INTEGRANDO AUTOMAÇÃO E FLEXIBILIDADE NO PLANEJAMENTO DO LAYOUT DO CANTEIROS DE OBRAS

Integrating Automation and Flexibility in Construction Site Layout Planning

Maria Luiza Abath Escorel Borges
Universidade Estadual de Campinas | Campinas, São Paulo | mluizabath@gmail.com

Ariovaldo Denis Granja
Universidade Estadual de Campinas | Campinas, São Paulo | adgranja@m.unicamp.br

RESUMO

A adoção de ferramentas computacionais para o planejamento do layout do canteiro de obras enfrenta diversas barreiras. Entre os principais desafios, destaca-se a falta de flexibilidade na tomada de decisão destas, que muitas vezes oferecem soluções rígidas e pouco adaptáveis à realidade específica de cada projeto. Essa limitação leva os gestores a priorizarem abordagens empíricas, baseadas na experiência adquirida em projetos anteriores, em vez de utilizar sistemas automatizados. Além disso, a complexidade na utilização de algumas dessas soluções e a necessidade de dados detalhados dificultam sua implementação prática, restringindo sua adoção no setor da construção civil. Este estudo teve como objetivo obter a percepção de gestores sobre uma ferramenta computacional desenvolvida para o planejamento do canteiro de obras, garantindo um controle abrangente sobre o processo. A ferramenta foi aprimorada continuamente com base no feedback de potenciais usuários, garantindo que suas funcionalidades atendessem às necessidades práticas do setor. Diferentemente de outras soluções, a ferramenta coloca o gestor no centro das decisões, permitindo ajustes alinhados às estratégias e prioridades específicas de cada projeto. Os resultados indicam que a capacidade de adaptação da ferramenta pode contribuir para superar essa resistência e ampliar sua aplicabilidade na prática.

Palavras-chave: Automação; Tomada de decisão; Planejamento Sistemático de Layout; Flexibilidade.

ABSTRACT

The adoption of computer tools for planning the layout of construction sites faces a number of barriers. Among the main challenges is the lack of flexibility in decision-making, which often offers rigid solutions that are not very adaptable to the specific reality of each project. This limitation leads managers to prioritize empirical approaches, based on experience gained in previous projects, rather than using automated systems. In addition, the complexity of using some of these solutions and the need for detailed data make them difficult to implement in practice, restricting their adoption in the construction sector. The aim of this study was to obtain managers' perceptions of a computer tool developed for construction site planning, guaranteeing comprehensive control over the process. The tool was continuously improved based on feedback from potential users, ensuring that its functionalities met the practical needs of the sector. Unlike other solutions, which often impose rigid restrictions, the tool puts the manager at the center of decisions, allowing for adjustments in line with the specific strategies and priorities of each project. The results indicate that the tool's adaptability can help overcome this resistance and increase its applicability in practice.

Keywords: Automation; Decision-making; Systematic Layout Planning; Flexibility.

1 INTRODUÇÃO

O planejamento do layout do canteiro de obras é uma atividade estratégica que influencia diretamente a produtividade, a segurança e a eficiência logística nos empreendimentos da construção civil (Sadeghpour et al., 2006; Mawdesley *et al*., 2002; Sanad *et al*., 2008; Zouein & Tommelein, 2001). Uma disposição física adequada dos elementos temporários, como áreas de vivência, depósitos, instalações sanitárias e equipamentos,contribui para a redução de deslocamentos desnecessários, minimização de conflitos operacionais e aumento da fluidez das atividades no canteiro (Abdelnaser et al., 2020; Ning *et al*., 2010). Apesar disso, na prática cotidiana, o posicionamento desses elementos ainda é realizado, majoritariamente, de forma empírica, baseado na experiência acumulada dos gestores e na repetição de soluções adotadas em obras anteriores (Elbeltagi *et al*., 2004; Zhang *et al*., 2020; Dawood & Mallasi, 2006).

Essa realidade se deve, em parte, à dificuldade de adoção de ferramentas computacionais para apoiar a processo de decisão na configuração do layout, especialmente quando essas ferramentas apresentam elevada complexidade de uso, exigem grande quantidade de dados de entrada ou geram soluções automatizadas que carecem de flexibilidade e adaptabilidade ao contexto específico de cada obra (Zhang *et al*., 2020; Hosseini *et al*., 2018; Mahdavi *et al*., 2021). Diversos estudos têm evidenciado que um dos principais entraves à disseminação dessas ferramentas está na rigidez com que propõem soluções, frequentemente desconsiderando o conhecimento tácito dos profissionais de obra, as especificidades operacionais locais e os aspectos culturais do ambiente de produção (Chen *et al*., 2022; Ma *et al*., 2023; Li *et al*., 2020).

Nesse contexto, torna-se fundamental o desenvolvimento de sistemas mais flexíveis, que combinem automação com transparência decisória e permitam a participação ativa dos usuários na construção das soluções. A literatura recente tem apontado que abordagens híbridas, que integram algoritmos computacionais com a expertise humana, são particularmente promissoras para problemas complexos de planejamento, como o layout de canteiros de obras, nos quais o julgamento profissional e a adaptabilidade continuam sendo componentes essenciais (Zhou *et al*., 2023; Liu *et al*., 2019; Marzouk & Abubakr, 2016). Soluções orientadas ao usuário, que valorizem a interpretabilidade dos resultados e possibilitem ajustes customizados, tendem a alcançar maior aceitabilidade e eficácia prática (Venkatesh *et al*., 2003; Davis, 1989; Merschbrock & Munkvold, 2015).

Diante desse cenário, o presente estudo parte do reconhecimento de que a efetiva implementação de soluções computacionais exige, além de robustez técnica, a aceitação por parte dos profissionais que irão utilizá-las. Isso implica assegurar que os usuários percebam valor nas funcionalidades, compreendam o funcionamento da ferramenta e sintam que mantêm controle sobre as decisões tomadas (Davis, 1989; Venkatesh *et al*., 2003; Davis *et al*., 1992). Em outras palavras, é necessário que as ferramentas sejam úteis, utilizáveis e confiáveis dentro dos contextos operacionais da construção civil.

Este artigo dá continuidade ao trabalho de Borges *et al.* (2024), que propôs uma ferramenta computacional para apoiar a tomada de decisão no planejamento do layout de canteiros, integrando automação e participação ativa do gestor. A ferramenta permite definir relações de proximidade entre elementos com base em critérios como fluxo de trabalho, segurança e estratégias de gestão. Os gestores têm controle abrangente sobre o processo, podendo definir restrições, espaços disponíveis, locais de acesso e a necessidade de proximidade entre todos os pares de elementos e instalações. A lógica decisória é inspirada no método *Systematic Layout Planning* (Muther, 1973), adaptado para o ambiente digital, colocando o gestor no centro das decisões e assegurando resultados alinhados às prioridades de cada projeto.

A estrutura computacional da ferramenta, bem como sua lógica operacional, foi apresentada e discutida no estudo anterior. Contudo, enquanto aquele estudo se concentrou na modelagem e validação técnica do artefato, o presente artigo tem como foco a validação prática da ferramenta por meio da percepção de profissionais da área, em um ambiente colaborativo de avaliação.

O objetivo deste artigo é analisar a percepção da ferramenta por parte de potenciais usuários, como gestores, engenheiros e técnicos com experiência em planejamento físico de obras, considerando sua opinião quanto à coerência das funcionalidades, à aplicabilidade prática das decisões automatizadas e ao grau de controle que a ferramenta oferece ao usuário. Ao priorizar a escuta ativa dos profissionais e a incorporação de suas avaliações no processo de validação prática, desde o desenvolvimento da ferramenta até a sua prototipação, este estudo contribui para o fortalecimento de abordagens centradas no usuário no desenvolvimento de tecnologias para a construção civil.

2 MÉTODO DE PESQUISA

Esta pesquisa constitui um recorte de um estudo relatado em Borges *et al.* (2024), conduzido com base na *Design Science Research* (DSR), um método voltado para a criação e avaliação de artefatos capazes de resolver problemas identificados no contexto prático, ao mesmo tempo em que contribuem com o avanço do conhecimento científico (HEVNER *et al.*, 2004).

Durante a etapa de desenvolvimento do artefato, que constitui uma ferramenta computacional, esta foi explorada em três estudos de caso distintos. Engenheiros responsáveis pelas respectivas obras analisaram os resultados gerados e forneceram feedback sobre possíveis incongruências, limitações de uso e sugestões de novas funcionalidades, de forma a garantir flexibilidade para o gestor no planejamento do canteiro de obras. A cada novo estudo, o artefato foi aprimorado, tornando-se mais robusto e alinhado às necessidades práticas do setor da construção civil.

Diferentemente de Borges *et al.* (2024), que relatou como o artefato foi construído e de que maneira é realizada a entrada de dados para gerar os layouts, neste presente estudo são relatadas as percepções de gestores diretamente envolvidos em três estudos de caso, acerca dos resultados obtidos pelo algoritmo computacional.

Na sequência, foi realizada a etapa de avaliação, momento em que se avalia a eficácia, utilidade e viabilidade do artefato criado. Isso foi feito por meio de grupos focais, usando videoconferências como principal forma de interação, conforme recomendado por Oliveira *et al.* (2022). A opção por encontros virtuais se mostrou adequada diante das dificuldades logísticas associadas à disponibilidade dos profissionais envolvidos, localizados em diferentes cidades.

Os participantes avaliaram o artefato com base nos quatro critérios sugeridos por March e Smith (1995):

- **Operacionalidade**: capacidade de uso prático da ferramenta em condições reais de canteiro, abrangendo elementos como tempo de processamento e funcionalidade nas operações.

- **Eficácia**: grau em que o artefato cumpre os objetivos para os quais foi desenvolvido, especialmente em termos de atender às necessidades operacionais e restrições específicas das obras.

- **Generalização**: potencial de aplicação do artefato em diferentes contextos de obra, considerando sua flexibilidade diante de distintos graus de complexidade.

- **Facilidade de uso**: usabilidade da ferramenta, considerando aprendizado, navegabilidade e conforto do usuário durante a interação com o sistema.

As discussões colaborativas permitiram a validação da ferramenta, o surgimento de novas ideias e o fortalecimento da integração entre teoria e prática. Esse processo iterativo de refinamento e validação contínua resultou em uma solução mais eficiente, acessível e alinhada às necessidades reais do setor da construção.

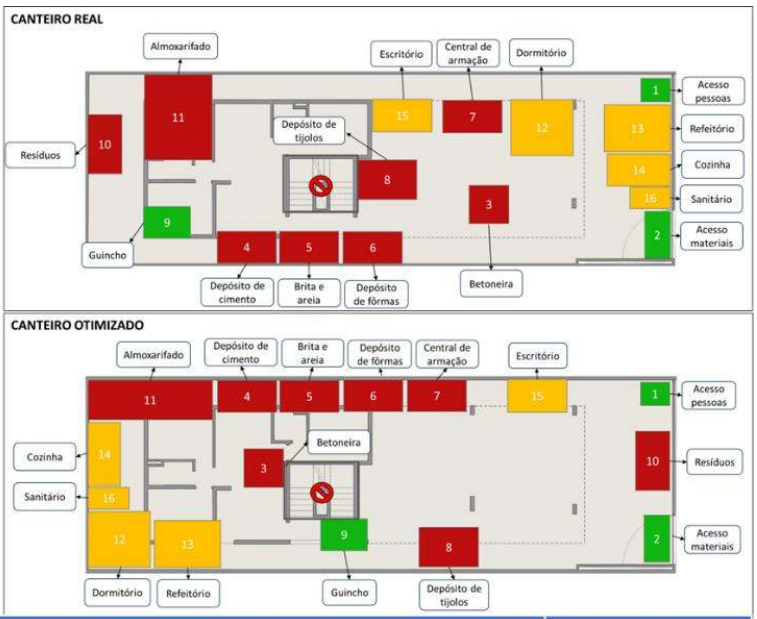
3 RESULTADOS

Nos tópicos seguintes é mostrada a validação prática realizada com os gestores a respeito da otimização obtida pela ferramenta computacional com base nas suas respectivas tomadas de decisão, relatadas em Borges (2024).

3.1 ESTUDO DE CASO 1

A Figura 1 ilustra a comparação do canteiro executado com o que foi planejado pela ferramenta, a partir da tomada de decisão do gestor, bem como o percentual de otimização obtido.

Figura 1: Resultados do primeiro estudo.



Somatório de distâncias ponderadas		Redução total
Canteiro real	388,49m	159,21m
Canteiro otimizado	229,28m	40,98%

Fonte: Autoria própria

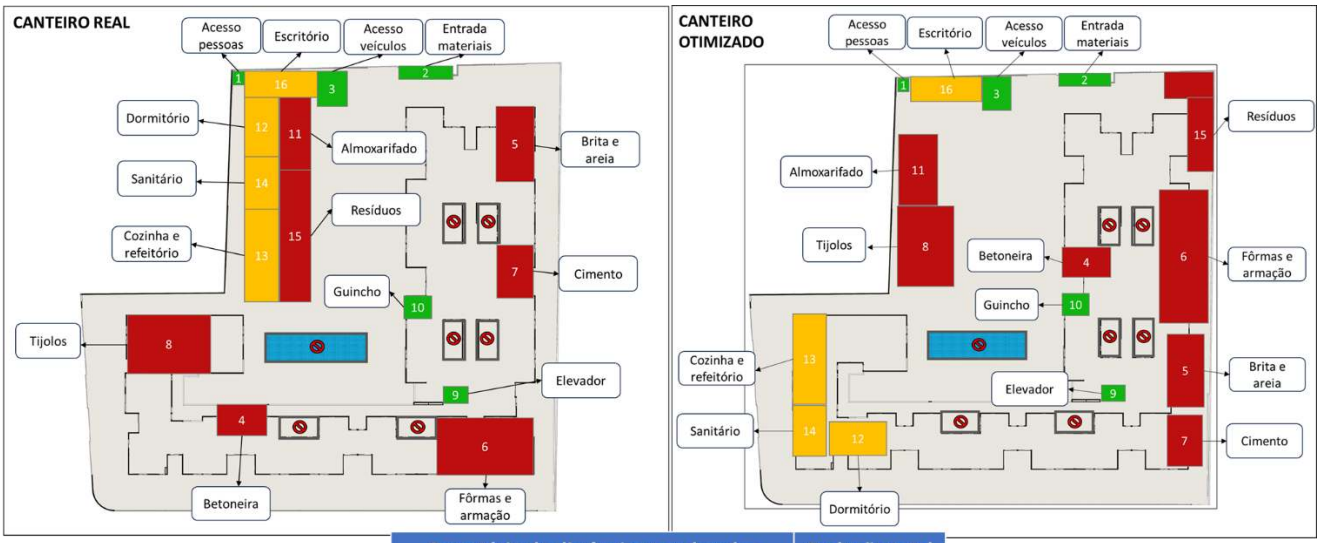
Após a geração do layout otimizado, realizou-se uma avaliação junto ao gestor da obra, que analisou os aspectos funcionais do planejamento e verificou se os elementos estavam posicionados em locais utilizáveis. O gestor destacou que, embora o layout proposto tenha reduzido significativamente as distâncias percorridas, evidenciou que a ferramenta não abrange fatores ligados à gestão da produção ou à dinamicidade da obra, concentrando-se exclusivamente no planejamento espacial.

Apesar disso, ele reconheceu a utilidade do modelo e destacou o potencial da ferramenta para ser integrada a outros métodos voltados à gestão da produção, possibilitando uma abordagem mais abrangente. Ainda que utilize um modelo estático, a ferramenta apresentou resultados compatíveis com a realidade do canteiro na fase avaliada, sendo considerada flexível para adaptações conforme a evolução do projeto.

3.2 ESTUDO DE CASO 2

A Figura 2 ilustra os canteiros real e otimizado, com base na tomada de decisão do gestor do segundo estudo exploratório.

Figura 2: Resultados do segundo estudo.



Somatório de distâncias ponderadas		Redução total
Canteiro real	920,55m	291,17m
Canteiro otimizado	629,38m	31,63&%

Fonte: Autoria própria

No segundo estudo exploratório, o layout proposto foi validado por meio de discussão detalhada com o gestor da obra. Este identificou o potencial da ferramenta para aumentar a eficiência operacional, mas ressaltou a necessidade de integrar o planejamento com informações quantitativas da produção, de modo a permitir análises mais precisas sobre os deslocamentos e dinâmicas da obra.

Foi sugerida ainda a integração com o cronograma de atividades, o objetivo de criar layouts ajustáveis para diferentes fases da construção. Embora seja viável criar uma ferramenta que gere um canteiro global a partir de layouts parciais, a literatura demonstra que a simples soma desses layouts não garante a melhor solução para o projeto como um todo. A dependência entre as fases e a ausência de uma metodologia clara para definição de intervalos ideais tornam essa abordagem complexa e desafiadora.

3.3 ESTUDO DE CASO 3

A Figura 3 apresenta os resultados de otimização alcançados no terceiro estudo exploratório.

Figura 3: Resultados do terceiro estudo.



Somatório de distâncias ponderadas		Redução total
Canteiro real	2017,01m	621,21m
Canteiro otimizado	1395,80m	30,79%

Fonte: Autoria própria

A validação do terceiro caso foi realizada com a revisão do layout por parte do gestor responsável. Este confirmou a coerência do posicionamento dos elementos no canteiro e observou que pequenas alterações no layout gerado resultaram em ganhos logísticos expressivos. O modelo contribuiu para a redução de deslocamentos internos e diminuição de riscos de congestionamentos e retrabalhos.

Entretanto, foi destacada uma limitação significativa referente à utilização da distância euclidiana para o cálculo da proximidade entre elementos. O gestor pontuou que tal simplificação pode não representar com precisão o trajeto real percorrido no canteiro, o qual pode incluir obstáculos e rotas não lineares. Essa simplificação pode comprometer a fidelidade do modelo à realidade prática do canteiro de obras.

3.4 DISCUSSÃO GERAL

Os três estudos de caso foram fundamentais para aprimorar a ferramenta computacional, possibilitando a validação de seu desempenho em situações reais. Os gestores reconheceram sua aplicabilidade prática, destacando sua contribuição para a eficiência no planejamento do layout dos canteiros. Contudo, as validações também evidenciaram limitações que orientam futuras melhorias do modelo.

Uma das principais limitações observadas foi a ausência de integração com aspectos relacionados à gestão da produção. Embora a ferramenta atinja seu objetivo de reduzir distâncias que não agregam valor, não considera dinâmicas operacionais nem o fluxo produtivo ao longo da execução da obra. A análise qualitativa das relações de proximidade, baseada na intensidade de fluxo, representa uma mitigação parcial dessa limitação, mas não substitui a análise baseada em dados quantitativos.

Outra sugestão de aprimoramento refere-se à consideração de fases distintas do projeto. A proposta de um planejamento faseado, com layouts que evoluem ao longo do tempo, foi considerada pertinente, mas complexa. A continuidade de certos elementos ao decorrer de múltiplas fases, combinada com a indefinição metodológica sobre a segmentação temporal ideal, dificulta a construção de um modelo matemático robusto. Além disso, esse tipo de abordagem aumentaria consideravelmente o tempo de processamento computacional.

A simplificação do cálculo de distância pela métrica euclidiana também foi apontada como uma limitação. A consideração de distâncias reais percorridas exigiria a modelagem de trajetos com obstáculos e regras específicas de movimentação, o que aumentaria substancialmente a complexidade computacional. Seria necessário implementar algoritmos mais robustos, além de mapear e atualizar constantemente a rede de caminhos disponíveis, sobretudo em ambientes dinâmicos como os canteiros de obras. Essa abordagem, embora mais precisa, exigiria maior capacidade de processamento e poderia comprometer a aplicabilidade da ferramenta em contextos de uso prático.

Em síntese, a validação com os gestores possibilitou a identificação de oportunidades para evolução da ferramenta. Embora as limitações observadas indiquem áreas que requerem melhorias, os resultados obtidos demonstram que a ferramenta apresenta soluções eficientes, de fácil aplicação e compatíveis com diferentes contextos de planejamento de canteiro de obras.

3.5 GRUPO FOCAL

Seis profissionais participaram da avaliação, total que está de acordo com as recomendações da literatura. Uma demonstração da ferramenta foi conduzida, e os resultados dos estudos de caso foram apresentados, enfatizando os insights das validações práticas e as melhorias implementadas ao longo do estudo.

Os participantes avaliaram o artefato com base em quatro critérios estabelecidos anteriormente, possibilitando uma análise tanto individual quanto geral do desempenho, incluindo a utilização do SLP no processo de tomada de decisão. Conforme ilustrado no Quadro 1, foram apresentados três pontos para que os participantes ponderassem sobre cada critério.

Quadro 1: Tópicos para análise dos critérios

Critério de avaliação	Pontos de reflexão
Operacionalidade	• Considerar possíveis desafios ao refletir sobre a facilidade de uso do artefato no ambiente real do canteiro de obras. • Analisar o desempenho da ferramenta em relação ao tempo de processamento e criação de *layout*. • Avaliar se o *layout* criado foi funcional e conveniente para as atividades diárias no canteiro de obras.
Eficácia	• Avaliar se o *layout* criado atendeu de forma completa às demandas e limitações específicas do canteiro. • Considerar a eficácia do SLP no auxílio à tomada de decisões, particularmente na determinação de relações de proximidade. • Avaliar se a ferramenta auxiliou na organização e na eficácia das operações no canteiro.
Generalização	• Refletir sobre a viabilidade do método em variados tipos de canteiros e se adaptações são necessárias de acordo com o contexto. • Reconhecer as dificuldades na aplicação do método em contextos de obras com variadas complexidades e limitações. • Refletir sobre o potencial de ampliar o uso da ferramenta para outros projetos, considerando as limitações identificadas nos estudos de caso.
Facilidade de uso	• Analisar a interface da ferramenta quanto à sua intuitividade e ao tempo necessário para se familiarizar com seu uso. • Considerar a transparência do processo de criação de *layout* e avaliar se foram necessárias instruções adicionais durante a utilização. • Levar em conta eventuais obstáculos ao explorar as funcionalidades da ferramenta e como isso afeta a experiência do usuário.

Fonte: Autoria própria

Para cada critério, atribuíram notas de 1 a 5 (1 = “totalmente insatisfeito”; 3 = “neutro”; 5 = “totalmente satisfeito”). As notas permitiram calcular médias e desvios padrão, posteriormente convertidos para uma escala de 1 a 10 para maior precisão, cujos resultados constam na Tabela 1.

Tabela 1: Notas de avaliação da ferramenta

Questões	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Média	Desvio Padrão	Aprovação
Operacionalidade	4	5	5	5	5	5	4,83	0,41	96,67%
Eficácia	4	5	4	4	5	4	4,33	0,52	86,67%
Generalização	3	4	4	4	4	3	3,67	0,52	73,33%
Facilidade de uso	5	5	5	5	5	5	5,00	0,00	100,0%

Fonte: Autoria própria

Os dados apontam recepção bastante positiva. A operacionalidade obteve 96,67% de aprovação, indicando que a ferramenta é funcional e aplicável no contexto real das obras, integrando-se facilmente ao fluxo de trabalho. A eficácia também foi bem avaliada (86,67%), mostrando que o método atende de forma assertiva às necessidades dos usuários, ainda que com espaço para pequenos ajustes.

Por outro lado, a generalização obteve 73,33% de aprovação, refletindo os desafios de aplicar a ferramenta em diferentes cenários, dada a complexidade e variabilidade das obras. Apesar de avanços progressivos em cada estudo, os profissionais apontaram que casos mais complexos podem demandar ajustes extras. A pontuação máxima em termos de facilidade de uso confirmou que o artefato é simples e intuitivo, possibilitando um aprendizado rápido sem a necessidade de um treinamento extenso ou de habilidades técnicas avançadas.

Os participantes também avaliaram a adoção do SLP no processo decisório através do seguinte questionamento: **"Qual é a sua avaliação sobre a aplicação do *Systematic Layout Planning* na tomada de decisões para o planejamento do canteiro?" Você acredita que ele apresentou critérios adequados para estabelecer um *layout* eficiente, ou notou a necessidade de incorporar outros elementos ao processo?"**. As respostas de cada participante estão apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2: Quadro de respostas

PART.	RESPOSTA
1	"A utilização do SLP foi excelente, pois proporcionou uma estrutura clara para definir as prioridades de proximidade entre as instalações."
2	"Achei o SLP útil para a tomada de decisões, especialmente para lidar com as restrições de espaço. O método nos ajudou a priorizar as instalações essenciais e organizar o canteiro de uma maneira eficiente. No entanto, para canteiros maiores, talvez precisemos de uma abordagem mais flexível para considerar mudanças ao longo do tempo.“
3	"O SLP serviu bem ao propósito, organizando as necessidades de proximidade de forma bastante lógica e estruturada. A decisão sobre o layout ficou clara e objetiva. Contudo, para obras mais dinâmicas, poderíamos incluir ajustes no layout ao longo do projeto, algo que poderia ser integrado à metodologia."
4	"Achei o SLP um método eficaz, pois possibilita uma visualização bastante clara das necessidades de proximidade entre os elementos do canteiro. Ele funciona muito bem, além de ser fácil de aplicar. É necessário que haja experiência adquirida em obras anteriores para que seja feita a tomada de decisão adequada, principalmente pelo método não englobar informações do sistema produtivo."
5	"O uso do SLP garantiu que o layout atendesse às necessidades do canteiro de forma eficiente. Ao meu ver, ele é particularmente útil em projetos com muitas restrições de espaço, e o processo de decisão se torna melhor orientado. Para situações mais complexas, seria interessante integrar informações de produção ao SLP."
6	"Funcionou muito bem no nosso caso, pois trouxe clareza ao definir as proximidades necessárias entre as instalações, e facilitou bastante a tomada de decisão. Ele se mostrou adequado para obras de médio porte, onde não há tantas mudanças na disposição das instalações. Um gestor precisa ter um mínimo de experiência em canteiro para saber o que priorizar, senão a minimização de distância vai ser uma ilusão.“

Fonte: Autoria própria

A abordagem adotada foi aprovada pelos profissionais e considerada prática e adequada para a criação de um *layout* eficiente. Contudo, eles enfatizaram que, na falta de dados de produção, a experiência do gestor se torna um elemento fundamental para a tomada de decisões. Essa vivência é essencial para suprir a ausência

de dados quantitativos, possibilitando que o gestor avalie as condições do canteiro e faça escolhas informadas que atendam às demandas operacionais do projeto.

De modo geral, esses resultados indicam que a ferramenta criada está em uma boa posição para ser empregada no setor, com algumas áreas para ajustes futuros, principalmente no que se refere à generalização para diferentes contextos de obras. O alto nível de aprovação em operacionalidade e facilidade de uso fortalece sua aplicabilidade prática e rápida implementação no mercado.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo analisou a percepção de profissionais experientes sobre uma ferramenta computacional para apoiar o planejamento do layout do canteiro de obras, destacando a importância da flexibilidade decisória e da participação ativa dos usuários. A pesquisa mostrou que, embora soluções automatizadas tenham avançado na geração de layouts eficientes, sua aceitação prática depende da capacidade de adaptação às especificidades de cada obra e da transparência dos critérios aplicados.

Nos três estudos de caso e na avaliação final com o grupo focal, ficou evidente que a ferramenta se destaca por permitir que o gestor mantenha controle sobre decisões estratégicas e adapte os resultados à realidade do projeto. Esse protagonismo foi decisivo para a aceitação da solução. A interação contínua com gestores, desde o desenvolvimento até a prototipação, permitiu validar a ferramenta em cenários reais e refinar sua lógica com base em sugestões práticas, tornando-a mais intuitiva, robusta e alinhada às demandas do setor.

A pesquisa também apontou desafios, como a integração com dados de produção, o planejamento faseado e a inclusão de distâncias percorridas reais no cálculo de proximidade. Esses aspectos representam oportunidades para pesquisas futuras e versões mais avançadas que considerem a dinamicidade dos canteiros e a complexidade crescente das obras. Ainda assim, os resultados indicam que a proposta atual atende de forma satisfatória a diversos cenários, sendo especialmente eficaz quando a experiência do gestor se alia a uma lógica estruturada de planejamento.

A validação prática demonstrou que a flexibilidade da ferramenta e a clareza dos critérios decisórios geram layouts mais eficientes e maior confiança dos profissionais na viabilidade das soluções. Isso reforça que o desenvolvimento de tecnologias para a construção civil deve ser centrado no usuário e valorizar a integração entre conhecimento técnico e ferramentas digitais. Assim, a pesquisa confirma o potencial da ferramenta como um recurso promissor para qualificar o planejamento físico de obras e superar barreiras históricas à adoção de sistemas automatizados no setor.

REFERÊNCIAS

ABDELNASER, A.; MARZOUK, M.; ALI, H. A simulation-based approach for optimizing construction site layout planning. *Automation in Construction*, v. 112, p. 103101, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103101.

BORGES, M. L. A. E.; GRANJA, A. D.; MONTEIRO, A. A hybrid framework for multi-objective construction site layout optimization. *Buildings*, v. 14, n. 12, p. 3790, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/buildings14123790. Disponível em: https://www.mdpi.com/2075-5309/14/12/3790.

CHEN, L.; YU, Y.; DING, L. Adaptive site layout planning integrating stakeholder preferences using BIM and multi-agent systems. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 148, n. 7, p. 04022066, 2022. DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002324.

DAVIS, F. D. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, v. 13, n. 3, p. 319–340, 1989.

DAVIS, F. D.; BAGOZZI, R. P.; WARSHAW, P. R. Extrinsic and intrinsic motivation to use computers in the workplace. *Journal of Applied Social Psychology*, v. 22, n. 14, p. 1111–1132, 1992. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.1992.tb00945.x.

DAWOOD, N.; MALLASI, Z. Construction workspace management: the development and application of a novel 4D planning approach. *Construction Innovation*, v. 6, n. 2, p. 83–100, 2006. DOI: https://doi.org/10.1108/14714170610710791.

ELBELTAGI, E.; HEGAZY, T.; ELDOSOUKY, A. Layout planning of construction sites using genetic algorithms. *Automation in Construction*, v. 13, n. 4, p. 491–506, 2004. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.04.003.

HOSSEINI, M. R.; CHILESHE, N.; REZGUI, Y.; RAHIMIAN, F. P. Modelling site layout planning: practicality and performance evaluation of BIM-based 3D visualization versus 2D drawings. *Architectural Engineering and Design Management*, v. 14, n. 5, p. 360–375, 2018. DOI: https://doi.org/10.1080/17452007.2018.1479845.

LI, H.; LU, W.; LAM, K. C. Site layout planning: a review and assessment using a multi-criteria decision-making framework. *Journal of Cleaner Production*, v. 255, p. 120254, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120254.

LIU, S.; ZHANG, Y.; WANG, X. A participatory approach to construction site layout planning. *Automation in Construction*, v. 103, p. 1–12, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.005.

MA, G.; XIE, X.; ZHAO, Z. Y. A flexible and user-centered site layout framework for construction projects. *Engineering, Construction and Architectural Management*, v. 30, n. 1, p. 166–184, 2023. DOI: https://doi.org/10.1108/ECAM-01-2022-0061.

MAHDAVI, I.; MAHDAVI-AMIRI, N.; HAJABASI, M. A. A review of models and approaches for construction site layout planning. *International Journal of Construction Management*, v. 21, n. 7, p. 705–721, 2021. DOI: https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1614576.

SADEGHPOUR, F.; MOSLEH, M.; RASHIDI, A.; O'BRIEN, W. J.; MOGHADDAM, M. Site layout modeling: how can we improve it?. *Automation in Construction*, v. 15, n. 4, p. 485–497, 2006. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2005.07.004.

ZHANG, L.; DING, L.; ZHOU, C.; WANG, J. Barriers to implementing construction site layout planning tools: perspectives from practitioners. *Automation in Construction*, v. 113, p. 103132, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103132.

ZHOU, Y.; CHEN, L.; DING, L.; ZHANG, L. Human-centered artificial intelligence for construction layout planning. *Automation in Construction*, v. 148, p. 104747, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104747.