O USO DO DESIGN GENERATIVO NA OTIMIZAÇÃO DO LAYOUT DE CANTEIROS DE OBRAS: Um estudo exploratório descritivo fundamentado em uma Revisão Sistemática da Literatura

Pedro Henrique da Silva Raposo[1], Marina De Miranda Martins[2]

[1]Universidade Federal do Maranhão, São Luís/MA, Brasil
(pedro.hsr@discente.ufma.br)
[2]Universidade Federal do Maranhão, São Luís/MA, Brasil

Resumo: O avanço das tecnologias digitais têm contribuído para mudanças na construção civil, destacando o uso do Design Generativo na otimização de layouts de canteiros de obras. Este trabalho utiliza a Revisão Sistemática da Literatura a fim de identificar elementos representativos sobre o atual estado da arte das pesquisas relacionadas ao uso do Design Generativo na construção civil. Os resultados mostram melhorias no planejamento, organização e análise de layouts.

Palavras-chave: Design Generativo; BIM; Construção Civil; Canteiro de Obras; Otimização

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a construção civil vem passando por mudanças significativas com o avanço das tecnologias digitais, principalmente com o uso de ferramentas que auxiliam no processo de projeto. Nesse contexto, o Building Information Modeling (BIM) se destaca por permitir a integração de informações dos processos das edificações, contribuindo para maior organização e eficiência nos projetos (Matniyazov et al., 2025).

Dentro dessa evolução, o Design Generativo surge como uma abordagem que utiliza algoritmos para gerar diferentes soluções de projeto a partir de parâmetros definidos, permitindo explorar várias alternativas e escolher a mais adequada (Di Filippo et al., 2021). Essa forma de trabalhar torna o processo mais eficiente, já que possibilita analisar diversas opções em menos tempo e com maior precisão.

Além disso, estudos apontam que o Design Generativo traz benefícios importantes para a construção civil, como a redução de custos e melhor aproveitamento dos recursos disponíveis (Rojas Marinkelle et al., 2025). Quando aplicado ao planejamento de canteiros de obras, essa ferramenta pode contribuir para uma melhor organização do espaço, facilitando a logística e aumentando a produtividade e segurança no ambiente de construção.

Diante disso, percebe-se a importância de estudar essa abordagem, já que ainda há poucas publicações voltadas às aplicações nos canteiros de obra. Assim, este trabalho tem como objetivo analisar como o Design Generativo vem sendo aplicado na otimização desses layouts, identificando seus principais benefícios e limitações na construção civil.

MATERIAL E MÉTODOS

Com base na Revisão Sistemática da Literatura (RSL) adotada no estudo (CROSSAN e APAYDIN, 2010), definiu-se inicialmente a pergunta norteadora e, em seguida, o protocolo de busca sistemática (Quadro 1), a saber:

A. Pergunta da Pesquisa: Como o Design Generativo tem sido aplicado na otimização do layout de canteiros de obras na Engenharia Civil?

B. Protocolo para critérios de busca para RSL.

Quadro 1: Protocolo da RSL

Base de Dados:	Periódicos CAPES e Google Scholar
Tipo de documento:	Artigo Científico
Área de Concentração:	Ciência e Tecnologia Ciências Exatas Engenharia Civil
Período:	2015/2025
Idioma:	português e inglês
Critérios de Inclusão	Critério de Exclusão

Pesquisas que descrevem estudos sobre Design Generativo na construção civil;	Pesquisas que não descrevem estudos sobre Design Generativo na construção civil;
Pesquisas que apresentem aplicações práticas ou estudos de caso utilizando Design Generativo na Engenharia Civil.	Pesquisas que não apresentem aplicações práticas ou estudos de caso na Engenharia Civil.
Pesquisas que descrevem conceitos e/ou aplicações do Design Generativo em planejamento ou layout de canteiros de obras;	Pesquisas que não descrevem conceitos e/ou aplicações do Design Generativo em planejamento ou layout de canteiros de obras;

Seguindo o protocolo estabelecido para a RSL, foram determinadas as palavras-chave utilizadas na busca, conforme apresentado no Quadro 2:

Quadro 2: Palavras-chave

Palavras-chave em português	Palavras-chave em inglês
Design Generativo	Generative Design
Computacional	Computational
Planejamento	Planning
Canteiro de obras	Construction Site
Layout	Layout
Otimização	Optimization

Seguindo a metodologia proposta, realizou-se a busca nas bases de dados, conforme definido nos critérios de consideração inicial e final, apresentados a seguir:

C. Conjunto de Consideração Inicial.

Na etapa inicial de busca na base de dados Periódico e Capes, por meio da análise dos títulos, palavras-chave e resumos dos artigos, foi possível identificar um total de 1.449 artigos científicos em língua portuguesa (Quadro 3).

Quadro 3: Conjunto Consideração Inicial Português

Palavras-chave e Associações	Periódicos	Google Scholar
Design Generativo	2	7
e Construção		
Design Generativo e Planejamento	0	4
Design Generativo e Layout	0	2
Design Generativo e Otimização	0	4
Computacional e Construção	0	300
Computacional e Planejamento	0	760
Layout e Otimização	260	110

Por conseguinte, nas bases de dados Scielo e Scopus, e, de acordo com análise do título, palavras-chave e resumo, obteve-se um conjunto expressivo de artigos científicos em inglês (Quadro 4):

Quadro 4: Conjunto Consideração Inicial Inglês

Palavras-chave e Associações	Periódicos	Google Scholar
Generative Design and Construction Site	2	191
Generative Design and Planning	79	1600
Generative Design and Layout	10	706
Generative Design and Optimization	46	1340
Computational and Construction Site	25	180
Computational and Planning	271	980
Layout and Optimization	1328	500

D. Conjunto de Consideração

Final Após a reunião dos artigos identificados no conjunto de consideração inicial, procedeu-se à aplicação dos critérios de inclusão e exclusão estabelecidos no protocolo da RSL (CROSSAN e APAYDIN, 2010), seguida da leitura integral dos

estudos selecionados. A Figura 1 apresenta o conjunto de consideração final em português, resultante do procedimento metodológico adotado.

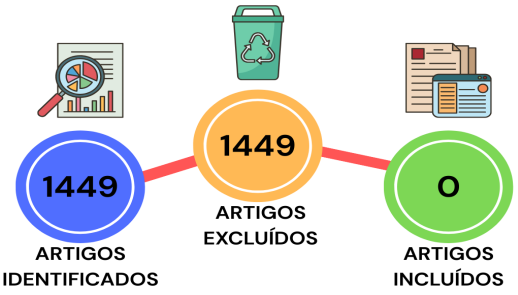


Figura 1. Conjunto Consideração Final Português

Em seguimento, a Figura 2 apresenta os resultados obtidos em inglês

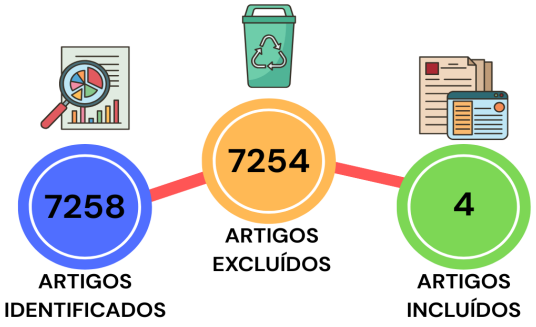


Figura 2. Conjunto Consideração Final Inglês

Dessa forma, na busca sistemática em português não foram identificados artigos científicos que atendessem aos critérios de inclusão definidos no protocolo da RSL. Mesmo havendo trabalhos relacionados ao tema, muitos foram descartados por não apresentarem análise aprofundada, limitando-se a abordagens superficiais na fundamentação teórica e sem relação direta com o objeto deste estudo.

Em relação à busca na língua inglesa, foram incluídos 4 artigos científicos. As demais pesquisas foram excluídas por não atenderem aos critérios estabelecidos no protocolo da RSL, assim como ocorreu na busca em português. Entre os principais motivos de exclusão, destacam-se a falta de alinhamento com o tema proposto, a abordagem pouco aprofundada e a ausência de aplicações práticas relacionadas ao objeto de estudo.

O Quadro 5, apresenta a descrição dos artigos em inglês incluídos na RSL, nas bases de dados científicos SCIELO e SCOPUS.

Quadro 5: CAPES e Google Scholar Artigos Incluídos

Título	Autores
1.Optimization of Construction Site Layout Using BIM Generative Design	A. Elsheikh (2023)
2.A Generative Design-Based Optimization Model for Multi-Objective Construction Site Layout Planning	H. Wefki; M. Salah; E. Elbeltagi; A. Elsheikh; R. Khallaf (2024)
3.Dynamo Visual Programming-Based Generative Design Optimization Model for Construction Site Layout Planning	M. Salah; E. Elbeltagi; A. Elsheikh (2022)
4.Generative Design for Site Layout Optimization	Z. Kong; V. Peansupap; J. Ongpeng (2025)

Com base no total de artigos científicos identificados, verifica-se que, na base Periódicos CAPES e Google Scholar, não foram encontrados trabalhos em português que atendessem aos critérios estabelecidos. Por outro lado, nas buscas realizadas em língua inglesa, foram identificadas 3.448 publicações, das quais 4 artigos foram selecionados por atenderem aos critérios definidos na RSL.

E. Análise Descritiva dos Artigos Selecionados

A partir dos estudos selecionados na busca sistemática, foi realizada a análise descritiva dos artigos, com o objetivo de apresentar as principais ideias e contribuições de cada trabalho, conforme descrito a seguir:

1. SALAH, ELBELTAGI e ELSHEIKH (2024). *Optimization of construction site layout using BIM generative design.*

O estudo tem como objetivo otimizar o layout de canteiros de obras utilizando a integração entre o BIM (*Building Information Modelling*) e o Design Generativo, com foco em melhorar a produtividade, reduzir custos e aumentar a segurança no canteiro. Em relação ao material e método, os autores desenvolveram um modelo no software Dynamo-Revit, baseado em programação visual. O problema foi tratado como um modelo de otimização no qual as instalações temporárias são distribuídas em locais previamente definidos. O modelo considera fatores como distâncias entre instalações e frequência de deslocamento de materiais, buscando minimizar o custo total de transporte dentro do canteiro. A Figura 3 apresenta o fluxograma da integração entre BIM,

Dynamo e Design Generativo utilizada no processo de otimização do layout.

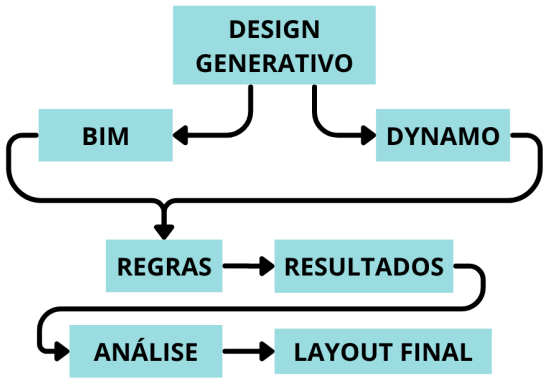


Figura 3. Fluxograma integração entre BIM e o Dynamo

Para validar o modelo, foi realizado um estudo de caso com um canteiro de obras de médio porte contendo 11 instalações temporárias (como escritório, almoxarifado e áreas de produção), distribuídas em 11 possíveis localizações. A análise foi realizada a partir de dois cenários, diferenciados pelas restrições espaciais adotadas para as instalações temporárias do canteiro.

Em relação aos resultados, o modelo conseguiu gerar layouts otimizados com redução dos custos de deslocamento, apresentando valores próximos aos melhores resultados já encontrados na literatura. Além disso, o processo foi rápido, levando cerca de 30 segundos para encontrar soluções eficientes . Outro ponto importante é que o modelo se mostrou mais simples de aplicar, exigindo menos esforço manual em comparação com métodos tradicionais. Por fim, os autores destacam que o método pode ser aplicado a problemas mais complexos no futuro.

2.WEFKI et al. (2024). *A generative design-based optimization model for multi-objective construction site layout planning.*

O material da pesquisa envolve o uso de ferramentas digitais, principalmente o BIM (Revit) integrado ao Dynamo e ao ambiente de Design Generativo, aplicados em um estudo de caso com diversas instalações temporárias.

O processo inicia com a criação de um modelo paramétrico no Dynamo, onde são inseridos dados do projeto, como dimensões do terreno, localização das instalações e restrições geométricas. Em seguida, são definidos critérios de análise, como custo de transporte de materiais e condições de segurança. Após isso, o modelo é conectado ao ambiente de Design Generativo, que gera automaticamente várias alternativas de layout. Por fim, essas soluções são avaliadas para selecionar a mais adequada.

Os resultados mostram que o modelo consegue gerar diferentes soluções que equilibram custo e segurança. Foi observado que algumas opções reduzem significativamente os custos de transporte, enquanto outras aumentam o nível de segurança no canteiro. Assim, o estudo evidencia que não existe uma única solução ideal, mas diferentes alternativas que devem ser escolhidas de acordo com a prioridade do projeto (Figura 4).

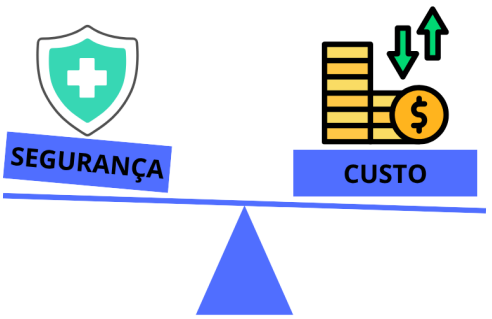


Figura 4: Representação dos critérios para escolha do layout do canteiro

Na conclusão, os autores destacam que o uso do Design Generativo facilita o planejamento do canteiro, tornando o processo mais eficiente se mostrando aplicável a diferentes tipos de projetos, contribuindo para a decisão no planejamento de obras.

3.MOHAMMED FATHY et al. (2022). *Dynamo Visual Programming-Based Generative Design Optimization Model for Construction Site Layout Planning*.

O artigo apresenta um modelo de otimização para o planejamento do layout de canteiros utilizando Design Generativo integrado ao BIM. O material do estudo é baseado em um modelo computacional no qual são representadas as instalações do canteiro, com suas dimensões, posições e relações espaciais.

O processo consiste na modelagem do canteiro no ambiente do Dynamo, onde são definidos os elementos do problema, como distâncias entre instalações, custos de transporte e realocação. A partir desses dados, o sistema utiliza o Design Generativo para criar automaticamente diferentes alternativas de layout, variando posições e orientações das estruturas. O modelo adota uma função para minimizar o custo total, considerando a violação de restrições, como sobreposição ou ausência de distâncias seguras entre os elementos.

Os resultados foram obtidos por meio de um estudo de caso e comparados com métodos tradicionais. O modelo proposto apresentou menor custo total em relação às abordagens anteriores, indicando maior eficiência na organização do canteiro.

4.KONG et al. (2025). *Generative Design for Site Layout Optimization.*

O artigo apresenta o uso do Design Generativo como ferramenta para otimizar o layout de canteiros de obras, tratando o planejamento como um problema que pode ser automatizado e melhorado por meio de técnicas computacionais. O material utilizado na pesquisa envolve dados de layout, como distâncias entre áreas, frequência de movimentação entre instalações e custos associados, além de um estudo de caso real de um edifício educacional com 12 pavimentos dividido em três fases.

O processo desenvolvido consiste na modelagem do problema como um problema de alocação quadrática, onde as instalações do canteiro são distribuídas em posições que minimizam o custo total. Para isso, foi utilizado o software Grasshopper com Design Generativo, aplicando algoritmos para testar diversas combinações automaticamente. O método também considera restrições, como tamanho dos espaços e posições fixas, além de permitir a visualização em modelos tridimensionais que facilitam a análise das alternativas geradas.

Os resultados mostram que a abordagem foi eficiente na otimização do layout, apresentando redução de custo de aproximadamente 17% em comparação com estudos anteriores. No estudo de caso, foram gerados layouts otimizados para cada fase da obra, mantendo as restrições e melhorando a organização do espaço

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise dos artigos selecionados na Revisão Sistemática da Literatura, foi possível identificar os principais aspectos relacionados à aplicação do Design Generativo no planejamento e otimização de layouts de canteiros de obras. A partir disso, os resultados foram organizados em quatro categorias conceituais, com o objetivo de facilitar a compreensão das abordagens encontradas e destacar as principais contribuições dos trabalhos analisados.

Categoria A: Integração entre BIM e Design Generativo na otimização de layouts de canteiros

Essa categoria reúne estudos que mostram como o uso conjunto do BIM e do Design Generativo pode melhorar o planejamento do layout de canteiros de obras. De forma geral, os trabalhos apontam que essa integração do Dynamo no Revit permite criar modelos que simulam diferentes opções de layout, ajudando a escolher a melhor organização do canteiro considerando fatores como distância entre áreas, movimentação de materiais e organização das instalações.

O estudo de Salah, Elbeltagi e Elsheikh (2023) mostra que, ao usar BIM junto com Design Generativo, é possível automatizar o processo de planejamento, reduzindo erros e melhorando a eficiência das decisões.

Categoria B: Modelos de otimização multiobjetivo no planejamento de layouts de canteiros

Essa categoria apresenta um estudo que utiliza o Design Generativo para otimizar o layout do canteiro considerando mais de um objetivo ao mesmo tempo, principalmente custo e segurança. Diferente dos métodos tradicionais, esses modelos analisam várias possibilidades e ajudam a encontrar soluções mais equilibradas.

O estudo de Wefki et al. (2024) mostra que é possível gerar diferentes opções de layout automaticamente, levando em conta a redução dos custos de transporte e a melhoria da segurança no canteiro.

Os resultados mostram que não existe apenas uma solução ideal, mas várias alternativas. Por isso, o engenheiro precisa escolher a melhor opção de acordo com a necessidade da obra. Com isso, o Design Generativo ajuda a tomar decisões mais estratégicas, permitindo analisar várias opções de forma rápida e eficiente.

Categoria C: Ferramentas computacionais aplicadas à geração de layouts de canteiros

Essa categoria aborda o uso de ferramentas computacionais no desenvolvimento e geração de layouts de canteiros de obras. Os estudos mostram que recursos como programação visual e algoritmos computacionais ajudam a representar o problema de forma digital, permitindo criar, analisar e comparar diferentes alternativas de layout de maneira mais rápida e organizada.

O trabalho de Mohammed Fathy et al. (2022) apresenta a utilização do Dynamo integrado ao Revit para desenvolver um modelo capaz de simular o posicionamento das instalações temporárias, considerando restrições espaciais e custos envolvidos no planejamento. O sistema gera diferentes alternativas automaticamente e identifica as soluções com melhor desempenho, contribuindo para reduzir o tempo gasto no processo de planejamento.

Assim, o uso dessas tecnologias torna o processo mais prático, organizado e acessível, auxiliando na tomada de decisão dentro do planejamento do canteiro.

Categoria D: Aplicabilidade prática e limitações do Design Generativo no planejamento de canteiros

Essa categoria aborda a aplicação do Design Generativo na prática e as limitações encontradas no uso dessa tecnologia na construção civil. Os estudos mostram que, apesar dos bons resultados, ainda

existem desafios para sua utilização no dia a dia das obras.

O estudo de Kong et al. (2025) destaca o uso do software Grasshopper para gerar diferentes alternativas de layout de forma automática, permitindo melhorar a organização do canteiro e reduzir custos. Os resultados indicam que a ferramenta ajuda na visualização e comparação das soluções, facilitando a escolha do melhor arranjo. Porém, o estudo também aponta que o planejamento ainda depende de definições prévias e que nem todas as situações reais são consideradas nas simulações.

Assim, mesmo apresentando bons resultados, o Design Generativo ainda precisa evoluir para se tornar mais próximo da realidade das obras e mais utilizado na construção civil.

CONCLUSÃO

A partir da Revisão Sistemática da Literatura, foi possível analisar como o Design Generativo vem sendo aplicado na otimização de layouts de canteiros de obras, atendendo ao objetivo proposto na pesquisa. Os estudos mostram que essa abordagem contribui para melhorar o planejamento, tornando-o mais eficiente, automatizado e baseado em dados.

Apesar dos avanços, ainda foram identificadas algumas lacunas, principalmente relacionadas à aplicação prática dessas ferramentas, à necessidade de definição de parâmetros e à pouca integração com situações reais de obra. Além disso, percebe-se que o uso dessas tecnologias ainda não é amplamente difundido no setor.

Por outro lado, os benefícios são claros, como a redução de custos, melhor organização do espaço e apoio na tomada de decisão. Dessa forma, o Design Generativo se mostra uma alternativa promissora para a construção civil.

Assim, conclui-se que o tema ainda possui espaço para novos estudos, principalmente voltados à aplicação prática e ao aprimoramento dessas tecnologias no contexto real das obras.

REFERÊNCIAS

DI FILIPPO, ANDREA; LOMBARDI, MARCO; MARONGIU, FRANCESCO; LORUSSO, ANGELO; SANTANIELLO, DOMENICO. Generative design for project optimization. *[Trabalho acadêmico]*, University of Salerno, Itália, [s.d.].

FATHY, MONA MOHAMMED; ELBELTAGI, EMAD ELSAID; ELSHEIKH, ASSER. Dynamo visual programming-based generative design optimization model for construction site layout planning. *Mansoura Engineering Journal*, v. 46, n. 4, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.21608/bfemu.2022.213112.

KONG, ZACHARY; PEANSUPAP, VACHARA; ONGPENG, JASON. Generative design for site layout optimization. In: *Creative Construction Conference*, 2025. Proceedings… 2025. Disponível em: https://doi.org/10.22260/CCC2025/0030.

MA, WEI; WANG, XIANGYU; WANG, JUN; XIANG, XIAOLEI; SUN, JUNBO. Generative design in building information modelling (BIM): approaches and requirements. *Sensors*, v. 21, n. 16, p. 5439, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/s21165439.

MATNIYAZOV, ZAFAR; ELMURODOV, SAMIDULLO; RAKHMATILLAEVA, ZILOLA; JURAT, TAJIBAYEV; BURONOV, NIZOMIDDIN. Integration of generative design and BIM technologies in architectural design: state of the art and future directions. *American Journal of Multidisciplinary Bulletin*, v. 3, n. 11, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.5281/zenodo.17941174.

ROJAS MARINKELLE, DIEGO; GARCIA-LOPEZ, NELLY P.; LARA, SANTIAGO. Lean principles for determining generative design benefits. In: SEPPÄNEN, O.; KOSKELA, L.; MURATA, K. (eds.). *Proceedings of the 33rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC33)*. Osaka/Kyoto, 2025. p. 13–24. Disponível em: https://doi.org/10.24928/2025/0152.

SALAH, MONA; ELBELTAGI, EMAD; ELSHEIKH, ASSER. Optimization of construction site layout using BIM generative design. *International Journal of Construction Management*, v. 24, n. 3, p. 314–322, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1080/15623599.2023.2222997.

WEFKI, HOSSAM; SALAH, MONA; ELBELTAGI, EMAD; ELSHEIKH, ASSER; KHALLAF, RANA. A generative design-based optimization model for multi-objective construction site layout planning. *Engineering, Construction and Architectural Management*, v. 32, n. 8, p. 5429–5455, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1108/ECAM-11-2023-1193.