XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8659

Integração BIM – *Lean Construction* no Arranjo Físico de Canteiros de Obra: Redução de Desperdícios e Fluxo de Materiais em Obra Vertical

Integrating BIM - Lean Construction into the Physical Layout of Construction Sites: Reducing Waste and Improving Material Flow in Vertical Construction.

Carlos Eduardo Arruda dos Santos
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza | Brasil | c.eduardoard@gmail.com
Cely Martins Santos de Alencar
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza | Brasil | celyms@ufc.br

Resumo

O planejamento do layout de canteiros de obras é de suma importância para o desenvolvimento eficiente do setor da construção civil. Aliado à metodologia BIM, essa ferramenta pode fomentar os ganhos em análise crítica, disposição racional e dimensionamento de fluxo logístico. Entretanto, sua implementação ainda enfrenta desafios que limitam sua aplicação efetiva. Nesse contexto, o estudo visa analisar a integração BIM e o Lean Construction no arranjo físico de uma obra vertical de alto padrão, com foco na redução de desperdícios e na melhoria do fluxo de materiais do ambiente construído. A metodologia adotada baseia-se em uma abordagem aplicada, com modelagem tridimensional desenvolvida no Autodesk Revit, associada à análise de cenários e indicadores de desempenho logístico e espacial. A partir do modelo digital tornou-se possível simular diferentes configurações de layout, extrair quantitativos e avaliar parâmetros avaliativos de otimização. Os resultados evidenciaram a redução de deslocamentos, melhoria da organização espacial e maior eficiência dos fluxos logísticos, alinhando-se aos princípios enxutos de racionalização e eliminação de desperdícios. Desse modo, como contribuição, conclui-se que o estudo demonstra que a integração BIM-Lean construction constitui uma estratégia eficaz no contexto da transformação digital do ambiente construído, ao possibilitar um planejamento orientado por dados, maior previsibilidade e suporte qualificado à tomada de decisão no canteiro de obras.

Palavras-chave: Integração BIM. Lean Construction. Canteiro de obra. Planejamento.

Abstract

Construction site layout planning is crucial for the efficient development of the construction sector. When combined with BIM methodology, this tool can foster improvements in critical analysis, rational layout design, and the sizing of logistics flows. However, its implementation still faces challenges that limit its effective application. In this context, this study aims to analyze the integration of BIM and Lean Construction in the layout of a high-end vertical construction project, focusing on waste reduction and the improvement of material flow within the built environment. The methodology adopted is based on an applied approach involving 3D modeling in Autodesk Revit, combined with scenario analysis and the assessment of logistics and spatial performance indicators. The digital model enabled the simulation of different layout configurations, the extraction of quantities, and the evaluation of optimization parameters. The results demonstrated reduced travel distances, improved spatial organization, and greater

logistics flow efficiency, aligning with Lean principles of rationalization and waste elimination. Consequently, the study concludes that the integration of BIM and Lean Construction constitutes an effective strategy for the digital transformation of the built environment, enabling data-driven planning, greater predictability, and informed decision-making support on the construction site.
Keywords: BIM integration. Lean Construction. Construction site. Planning.

INTRODUÇÃO

O planejamento é fundamental na construção civil para garantir qualidade, desempenho e segurança, sendo indispensável uma gestão eficiente para evitar desperdícios e prejuízos. Nesse contexto, o layout de canteiro destaca-se como um dos principais instrumentos para organização e controle das operações da obra.

O layout de canteiro consiste na organização espacial dos recursos da obra, visando uma distribuição eficiente de materiais, equipamentos e áreas de circulação, reduzindo deslocamentos e aumentando a produtividade, conforme Mattos [1]. Assim, o gerenciamento de projetos, por si só, não garante resultados satisfatórios sem um planejamento eficiente dos processos organizacionais.

Nesse sentido, a aplicação do BIM no cenário nacional contribui para a redução de custos, otimização de prazos e melhoria da qualidade dos projetos, além de favorecer a integração entre equipes e minimizar erros, segundo Mattos e Souza [2].

Sob esse viés, a integração do layout de canteiro com a metodologia BIM potencializa a eficiência produtiva e a qualidade dos serviços, por meio da modelagem tridimensional e da compatibilização espacial dos elementos do canteiro, segundo análise de Monteiro e Martins [3]. Além disso, possibilita a estimativa de custos e o controle de insumos, contribuindo para a redução de desperdícios e gastos operacionais, em consonância com os princípios da Lean Construction, visto por Sacks et al. [4]

A aplicação do BIM no planejamento de layout de canteiro representa um avanço significativo em relação aos métodos tradicionais, especialmente na visualização e tomada de decisões estratégicas, auxiliando não apenas na representação geométrica, mas também no armazenamento de dados que auxiliam o controle dos processos construtivos, fluxos logísticos e definição das áreas do canteiro, conforme Monteiro e Martins [3].

Contudo, apesar dos benefícios da metodologia BIM, sua implementação no desenvolvimento de projetos, especialmente no planejamento de layout de canteiros de obras, ainda enfrenta desafios quanto ao seu pleno funcionamento.

Para o estudo em questão, a pesquisa usou como ferramenta de instrumentação o software Autodesk Revit, por meio da modelagem tridimensional de um layout de canteiro de obra, possibilitando averiguar seus impactos e simulações de fases de um layout. A partir disso, o estudo visa analisar o impacto da integração da metodologia BIM no planejamento de layout de canteiro, focando na geração de eficiência e na otimização de espaço e logística, a fim de possibilitar a visualização de possíveis benefícios na definição das áreas de armazenamento e circulação.

METODOLOGIA

O estudo adota uma abordagem aplicada, integrando revisão bibliográfica, modelagem virtual e análise de cenários por meio de estudo de caso. Para isso, desenvolveu-se um modelo tridimensional no Autodesk Revit, permitindo avaliar e otimizar o layout de canteiro com base nas informações extraídas do modelo, além de definir os processos, ferramentas e critérios utilizados na análise da implementação do BIM.

Quanto à sua classificação metodológica, a pesquisa caracteriza-se, quanto à natureza, como aplicada, uma vez que visa gerar conhecimento de aplicação prática direta ao problema do arranjo físico de canteiros. Quanto aos objetivos, classifica-se como descritiva e exploratória, ao caracterizar e analisar o comportamento espacial e logístico do canteiro a partir de indicadores quantitativos. Quanto à abordagem, adota natureza quali-quantitativa, combinando a interpretação qualitativa dos princípios da Lean Construction com o tratamento quantitativo dos dados extraídos do modelo BIM. Quanto aos procedimentos técnicos, caracteriza-se como um estudo de caso único, do tipo instrumental, conforme Yin [13], por permitir a investigação aprofundada de um fenômeno contemporâneo (a integração BIM-Lean) em seu contexto real de aplicação (a obra vertical estudada), sem a necessidade de controle sobre as variáveis comportamentais do ambiente.

O objeto de estudo analisa um empreendimento residencial vertical em área urbana com restrições, demandando um planejamento eficiente do canteiro. A modelagem 3D, a partir dos projetos, permitiu compatibilização, simulação de fases e otimização dos fluxos. Assim, o BIM possibilitou testar diferentes layouts em um único ambiente digital, facilitando a análise e a realocação dos elementos, sendo a execução organizada em três etapas conforme o cronograma e as demandas da obra.

Destaca-se que a fase inicial foi selecionada para análise por concentrar a maior intensidade produtiva, reunindo elevado volume de serviços simultâneos e maior demanda por armazenamento de materiais, configurando-se como o período mais crítico do ponto de vista logístico e operacional.

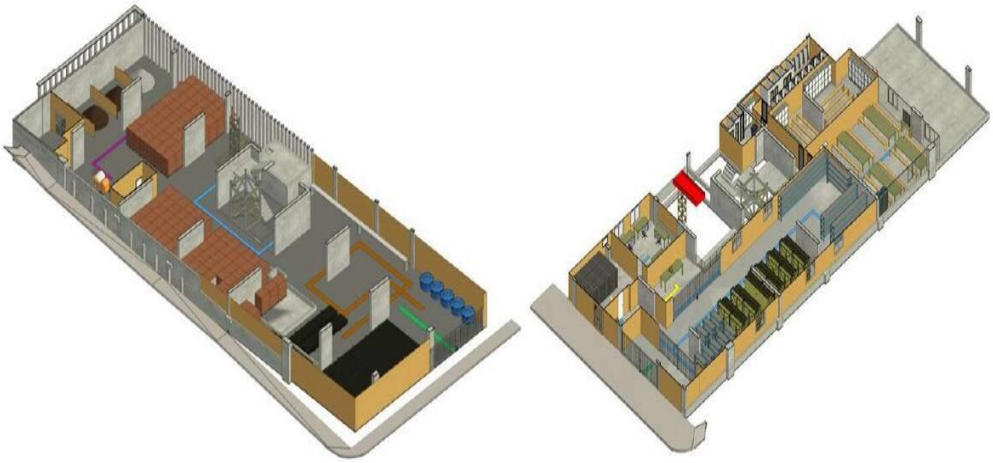
A Fase 1 abrange o início da estrutura, alvenaria, instalações e serviços de acabamento, com cerca de 100 trabalhadores, sendo o layout planejado para reduzir deslocamentos, evitar remobilizações e garantir a continuidade das frentes de serviço. As áreas de vivência e apoio foram alocadas na garagem 01 com 924,16 m², enquanto as centrais de produção concentraram-se no térreo, o qual possui área de 812,44 m².

Para isso, o dimensionamento seguiu as normas de segurança, assegurando conforto e higiene, além de contemplar segregação de fluxos, controle de acessos e organização estratégica dos espaços. Outrossim, devido às restrições, como espaços segregados e reduzidos e alta demanda de atividades, a fase 1 foi dividida em dois subperíodos para melhor gestão e organização do canteiro.

A etapa denominada de 1.1 do canteiro (figura 1) é responsável por agrupar atividades de estrutura e alvenaria, de modo que toda a logística de transporte seja facilitada para esses serviços, como postos de trabalhos próximos, facilitando o deslocamento

horizontal e vertical e garantindo a continuação do ciclo produtivo. Assim, a vista isométrica em 3D, como mostra a figura 1, é um dos maiores ganhos proporcionados pela metodologia BIM. Essa representação permite compreender a volumetria, hierarquia e relações espaciais entre os elementos, auxiliando na tomada de decisões por parte dos gestores da obra, mesmo sem profundo conhecimento técnico em leitura de plantas.

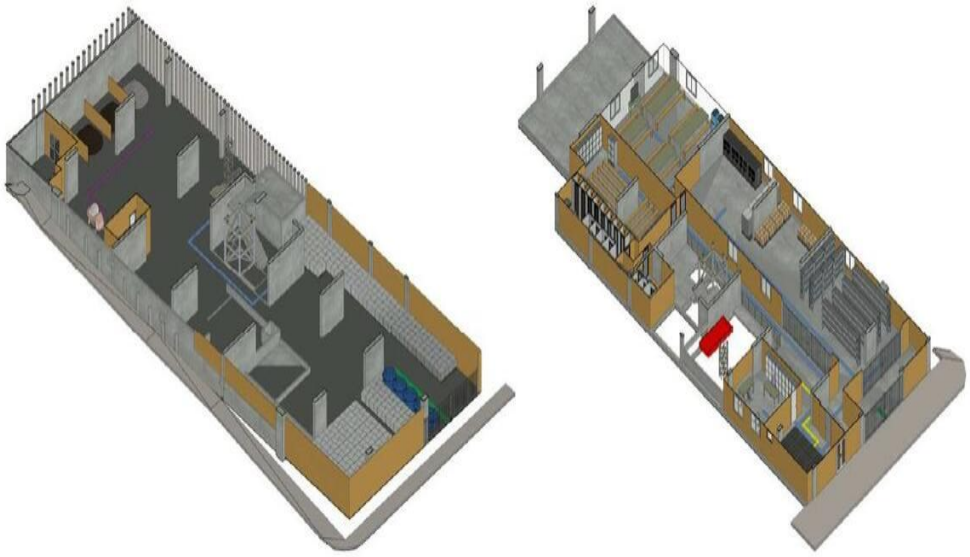
Figura 1: Modelo 3D do térreo (esquerda) e garagem 1 (direita) para fase 1.1



Fonte: o autor.

Com o avanço das etapas de estrutura e alvenaria, na fase 1.2, o layout do canteiro foi ajustado para atender as demandas de instalações e acabamentos, especialmente no armazenamento, substituindo áreas de materiais pesados por espaços destinados a componentes menores e mais sensíveis (figura 2).

Figura 2: Modelo 3D do térreo (esquerda) e garagem 1 (direita) para fase 1.2



Fonte: o autor.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8659

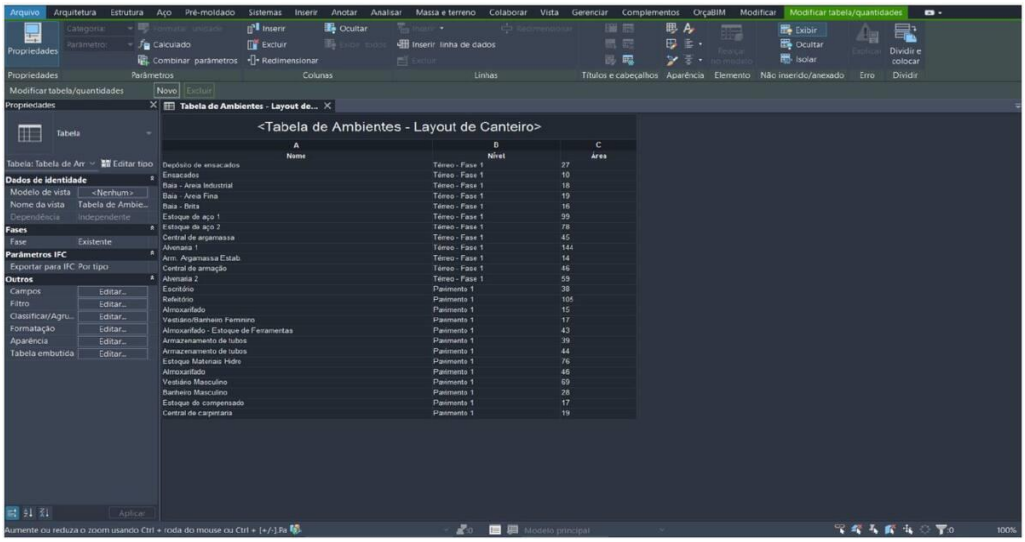
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nas observações da metodologia dos modelos BIM torna-se possível analisar a organização espacial e o desempenho logístico da Fase 1, escolhida pela maior complexidade.

ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO

A análise de otimização espacial foi realizada a partir do modelo paramétrico no Autodesk Revit, com foco na extração de quantitativos e na organização espacial. A modelagem, estruturada como um banco de dados, permitiu vincular informações aos elementos e, por meio do comando “ambiente”, segmentar o canteiro e obter automaticamente dados das áreas planejadas, como pode-se observar na figura 3.

Figura 3: Extração de quantitativos dos ambientes



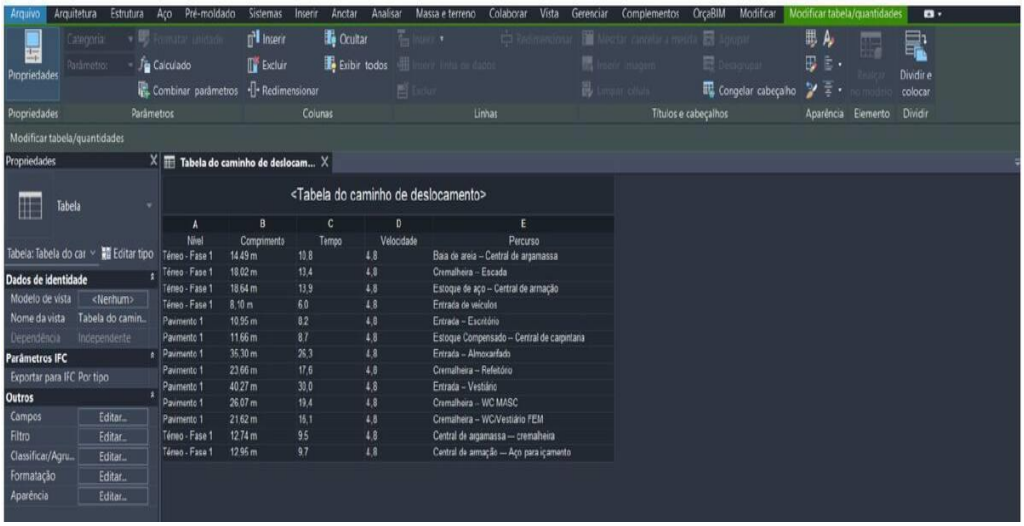
Fonte: o autor.

A análise logística foi realizada no modelo BIM com a ferramenta “Travel Path”, que simula percursos considerando interferências e rotas mais eficientes. A partir disso, foram obtidos dados de distância, tempo e velocidade, convertidos em indicadores logísticos, com velocidades ajustadas conforme o tipo de fluxo (pessoas, produção e veículos), representando diferentes condições operacionais.

As rotas foram definidas conforme as funções dos ambientes e os principais fluxos da obra, incluindo ligações entre estoques, produção, transporte vertical e circulação interna, permitindo uma avaliação quantitativa mais precisa do layout. Assim, os dados de cada percurso foram extraídos automaticamente no Revit, segundo figura 4, garantindo maior precisão em relação aos métodos bidimensionais, conforme destacado por Eastman et al. [5].

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8659

Figura 4: Extração de quantitativos de caminhos de deslocamentos



Fonte: o autor.

A partir dessas informações coletadas do modelo digital, tornou-se possível calcular alguns indicadores de desempenho do layout proposto para avaliar sua capacidade organizacional.

O primeiro indicador, denominado distância média ponderada de transporte (DMPT) indica a distância média percorrida nos fluxos, ponderada pela frequência de uso, sendo um parâmetro para avaliar a eficiência espacial do layout do canteiro, segundo estudos de Tommelein [6] e Formoso [7], cuja formulação é dada pela equação 1:

Equação 1: Distância média ponderada de transporte

$$DMPT = \frac{\Sigma\,(di * ni)}{\Sigma\,ni}$$

Onde:

di = Distância do percurso (m);

ni = Número de viagens do percurso no período analisado.

A variável número de viagens (n_i) foi utilizada para representar a intensidade dos fluxos, atribuindo maior peso aos percursos mais frequentes. Na ausência de dados reais, sua estimativa baseou-se no volume de materiais, ritmo produtivo e meios de transporte, considerando um período de 30 dias como referência. Esse intervalo permite estabilizar variações e representar a rotina do canteiro, sendo os valores expressos como médias diárias.

O próximo indicador refere-se ao tempo médio requerido para a realização de um deslocamento logístico, considerando a distância percorrida e a velocidade atribuída a cada tipo de fluxo, analisado por Souza [8], conforme apresentado na equação 2.

Equação 2: Tempo médio de movimentação

$$TMM = \frac{\Sigma\,(ti * ni)}{\Sigma\,ni}$$

Onde:

ti = tempo do percurso (s);

ni = Número de viagens do percurso no período analisado.

O terceiro indicador corresponde à mensuração do esforço diário de mão de obra destinado a atividades que não agregam valor direto ao produto, conforme Koskela [9], sendo calculado como na equação 3.

Equação 3: Homem hora consumido em transporte

$$HH = \Sigma \left(\frac{t_{desloc,i} + t_{op,i}) * ni}{3600}\right)$$

Onde:

$t_{desloc,i}$ = Tempo do deslocamento (s);

$t_{op,i}$ = Tempo de carga, descarga e manobra (s);

Por fim, o último indicador avalia a quantidade de interseções entre fluxos distintos (pessoas, produção e veículo) por unidade de área, sendo um indicador relacionado à segurança, organização e eficiência operacional, segundo Saurin [10], dada pela equação 4.

Equação 4: Índice de cruzamento de fluxos

$$ICF = \frac{\Sigma\, wj}{ÁREA_{mobilizada}}$$

Onde:

wj = Pesos de severidade atribuídos a cada cruzamento (s);

Quanto aos parâmetros adotados, foram definidos pesos para os conflitos logísticos conforme o nível de risco, sendo 2 para situações críticas (veículo–pessoa/produção), 1 para conflitos entre atividades produtivas e 0,5 para interações entre pessoas, de menor impacto.

Por fim, é importante salientar que esses critérios permitem avaliar interferências operacionais, sendo os indicadores utilizados de caráter comparativo, voltados à análise de melhorias no layout e não como parâmetros normativos absolutos.

ANÁLISE ESPACIAL E LOGÍSTICA DO CANTEIRO (FASE 1)

Na figura 5, tem-se a tabela de ambientes que reúne 25 compartimentos entre térreo e garagem 1, com áreas de 10 a 144 m², permitindo a análise precisa da organização do layout. Assim, a modelagem dos tapumes viabilizou a quantificação automática de materiais, auxiliando no orçamento, sustentabilidade e reaproveitamento. Já os quantitativos de esquadrias contribuíram para avaliações de ventilação, iluminação, segurança e para o controle de compras e estoque, aumentando a eficiência.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8659

Figura 5: Quantitativos extraídos para ambientes, fechamentos/divisórias e esquadrias

Número	Nome	Nível	Área
1	Depósito de ensacados	Térreo	27 m²
2	Ensacados	Térreo	10 m²
3	Baia - Areia Industrial	Térreo	18 m²
4	Baia - Areia Fina	Térreo	19 m²
5	Baia - Brita	Térreo	16 m²
6	Estoque de aço 1	Térreo	99 m²
7	Estoque de aço 2	Térreo	76 m²
8	Central de argamassa	Térreo	45 m2
9	Alvenaria 1	Térreo	144 m²
10	Arm. Argamassa Estab.	Térreo	14 m²
11	Central de armação	Térreo	46 m²
12	Alvenaria 2	Térreo	59 m²
13	Escritório	Pavimento 1	38 m²
14	Refeitório	Pavimento 1	105 m²
15	Almoxarifado	Pavimento 1	15 m²
16	Vestiário/Banheiro Feminino	Pavimento 1	17 m²
17	Almoxarifado - Estoque de Ferramentas	Pavimento 1	43 m²
18	Armazenamento de tubos	Pavimento 1	39 m²
19	Armazenamento de tubos	Pavimento 1	44 m²
20	Estoque Materiais Hidro	Pavimento 1	76 m²
21	Almoxarifado	Pavimento 1	46 m²
22	Vestiário Masculino	Pavimento 1	69 m²
23	Banheiro Masculino	Pavimento 1	28 m²
24	Estoque de compensado	Pavimento 1	17 m²
25	Central de carpintaria	Pavimento 1	19 m²

Tabela de Paredes - Layout de Canteiro

Família e tipo	Restrição da base	Área	Comentários
Parede básica: Tapume de Madeira 02 cm	Térreo	14 m²	Baia
Parede básica: Tapume de Madeira 3.5 cm	Térreo	41 m²	Depósito de Ensacados
Parede básica: Tapume de Madeira 3.5 cm	Térreo	53 m²	Ensacados
Parede básica: Tapume de Madeira 3.5 cm	Térreo	163 m²	Externa
Parede básica: Alvenaria Tij. Cerâmico + Revest. e=4	Pavimento 1	57 m²	Chuveiros/Sanitários
Parede básica: DIVISORIA 5 CM	Pavimento 1	3 m²	Mictórios
Parede básica: Tapume de Madeira 02 cm	Pavimento 1	115 m²	Almoxarife
Parede básica: Tapume de Madeira 02 cm	Pavimento 1	29 m²	Banheiro Masculino
Parede básica: Tapume de Madeira 02 cm	Pavimento 1	54 m²	Escritório
Parede básica: Tapume de Madeira 02 cm	Pavimento 1	18 m²	Estoque Compensados
Parede básica: Tapume de Madeira 02 cm	Pavimento 1	19 m²	Refeitório
Parede básica: Tapume de Madeira 02 cm	Pavimento 1	92 m²	Vestiário Masculino
Parede básica: Tapume de Madeira 02 cm	Pavimento 1	38 m²	Vestiário/Banheiro Feminino
Parede básica: Tapume de Madeira 3.5 cm	Pavimento 1	18 m²	Almoxarife
Parede básica: Tapume de Madeira 3.5 cm	Pavimento 1	22 m²	Entrada
Parede básica: Tela	Pavimento 1	41 m²	Refeitório

Tabela de Portas - Layout de Canteiro

Família e tipo	Nível	Contagem	Comentários
GRADE ALU.2F. ABRIR: 1.80x2.20m	Térreo	1	Depósito de ensacados
EXP-Porta de madeira: P3) 80x210cm PM	Térreo	1	Ensacados
Porta: 80 x 220 cm	Pavimento 1	1	Almoxarifado
EXP-Portas de alumínio - 1 folha veneziana: a. 80x210cm	Pavimento 1	1	Banheiro Masculino
EXP-Portas de alumínio - 1 folha veneziana: a. 55x180cm	Pavimento 1	1	Chuveiro
EXP-Portas de alumínio - 1 folha veneziana: a. 55x210cm	Pavimento 1	9	Chuveiro
ExtDW Louvre (1): 1510 x 2110mm	Pavimento 1	1	Entrada - Acesso pessoas
Porta: 80 x 220 cm	Pavimento 1	1	Escritório
EXP-Portas de alumínio - 1 folha veneziana: a. 55x180cm	Pavimento 1	5	Instalações Sanitárias
EXP-Portas de alumínio - 1 folha veneziana: a. 80x210cm	Pavimento 1	1	Refeitório
EXP-Portas de alumínio - 1 folha veneziana: a. 80x210cm	Pavimento 1	2	Vestiário

Tabela de Janelas_Layout de Canteiro

Família e tipo	Nível	Contagem	Comentários
JANELA ALU. 1/1D.2F CORRER: JA14 - JANELA ALU. 1/1D.2F CORRER 120x150	Pavimento 1	5	Almoxarife
JANELA ALU. 1/1D.2F CORRER: JA14 - JANELA ALU. 1/1D.2F CORRER 120x150	Pavimento 1	2	Escritório
M_Fixo: 0915 x 0810mm	Pavimento 1	1	Estoque de Compensados
JANELA ALU. 1/1D.2F CORRER: 120x150	Pavimento 1	3	Refeitório

Fonte: o autor.

A partir dos dados extraídos do modelo, torna-se viável avaliar o canteiro por meio de indicadores espaciais, considerando a função de cada ambiente na organização logística. A área total modelada corresponde a 1131 m², enquanto o empreendimento apresenta 812,44 m² no térreo e 924,16 m² na garagem 01, somando 1736,60 m², com aproximadamente 605,6 m² livres.

Os resultados indicam predominância de áreas de armazenamento (66,22% da área modelada e 43,13% da área total), típica de fases com alta demanda de insumos, reforçando a necessidade de planejamento logístico eficiente. Por outro lado, as áreas produtivas representam apenas 6,33%, evidenciando um subdimensionamento em relação ao estoque e possível prejuízo à eficiência operacional, segundo Souza [8].

O indicador que relaciona as áreas de estoque (749 m²) e produção (110 m²) de 6,81 evidencia uma predominância significativa do armazenamento, como mencionado, sendo aproximadamente sete vezes maior que a área produtiva, característica da fase em estudo. No entanto, esse valor elevado pode indicar limitações logísticas, como dificuldades de circulação e formação de gargalos, apontando a necessidade de um melhor equilíbrio entre essas áreas, conforme Saurin [10].

O índice de saturação espacial obtido foi de 0,651 (65,1%), valor compatível com a faixa recomendada de 0,50 a 0,70, indicando ocupação adequada do canteiro. Esse resultado mostra que cerca de 34,9% da área permanece livre, aproximadamente 605 m², permitindo circulação, reorganização de estoques e possíveis adaptações, embora ainda existam oportunidades de melhoria na eficiência do layout, segundo Formoso [7].

O índice de compactação do layout (ICL) foi de 0,35, ou seja, 35%, indicando um canteiro funcional e seguro, porém próximo ao limite mínimo recomendado, ratificando que embora os fluxos não estejam comprometidos, o resultado aponta

possibilidade de ajustes para atingir valores mais ideais entre 0,4 e 0,5, como analisado por Saurin [10].

A análise de conformidade com as normas NR-18 [11] e NR-24 [12] demonstrou que as áreas de vivência, totalizando 272 m² para um contingente de 100 trabalhadores (2,72 m² por pessoa), estão corretamente dimensionadas, assegurando condições adequadas de conforto e segurança.

A análise do desempenho logístico foi realizada com base em dados extraídos do modelo 3D, utilizando indicadores quantitativos. A partir das rotas do canteiro, foram obtidas automaticamente informações de distância, velocidade e tempo de deslocamento, possibilitando uma avaliação mais precisa das condições operacionais do layout, conforme tabela 1.

Tabela 1: Caminho de deslocamento

TABELA DO CAMINHO DE DESLOCAMENTO							
Nível	Comprimento (m)	Tempo (s)	Velocidade (km/h)	Caracterização do fluxo	Veloc. Adotada (km/h)	Veloc. Adotada (m/s)	Percurso
Térreo - Fase 1	14,49	52,2	4,8	Produção	1	0,28	Baia de areia -- Central de argamassa
Térreo - Fase 1	18,02	13,5	4,8	Pessoa	4,8	1,33	Cremalheira -- Escada
Térreo - Fase 1	18,64	67,1	4,8	Produção	1	0,28	Estoque de aço -- Central de armação
Térreo - Fase 1	8,1	9,7	4,8	Veículo	3	0,83	Entrada de veículos
Térreo - Fase 1	12,74	45,9	4,8	Produção	1	0,28	Central de argamassa --- cremalheira
Térreo - Fase 1	12,95	46,6	4,8	Produção	1	0,28	Central de armação --- Aço para içamento
Pavimento 1	10,95	8,2	4,8	Pessoa	4,8	1,33	Entrada -- Escritório
Pavimento 1	11,66	42,0	4,8	Produção	1	0,28	Estoque Compensado -- Central de carpintaria
Pavimento 1	35,3	26,5	4,8	Pessoa	4,8	1,33	Entrada -- Almoxarifado
Pavimento 1	23,66	17,7	4,8	Pessoa	4,8	1,33	Cremalheira -- Refeitório
Pavimento 1	40,27	30,2	4,8	Pessoa	4,8	1,33	Entrada -- Vestiário
Pavimento 1	26,07	19,6	4,8	Pessoa	4,8	1,33	Cremalheira -- WC MASC
Pavimento 1	21,62	16,2	4,8	Pessoa	4,8	1,33	Cremalheira -- WC/Vestiário FEM
Pavimento 1	3,21	3,9	4,8	Veículo	3	0,83	Entrada de veículos
Térreo - Fase 1	12,54	45,1	4,8	Produção	1	0,28	Estoque de alvenaria 1 --- cremalheira
Térreo - Fase 1	7,95	28,6	4,8	Produção	1	0,28	Estoque de alvenaria 2 --- cremalheira

Fonte: o autor.

A distância média ponderada de transporte (DMPT) encontrada foi de cerca de 11 m, segundo tabela 2, o que caracteriza um layout compacto e eficiente. Esse resultado, abaixo dos valores comuns em canteiros sem otimização, indica boa proximidade entre estoques, áreas produtivas e frentes de trabalho, evidenciando a contribuição do BIM para a melhoria da logística, conforme Tommelein [6].

Tabela 2: Determinação do DMPT

CÁLCULO - NUMERADOR					CÁLCULO - DENOMINADOR		DMPT (m)
ROTA	di	ni	produto di x ni	Somatório	ni	Somatório	
R1	14,49	2	28,98		2		
R2	18,64	1	18,64		1		
R3	8,1	3	24,3		3		
R4	12,74	3	38,22		3		10,71
R5	12,95	1	12,95	182,15	1	17	
R6	11,66	1	11,66		1		
R7	3,21	2	6,42		2		
R8	12,54	2	25,08		2		
R9	7,95	2	15,9		2		

Fonte: o autor.

A partir dos cálculos, o valor para o tempo de movimentação foi de 34,24 segundos, resultado este coerente com layouts classificados como eficientes, segundo Tommelein [6] e Koskela [9], apontado que o layout de canteiro desenvolvido possui um dimensionamento adequado com viagens curtas e rápidas, compatíveis com a lógica de um canteiro organizado, visto na tabela 3.

Tabela 3: Determinação do TMM

TEMPO MÉDIO DE MOVIMENTAÇÃO (SOMENTE DESLOCAMENTO)								
ROTA	di (m)	vi (m/s)	Tempo (s)	ni	Ponderado por ni	Somatório (ti * ni)	Somatório ni	TMM PONDERADO (s)
R1	14,49	0,278	52,164	2	104,328			
R2	18,64	0,278	67,104	1	67,104			
R3	8,1	0,833	9,72	3	29,16			
R4	12,74	0,278	45,864	3	137,592			
R5	12,95	0,278	46,62	1	46,62	582,012	17	34,24
R6	11,66	0,278	41,976	1	41,976			
R7	3,21	0,833	3,852	2	7,704			
R8	12,54	0,278	45,144	2	90,288			
R9	7,95	0,278	28,62	2	57,24			

Fonte: o autor.

Disposto na tabela 4, o indicador de horas-homem perdidas com transporte foi de 1,60 h/dia (≈1h36min), evidenciando o impacto das atividades logísticas nos custos e na produtividade, mesmo em um layout eficiente. Em 30 dias, esse valor representa cerca de 48 horas-homem, reforçando a importância do planejamento logístico. Nesse contexto, o BIM permite identificar e reduzir essas perdas ainda na fase de projeto.]

Tabela 4: Determinação das horas gastas com transporte

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8659

DETERMINAÇÃO HH-TRANSPORTE							
modo	ROTA	Tempo (s)	tempo + t_op+ t_man	ni	tempo ponderado	Somatório (S)	HH_Transp (hora)
Produção	R1	52,164	232,164	2	464,328	5742,012	1,60
Produção	R2	67,104	247,104	1	247,104		
Veículo	R3	9,72	609,72	3	1829,16		
Produção	R4	45,864	225,864	3	677,592		
Produção	R5	46,62	226,62	1	226,62		
Produção	R6	41,976	221,976	1	221,976		
Veículo	R7	3,852	603,852	2	1207,704		
Produção	R8	45,1	225,1	2	450,288		
Produção	R9	28,6	208,6	2	417,24		

Fonte: o autor.

O índice de cruzamento de fluxos foi de 0,0168 cruzamentos/m² (cerca de 2 a cada 100 m²), indicando a existência de pontos críticos, sobretudo nas interações entre veículos e produção, segundo tabela 5. Assim, a modelagem BIM possibilitou identificar essas interferências de forma clara, e, embora o cenário não seja crítico, evidencia a necessidade de ajustes pontuais para melhorar a segurança e a fluidez dos fluxos.

Tabela 5: Determinação do índice de cruzamento de fluxo

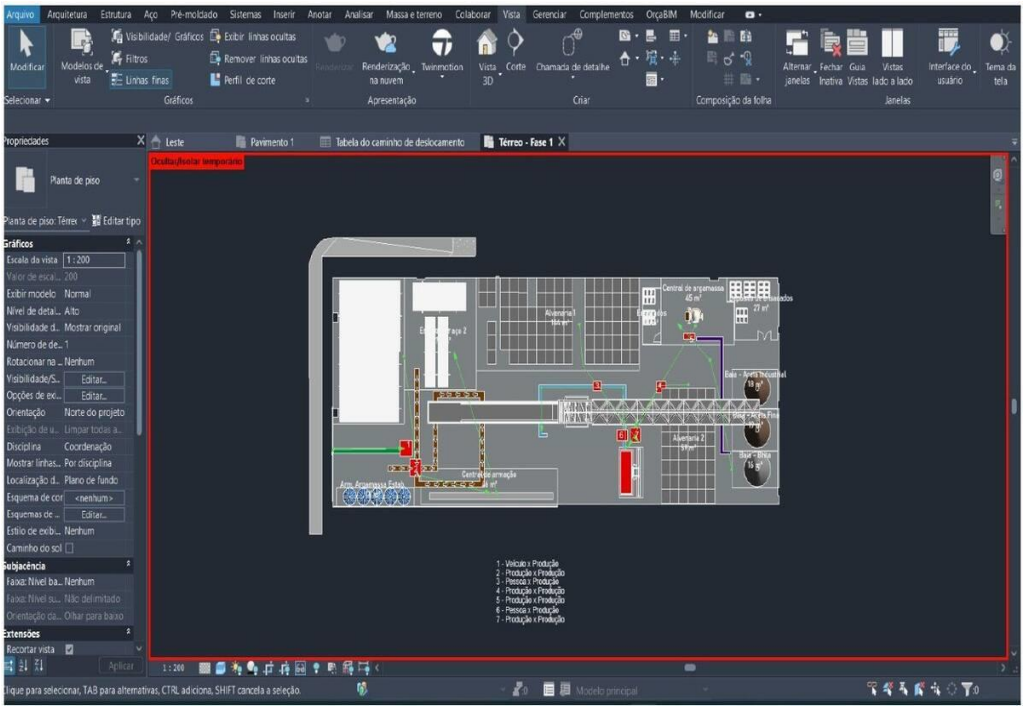
DADOS E INFORMAÇÕES					ICF	
Pavimento	Tipo de fluxo	Quantidade	Impacto	Wj	ΣWj	ICF
Térreo	Veículo x Produção	1	2	2	19	0,0168
	Produção x Produção	4	1	4		
	Pessoa x Produção	2	2	4		
1º Pavimento	Veículo x Pessoa	1	2	2		
	Pessoa x Pessoa	6	0,5	3		
	Pessoa x Produção	2	2	4		

Fonte: o autor.

Para isso, o cálculo desse indicador foi determinado utilizando os modelos tridimensionais desenvolvidos, a partir do reconhecimento e classificação de cada conflito logístico, como pode-se observar na figura 6.

Figura 6: Identificação de cruzamentos no térreo

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8659



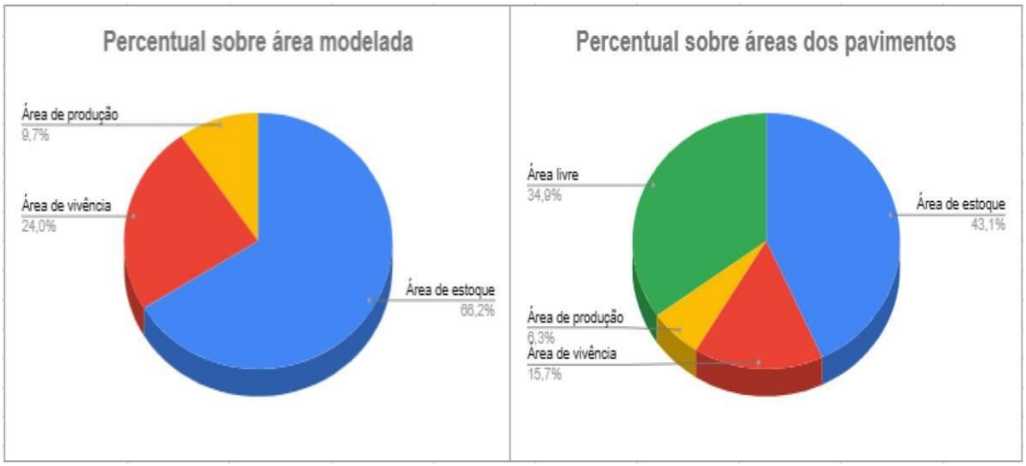
Fonte: o autor.

PROPOSTA DE MELHORIA

A análise da Fase 1 revelou predominância de estoque, pouca área produtiva e fluxos ineficientes. A partir disso, foi proposta uma reorganização do layout com BIM, visando otimizar o uso do espaço e comparar os cenários por meio de indicadores, conforme gráfico 1 e 2.

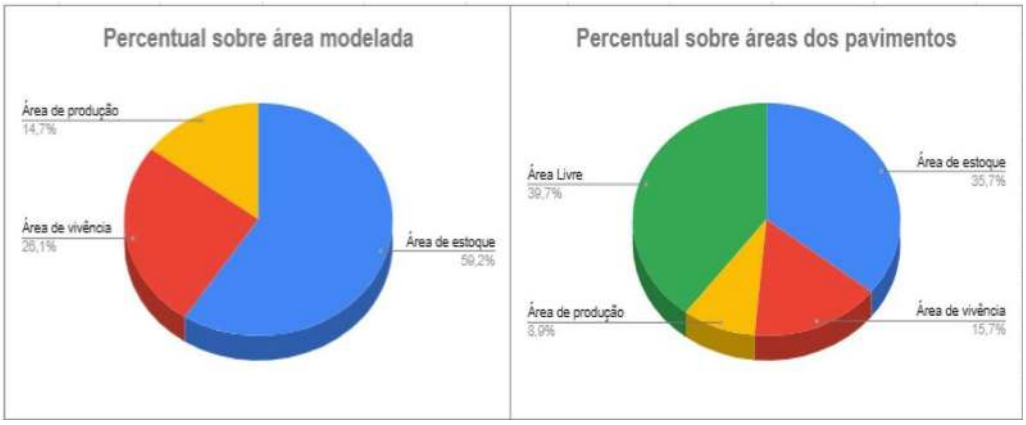
A versão otimizada passou a contar com 1047 m² de área mobilizada, distribuídos em 620 m² para estoque, 273 m² para vivência e 154 m² para produção. Assim, observa-se redução nos percentuais das áreas, com exceção das áreas de vivência, que apresentaram leve aumento de 15,66% para 15,72%, possibilitando uma nova consolidação de estoques redundantes, aproximação física entre áreas de armazenamento e suas respectivas centrais de produção, potencializando, ainda mais, o arranjo espacial do layout de canteiro, conforme Formoso [7].

Gráfico 1: percentuais do canteiro original



Fonte: o autor.

Gráfico 2: percentuais do canteiro otimizado



Fonte: o autor.

A reorganização do layout reduziu a relação estoque/produção de 6,81 para 4,03, indicando um canteiro mais orientado à produção e com melhor distribuição dos estoques. Além disso, o índice de saturação foi de 1,00 na área mobilizada (ocupação total) e 0,60 em relação à área total do edifício, mantendo espaços livres adequados para circulação, segurança e ajustes futuros.

O índice de compactação aumentou para 0,40, indicando melhor organização espacial, com redução de áreas ociosas e maior integração entre setores, sem comprometer a mobilidade e a segurança, corroborando para uma maior proximidade entre ambientes funcionalmente relacionado, enfatizados pelo estudo de Saurin [10].

As áreas de vivência permaneceram adequadas (2,73 m² por trabalhador), atendendo às NR-18 e NR-24.

De forma geral, o BIM permitiu um planejamento orientado por dados, otimizando o layout e melhorando o desempenho operacional do canteiro, segundo tabela 6.

Tabela 6: Análise comparativa dos modelos (espacial)

COMPARATIVO ENTRE LAYOUT DE CANTEIRO		
INDICADOR	**ORIGINAL**	**OTIMIZADO**
Área de vivência por trabalhador (m²/pessoa)	2,72	2,73
Relação estoque/produção	6,81	4,03
Índice de Saturação Espacial	0,7	0,6
Índice de Compactação do Layout (ICL)	0,3	0,4

Fonte: o autor.

Após a reconfiguração do layout, observou-se também melhora no desempenho logístico, evidenciada pela atualização dos indicadores. A reorganização espacial, com maior proximidade entre estoques e áreas produtivas e melhor separação dos fluxos, resultou em ganhos mensuráveis. A DMPT foi reduzida de 10,71 m para 9,10 m, indicando trajetos mais curtos, enquanto o TMM diminuiu de 34,24 s para 28,9 s, refletindo em maior fluidez operacional. Já o consumo de horas-homem com

transporte apresentou leve queda de 1,6 h/dia para 1,57 h/dia, ainda influenciado por atividades inevitáveis, mas representando economia aproximada de 9 horas mensais. Esses resultados indicam a otimização de articulação entre estoques e frentes de produção, com redução dos deslocamentos internos e logísticos, discutidos por Tommelein [6].

Desse modo, os resultados confirmam que o uso do BIM na reorganização do layout contribuiu para otimizar os fluxos e elevar a produtividade do canteiro, conforme tabela 7.

Tabela 7: Análise comparativa dos modelos (logística)

COMPARATIVO DE FLUXOS LOGÍSTICOS			
Indicador	Antes	Depois	Redução
DMPT	10,7	9,1	15,4%
TMM	34,24	28,9	15,7%
HH	1,6	1,57	3,0%
ICF	0,0168	0,0102	39,5%

Fonte: o autor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo atingiu o objetivo principal e demonstrou que a integração entre BIM e princípios do Lean Construction no planejamento do layout de canteiro gera ganhos relevantes em eficiência espacial e logística, por meio do uso de modelos 3D e indicadores de desempenho. A análise inicial evidenciou limitações do planejamento bidimensional, como excesso de estoque e fluxos ineficientes, enquanto o BIM permitiu uma abordagem orientada a dados, com reorganização dos espaços, aproximação entre áreas produtivas e redução de desperdícios.

Como resultado, com uso da metodologia BIM, houve melhoria significativa em indicadores, como a relação estoque/produção (de 6,81 para 4,03), indicando um canteiro mais racional, seguro e produtivo.

Esses achados corroboram o defendido por Sacks et al. [4], para quem a modelagem BIM amplia a capacidade de coordenação e antecipação de conflitos operacionais em relação aos métodos tradicionais bidimensionais, e reforçam as proposições de Tommelein [6] quanto à influência direta da configuração espacial sobre a eficiência dos fluxos logísticos em canteiros de obra. Da mesma forma, a redução observada no consumo de horas-homem com transporte confirma, na prática, a premissa de Koskela [9] de que atividades de deslocamento configuram-se como desperdício segundo a lógica da Lean Construction, reforçando a pertinência da integração entre as duas abordagens já apontada teoricamente na literatura.

Assim, o estudo reforça o potencial do BIM como ferramenta estratégica na transformação digital do ambiente construído e de suporte ao planejamento do layout de canteiro, permitindo a visualização integrada do espaço, simulação de cenários e a quantificação objetiva dos impactos das decisões de projeto.

Como limitações, destacam-se o uso de dados estimados, a análise restrita a uma fase e a ausência de avaliação econômica, sugerindo como trabalhos futuros a integração com BIM 4D, uso de dados reais e ampliação de estudos comparativos com múltiplos empreendimentos.

Declaração

Durante a preparação deste artigo, a autora Cely Martins Santos de Alencar utilizou o Claude for Windows (versão 1.28929.0) para a revisão e tradução do texto. Após a utilização da ferramenta, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] MATTOS, A. D. **Planejamento e controle de obras** (1. ed.). São Paulo: PINI, 2010.

[2] MATTOS, J. R.; SOUZA, F. M. **Impactos do BIM na Construção Civil Brasileira: Desafios e Oportunidades**. Revista de Engenharia Civil, v. 25, n. 1, p. 45-60, 2020.

[3] MONTEIRO, A.; MARTINS, J. P. ***BIM site layout planning:*** *An approach for the construction phase. Procedia Engineering,* v. 123, p. 568-575, 2015.

[4] SACKS, R.; EASTMAN, C.; LEE, G. ***BIM Handbook:*** *A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, and Contractors.* 3. ed. John Wiley & Sons, 2018.

[5] EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. ***BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors.*** 2. ed. John Wiley & Sons, 2011.

[6] TOMMELEIN, I. D. ***Site Layout Planning Using Simulation:*** Journal of Construction Engineering and Management, v. 118, n. 2, 1992.

[7] FORMOSO, C. T. **Planejamento e controle da produção em empresas de construção**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

[8] SOUZA, U.E.L. **Projeto e implantação do canteiro**. São Paulo: Editora O Nome da Rosa, 2000. 92p.

[9] KOSKELA, L. ***Application of the new production philosophy to construction***. Stanford: Stanford University, 1992. (CIFE. Report, 72).

[10] SAURIN, T.A. **Método para diagnóstico e diretrizes para planejamento de canteiros de obras de edificações**, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande Sul. Porto Alegre.

[11] BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora 18**: Segurança e Saúde no Trabalho na Indústria da Construção. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 2024.

[12] BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora 24**: Condições Sanitárias e de Conforto nos Locais de Trabalho. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 2024.

[13] YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.