ampliar o modelo, incluindo diferentes frequências de feedback, fatores organizacionais e sociais e aspectos externos, como a pressão por produtividade, a influência da liderança e a cultura de segurança da equipe, que podem tornar o modelo ainda mais sensível à realidade vivida nos canteiros, ampliando sua aplicabilidade e utilidade como ferramenta de apoio à gestão da segurança.

7 AGRADECIMENTOS

À CAPES pela concessão de bolsa de Mestrado. À FAPESB pela concessão de bolsa de Doutorado. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de recursos financeiro (Projeto 402380/2021-5).

REFERÊNCIAS

- ALRUQI, Wael M.; HALLOWELL, Matthew R.; TECHERA, Ulises. Safety climate dimensions and their relationship to construction safety performance: A meta-analytic review. **Safety science**, v. 109, p. 165-173, 2018.
- BASKERVILLE, Richard; BAIYERE, Abayomi; GREGOR, Shirley; HEVNER, Alan; ROSSI, Matti. 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.
- 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>
- 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.
- CHOI, Byungjoo; LEE, SangHyun. 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, 2018. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001421](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001421)
- CROOKS, A.; HEPPENSTALL, A.; MANLEY, E.; MALLESON, N.. **Agent-based modelling and geographical information systems: a practical primer**. 2018.
- 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.
- HE, Changquan; JIA, Guangshe; MCCABE, Brenda; CHEN, Yuting; ZHANG, Puwei; SUN, Jide. 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>

- 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.
- JI, Tingting; WEI, Hsi-Hsien; CHEN, Jiayu. 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>
- LIANG, Huakang; LIN, Ken-Yu; ZHANG, Shoujian.. 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>
- LUKKA, Karri. The constructive research approach. Case study research in logistics. **Publications of the Turku School of Economics and Business Administration**, Series B, v. 1, n. 2003, p. 83-101, 2003.
- OIT - ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO. Convenção nº 81 sobre a Inspeção do Trabalho. Genebra : OIT, 1947.
- PACHECO, V. C.. **Modelo baseado em agentes para análise da influência das ações gerenciais no comportamento seguro de montadores de parede de concreto**. 2025. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de pós-graduação em Engenharia civil, Universidade Federal da Bahia, Salvador, p. 250, 2024.
- SmartLab. Observatório Digital de Saúde e Segurança do Trabalho. Frequência de Notificações –CAT. 2022. Disponível em: <https://smartlabbr.org/sst/localidade/0>. Acesso em: 23 junho 2025.
- WANG, Qiwei; CURCURUTO, Matteo; MEI, Qiang; LIU, Suxia; ZHOU, Qiaomei; ZHANG, JingJing. 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>
- YE, Gui; YUE, Hongzhe; YANG, Jingjing; LI, Hongyang; XIANG, Qingting; FU, Yuan; CUI, Can. 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>
- ZHANG, Peiyao; LI, Nan; JIANG, Zhongming.; FANG, Dongping; ANUMBA, Chimay 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>