VIRTUALIZAÇÃO INTELIGENTE
NO PROJETO E NA CONSTRUÇÃO
2º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunição na Construção
UNICAMP | 19 a 21 de agosto

PROPOSTA DE MODELO SIMPLIFICADO PARA OTIMIZAÇÃO DE LAYOUT DE CANTEIRO

Simplified Model for Site Layout Optimization

Yan Mota Veras de Carvalho
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza, CE | yanveras00@gmail.com

Vanessa Ribeiro Campos
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza, CE | vanessa.campos@ufc.br

RESUMO

O planejamento do *canteiro* afeta diretamente a produção*, este deve* levar em conta vários fatores que maximizam a produtividade e minimizam os custos de produção. O layout do *canteiro* ao longo d*a obra* é um problema cotidiano no planejamento da produção. Este trabalho propõe um método simplificado para o posicionamento ótimo dos elementos de um *canteiro*, a fim de reduzir a distância de transporte, utilizando um modelo suportado por planilhas eletrônicas e algoritmos de otimização genética. O modelo proposto foi aplicado para resolver um problema de referência. O resultado foi um *canteiro* com 0,25*% menos* distância de transporte do que *a* referência que já havia sido otimizado. Portanto, sugere-se a implantação deste método para potencializar o planejamento do *canteiro* em seus estágios iniciais.

Palavras-chave: *Planejamento de canteiro, Otimização posicional, Arranjo de canteiro, Algoritmos Meta-heurísticos*

ABSTRACT

The site planning directly affects the production, this takes into account several factors that maximize productivity and minimize production costs. The layout of the site throughout the project is an everyday problem in production planning. This work proposes a simplified method for optimal positioning of the elements of a site in order to reduce the transport distance, using a model supported by spreadsheets and genetic optimization algorithms. The proposed model was applied to solve a reference problem. The result was a site with 0.25% less transport distance than the reference site that had already been optimized. Therefore, it is suggested the implantation of this method to potentialize the planning of the site in its initial stages

Keywords: Site Planning, Positional Optimization, Site Arrangement, Metaheuristic Algorithms

1 INTRODUÇÃO

O processo de planejamento do canteiro visa a obtenção da melhor utilização do espaço físico disponível, permitindo que homens e máquinas trabalhem com segurança e eficiência, principalmente através da minimização das movimentações (Saurin e Formoso, 2006). Resulta em um layout de canteiro que determina quais equipamentos temporários são necessários e posiciona-os no espaço e no tempo ao longo do projeto. (Mawdesley, Al-jibouri e Yang, 2002).

O layout do canteiro organiza as instalações temporárias para que as obras possam ser atendidas satisfatoriamente com custos mínimos (Adrian, Utamima e Wang, 2015). Como o problema de organizar layout do canteiro é uma tarefa complexa, os gerentes de construção geralmente implementam-na usando experiência anterior, regras implícitas e abordagem do “primeiro a chegar, primeiro a ser servido”, levando à ineficiência (Said e El-Rayes, 2013). Em casos extremos, as decisões de armazenamento de materiais em alguns empreendimentos só acabam sendo tomadas na sua chegada (Mawdesley, Al-jibouri e Yang, 2002).

Para Jalaei e Jrade (2014) um plano de layout de canteiro otimizado garante o uso ideal do espaço disponível, custos mais baixos, menos realocação de materiais durante a construção, melhor acessibilidade e segurança do ambiente de trabalho. Mawdesley et al.(2002) mostra que uma das principais formas em que um layout de canteiro pode alcançar seus objetivos é a minimização dos tempos de viagem e a remoção de movimentos desnecessários de recursos.

CARVALHO, Y.M.V de; CAMPOS, V.R. Proposta de modelo simplificado para otimização de layout de canteiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 2., 2019, Campinas. **Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2019. Disponível em: https://antaceventos.net.br/index.php/sbtic/sbtic2019/paper/view/116

O arranjo das instalações temporárias precisa atender múltiplos objetivos, que podem conflitar entre si, pois são sujeitos a restrições lógicas e de recursos. Minimizar o custo associado à interação entre as instalações e minimizar riscos à segurança e ao meio ambiente são os objetivos de planejamento conflitantes mais estudados recentemente (Khalafallah e El-Rayes, 2011; Ning, Lam e Lam, 2010; Xu e Li, 2012; Yahya e Saka, 2014). O problema de definição do layout de canteiro é um caso típico de alocação de espaço, podendo encontrar soluções através da algoritmos de otimização.

Otimização é o procedimento de encontrar e comparar soluções aceitáveis até nenhuma solução melhor ser encontrada, onde estas soluções são avaliadas em termos de um objetivo que normalmente é o custo associado ao sistema (Deb e Kalyanmoy, 2001). Para Yahya e Saka (2014) um modelo para planejamento de layout do canteiro de obras é projetado para simular instalações temporárias, sob um conjunto de restrições, ao mesmo tempo em que se obtêm funções multiobjetivo.

Existem diversos algoritmos de otimização, utilizados para buscar a melhor solução para as funções multiobjetivo. Warren e Liao et al. (2011) avaliaram os meta-heurísticos no campo de gerenciamento de construção e classificaram os algoritmos genéticos como os mais amplamente utilizados na solução de problemas de layout de canteiro. O Solver, presente no Excel, possui o algoritmo “Evolutionary”, um híbrido de algoritmos genéticos, evolucionários e métodos clássicos de otimização (FrontlineSolvers, 2018).

Este trabalho busca implementar, por meio de planilha eletrônica e de algoritmos meta-heurísticos, um modelo para otimização do layout do canteiro. Esta ferramenta servirá para o posicionamento inicial dos elementos do canteiro, servindo de ponto de partida para o planejamento do canteiro.

2 MÉTODO E PROCEDIMENTO

O desenvolvimento da planilha se baseou na premissa de que o canteiro ótimo apresenta menor custo de transporte entre os elementos. O método adotado abrange uma etapa de proposição do modelo que resulta na planilha em Microsoft Excel para inserção das informações do canteiro e preferências do usuário. Optou-se pela utilização deste software por este possuir uma ferramenta de otimização acoplada e estar presente na grande maioria dos computadores. A formulação é a modelagem do problema de otimização, ou seja, a definição das variáveis e restrições para os algoritmos. O processo proposto tem quatro etapas: Definição do canteiro, Função Objetivo, Avaliação e Otimização.

Definição do canteiro: Considera-se o espaço do canteiro como uma malha com coordenadas horizontais e verticais, na implementação em planilha cada elemento da malha é representado por uma célula. O tamanho da unidade da malha corresponde a precisão da representação do canteiro, uma limitação é a que um elemento tem que ocupar apenas uma célula. Para minimizar os esforços computacionais adotou-se como variáveis as coordenadas X e Y dos elementos no canteiro. Estes podem ser estoques, equipamentos ou escritórios e precisam ser inseridos no modelo com uma posição inicial, um “chute” que indica o ponto de partida pro algoritmo. O canteiro, como mostra a **Figura 1**, possui elementos fixos, espaços não disponíveis, espaços fora do canteiro e espaços livres. Os elementos, quando alocados nos espaços, são representados por números.

Figura 1: Exemplo de canteiro

Canteiro									
	Posição X								
Posição Y	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0									
1						2			
2							3		
3									
4		6							
5							5		4
6	1			7	8				
7									
8									

Legenda	
	Elemento fixo
	Espaço não disponível
	Espaço fora do canteiro
	Espaço disponível

Fonte: Os autores.

Função Objetivo: É necessário que o usuário preencha uma matriz triangular indicando a prioridade de proximidade entre os elementos. Assim, cada combinação tem um valor associado que vai representar a importância da distância entre eles serem menores. O usuário especifica numericamente os pesos que atuam

sobre as distâncias entre os elementos, quanto maior o peso maior a proximidade que o modelo tentará alcançar entre os elementos**.** O próximo passo é calcular a distância real entre os pontos considerando como referência o centro dos elementos. Por se tratar de uma abordagem simplificada é tomada a distância geométrica não levando em conta obstruções no caminho, as Equações 1 a 3 mostram o cálculo.

$$\boldsymbol{Dx_{ij} = X_j - X_i} \quad (1)$$

$$\boldsymbol{Dy_{ij} = Y_j - Y_i} \quad (2)$$

$$\boldsymbol{D_{ij} = \sqrt{Dx_{ij}^{\,2} + Dy_{ij}^{\,2}}} \quad (3)$$

Onde:
$\boldsymbol{Dx_{ij}}$ = distância horizontal entre elementos;
$\boldsymbol{Dy_{ij}}$ = distância vertical entre elementos;
$\boldsymbol{X_i}$ e $\boldsymbol{X_j}$ = coordenadas horizontais dos elementos comparados;
$\boldsymbol{Y_i}$ e $\boldsymbol{Y_j}$ = coordenadas verticais dos elementos comparados;
$\boldsymbol{D_{ij}}$ = distância geométrica entre elementos.

Por fim, define-se a função objetivo, na planilha este será o somatório da multiplicação das distancias geométricas e os pesos adotados entre as células, Equação 4. Assume-se esta célula como sendo o custo associado a movimentação entres os elementos.

$$\boldsymbol{C_t = \sum D_{ij} C_{ij}} \quad (4)$$

Onde:
$\boldsymbol{C_t}$ = custo total associado ao transporte dentro do canteiro;
$\boldsymbol{D_{ij}}$ = distância geométrica entre elementos;
$\boldsymbol{C_{ij}}$ = custo (peso) associado a distância entre elementos comparados;

Avaliação: As coordenadas dos elementos precisam ser checadas para impedi-las de assumirem alguma posição não disponível. Estas células não podem assumir valores fora do espaço do canteiro, células indisponíveis ou valores negativos. A checagem é realizada por meio da inserção de restrições no algoritmo. Outra estratégia que a modelagem permite é a de fixar as coordenadas de um elemento, assim, pode-se por exemplo fazer com que determinado estoque esteja localizado nas bordas do canteiro para ser abastecido diretamente da via de acesso, entre outras possibilidades. Para garantir que os elementos não se sobreponham é necessária uma restrição de que D_{ij} seja no mínimo 1. Caso seja desejado, é possível utilizar uma restrição para garantir a distância entres dois elementos tanto vertical quanto horizontal, fazendo com que eles variem a posição sem variar as distâncias entre eles.

Otimização: O algoritmo de otimização deverá minimizar a função objetivo variando as coordenadas dos elementos e respeitando todas as restrições. Este fará várias iterações dos processos 2 a 11 do **Quadro 1**, buscando a iteração com o melhor resultado, ou seja, a que retorna o menor valor da função objetivo. O algoritmo utilizado foi o Método de Resolução Evolutiva ou “Evolutionary” para otimização não suave, que usa uma variedade de algoritmos genéticos heurísticos e métodos de busca locais (FrontlineSolvers, 2018). Foi realizada algumas otimizações de teste para buscar encontrar a melhor configuração dos parâmetros: convergência, taxa de mutação, tamanho da população; propagação aleatória e tempo máximo sem aperfeiçoamento.

A segunda etapa considera a aplicação do modelo proposto a um problema com solução conhecida para avaliação dos resultados. Foi utilizado o problema resolvido por Hegazy e Elbeltagi (2000), este foi escolhido por apresentar uma solução baseada em planilhas e utilizar o mesmo sistema de ponderação das distâncias, de modo que a função objetivo tinha a mesma dimensão da proposta neste trabalho podendo ser comparada diretamente.

Quadro 1: Resumo da formulação

ETAPA	TIPO	EXPLICAÇÃO
1	Usuário	O usuário deve definir quais as variáveis, "chutar" coordenadas para cada uma e definir quantas linhas e colunas o canteiro deve ter
2	Restrição	As varáveis que compõem as condenadas devem ser números inteiros
3	Restrição	As coordenadas não podem assumir valores fora dos limites definidos pelo usuário
4	Fórmula	As variáveis são truncadas para não ter decimais, "ARRED", para evitar a otimização com inteiros
5	Fórmula	As coordenadas são checadas com a lista de coordenadas não disponíveis, utilizando a formula "E" em forma matricial, quando uma não disponível é adotada a função retorna "VERDADEIRO
6	Restrição	Um "CONT.SE" conta a quantidade de verdadeiros na lista, a restrição é que esse valor deve ser 0
7	Fórmula	Utilizando "PROC.V" as coordenadas das células são subtraídas, em X e em Y, para cada par de elementos
8	Fórmula	As distancias vertical e horizontal entre cada par de célula é utilizado para calcular a distância geométrica
9	Restrição	A distância geométrica mínima entre os pares é 1
10	Restrição	Pode estar fixada a distância entre determinados elementos ou uma coordenada especifica.
11	Fórmula	A matriz com as distâncias geométrica é multiplicada com a dos pesos e os resultados somados, usando a função "SOMARPRODUTO". Esta é a função objetivo que será otimizada

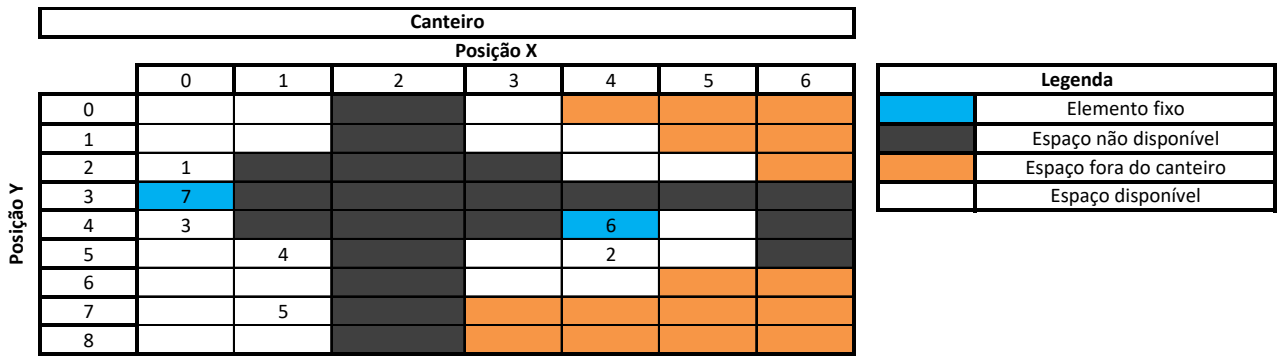
Fonte: Os autores.

3 RESULTADOS

O canteiro da **Figura 2** foi utilizado para a aplicação do modelo proposto, na imagem já é mostrada a solução otimizada por (Hegazy e Elbeltagi, 2000) e na **Figura 3** a matriz triangular de pesos adotada pelos autores, esta remete uma forte preferência do gerente da obra pela proximidade de alguns elementos. Além da forma, o canteiro tem como caraterísticas: ter de alocar sete elementos de canteiro, os elementos 6 e 7 são fixos e a distância horizontal e vertical entre o elemento 1 e 4 deve ser, respectivamente, um e três.

Os autores utilizaram uma planilha para construção do modelo, porém adotaram um processo de solução diferente. As variáveis deste modelo eram todos os espaços disponíveis no canteiro, de modo que todos os espaços variavam e eram checados quanto a existência de elementos repetidos ou sobreposto, só então as distâncias eram calculadas. No canteiro da **Figura 2** a função objetivo tem valor de 22611 unidades de custo.

Figura 2: Canteiro de referência



Fonte: Adaptado de (HEGAZY; ELBELTAGI, 2000)

Figura 3: Matriz de pesos

Pesos						
Unid	7	6	5	4	3	2
1	7500	0	10	1	1	1
2	1	7500	1	1	1	
3	7500	1	1	1		
4	1	1	1			
5	0	0				
6	0					

Fonte: Adaptado de (HEGAZY; ELBELTAGI, 2000)

O modelo proposto, resumido no **Quadro 1**, foi aplicado e o resultado da planilha, após a otimização, será disposto nesta sessão. Um trecho da checagem das variáveis se encontra na **Figura 4** e as distâncias calculadas estão na **Figura 5**, ambas respeitando todas as restrições do modelo. A otimização levou poucos

minutos em um computador atual, os parâmetros do algoritmo foram: convergência 0,0001; taxa de mutação 0,075; tamanho da população 1000; propagação aleatória 1; e tempo máximo sem aperfeiçoamento 45 s. O canteiro de melhor solução é o da **Figura 6**.

Figura 4: Checagem da posição

Unid	X	Y	1	2	1	3	1	4	2	0
1	0	2	FALSO		FALSO		FALSO		FALSO	
2	4	5	FALSO		FALSO		FALSO		FALSO	
3	0	4	FALSO		FALSO		FALSO		FALSO	
4	1	5	FALSO		FALSO		FALSO		FALSO	
5	0	1	FALSO		FALSO		FALSO		FALSO	
6	4	4	FALSO		FALSO		FALSO		FALSO	
7	0	3	FALSO		FALSO		FALSO		FALSO	
	Checagem		0		0		0		0	
	Restrição		**0**							

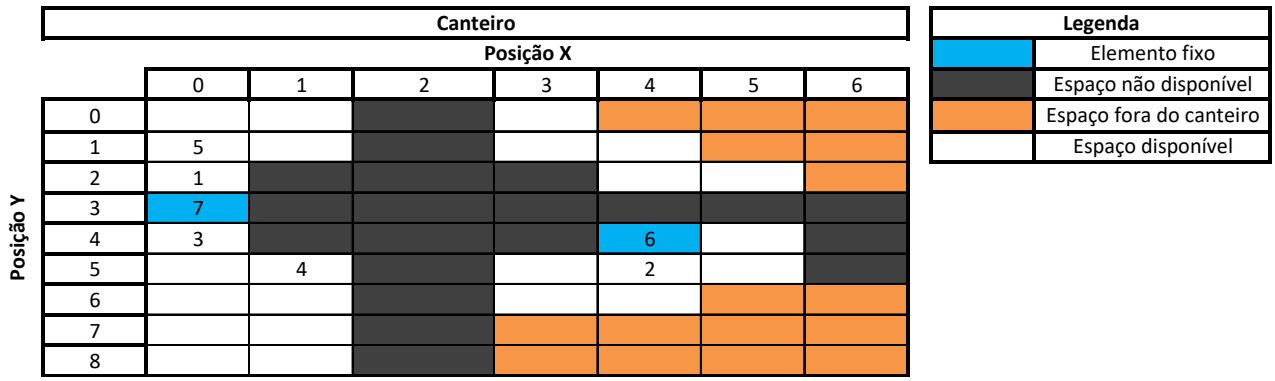
Fonte: Os autores.

Figura 5: Distâncias geométricas

Distancia total						
Unid	7	6	5	4	3	2
1	1,00	4,47	1,00	3,16	2,00	5,00
2	4,47	1,00	5,66	3,00	4,12	
3	1,00	4,00	3,00	1,41		
4	2,24	3,16	4,12			
5	2,00	5,00				
6	4,12					

Fonte: Os autores.

Figura 6: Nova solução proposta



Fonte: Os autores.

A função objetivo minimizada retornou o valor de 22555,35 unidades de custo que comparado ao estudo de referência é um resultado de 55,65 unidades de custo menor, ou seja, o modelo proposto encontrou um resultado 0,25% menor. Os *layouts* foram semelhantes, a única diferença é a posição do elemento 5, provavelmente o resultado alcançado neste trabalho conseguiu fugir do mínimo local do problema de referência. Isso mostra que o modelo proposto é viável para a aplicação no estudado de caso, chegando neste caso especifico a resultados satisfatórios quando comparado a referência. O modelo proposto tem 14 variáveis, enquanto o de Hegazy e Elbeltagi (2000) apresentava 43, devido ao modo como foi implementado. Em termos de esforço computacional o modelo proposto consegue realizar mais iterações em menos tempo.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo proposto foi desenvolvido em Excel que tem uma presença dominante nos canteiros e escritórios de engenharia, dessa forma acessível. Além disso, apresentou resultados satisfatórios na aplicação. Logo, sugere-se esta implementação como abordagem inicial para o problema de alocação do canteiro, de posse do layout otimizado é possível fazer considerações e reajuste. A modelagem do canteiro proposta pode ser

generalizada para canteiros diferentes, desde que se respeite as premissas. Embora este modelo possa ser aprimorado para englobar outros fatores que influenciam no posicionamento, acredita-se que ele possa ser uma ferramenta para agilizar o processo de planejamento.

REFERÊNCIAS

ADRIAN, A. M.; UTAMIMA, A.; WANG, K. J. A comparative study of GA, PSO and ACO for solving construction site layout optimization. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 19, n. 3, p. 520–527, 2015.

DEB, K.; KALYANMOY, D. **Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms**. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2001.

FRONTLINESOLVERS. **EXCEL SOLVER - ALGORITHMS AND METHODS USED**. Disponível em: <https://www.solver.com/excel-solver-algorithms-and-methods-used>. Acesso em: 10 out. 2018.

HEGAZY, T.; ELBELTAGI, E. Simplified Spreadsheet Solutions: A Model for Site Layout Planning. **Cost Engineering**, v. 42, n. 1, 2000.

JALAEI, F.; JRADE, A. Current Trends in Construction Site Layout Planning Samaneh. **Construction Research Congress 2014**, n. 2008, p. 140–149, 2014.

KHALAFALLAH, A.; EL-RAYES, K. Automated multi-objective optimization system for airport site layouts. **Automation in Construction**, v. 20, n. 4, p. 313–320, 2011.

MAWDESLEY, M. J.; AL-JIBOURI, S. H.; YANG, H. Genetic Algorithms for Construction Site Layout in Project Planning. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 128, n. 5, p. 418–426, 2002.

NING, X.; LAM, K.-C.; LAM, M. C.-K. Dynamic construction site layout planning using max-min ant system. **Automation in Construction**, v. 19, n. 1, p. 55–65, 2010.

SAID, H.; EL-RAYES, K. Performance of global optimization models for dynamic site layout planning of construction projects. **Automation in Construction**, v. 36, p. 71–78, 2013.

SAURIN, T. A.; FORMOSO, C. T. **Planejamento de Canteiros de Obra e Gestão de Processos**: Gestão da Qualidade na Construção Civil: estratégias e melhorias de processos em empresas de pequeno porte. [s.l: s.n.].

WARREN LIAO, T. *et al.* Metaheuristics for project and construction management-A state-of-the-art review. **Automation in Construction**, v. 20, p. 491–505, 2011.

XU, J.; LI, Z. Multi-objective dynamic construction site layout planning in fuzzy random environment. **Automation in Construction**, v. 27, p. 155–169, 2012.

YAHYA, M.; SAKA, M. P. Construction site layout planning using multi-objective artificial bee colony algorithm with Levy flights. **Automation in Construction**, v. 38, p. 14–29, 2014.