PRODUTO & PRODUÇÃO, vol. 27, n.3, p. 82-113. 2026[*].

Planejamento do *layout* do canteiro de obras: estudo de caso de um empreendimento da indústria da construção civil utilizando a metodologia *Systematic Layout Planning* (SLP)

Arthur Beilfuss Helbig
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
e-mail: abhelbig@gmail.com
https://orcid.org/0009-0003-9692-6472

Cláudia Medianeira Cruz Rodrigues
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
e-mail: claudiacruzrodrigues@ufrgs.br
https://orcid.org/0000-0003-1510-6169

Cristiane Sardin Padilla de Oliveira
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
e-mail: cristiane.sardin@ufrgs.br
https://orcid.org/0009-0007-5025-8877

[*] RECEBIDO em 02/11/2025. ACEITO em 13/10/2026.

Resumo
Este estudo aborda a concepção de um *layout* de canteiro de obras para um empreendimento na área da construção civil por meio da aplicação do *Systematic Layout Planning* (SLP). O trabalho foi desenvolvido seguindo os procedimentos descritos pelo método, entendendo a realidade existente no canteiro de obras base do estudo, aprofundando o conhecimento de fluxos existentes e propondo melhorias que acelerassem a agregação de valor na medida que reduzissem as perdas. Por meio de diagramas de inter-relação foi possível constatar a grande relevância dos equipamentos de transporte vertical, sendo a mini grua preponderante para a fluidez do arranjo físico elaborado. Além disso, a distância entre centrais produtoras e locais de estocagem foi otimizada, aproximando as áreas e, consequentemente, acelerando a movimentação de insumos e produtos. Com isso, foi possível sugerir um *layout* que valorizasse a segurança e conforto de todos os agentes envolvidos, estruturando rotas de movimentação que não gerassem interferências e nem expusessem funcionários a riscos. O trabalho cumpriu os objetivos propostos, demonstrando que a aplicação de uma metodologia técnica pode proporcionar ganhos significativos ao funcionamento global de um canteiro de obras.

Palavras-chave: Layout de canteiro de obras; Planejamento; Systematic Layout Planning.

Abstract
This manuscript addresses the conception of a construction site layout for a construction project through the application of Systematic Layout Planning (SLP). The study was developed following the procedures described by the methodology, understanding the reality existing at the construction site that is the basis of the study, with the existing flows and proposing improvements that accelerate value addition while reducing loses. Through the interrelationship diagrams, it was possible to verify the huge relevance of vertical transport equipments, presenting the mini-crane as the most important in the fluidity of the physical arrangement created. Besides, the distance between production centers and storage was optimized, nearing the areas and, consequently, accelerating the movement of inputs and products. Therefore, it was possible to suggest a layout which values safety and comfort of everyone involved, structuring movements routes that neither generate interferences, nor expose employees to risk. The assignment fulfilled its proposed objectives, showing that the application of a technical methodology can provide gains to the global functioning of a construction site.

Keywords: *Construction site layout; Planning; Systematic Layout Planning.*

1. Introdução.

Em uma realidade de aumento do preço dos insumos, a busca por aperfeiçoamento dos métodos produtivos deve ser o foco principal de qualquer setor que queira se manter viável. A construção civil vem passando por processos que modificaram as soluções adotadas e trouxeram novas perspectivas gerenciais ao canteiro de obras. Entretanto, as ferramentas aplicadas ainda não estão plenamente desenvolvidas e algumas etapas acabam sendo banalizadas, o que resulta em um setor atrasado, com perda de produtividade, sendo o canteiro de obras reconhecido como um ambiente caótico.

A produtividade brasileira é inferior à encontrada em países desenvolvidos, especialmente na construção civil. Segundo a FGV (Boletim Macro, 2023), a construção civil apresentou 0,6% de perda de produtividade no período de 1995 a 2022. A indústria de transformação, aquela que transforma a matéria-prima em produto, também sofreu perdas, tendo sua produtividade reduzida em 0,9%. Em contrapartida, o setor de serviços e a agropecuária tiveram ganhos de 0,2% e 5,5%, respectivamente. Esses resultados conduzem a questionamentos das práticas adotadas, e de como as metodologias de outros setores podem colaborar para avanços na indústria da construção civil.

Apesar de não apresentar evolução no cenário nacional, a indústria de transformação cresceu de produtividade no âmbito internacional. Segundo dados do *BLS* (2025), a produtividade americana cresceu anualmente 2,1% desde 1947, posicionando o país no 10º lugar do *ranking* de produtividade da *World Population Review* (2025). O crescimento pode ser justificado pela implementação de novas tecnologias, as quais permitiram a padronização de processos, a redução de desperdícios e a automatização de atividades. De acordo com Ramos (2023), o conceito de *Smart Consumption* da Indústria 4.0 pode ser um exemplo desse melhor aproveitamento de recursos, gerando ambientes melhor planejados torna-se possível reduzir a perda de material e melhorar a eficiência no consumo de energia e água por meio da gestão inteligente de parâmetros externos e internos. O *Smart Working*, por sua vez, conseguiu entender as necessidades dos trabalhadores, criando ambientes de trabalho mais seguros e integrados às atividades de cada operador, resultando em ganhos na qualidade de vida do operário e, por consequência, ganho na produtividade. De mesma forma, o *Smart Product* pode proporcionar a concepção de produtos mais eficientes e gerenciáveis, permitindo o controle de características dos produtos desde a fabricação até a operação, resultando na maior maleabilidade ao atendimento das necessidades dos usuários.

Outro fator importante a se considerar é o pouco investimento em planejamento. O Brasil utiliza apenas 40% do tempo investido pelo Japão nas etapas de planejamento, por exemplo (Exame, 2015). Os impactos dessa prática na construção civil são problemas que não são vistos com antecedência, fazendo com que se tenham obras com falhas de execução, falta de qualidade e atrasos ditos como normais ao setor.

No entanto, conduzido por um movimento de produção enxuta, fruto do Toyotismo, a construção civil tem sido capaz de incorporar inovações trazidas, principalmente, pelo *lean construction*. Conforme citado por Isatto (2000, p. 6), o modelo tradicional de construção costuma definir sua "[...] produção como um conjunto de atividades de conversão, que transforma os insumos (materiais, informação) em produtos intermediários (por exemplo, alvenaria, estrutura, revestimentos) ou final (edificação)". Já o modelo do *lean construction* considera os processos sob uma ótica de fluxo, analisando as movimentações, suas perdas e agregação de valor. Para isso, Koskela (1992) afirma que o processo construtivo deve ser analisado sob duas perspectivas de fluxos distintas que, por momentos, se inter-relacionam: fluxo de materiais e fluxo de trabalho. As movimentações de insumos (matéria-prima) ou de produtos intermediários e finais pelo arranjo físico do canteiro podem ser caracterizadas como fluxo de materiais. Já a movimentação de equipes dentro do *layout* é considerada fluxo de trabalho.

A industrialização na construção também tem ganhado relevância. Impulsionada por sistemas de rápida execução, com maior controle e menor custo, a construção civil tem se mostrado favorável à implementação dessa prática, ainda que esteja presente em menor escala quando comparada à construção convencional. Muitas vezes, essa metodologia construtiva beneficia o empreendimento quando transporta o canteiro de obras para um ambiente físico controlado e estruturado, sendo possível elaborar linhas produtivas racionais, que consideram a construção do produto desde o estoque de insumos até sua finalização.

Fato é que a indústria da construção civil recebeu atualizações tecnológicas. Muitos *softwares* foram e continuam sendo implementados, mas com foco direcionado majoritariamente para as

atividades gerenciais do canteiro de obra, e não para o seu arranjo físico. Exemplos dessa realidade são *softwares* de planejamento, os quais permitem a estruturação de cronogramas mais dinâmicos e precisos, *softwares* de compatibilização, os quais permitem a identificação de interferências entre sistemas antes que o problema apareça na execução, e *softwares* de controle financeiro, os quais permitem acesso rápido sobre os gastos realizados pelas obras. No entanto, pouca atenção tem sido dada à estruturação da fábrica da edificação: o canteiro de obras.

Por mais que um canteiro de obras possa parecer visivelmente organizado, não necessariamente seu funcionamento é eficiente. Infelizmente, na maioria das vezes, a estruturação e o planejamento do *layout* não advém de fundamentação teórica, sendo realizada por gerentes que geralmente aprendem a realizar tal atividade somente através da tentativa e erro, ao longo de muitos anos de trabalho (Tommelein, 1992 apud Saurin; Formoso, 2006). Além disso, o canteiro de obras possui dificultadores que aumentam a ocorrência de problemas quando comparado a indústrias manufatureiras convencionais (com linha de produção, áreas de inspeção, setor administrativo, e demais setores). O produto da construção civil não é móvel, e é produzido na sua posição final, tendo suas partes utilizadas como áreas de apoio antes de sua entrega. Essa realidade faz com que as etapas construtivas sejam muito dinâmicas, sendo desenvolvidos *layouts* que podem perdurar até o fim da obra ou por poucas semanas. Esses dificultadores, por sua vez, conduzem a um cenário de que o planejamento do *layout* já deve considerar sua modificação futura conforme o avanço físico do empreendimento progride.

Dessa maneira, pode-se observar que despender esforços na estruturação do canteiro de obras pode ser fator proeminente para o desenvolvimento de uma produção mais racionalizada. A própria indústria da construção civil já possui algumas metodologias que podem facilitar o planejamento de *layout* e gerar ganhos de produtividade. Conforme Saurin e Formoso (2006), o planejamento de canteiro de obras deve ser fruto de quatro etapas. Primeiramente, deve-se realizar o diagnóstico de canteiros de obra existentes, permitindo que as construtoras evidenciem os seus gargalos de produção e suas perdas, de forma a compreender os erros na disposição atual de cada uma de suas obras. O segundo passo consiste em padronizar as instalações, ou seja, criar especificações do que se espera de um canteiro de obras típico de uma determinada construtora. Além disso, engloba também especificar qual a metodologia de planejamento para o canteiro que deve ser utilizada, de maneira a integrar os padrões esperados com as limitações impostas por cada obra separadamente. Em sequência, realiza-se a atividade de planejamento propriamente dita. A partir dos dados coletados, dos padrões impostos e das restrições identificadas, pode-se posicionar as estruturas necessárias para o desenvolvimento das atividades de construção do empreendimento de maneira eficaz e econômica. Por fim, entende-se que o canteiro, sendo ele um arranjo físico dinâmico, deve passar por constantes atualizações de forma a garantir a sua organização e eficiência. Esse é um processo de melhoria constante, que se estende até a entrega do empreendimento e tem os reflexos marcados na qualidade do produto entregue.

Apesar de ser ferramenta útil para a estruturação do ato de planejar, a metodologia apresentada não desenvolve um sistema que auxilie na efetiva alocação de áreas no canteiro de obras. Dessa forma, surge a necessidade de observar práticas adotadas em outros setores, de forma a gerar maneiras rápidas e eficientes de posicionar as estruturas do canteiro de obras. Uma dessas metodologias é o *Systematic Layout Planning* (SLP) que permite uma análise qualitativa das relações existentes entre diferentes áreas de trabalho orientando os seus posicionamentos. Por meio de uma estruturação teórica aplicada à prática é possível verificar prováveis ganhos de produtividade reduzindo deslocamentos desnecessários, melhorando a segurança no trabalho e intensificando os efeitos das atividades que agregam valor à edificação. Entende-se, neste estudo, a concepção de valor conforme menciona Koskela (2000), como sendo o atendimento das necessidades daqueles envolvidos no processo de construção da edificação: construtora (maior produtividade), gestores (maior controle operacional) e trabalhadores (mais segurança e menores deslocamentos). Dessa maneira, a redução de etapas não agregadoras de valor contribui para a menor geração de desperdícios e na maior proximidade entre aquilo que o produtor entende e aquilo que o cliente percebe como valor agregado (Koskela, 2000).

Com isso, o objetivo principal deste trabalho é propor um *layout* de canteiro de obras eficiente, com redução de deslocamentos e otimização do tempo de trabalho. Para isso, o estudo tem como base o canteiro de um empreendimento de alto padrão pertencente a uma construtora de médio porte da cidade de Porto Alegre/RS. Em caráter secundário, pretende-se analisar o canteiro de obras existente para a construção da edificação evidenciando as atividades de maior valor agregado na construção de um

edifício, apresentar o grau de interligação entre diferentes setores da obra e quantificar a área necessária para cada atividade, posicionando os elementos dentro do espaço disponível para o canteiro de obras.

Na seção seguinte, estão descritos os preceitos literários que servem de embasamento para a concepção deste trabalho. O conhecimento de metodologias gerenciais, identificação de perdas e a estruturação do modelo SLP são descritos detalhadamente de forma a providenciar motivos para sua análise e criar soluções para as problemáticas identificadas.

2. Revisão de literatura.

A seguir estão abordados aspectos relacionados à otimização de processos sob a perspectiva do *lean construction*, a perdas na construção civil e à estruturação de *layouts* de canteiro de obras por meio de metodologias existentes em outras disciplinas.

2.1. Otimização de processo sob a perspectiva do *Lean Construction*.

Desenvolvido pelos japoneses em 1950, o *Lean Manufacturing* (primeiramente chamado de Sistema Toyota de Produção - STP) teve como objetivo ajudar na recuperação econômica de um país devastado pela Segunda Guerra Mundial. O objetivo da nova filosofia de produção consistia em fabricar bens de alta qualidade despendendo o mínimo possível de recursos financeiros. Para isso, os engenheiros industriais Taiichi Ohno e Eiji Toyoda buscaram introduzir uma visão diferente da aplicada naquela realidade. Conforme descrito por Shingo (1996, p. 101), o sistema inovador "[...] visa a eliminação total das perdas". Nessa perspectiva a análise do processo produtivo não fica centrada apenas na otimização do produto, mas também em todas as suas interfaces (equipamentos, áreas de trabalho, trabalhadores, entre outros), promovendo modificações, de forma a eliminar as perdas consideradas inerentes ao trabalho diário.

Entre os princípios introduzidos naquele interim, o *Just-in-Time* adquiriu relevância e popularizou o sistema. Por meio da eliminação de estoques e da redução do tamanho dos lotes de trabalho, foi possível estruturar uma produção fabril sob demanda, na qual os recursos produtivos não ficavam armazenados em estoques, só entrando na fábrica no instante necessário ao seu uso. Essa prática tornou possível a redução de investimentos, tanto em áreas de estocagem, como na própria matéria-prima, a qual não precisava ser manuseada várias vezes até a sua utilização na produção.

Essa nascente filosofia de produção foi vista como positiva, pois gerou ganhos significativos e conseguiu introduzir uma nova forma de competição no mercado. O ramo da construção civil observou que poderia se beneficiar das inovações trazidas pelo STP integrando práticas das fábricas de automóveis ao canteiro de obras. Com isso, surge o *Lean Construction* – termo criado em 1997 por Glenn Ballard e Greg Howell para designar e consolidar uma série de práticas que vinham sendo implementadas na construção civil com o objetivo de melhorar a produtividade e estabelecer maior controle sobre o canteiro de obras.

Koskela (2000), por sua vez, estruturou a teoria de gestão da produção em cinco pontos principais:

a) reduzir *lead time* (tempo de espera): o *lead time* é o "[...] tempo requerido para uma determinada peça de material atravessar o fluxo."(Koskela, 2000, p. 58), sendo assim formado pela soma dos tempos de processamento, inspeção, espera e transporte. Logo, sua redução deve buscar a efetividade, atuando principalmente nos três últimos passos através da diminuição de retrabalho. Um exemplo dessa situação está na movimentação de cargas em um canteiro de obras, onde se tem uma área destinada ao recebimento do material, depois um tempo de deslocamento até a área de estocagem para que, ao final, a matéria-prima seja transportada até seu local de produção. O próprio tempo de produção pode também ser reduzido caso ocorra uma melhor estruturação do arranjo físico, aproximando as áreas de trabalho de um mesmo fluxo de material. Dessa forma, torna-se possível englobar mais ciclos produtivos dentro do tempo primeiramente disponibilizado;

b) reduzir variabilidade: a variabilidade é um processo moroso de redução, uma vez que as práticas de maior efetividade são as mais sonegadas no âmbito do canteiro de obras. Ferramentas para sua redução seriam treinamentos de equipes, manutenção preventiva de equipamentos, estabelecimento de padrões construtivos e maior interligação entre equipes de trabalho. No entanto, essas práticas não

são adotadas pela maioria das empresas, se restringindo a aplicações de construtoras de maior porte, que englobam normas ISO por exemplo;

c) simplificação: estando diretamente ligada à construção de um bem, a simplificação é inversamente proporcional ao número de etapas exigidas para o desenvolvimento de um produto, ou seja, quanto mais processos, mais complexo se torna. Com isso, a simplificação atua reduzindo o número de componentes do produto ou o número de etapas no fluxo, tornando-o mais enxuto. Outra medida adotada está na eliminação de etapas que não agregam valor, entendidas por Koskela (2000) como sendo as atividades que não influenciam na percepção do cliente no produto final adquirido, ou através da reconfiguração dos passos que agregam valor para que esses se tornem mais eficientes. Com isso, conclui-se que simplificar o produto/modo de construção pode ser a chave para reduzir retrabalhos e tornar o fluxo mais fluido. Observa-se, também, que a redução de etapas não agregadoras de valor resulta no menor desvio entre aquilo que o produtor entende e aquilo que o cliente percebe como valor agregado, conforme explica Koskela (2000);

d) aumentar flexibilidade: a flexibilização significa, na maioria dos casos, a prática da modularidade, seja daquilo que se produz ou de como é produzido. A adoção de *layouts* modulares, por exemplo, permite rápido intercâmbio de áreas de trabalho, possibilitando que essas sejam incrementadas para modificar o que se está produzindo ou para que aumentem o volume de produtos finalizados. As práticas adotadas para o aumento da flexibilidade podem também ser de ordem humana quando há o desenvolvimento de equipes de trabalho multidisciplinares que podem rapidamente modificar a produção por completo;

e) aumentar transparência: possibilitar a disseminação de determinadas informações dentro da cadeia produtiva permite a atuação precisa do conhecimento de todos os envolvidos no processo. Sabendo os objetivos finais da produção, torna-se possível formar equipes mais engajadas que se auto regulam para aumentar a qualidade dos produtos e reduzir o tempo gasto na produção. No canteiro de obras, sistemas como *andon* podem ser utilizados para facilitar o monitoramento do que se está produzindo, qual setor está em obras e o tempo gasto na atividade.

Os cinco princípios descritos envolvem um tema em comum: valor agregado. O objetivo final da análise proposta por Koskela (2000) pode ser resumida na eliminação das atividades que não agregam valor e no aumento da eficiência daquelas que agregam seguindo os pressupostos da teoria *Transformation-Flow-Value*. Com isso, na necessidade da retirada das atividades ditas dispensáveis, a estruturação do sistema recebe grande relevância, uma vez que as perdas presentes nesse processo produtivo são, preponderantemente, fruto do arranjo físico. Sendo assim, é o *layout* que dita a quantidade de perdas originadas da movimentação de material de uma estação de trabalho para outra. Paralelamente, a intensificação da eficiência das atividades que agregam valor deve ser feita por meio de maior controle de qualidade e do seu cumprimento, uma vez que a imposição de novos padrões deve ser acompanhada de treinamentos a todos os envolvidos. Caso o processo não seja aplicado por completo, o cenário se inverte e as perdas aumentam.

Desta forma, surge a necessidade de focar atenção na estruturação da produção, com objetivo de entender o que agrega valor e como intensificá-la pela redução de perdas. Para isso, Antunes (1994) considera que existem duas óticas de visualização da produção: processo e operação. O processo pode ser entendido como o "[...] fluxo de materiais ou produtos de um trabalhador para outros." (Antunes, 1994, p. 34). Nesse cenário, observa-se a transformação gradativa de matéria-prima em produtos finais conforme o trabalho é aplicado nas estações de serviço. Já a operação pode ser entendida como a "[...] análise do comportamento humano no tempo e espaço" (Antunes, 1994, p. 34). Isso significa que, quando se foca na operação, tem-se grande atenção aos fatores humanos envolvidos no processo, abordando como os trabalhadores operam máquinas, ferramentas e como esses equipamentos se deslocam no arranjo físico fabril. Para esclarecimento, pode-se entender a operação como sendo a atividade secundária que por ora agrega valor ao produto, por ora pode ser eliminada.

Shingo (1996) acredita que as operações consistem no trabalho aplicado para a transformação da matéria-prima, sendo caracterizada pela formação do produto final e por toda movimentação auxiliar. Com isso, ele considera que a operação deve ser claramente dividida entre atividades que modificam a qualidade do produto e atividades que se restringem à movimentação não objetiva. Ou seja, a eficiência operacional de um *layout* se dá pela efetividade de movimentação, fazendo com que uma quantidade menor de atividades seja responsável por agregar maior valor ao produto.

Com isso, sendo a operação um passo secundário na melhoria da eficiência, o processo deve ser o foco do esforço de otimização. Shingo (1996) entende que é o processo que impulsiona o cumprimento das principais metas de produção, sendo o resultado de um processo com excelência o aumento do valor agregado do produto. Com isso, o melhoramento do processo pode advir de duas maneiras principais, em que ou modifica-se o produto ou a forma como ele é feito e, para isso, reestrutura-se o *layout*.

Aumentar a eficiência do processo advém de entender como ele se estrutura. Shingo (1996) refere que esse deve ser visto sob a ótica de quatro componentes: (i) processamento, (ii) inspeção, (iii) transporte e (iv) espera. Sendo o processamento/transformação a única atividade efetivamente agregadora de valor, as demais etapas devem ser eliminadas ou reduzidas. A inspeção pode ser reduzida a partir do aumento da confiabilidade daquilo que se produz, ou seja, o treinamento de equipes pode ser realizado para que o padrão de qualidade seja estabelecido e o trabalhador passe a construir o produto e inspecionar o mesmo. O transporte e a espera, por sua vez, conseguem ser reduzidos a partir do maior controle da produção e da minimização das distâncias de deslocamento, estruturando um arranjo físico fluido e que permita o desenvolvimento do produto sem *delay* e sem acúmulo. Afinal, a superprodução, sob a perspectiva da produção enxuta, também é considerada perda, uma vez que foi aplicado dinheiro, tempo e trabalho na construção de um produto que fica armazenado sem cumprir sua função. Ademais, cabe ressaltar que, apesar de máquinas poderem ser aplicadas para acelerar a etapa de transporte, o foco não está em agilizar o processo, mas sim em eliminar a sua necessidade.

Além disso, torna-se importante entender quando a otimização do processo deve ser realizada no canteiro de obras. Contrário ao senso comum estabelecido no âmbito do gerenciamento de obras, o *layout* do canteiro deve ser previsto já na etapa de projeto, de forma que se estruture um empreendimento eficiente em sua construção, sem abrir mão de aspectos técnicos e estéticos. Quando uma análise aprofundada é realizada, pode-se perceber que nas etapas de planejamento e projeto qualquer decisão tomada tem o máximo impacto e o menor custo, pois uma alteração resulta apenas na modificação virtual de concepções que não necessitarão de aplicação direta de dinheiro. Em contrapartida, caso a análise seja postergada para etapas posteriores, o impacto da decisão é menos eficaz e o custo envolvido é maior já que essa fase demanda a necessidade de deslocamento de estruturas físicas, o que custa dinheiro. Essa análise é descrita por Mattos (2010) como uma oportunidade construtiva (quando o impacto prevalece ao custo) ou uma oportunidade destrutiva (quando o custo prevalece ao impacto).

Por fim, a reestruturação de um arranjo físico vai muito além do simples posicionamento de áreas de trabalho. Certos procedimentos podem e devem ser aplicados para que o correto ajuste no *layout* seja capaz de eliminar ou reduzir perdas reais e virtuais (aquelas que não são visíveis, mas existem, como a movimentação de um mesmo material para duas zonas de estocagem distintas). O melhoramento do arranjo físico para incremento da eficiência produtiva pode ser guiado pelas práticas do *lean construction.* O desenvolvimento de uma produção racionalizada então só pode ser plenamente eficaz quando se tem a manutenção de um fluxo contínuo de inovação e da busca pela perfeição produtiva. Para isso, na próxima seção estão abordados aspectos relacionados ao canteiro de obras, sua estruturação e como metodologias aplicadas a outros ramos podem introduzir uma nova visão "*lean"* no seu arranjo físico.

2.2. Do caos à eficiência: estruturação do canteiro de obras.

Conforme a NR18 (Brasil, 1978b), o canteiro de obras pode ser definido como uma área de trabalho onde se desenvolve a execução do empreendimento e se encontram suas estruturas de apoio para construção, demolição, montagem ou reforma. Sendo ele, o chão fabril de toda a produção construtiva, o canteiro de obras tem sido pouco abordado, com sua implantação realizada de maneira desordenada e impensada. A introdução sequencial de atividades acaba por torná-lo ainda mais caótico, introduzindo novas estruturas de apoio e novas demandas sem realizar um planejamento de como incorporá-las e posicioná-las no espaço físico disponível a fim de garantir a melhor eficiência no *layout*.

O planejamento do canteiro de obras se inicia a partir do entendimento do seu funcionamento e objetivo. Sendo ele uma instalação temporária, o canteiro tem a função de suprir as áreas de trabalho para execução da edificação e, também, atuar como estoque de materiais. Além disso, ele engloba áreas administrativas e de vivência, proporcionando, aos atuantes técnicos e operários, espaços seguros ao trabalho. Ainda assim, é crucial compreender que " [...] um canteiro de obras se modifica ao longo da

execução da obra, diferindo muito quanto aos materiais, serviços, equipamentos e mão de obra que deve comportar" (Souza; Franco, 1997, p. 10).

Os canteiros de obras diferem uns dos outros de acordo com as características da edificação que se pretende construir. No entanto, alguns pontos em comum podem ser observados, Illingwroth (1993 apud Saurin; Formoso, 2006, p. 19) classifica-os em três tipos, a seguir detalhados.

1) Restritos: quando o terreno é completamente ou majoritariamente coberto pela construção. Exemplos típicos desse modelo são as edificações residenciais dos centros urbanos.

2) Amplos: quando o terreno é ocupado, em uma pequena parcela, pela construção. Geralmente, ocorre em construções habitacionais horizontais.

3) Longos e estreitos: quando o terreno é restrito em apenas uma das dimensões, limitando o número de acessos ao canteiro. Típico de obras de infraestrutura e alguns edifícios de centros urbanos.

Entendendo que uma estruturação típica do canteiro de obras é aquela determinada como restrita, deve-se aprofundar os conhecimentos de como planejá-lo. Saurin e Formoso (2006, p. 18) acreditam que "o processo de planejamento do canteiro visa a obter a melhor utilização do espaço físico disponível, de forma a possibilitar que homens e máquinas trabalhem com segurança e eficiência". Sendo assim, torna-se relevante entender o que pode ser considerado um canteiro eficiente e quais os benefícios de uma estruturação planejada.

Segundo Mattos (2010), um planejamento mal executado traz consequências desagradáveis para a obra e a empresa que a constrói. Problemas como atrasos injustificados, erros no orçamento e indisposição do construtor com o seu cliente são apenas algumas evidências dos danos gerados quando o planejamento é banalizado. Em contrapartida, Mattos (2010) também pondera que a minimização dos impactos provém de um processo de planejamento lógico e racional, se baseando em critérios técnicos para melhor atender as necessidades da obra.

No entanto, muitas construtoras, mesmo sabendo e praticando a etapa de planejamento em outros setores, acabam banalizando o arranjo físico do canteiro, passando a responsabilidade para outros. Se evidencia a figura do engenheiro "tocador de obra" que, conforme Mattos (2010), é aquele considerado referência na construção de edificações, tomando decisões baseadas na sua experiência e intuição. Nesse cenário, mesmo com conhecimento, erros são cometidos e, na maioria das vezes, a raiz do problema está justamente em um *layout* desorganizado que gera movimentações desnecessárias e custos à empresa. Assim, o problema por si só não é identificado como sendo do *layout*, e a mão de obra acaba recebendo a fama de improdutiva e "gastadora".

Identificar um canteiro de obras como eficiente pode ser complexo. Muitas vezes, o arranjo físico transmite a aparência de organizado, sem grandes perdas perceptíveis, mas o que ocorre na prática são as perdas que não podem ser percebidas facilmente, como o duplo manuseio, "[...] o qual gera a necessidade de uma operação extra de transporte" (Saurin; Formoso, 2006, p. 78). Com isso, considerar um arranjo físico como positivo deve vir acompanhado não só da redução de perdas reais (materiais desperdiçados) como também de perdas virtuais (por exemplo a necessidade de replanejamento completo do *layout* a cada nova etapa). Por meio de uma estruturação do processo se pode identificar todos os tipos de perdas e atuar para minimizá-las.

Illingworth (1993 apud Saurin; Formoso, 2006) destaca dois pontos importantes para o planejamento do canteiro de obras: i) sempre atacar primeiro a fronteira mais difícil, ou seja, evidenciar a parte da obra que gera maiores interferências e iniciar a construção por ela; ii) criar espaços utilizáveis no nível térreo tão cedo quanto possível, ou seja, liberar a execução da supraestrutura do empreendimento de forma que as instalações provisórias possam se utilizar do espaço já construído, reduzindo trabalho e investimento em sua construção. Com essas regras é possível entender por onde começar a construir, mas elas não evidenciam como posicionar os setores dentro do espaço físico do terreno. Para isso, outros procedimentos podem ser utilizados como o SLP. Essa metodologia vai ao encontro do anteriormente descrito quando Muther e Hales (2015, p. 1-1) afirmam que "O propósito fundamental de qualquer *layout* é facilitar o processo de manufatura", e não o tornar mais complexo. Além disso, deve-se compreender que o ato de planejar deve ser realizado com antecedência, "[...] tão logo quanto a concepção do anteprojeto arquitetônico, de forma a se beneficiar das instalações definitivas" (Saurin; Formoso, 2006, p. 43). A incompreensão desse princípio acaba por gerar *layout*s mal estruturados desde seu surgimento, fazendo com que o custo de qualquer mudança inviabilize o rearranjo para um canteiro de obras eficiente.

O SLP é uma ferramenta que auxilia no desenvolvimento de *layouts*. A partir de dados de entrada, frutos dos processos produtivos, constrói-se diagramas de inter-relação de forma a classificar o grau de interligação entre setores e permitir que o posicionamento das estações de trabalho seja realizado com critérios técnicos. Weil (1979) acredita que o SLP é um sistema eficaz, pois como a construção de um *layout* ótimo é impossível, deve-se procurar aquele que melhor se adéque as necessidades, considerando que métodos matemáticos não cumprem todos os requisitos, se tornando muito complexos de serem aplicados e inviabilizando seu uso em operações mais simplificadas.

Para a aplicação de qualquer sistema de planejamento de *layout*, sua fundamentação teórica deve ser compreendida. No caso do SLP, Muther e Hales (2015) acreditam que a criação de um arranjo físico envolve três pontos cruciais, os quais estão discriminados abaixo.

a) Relacionamento – grau relativo de proximidade desejado ou requerido pelas coisas;

b) Espaço – a quantidade, tipo, e disposição ou configuração daquilo que está sendo disposto;

c) Ajuste – a disposição das coisas no melhor arranjo realístico.

Por meio desses princípios que os autores conseguiram estruturar o sistema de planejamento de *layout*, o qual está descrito na seção seguinte.

2.3. Systematic Layout Planning (SLP).

Conforme definido por Muther e Hales (2015), o SLP é um caminho organizado de planejamento de *layout*. Sendo ele um modelo aplicável, o primeiro passo consiste em estruturar suas fases, a seguir descritas.

1) Locação: determinação da área disponível para o posicionamento do arranjo físico. Em algumas ocasiões pode se tratar de um espaço novo, ou pode vir de uma reestruturação de espaços existentes.

2) *Layout* generalizado: estabelece o arranjo geral das áreas de trabalho dentro do espaço delimitado na locação. Para o canteiro de obras, essa pode ser considerada a etapa mais importante, uma vez que é a responsável por posicionar os setores de trabalho e suas estruturas de suporte. Com isso, esse é o processo principal desenvolvido nesse estudo.

3) *Layout* detalhado: posicionamento de cada máquina e equipamento dentro da sua respectiva área de trabalho.

4) Instalação: planejamento da construção do *layout* idealizado, buscando resolver interferências caso ocorram.

Sendo a versão generalizada a etapa mais importante para aplicação no canteiro de obras, sua análise deve iniciar identificando os 5 balizadores para este planejamento, os quais são P (Produto), Q (Quantidade), R (Rota), S (Serviços) e T (Tempo). O produto, sendo o primeiro elemento básico, consiste em elucidar os bens criados ou serviços aplicados, ou as áreas de serviço para construção do bem. A quantidade, por sua vez, é a definição da unidade de medida a ser utilizada para cada item criado e aplicado e qual o volume gerado. O terceiro balizador é a rota a qual pode ser entendida como a sequência de processos que conduz à produção de um bem ou aplicação de um serviço. Os serviços são entendidos como todas as atividades e maquinários de suporte para produção, como equipamentos, inspeção e depósitos. O tempo é compreendido por demarcar horizontes de corte, os quais irão estabelecer quando produzir um item ou realizar um serviço. Muitos planejadores definem o tempo através do conceito de *takt-time*, ou tempo de ciclo, que compreende o máximo de tempo permitido para manter o ritmo de produção (Muther; Hales, 2015). Todos os cinco balizadores descritos podem ser aplicados como a chave para a estruturação do *layout* generalizado.

O passo seguinte pela metodologia do SLP considera a coleta de dados de produtos e quantidades. Ou seja, avaliam-se os produtos fabricados no *layout* a ser planejado e verifica-se o volume que eles geram. Traçando uma curva de Produto x Quantidade torna-se possível avaliar os tipos de produtos mais representativos daquela produção e, por meio disso, estabelecer o tipo de *layout* para sua produção (Muther; Hales, 2015).

Muther e Hales (2015) consideram a existência de três tipos de *layout*, os quais se diferenciam pelas características produtivas descritas abaixo.

a) *Layout* por produto: arranjo físico adotado quando o produto possui características especiais, a quantidade é elevada e o processo de fabricação é relativamente simples.

b) *Layout* por processo: distribuição adotada quando o produto é menor e possui muitas variedades, a quantidade é grande e o processo ou equipamento demanda áreas exclusivas para sua construção.

c) *Layout* por posição: *layout* adotado quando o produto possui grandes dimensões, a quantidade é muito pequena e o processo produtivo envolve trabalho manual.

Assim, o canteiro de obras pode ser caracterizado como um *layout* por posição. Nesse cenário, a edificação é o produto final de grandes dimensões e pequena quantidade, sendo que sua construção depende de trabalhos manuais em todas as etapas, ou em quase todas elas. Dessa forma, como o produto é fixo, o processo produtivo ganha relevância, sendo este a chave para agregar valor ao empreendimento e reduzir as perdas.

Em sequência, com os produtos e suas quantidades definidas, realiza-se a construção do processo produtivo. Segundo Muther e Hales (2015, p. 4-1), "A análise do fluxo de materiais envolve determinar a sequência mais eficiente de movimentação de materiais através dos passos de produção necessários e a intensidade ou magnitude desses movimentos.". Sendo assim, cabe definir todas as áreas de trabalho participantes do processo produtivo, englobando não apenas os setores em que o produto é transformado, como também as áreas de suporte, vivência e inspeção. Com isso, estrutura-se cada um dos fluxos de materiais que ocorrem nos setores de trabalho, avaliando todos os passos por meio de fluxogramas padronizados.

A construção do fluxograma, ou da carta de operação do processo, conforme definição de Muther e Hales (2015), deve obedecer a alguns critérios de forma a padronizar a sua representação. Segundo Gilbreth e Gilbreth (s/d *apud* Muther; Hales, 2015), considera-se que os materiais podem sofrer apenas seis processos durante a movimentação no fluxo de atividades, conforme a Figura 1.

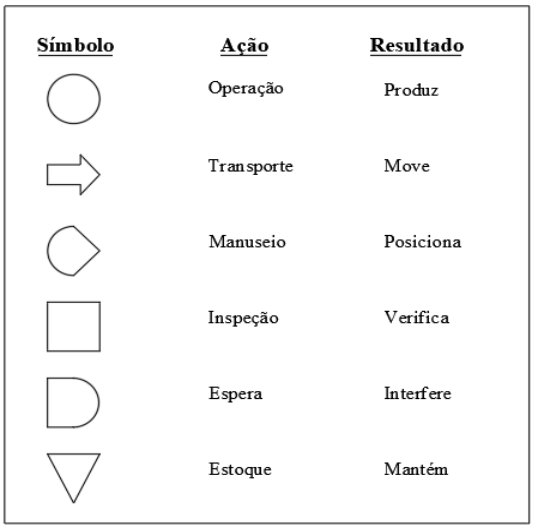


Figura 1 - Simbologia padronizada para construção de fluxogramas. Fonte: Adaptado de ANSI Y15.3M (1979 apud Muther; Hales, 2015, p. 4-4).

Além disso, a ligação entre as atividades empregadas sobre os produtos gerados deve ser realizada por linhas e setas. Quando esses elementos estão posicionados na horizontal tem-se a indicação que insumos estão sendo inseridos no processo para realização da transformação. Já linhas e setas no sentido vertical indicam as etapas construtivas do processo arranjadas sob uma sequência cronológica (Muther; Hales, 2015).

Com os fluxogramas elaborados, deve-se realizar a análise de suas etapas buscando o aumento da eficiência produtiva. Segundo Mogensen (s/d *apud* Muther; Hales, 2015), o aprimoramento pode ser realizado por meio de quatro fatores: eliminação de etapas desnecessárias, combinação de etapas equivalentes, mudança no sequenciamento e/ou melhoria no método produtivo. Todas as análises devem ser feitas dentro das áreas de trabalho e dos setores de apoio de forma que o fluxo de trabalho evidencie apenas etapas que agreguem valor ao item produzido, ou minimize a incidência de atividades que não agregam valor (Mogensen, s/d apud Muther; Hales, 2015).

Seguindo os processos descritos, pode-se chegar ao melhor *layout* possível, o qual, segundo Muther e Hales (2015, p. 4-9), pode ser considerado "[...] aquele que minimiza as distâncias e multiplica as intensidades.". Para isso, analisa-se a inter-relação existente entre cada setor dos fluxos de trabalho, avaliando quão próximos devem estar de acordo com a intensidade que se interligam, traduzindo-se em um grau de importância para a proximidade. Essa classificação obedece aos seguintes critérios:

A – Absolutamente importante;
E – Especialmente importante;
I – Importante;
O – Ordinário (comum);
U – Sem importância;
X – Indesejável.

Além disso, a justificativa para a proximidade entre setores também deve ser demonstrada em conjunto com a classificação de importância. O SLP não impõe padrões específicos de quais justificativas adotar, considerando que cada indústria tem suas particularidades e modos de avaliar as relações existentes dentro dela. Vale enfatizar que as justificativas são enumeradas e demonstradas em conjunto a classificação de proximidade dentro do losango em que se cruzam as duas atividades consideradas. As justificativas desse estudo foram extraídas e adaptadas do modelo proposto por Muther e Hales (2015), sendo elas: 1) Fluxo de insumos ou equipamentos; 2) Movimentação de produtos; 3) Inspeção; 4) Movimentação de pessoas; 5) Frequência de contato; 6) Barulho e 7) Conveniência/Inconveniência.

Com os setores definidos e os critérios de avaliação determinados, pode-se prosseguir para o preenchimento do diagrama de inter-relação. Muther e Hales (2015, p. 5-2) consideram que o diagrama "[...] mostra quais atividades se relacionam entre si. Além disso, também gradua a importância de proximidade entre elas e sustentam a classificação com justificativas codificadas". Assim, gera-se uma visualização intuitiva que possibilita o cruzamento de todos os setores entre si, sem fazer distinções quanto à necessidade da consideração de proximidade, conforme mostra a Figura 2. Cabe ressaltar que o uso da palavra "atividade" se refere a tudo aquilo que envolve o processo produtivo, seja o ato de transformar, as equipes produtivas ou equipamentos utilizados, bem como todos os demais setores auxiliares à produção.

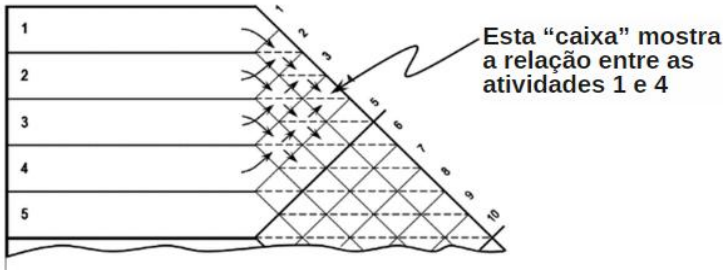


Figura 2 - Extrato do diagrama de inter-relação entre setores/atividades. Fonte: Adaptado de Muther e Hales (2015, p. 5-3).

Em algumas ocasiões se tem uma maior demanda de precisão na classificação devido a semelhança entre tipos de atividades existentes em uma manufatura. Para solucionar essa questão, Muther e Hales (2015) consideram que pode ser empregado um sinal de menos ao lado direito da letra correspondente à classificação de proximidade, que representa um estágio transitório entre a classificação considerada e a que está imediatamente abaixo. Neste quesito, não tem-se a necessidade de aplicação do sinal ao canteiro de obras, uma vez que se entende que os setores produtivos presentes não possuem grandes semelhanças de atividades e, nos casos que a proximidade existe, ela é prontamente reconhecível.

Os autores referidos consideram que "O diagrama de inter-relações é especialmente útil quando se tem um grande volume de relações que não podem ser calculadas.". Esse cenário é típico de um canteiro de obras, onde não se tem aprofundamento na análise de movimentação e as relações existentes entre os setores são especialmente intrínsecas.

Com o diagrama de inter-relações preenchido, deve-se partir para sua espacialização que, segundo Muther e Hales (2015, p. 6-1), é "A disposição geográfica [que] deve posicionar as atividades de acordo com seu grau de proximidade", anteriormente descrita no diagrama elaborado. Para isso, a idealização do arranjo deve iniciar pela consideração das atividades com mais relações ditas "Absolutamente Importantes" e, depois, considerar as outras classificações em ordem decrescente. O espaçamento entre as atividades no diagrama especializado e suas conexões devem seguir a padronização evidenciada na Figura 3.

Letra Vogal	Mult. Distância	Nº de Linhas	Classificação de Proximidade	Código de Cor
A	1		Absolutamente Importante	Vermelho
E	1,3333		Especialmente Importante	Laranja Amarelo
I	2		Importante	Verde
O	4		Ordinário / Comum	Azul
U	0	(N/A)	Sem Importância	(N/A)
X	(N/A)		Indesejável	Marrom

Figura 3 - Tabela com critérios para construção do diagrama de relações espacializado. Fonte: Adaptado de Muther e Hales (2015, p. 6-7).

Conforme mostra a Figura 3, as convenções utilizadas devem ser providas também de identificação numérica, informando as atividades que estão sendo conectadas umas às outras. Além disso, é importante afirmar que a utilização de cor não possui efeito técnico, sendo apenas um facilitador para identificação das relações mais importantes no diagrama. Por fim, a disposição das atividades ligadas pelas linhas deve obedecer a relação em que a proximidade existente entre atividades com inter-relação tipo A seja igual a 1, enquanto as demais relações devem possuir uma distância igual a multiplicação desse número por 1,33 para E, 2 para I e 4 para O. As relações consideradas sem importância não devem ser demonstradas, e as relações que devem ser evitadas não possuem um multiplicador típico para a distância. Com isso, o diagrama especializado elaborado representa teoricamente a relação ideal entre as atividades, independentemente da área demandada por cada setor. (Muther; Hales, 2015).

De acordo com Muther e Hales (2015, p. 6-13) o diagrama espacializado "[...] pode ser elaborado com ou sem considerar a atual disposição do local a ser utilizado.". No entanto, essa perspectiva pode gerar um cenário de complicações impostas pelas limitações locais com muita antecedência, fazendo com que a construção de um cenário ideal pelo planejador acabe sendo afetada e o resultado possa não ser otimizado. O processo construtivo do diagrama deve passar por várias revisões e atualizações, buscando a melhor disposição sem conceitos pré-concebidos, registrando todas as versões geradas para que, ao final, disponha-se do melhor arranjo físico pelas relações existentes, e não pelas limitações impostas pela localidade.

Com o diagrama especializado, passa-se a abordar as necessidades de área dos setores. Conforme afirmado por Muther e Hales (2015, p. 7-1), "O planejador deve iniciar medindo os espaços ocupados atualmente para cada atividade, sua utilização, e sua condição em termos de características físicas e formatação geral". Com isso, pode-se compreender algumas necessidades de máquinas e ferramentas que por ora, sob a perspectiva teórica, ainda não haviam sido consideradas. O método SLP ainda dispõe de cinco alternativas de como quantificar as áreas necessárias, as quais não serão consideradas para o presente estudo uma vez que se dispõe de indicações próprias ao canteiro de obras elaboradas por Saurin e Formoso (2006) e pelas normas técnicas vigentes.

Segundo a NR 18 (Brasil, 1978b), em relação às áreas de vivência, os canteiros de obras devem dispor de: instalações sanitárias, vestiários, local para refeições e alojamento (quando houver trabalhador alojado). A obrigatoriedade de cozinha, lavanderia e áreas de lazer só ocorre caso existam

trabalhadores alojados. Cabe ressaltar que a existência das áreas demanda alguns cuidados, sendo sua conservação, higiene e limpeza imprescindíveis para qualidade de vida do trabalhador. Para isso, no Quadro 1, pode ser observado um resumo dos requisitos normativos impostos para as áreas em questão.

Quadro 1 - Recomendações para constituição de áreas de vivência e suporte.

Setor/Item	Recomendações	Fonte
Instalações Sanitárias	1) não estar ligada diretamente com locais destinados a refeições;	NR 24 (Brasil, 1978c)
	2) ter ventilação e iluminação adequadas;	
	3) situado em local de fácil e seguro acesso, não sendo permitido um deslocamento superior a 150 metros do posto de trabalho;	
	4) dispor de lavatório, vaso sanitário e mictório - 1 conjunto para cada grupo de 20 trabalhadores ou fração;	
	5) dispor de chuveiros - 1 unidade para cada 20 trabalhadores ou fração;	
	6) vasos sanitários devem possuir gabinete para sua acomodação com pelo menos 0,60m de diâmetro entre a borda frontal da bacia sanitária e a porta;	
	7) o dimensionamento dos mictórios tipo calha deve considerar cada segmento de 0,60m equivalente a um mictório tipo cuba;	
	8) chuveiros com gabinetes de dimensões mínimas de 0,80m por 0,80m.	
Vestiários	1) devem estar posicionados próximos à entrada da obra;	NR 24 (Brasil, 1978c)
	2) não devem possuir ligação direta com local destinado às refeições;	
	3) contar com área de ventilação de, pelo menos, 1/10 da área de piso;	
	4) o dimensionamento deve considerar o número de trabalhadores onde área mínima do vestiário por trabalhador é igual a 1,5 - (nº trabalhadores/1000)	
Refeitório	1) posicionado em local arejado e mantido sob boas condições de conservação;	NR 24 (Brasil, 1978c); Saurin e Formoso (2006)
	2) é de responsabilidade da empresa garantir meios para aquecimento de refeições e local para lavagem de utensílios usados na refeição;	
	3) pode-se considerar 0,80m² por trabalhador no seu dimensionamento.	
Almoxarifado	1) deve-se situar próximo ao ponto de descarga de caminhões, ao elevador de carga e ao escritório;	Saurin e Formoso (2006)
	2) o dimensionamento deve considerar o porte da obra e as metodologias de controle aplicadas pela construtora;	
	3) considerar também o nível mínimo de estoque que será mantido para execução das atividades.	
Escritório / Engenharia	1) posicionado próximo do almoxarifado para favorecer o controle;	Saurin e Formoso (2006)
	2) preferencialmente próximo à entrada da obra;	
	3) dimensionamento deve considerar o tamanho do corpo técnico da obra e o tipo de móveis utilizados pela construtora.	
Central de fôrmas e de armação	1) dispor de piso nivelado e resistente;	NR 18 (Brasil, 1978b); Saurin e Formoso (2006)
	2) dispor de cobertura para proteção do trabalhador contra intempéries e quedas de objetos;	
	3) movimentação de vergalhões deve ser isolada, sendo região de circulação apenas para trabalhadores envolvidos com a atividade;	
	4) as bancadas construídas devem possuir dimensões em planta um pouco superiores às do maior elemento a ser executado.	
Central de entulho	1) deve ser posicionado em local de fácil acesso por caminhões;	Saurin e Formoso (2006)
	2) aconselhável utilização de tubos coletores destinando o entulho diretamente para caçambas;	
	3) para fins de projeto pode-se considerar as dimensões usuais de uma caçamba: 1,60m x 2,65m.	
Estoque de madeira	1) o local deve estar livre de exposição à umidade e à radiação solar;	Souza e Franco (1997);
	2) as chapas de compensado devem ser armazenadas na horizontal com calços equidistantes de 500mm entre si;	

Setor/Item	Recomendações	Fonte
	3) considerar que 4,5m² comportam 75 chapas de compensado;	Muther e Hales (2015)
	4) método de estocagem deve ser compatível com o meio de movimentação.	
Estoque de aço	1) as barras de aço devem estar livres do contato com qualquer contaminante e, preferencialmente, em ambiente coberto, protegido do sol e da chuva;	NBR 14931:2023
	2) deve assegurar o armazenamento de forma a manterem inalteradas suas propriedades geométricas e suas características técnicas.	
Tapume de proteção	1) o acesso de pedestres deve ser posicionado de acordo com o trajeto de pessoas ao entrar e sair da obra;	Saurin e Formoso (2006)
	2) os caminhos estipulados devem assegurar que a entrada na obra ocorra somente perante a adequação de vestimentas e calçados;	
	3) o acesso de veículos deve ser em quantidade suficiente para o porte da obra e o recebimento de múltiplos insumos simultaneamente;	
	4) o tapume deve ser mantido em boas condições de conservação e limpeza	
	5) possuir espaço destinado à colocação de placas de identificação dos responsáveis técnicos e de divulgação do empreendimento.	
Equipamentos de transporte	1) a locação deve considerar o posicionamento destinado aos estoques;	Saurin e Formoso (2006)
	2) posicionado de maneira que gere o menor número possível de interferências com as atividades do cronograma da obra;	
	3) posicionamento mais próximo possível do centro do pavimento.	

Fonte: Elaborado pelos autores (2026) com base nas referências apontadas.

Uma vez definidas as necessidades requeridas por cada atividade do canteiro de obras, pode-se elaborar um *layout* que demonstre as relações existentes e as áreas necessárias para cada setor. Segundo Muther e Hales (2015), o diagrama especializado deve ser gerado à parte das condicionantes impostas pela localidade onde se instalará o empreendimento, considerando apenas que as áreas são representadas por blocos retangulares e as relações existentes sendo identificadas apenas pelo número de linhas de ligação. O resultado esperado é o diagrama especializado construído anteriormente, porém com agregação da escala de tamanho necessária para cada atividade, conforme mostra a Figura 4.

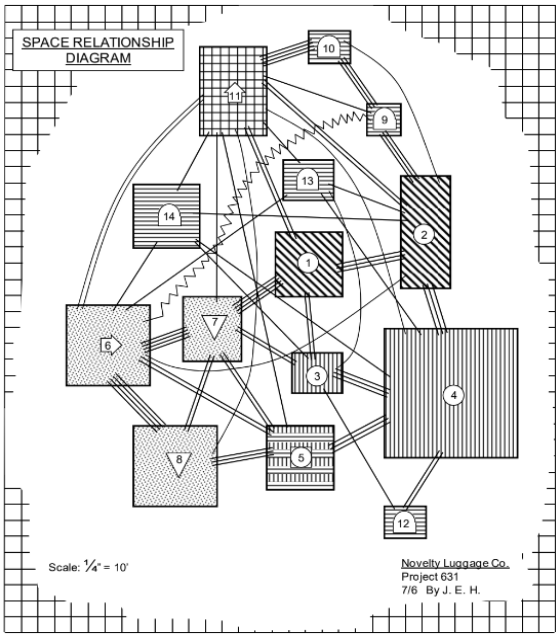


Figura 4 - Diagrama de relações especializado com consideração de áreas necessárias para cada setor. Fonte: Muther e Hales (2015, p. 8-7).

O último passo a ser realizado na metodologia SLP consiste na consideração das limitações presentes na localidade e as resultantes versões de *layout* a serem geradas por suas ocorrências. Muther e Hales (2015) consideram que, quando uma estrutura existente deve ser usada, as características da construção forçam a imposição de algumas limitações visto que, na maioria dos casos, torna-se financeiramente inviável a modificação da estrutura existente para a construção do *layout* idealizado. Além disso, é necessário considerar as necessidades pessoais dos operários, registrando opiniões que podem agregar na tomada de decisão entre centralizar ou descentralizar uma atividade de trabalho.

Então, o *layout* final torna-se fruto de uma série de considerações, modificando o posicionamento das estruturas e compilando as limitações impostas. Através da composição de diferentes versões se pode estabelecer o senso crítico para determinação daquela que alcança os maiores benefícios e diminui as perdas reais e virtuais com maior assertividade.

Por fim, é importante ressaltar que o procedimento descrito até aqui, proveniente do SLP, está na fase de construção do *layout* geral. O mesmo procedimento deveria ser aplicado para a construção do *layout* detalhado mas, como comentado anteriormente, a construção de uma visão geral já supre as necessidades demandadas na construção do canteiro de obras. Como último passo tem-se a instalação e monitoramento dos resultados gerados, entretanto não haverá tempo hábil para modificação do cenário existente na obra, sendo o presente estudo fruto de uma idealização para agregação de conhecimento e melhoramento dos futuros canteiros de obras da construtora. A metodologia SLP está resumida na Figura 5 apresentada abaixo.

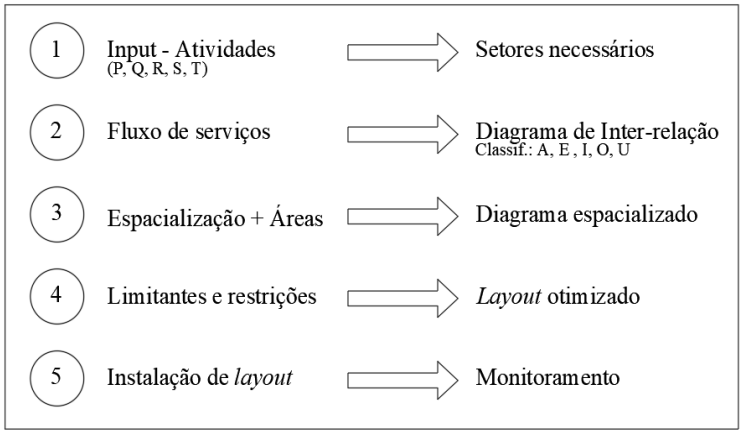


Figura 5 - Etapas da metodologia SLP. Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

3. Método.

Nas subseções seguintes estão demonstrados os procedimentos adotados para concepção do estudo de caso, bem como características da obra base e as limitações consideradas para o desenvolvimento deste trabalho.

3.1. Objeto de estudo.

Sendo o estudo de caso voltado para aplicação na construção civil, o objeto central é um empreendimento localizado na cidade de Porto Alegre/RS. A obra selecionada caracteriza-se por um alto padrão construtivo adotando acabamentos e construção de ordem superior. Em relação ao cronograma, a obra teve seu início em 2024 e a entrega do empreendimento está prevista para 2026. O método construtivo é do tipo convencional, formado por uma supraestrutura de concreto armado e fechamentos em alvenaria. O processo de armação dos elementos estruturais provém da montagem do aço cortado e dobrado previamente em fábrica e o concreto, por sua vez, é usinado. A obra possui 17.322 m² divididos por 23 pavimentos. Na divisão de pavimentos os 2 subsolos (subsolos 1 e 2), térreo e 2º pavimento são destinados a garagens e áreas de uso condominial como, por exemplo, academia, piscinas e salão de festas, ocupando toda a área do terreno. No subsolo 1 está localizado o canteiro de obras desta etapa do estudo, pois esse está no nível de acesso ao empreendimento voltado para rua A. Os demais

pavimentos, ocupando uma área menor, são destinados aos apartamentos, sendo eles quatro por andar. Na Figura 6, pode ser visualizado o projeto tridimensional do empreendimento.



Figura 6 - Concepção 3D do empreendimento. Fonte: Arquivo da construtora.

O terreno onde está construído o empreendimento fica localizado em uma esquina, possuindo 61,60 metros de fachada na rua A e 36,10 metros de fachada para a rua B. Além disso, a topografia do terreno é do tipo inclinada, com o fundo do empreendimento possuindo maior cota que a parte frontal. Cabe ressaltar ainda a presença de duas fachadas em concreto aparente, sendo esse um limitante para o posicionamento de equipamentos de transporte.

3.2. Limitação e delimitação.

Entendendo que o canteiro de obras é um ambiente extremamente dinâmico, a concepção de um *layout* deve ser continuamente revisada conforme novas atividades são implementadas. Com isso, o momento de análise da obra objeto deste estudo de caso se concentrou na fase de movimentação das estruturas auxiliares existentes (engenharia, almoxarifado, central de fôrmas, entre outros) para debaixo da estrutura construída do próprio empreendimento, ou seja, abaixo da laje do térreo. Esse momento ocorreu quando a supraestrutura atingiu o nível térreo da edificação. Por se tratar de um estudo com objetivo de validar a aplicabilidade do SLP de outras áreas da engenharia para o ramo da construção civil, o momento de análise deste se concentra apenas no período de execução da supraestrutura não sendo consideradas outras atividades anteriores e subsequentes. Além disso, a concepção desse estudo não considerou outras metodologias da construção civil como, por exemplo, o *Last Planner System* (LPS), de forma a verificar o impacto proveniente exclusivamente do SLP. Dessa forma, compreende-se que possíveis ganhos e/ou perdas provenientes da união de 2 metodologias colaborativas distintas não são consideradas nesse estudo, não sendo o objetivo a diminuição da variabilidade, monitoramento da confiabilidade do planejamento e dos processos produtivos conforme preconiza o LPS.

Considerando isso, o espaço disponível para o reposicionamento das estruturas auxiliares se limitou ao subsolo 1, sendo esse o pavimento com acesso à rua A, de menor movimento e com maior extensão de fachada. O estudo se restringiu a analisar as estruturas auxiliares já existentes na obra objeto, sendo elas vinculadas à etapa construtiva do momento de análise, ou seja, supraestrutura. Além disso, adotou-se apenas essa etapa devido sua grande representatividade em custo e prazo. Analisando o orçamento da obra, cerca de 19,45% do custo total ocorre para a construção da supraestrutura. Em relação aos prazos de execução, a supraestrutura é a atividade que mais demanda tempo, estendendo-se por cerca de 78 semanas.

Dessa forma, para o planejamento do arranjo físico da obra, foram consideradas as estruturas auxiliares existentes, sendo elas: a) engenharia; b) almoxarifado; c) sala de reuniões; d) refeitório; e)

vestiários; f) banheiros; g) descanso térmico; h) central de entulho; i) portaria; j) sala do mestre de obras; k) mini grua; l) elevador cremalheira; m) estoque de madeira; n) estoque de aço; o) central de fôrmas e p) central de armação.

O padrão construtivo das instalações provisórias considerou o material utilizado pela construtora, madeira, de forma a se aproximar da realidade. Não foram debatidos aspectos relacionados aos custos envolvidos na escolha de qualquer uma das alternativas projetadas. A mini grua do empreendimento possui alcance máximo de 18 metros e carga máxima na ponta igual a 700kg. O elevador cremalheira tem capacidade de carga máxima de 1500kg.

Por fim, cabe ressaltar que outras atividades existentes no cenário do empreendimento, ou atividades posteriores à execução da supraestrutura, não foram consideradas. Além disso, a disposição de materiais, ferramentas e áreas de convívio existentes em outros pavimentos também não foram cenário de aplicação dos métodos de estudo devido às limitações práticas existentes. Outros critérios como instalações hidráulicas, elétricas e demais sistemas não foram englobados no estudo compreendendo-se que o objetivo do trabalho consiste na melhor disposição das áreas provisórias de trabalho e suporte. O resultado final obtido foi considerado sob aspecto teórico, pois a obra já estava sendo executada e ao término desta pesquisa o empreendimento já se encontrava em etapas posteriores, entende-se ainda que os resultados elaborados devem passar por processo de validação da construtora, permitindo sua aplicação a futuros canteiros de obras.

3.3. Etapas do trabalho.

O primeiro passo para a realização do estudo concentrou-se na identificação das áreas existentes no *layout* da obra. Por meio de observações *in loco*, realizou-se a coleta de medidas que fomentaram a concepção de um projeto *as built* das instalações provisórias do canteiro de obras. Foram levantados também os fluxos de atividades existentes para a construção da supraestrutura do empreendimento. Analisando distâncias e sequenciamento de atividades, foi possível realizar a construção de um fluxograma do cenário existente no momento determinado. Os dados preliminares gerados serviram de base para comparação com o resultado gerado pela aplicação do SLP.

A aplicação da metodologia do SLP iniciou-se com a determinação dos produtos, quantidades, rotas, serviços e tempo. Considerou-se assim, a etapa de “Locação” como a área determinada pelas divisas do terreno do empreendimento. Com isso, foi possível estabelecer uma análise do fluxograma anteriormente construído, identificando problemas e gargalos com objetivo de reduzir perdas do processo. Para melhoria dos fluxogramas foram considerados os quatro aspectos descritos no item 2.3 (eliminação de etapas desnecessárias, combinação de etapas equivalentes, mudança no sequenciamento e melhoria no método produtivo). Considerando as perdas identificadas, as melhorias foram implementadas para criação de um fluxograma otimizado.

Em sequência, promoveu-se a identificação das relações existentes entre cada um dos setores da obra. Para isso, construiu-se o diagrama de inter-relação, proposto pelo SLP, identificando a intercomunicação entre cada setor e sua necessidade de proximidade, caracterizando assim os aspectos qualitativos da análise. Os aspectos quantitativos foram considerados conforme o item 2.3, avaliando as necessidades de cada área de trabalho e suporte e, por consequência, determinando o espaço necessário para aplicação dos serviços.

Com esses fatores definidos, construiu-se o diagrama de inter-relações especializado. Nessa etapa não foram abordadas características intrínsecas do empreendimento ou do terreno em que esse é construído, de maneira a enfatizar sua concepção em um formato que facilite a visualização das relações de proximidade entre os setores, aproximando ao máximo aqueles com relações tipo A e afastando ao máximo aqueles que não devem ficar próximos.

Por fim, foi possível realizar a análise das limitações existentes. Para a concepção do projeto do *layout* otimizado foram abordadas como limitações as características da supraestrutura da edificação como, por exemplo, localização de pilares. Além disso, as características geométricas do terreno foram identificadas de maneira a proporcionar uma perspectiva que a obra consiga aproveitar toda a área disponível para construção das instalações provisórias. Apesar do SLP considerar a necessidade de concepção de três *layouts* para a definição daquele que será efetivamente adotado, o estudo concentrou-se na construção de apenas uma opção, sendo essa já considerada satisfatória para o objetivo proposto.

A análise final consistiu na avaliação dos resultados obtidos, identificando as distâncias percorridas no *layout* otimizado, bem como o número de etapas necessárias para realização de uma determinada tarefa.

4. Resultados.

Nessa seção estão descritas a análise da disposição observada no canteiro de obras objeto do estudo e o resultado obtido após a aplicação dos procedimentos metodológicos descritos no tópico 3.

4.1. Análise do *layout* real da obra base do estudo.

A partir da definição dos procedimentos a serem realizados, foi possível aplicar o método para o estudo de caso. O primeiro passo consistiu em compreender como o *layout* da obra estava organizado. Para isso, foi elaborado o projeto indicado na Figura 7, demonstrando as zonas existentes e sua disposição no terreno da obra. Nesse ponto, torna-se importante ressaltar que as áreas identificadas com os números 13 e 14 são considerados setores de emprego efetivo da produção. Enquanto isso, áreas identificadas de 1 a 12 são setores auxiliares da execução do trabalho, realizando etapas de inspeção, estoque ou servindo como ambiente de convivência dos funcionários. O plantão de vendas foi considerado nesse trabalho apenas para avaliação do arranjo físico existente na obra, seu posicionamento no *layout* otimizado não foi levado em consideração uma vez que a construtora realizou a desmontagem do mesmo durante a movimentação das estruturas provisórias. Essa modificação promoveu a alteração do tapume do canteiro, permitindo que esse esteja no limite exterior do terreno.

Por fim, o elevador cremalheira e a mini grua (cujo círculo pontilhado em vermelho representa seu alcance, considerando que ela está fixada no poço do elevador 3) são equipamentos utilizados para movimentação de operários e materiais, assim, sua abordagem nesse trabalho é considerada como uma análise de viabilidade para melhor locação dos equipamentos, a fim de evitar deslocamentos desnecessários. Com isso, pode-se observar que, apesar de a grua estar centralizada na torre, seu alcance não atinge todas as zonas de estocagem e centrais produtoras e, quando a estrutura passasse do 2º pavimento, a utilização da grua para abastecimento direto seria inviabilizada, pois o pavimento ocupa todo o terreno. Visando permitir a movimentação de materiais pela grua, foi feita a previsão de não execução de parte da laje do 2º pavimento, apesar de que, no planejamento inicial da obra, não havia essa previsão.

A estrutura de madeira, que não faz parte do corpo da edificação, onde se encontram as áreas 2, 3, 4, 5 e 6, é dividida em dois pavimentos, estando as áreas descritas no nível do térreo da estrutura provisória (sendo esse o nível de acesso a partir da rua A), e as áreas 7, 8 e 9 no 2º pavimento. Dessa forma, entende-se que todas as estruturas necessárias para o desenvolvimento da supraestrutura estão presentes ou possuem setores diretamente ligadas a elas e que as representam.

Outro fator importante é a observação da área do terreno que é coberta por construções, sendo essa identificada com obras por quase sua totalidade. Com isso, surge a necessidade da abertura de passagens nas lajes que permitam a instalação de equipamentos como, por exemplo, o elevador cremalheira, e a mini grua. Essas áreas estão indicadas no projeto de *layout* otimizado no item 4.2.5 (*Layout* final).

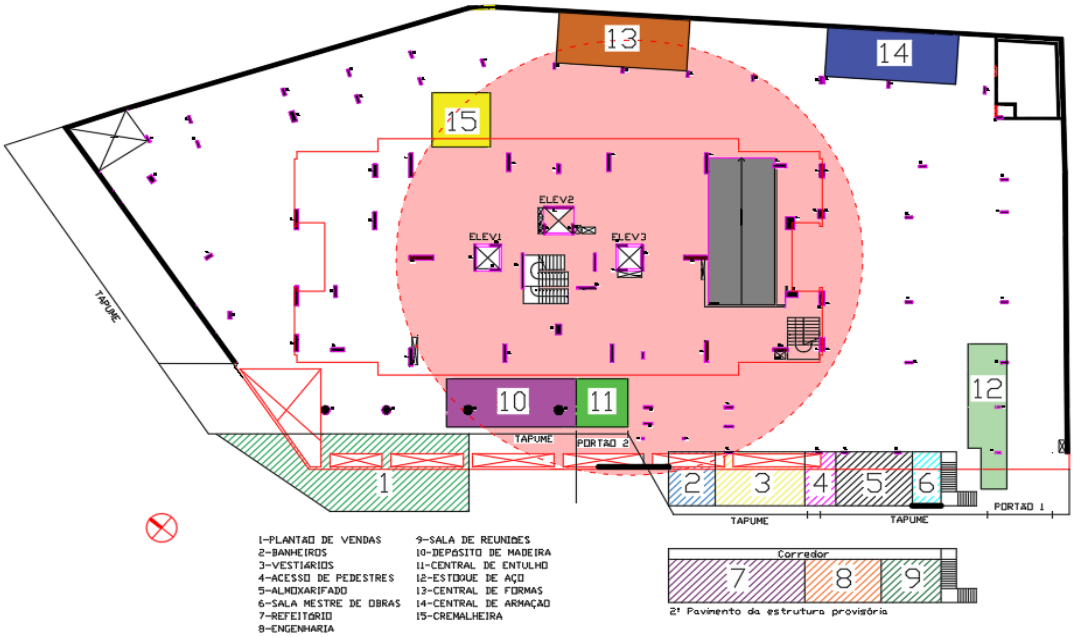


Figura 7 - *Layout* do canteiro de obras utilizado na fase de supraestrutura pela construtora.
Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Dessa forma, pode-se observar, pela Figura 7, que a obra está instalada sobre um canteiro de obras dito como restrito, segundo classificação de Saurin e Formoso (2006). Sendo assim, a determinação de locação, primeiro passo do método SLP, já está consolidada, limitando-se ao espaço dado pelas divisas do empreendimento. Nessa perspectiva, a obra ocupa quase todo o terreno disponível, criando muitas áreas aproveitáveis para a locação de áreas de trabalho ao mesmo tempo que gera interferências no processo construtivo.

Além disso, segundo a classificação de Muther e Hales (2015), tem-se a identificação do *layout* de obra como um arranjo por posição, com produtos fixos e aplicação de trabalho manual de maneira relevante. Dessa forma, o fluxo de atividades é, majoritariamente, fruto das atividades que ocorrem para execução do empreendimento, sendo elas as montagens de fôrmas e armaduras, com as respectivas subtarefas descritas no tópico 3.2 (Limitação e delimitação).

Em relação à discriminação dos setores de trabalho, suas características podem ser determinadas individualmente. A engenharia consiste de um espaço interligado à sala de reuniões, ocupando uma área de 21,06m², que serve como estrutura para realização das tarefas administrativas por parte de 4 pessoas: (i) engenheiro da obra, (ii) estagiário de engenharia, (iii) técnico administrativo e (iv) técnico de segurança do trabalho. Dentro desse setor ainda consta a presença de um banheiro individual e uma copa. A sala de reuniões serve de apoio ao corpo técnico da obra, ocupando uma área de 16,42m².

O mestre de obras possui sala própria, localizada abaixo da sala de reuniões, com área de 9,79m². Por sua vez, a portaria do canteiro tem área de 10,68m², contando com uma catraca que regula a entrada de pessoas na obra, mas sem a presença de um porteiro, pois o almoxarife da obra desempenha essa função (o qual, nessa perspectiva, acumula funções). O setor destinado ao almoxarifado fica próximo à portaria, permitindo a rápida recepção de materiais e ocupando uma área de 26,55m². Cabe ressaltar que apesar da disposição interna do almoxarifado não ser escopo do presente trabalho, todos os funcionários da obra consideram o almoxarifado pequeno, fazendo com que vários materiais sejam armazenados em outros espaços sem o devido controle de entradas e saídas.

Em relação às áreas de vivência dos funcionários, o refeitório ocupa 37,48m² de área, estando localizado ao lado da engenharia e provocando incômodos aos que ali trabalham devido ao barulho gerado pela grande circulação de pessoas em horários próximos ao meio-dia. O vestiário possui área de 30,70m², onde estão localizados os armários individuais e os 5 chuveiros para uso dos funcionários. Em contrapartida, os banheiros possuem área de 16,02m², e contam com 3 pias e 3 vasos sanitários, sem divisão entre banheiros feminino e masculino. Cabe ressaltar que a presença de funcionários no canteiro de obras considera uma média de 35 pessoas para essa etapa executiva (já incluso nessa contagem

estagiário de engenharia, mestre de obras, engenheiro, técnico administrativo e técnico de segurança no trabalho).

O local destinado para o armazenamento de madeira, de 40m², fica ao lado da central de entulho em frente ao portão 02, fazendo com que o acesso direto por caminhão seja limitado à ausência de caçambas de entulho no momento da recepção da madeira. Já a área destinada ao armazenamento de aço está próxima ao portão 01, ocupando cerca de 32,60m². No entanto, essa área não se demonstra suficiente para o armazenamento do material necessário para construção de um pavimento do empreendimento, fazendo com que se tenha empilhamento de aço e disposição de peças cortadas e dobradas de menor porte em outras áreas não identificadas no canteiro de obras.

A central de entulho possui 16m² de área, comportando 2 caçambas simultaneamente para o descarte de resíduos. A central de fôrmas possui 42,21m² de área, estando localizada ao fundo do empreendimento e distante do estoque de madeira. A central de armação conta com 40,89m² de área, mas sua disposição e localização fora do alcance da mini grua inviabiliza a montagem de elementos estruturais de maior porte, fazendo com que os armadores não consigam otimizar seu fluxo de trabalho sendo obrigados a montar esses elementos no local de aplicação.

Por fim, cabe ressaltar também que apesar de ser uma recomendação descrita no Anexo C (2021) da NR 15 (Brasil, 1978a), a obra não dispõe de espaço destinado para o descanso térmico de funcionários, sendo esse um local coberto e arejado que dispõe de bancos para descanso dos trabalhadores na incidência de altas temperaturas. O plantão de vendas está localizado na esquina do empreendimento, ocupando 96,70m² de área, gerando interferências no processo construtivo da edificação e demandando sua retirada para execução de trabalhos no setor.

Com isso, considerando a disposição dos setores, torna-se importante avaliar os fluxos de trabalho existentes. A análise deve-se centrar na observação dos dois setores considerados de produção: central de fôrmas e central de armação. A central de fôrmas corresponde à área de trabalho responsável por realizar a preparação da madeira que servirá de molde para os elementos estruturais a serem concretados. O processo de fabricação de uma fôrma pode ser resumido nas seguintes subetapas: 1) transporte da madeira do estoque até a central de fôrmas; 2) corte da madeira conforme especificações de projeto; 3) pintura de bordas das chapas (com objetivo de prolongar a vida útil do material); 4) estruturação do painel; 5) aplicação de desmoldante; 6) identificação da peça; 7) conferência de medidas e 8) transporte da fôrma até o local de aplicação.

A central de armação possui menos etapas. Como a obra adota a contratação de serviço de corte e dobra das barras de aço fora do canteiro de obras, a armação dos elementos estruturais pode ser resumida pelas seguintes subetapas: 1) transporte do aço do estoque até a central de armação; 2) montagem do elemento estrutural de acordo com projeto; 3) conferência de medidas e 4) transporte do elemento até o local de aplicação.

Para essa atividade deve ser feita a ressalva que a armação de vigas e pilares difere da montagem de lajes. A armação que compõe vigas e pilares pode ser montada na central, conforme o descrito anteriormente. Já a armação das lajes deve ser montada diretamente no local de aplicação, pois não é possível realizar a sua movimentação caso seja armada previamente devido as suas dimensões.

Os passos para execução da fôrma e a armação dos elementos estruturais devem ser visualizados sob a forma de fluxograma, de maneira que se tenha uma melhor visualização das atividades componentes e de como torná-las mais eficientes. A construção do fluxograma foi guiada pela simbologia ditada na metodologia do SLP de Muther e Hales (2015). Com isso, considerando as subetapas anteriormente descritas, o fluxograma que descreve as operações de construção de fôrmas está demonstrado na Figura 8.

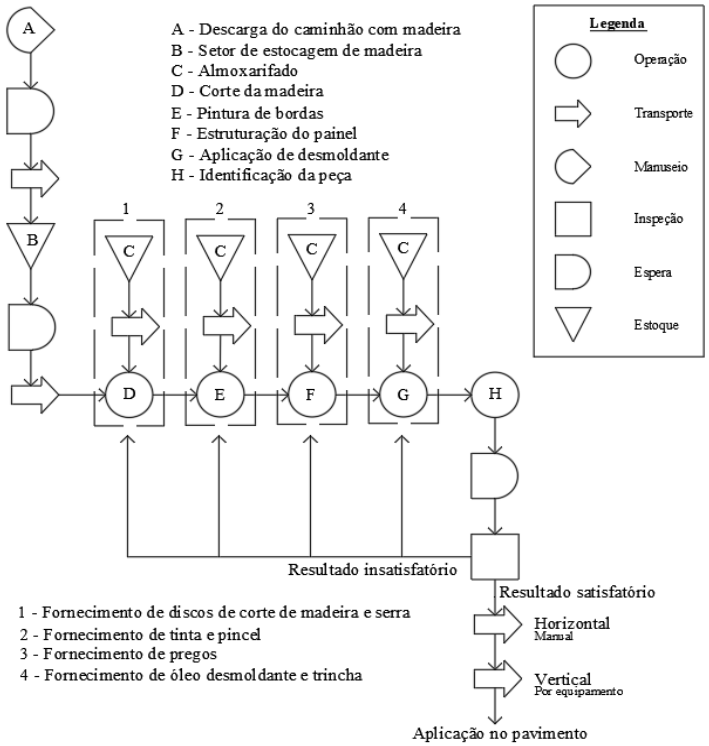


Figura 8 - Fluxograma de atividades existentes para execução de fôrmas de madeira. Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Sendo o fluxograma elaborado o retrato do atual cenário da obra, percebe-se que melhorias podem ser implementadas para favorecer a agregação de valor da atividade. Conforme comentado anteriormente, Mogensen (s/d *apud* Muther; Hales, 2015) afirma que a análise do fluxo de atividades deve buscar a eliminação de etapas desnecessárias, combinação de atividades equivalentes, mudança no sequenciamento e/ou melhoria no método produtivo. Sendo assim, no início do fluxograma já se percebem atividades que resultam em perdas no processo, existindo uma etapa prévia de descarga do material em um estoque posicionado distante da central de fôrmas, necessitando a ocorrência de duas atividades de transporte de material para o mesmo serviço. Essa etapa pode ser facilmente eliminada aproximando a central produtora da zona de estocagem de insumos, evitando assim, a ocorrência de uma atividade de transporte.

Em um segundo estágio, cabe observar o número de relações existentes entre as operações de trabalho da central de fôrmas e o almoxarifado. Em quatro instantes distintos esses setores se intercomunicam para entrega de insumos e equipamentos, demonstrando a demanda existente por parte da atividade. Essa configuração de relacionamento demonstra dois cenários: primeiramente, a obra não aplica a metodologia de desenvolvimento de *kits* de trabalho, corroborando para a ocorrência de várias etapas com transportes e movimentações desnecessárias; em segundo lugar, a proximidade entre a central produtora e o almoxarifado pode não estar correta, demandando tempos de deslocamentos maiores para a intercomunicação de ambos setores. Entretanto, seguindo os preceitos descritos anteriormente, o objetivo não está em reduzir ou facilitar a movimentação, mas sim em eliminá-la. Dessa forma, a adoção de práticas como a seleção de *kits* de trabalho faz com que a movimentação de materiais seja única no início da atividade, não demandando transportes subsequentes.

Por fim, após as etapas de verificação tem-se o transporte do material para seu local de aplicação. Essas movimentações não podem ser eliminadas, mas podem ser reduzidas à medida que se aproxima o meio transportador ao objeto transportado. A alternativa que deve ser considerada está no posicionamento da central de fôrmas imediatamente ao lado do raio de alcance da mini grua, permitindo que o material seja transportado direto do ponto de fabricação até seu local de aplicação. Cabe observar que sob essa formatação de fluxo, a distância percorrida pelo material desde sua chegada à obra até a aplicação no pavimento que está sendo construído pode chegar à 94,69m, considerando que 27,49m são

de movimentação horizontal, que pode ser otimizada, enquanto 67,20m são referentes à movimentação vertical máxima do produto, a qual varia conforme o pavimento que se constrói.

Com essas contribuições, pode-se considerar que o fluxograma otimizado para as atividades da central de fôrmas está demonstrado na Figura 9.

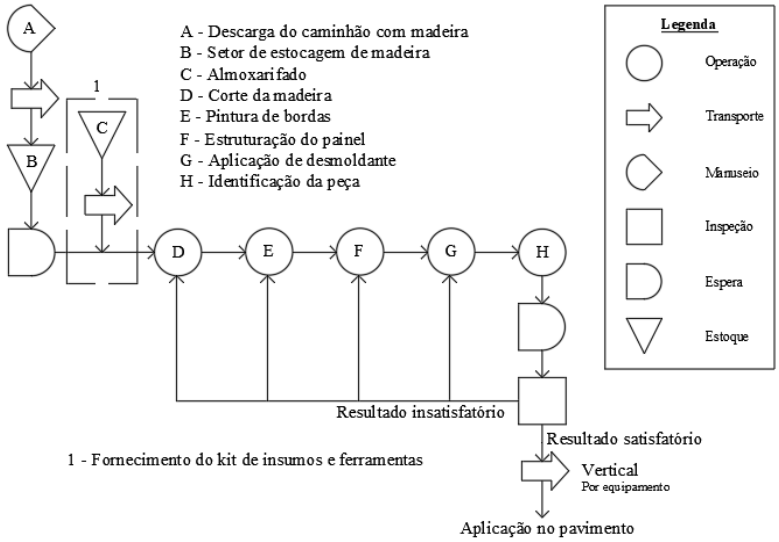


Figura 9 - Fluxograma de atividades otimizado para execução de fôrmas de madeira. Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Já para a central de armação, a construção do fluxograma de acordo com os preceitos de Muther e Hales (2015) pode ter seu resultado visualizado na Figura 10, refletindo o cenário encontrado na obra base do estudo.

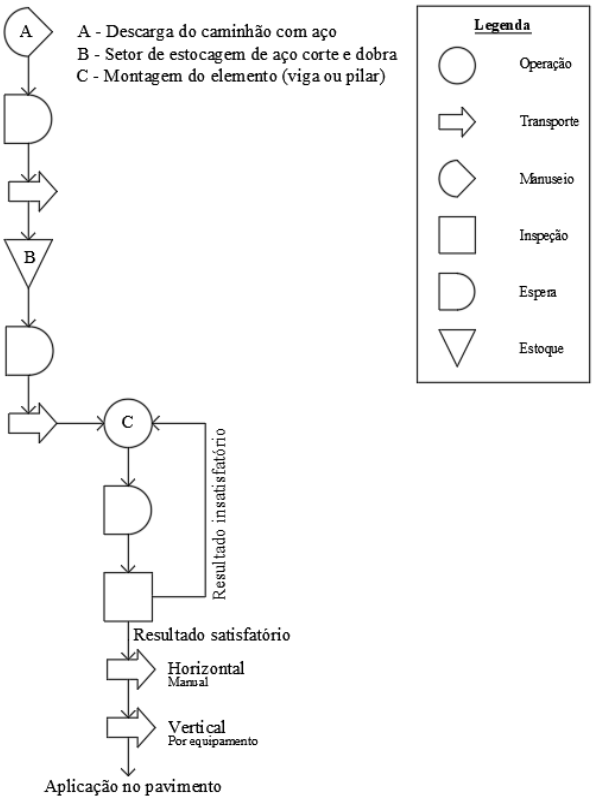


Figura 10 - Fluxograma de atividades existentes para armação de elementos estruturais. Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Nessa atividade pode-se perceber que a ocorrência de etapas de trabalho é menor, evidenciando em primazia a ocorrência de movimentações e atividades que não agregam valor ao produto. Além disso, devido ao alcance da mini grua não atingir a central de armação, a maior parte do transporte é realizada de forma manual. Com isso, evidencia-se o duplo manuseio do material, sendo necessário que os operários transportem o elemento montado até uma região de alcance da mini grua para que ela consiga encaminhar a armação para o pavimento de aplicação. Sob essa perspectiva, pode-se observar que a distância percorrida pelo material desde sua entrada na obra até a aplicação no pavimento pode chegar a 115,45m, sendo que 48,25m são respectivos a movimentação horizontal, realizada sob forma manual e que pode ser otimizada. Uma solução que pode ser implementada consiste em posicionar o setor de trabalho dentro do raio de operação da mini grua, permitindo que, ao finalizar sua montagem, o elemento seja direcionado diretamente da central de armação para o pavimento de instalação.

Outro fator importante consiste na dupla verificação da montagem dos elementos feita pelo mestre de obras. Conforme demonstrado na Figura 10, no processo atual, o mestre de obras faz uma verificação prévia do elemento antes que esse seja direcionado para o pavimento de aplicação. No entanto, essa etapa pode ser eliminada uma vez que, posteriormente, ocorre a verificação pela equipe de engenharia da obra no local em que o elemento foi posicionado para ser concretado. Dessa forma, o fluxograma otimizado para armação de elementos estruturais pode ser visualizado na Figura 11 a seguir.

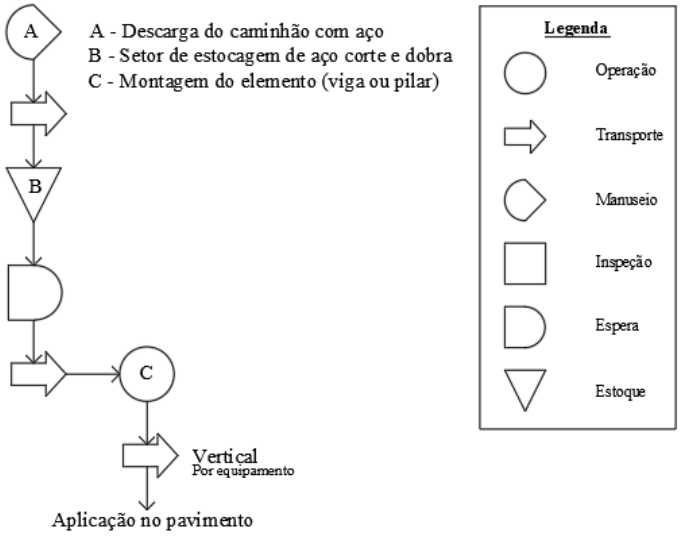


Figura 11 - Fluxograma de atividades otimizado de armação de elementos estruturais. Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

4.2. Construção do *layout* otimizado.

Considerando que as atividades de trabalho foram otimizadas, e as perdas produtivas foram minimizadas, tornou-se possível determinar as relações existentes entre setores. Com essa análise, é possível evitar a ocorrência de perdas resultantes de movimentações desnecessárias ou com grande distância a ser percorrida, além de beneficiar a maior integração entre etapas produtivas subsequentes. Para isso, o primeiro passo consiste na elaboração do diagrama de inter-relação de setores.

4.2.1. Diagrama de inter-relações.

De acordo com o modelo de Muther e Hales (2015), a construção do diagrama deve adotar a classificação A, E, I, O ou U, evidenciando a real intercomunicação existente entre diferentes áreas de trabalho. Por meio da determinação do grau de proximidade existente entre os setores de trabalho, torna-se possível identificar os maiores fluxos e otimizá-los. Dessa forma, o resultado elaborado para as áreas consideradas na obra base do estudo está demonstrado na Figura 12.

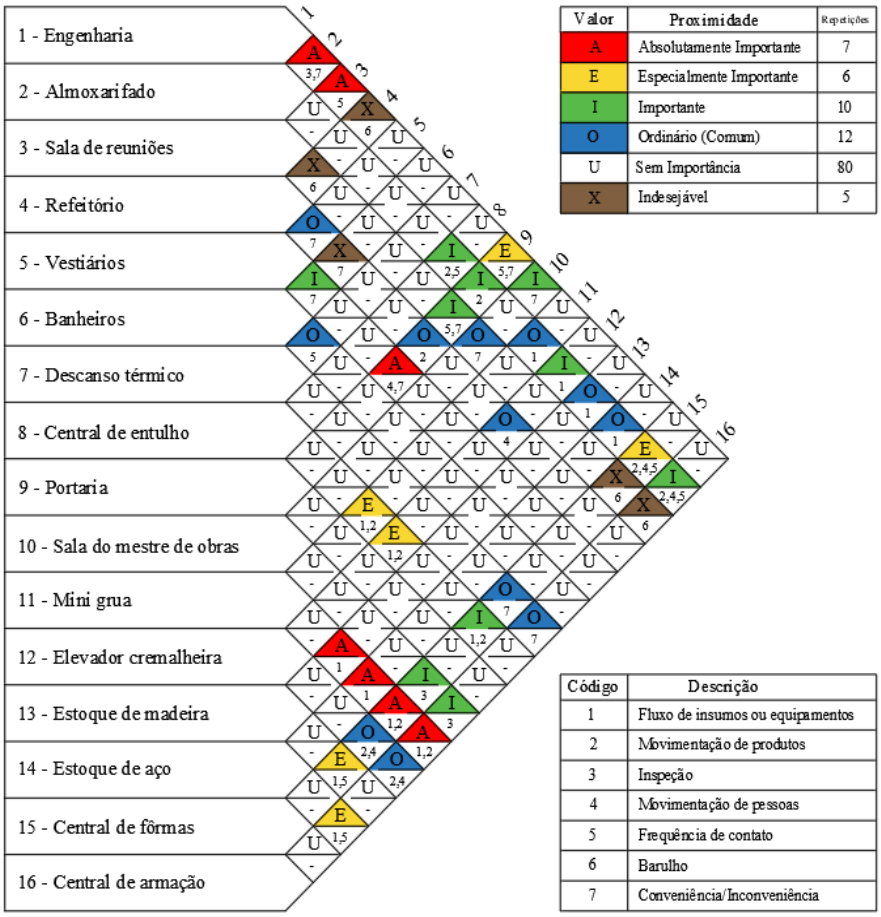


Figura 12 - Diagrama de inter-relação. Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A determinação para a classificação de cada relação entre setores deve seguir critérios técnicos e a realidade da obra. A adoção de classificações “Absolutamente Importantes” ocorreu em setores de trabalho que indispensavelmente devem permanecer próximos, pois a quantidade de informações trocadas é de grande escala. Nesse cenário, para a facilitação do controle e inspeção, a engenharia deve se manter próxima ao almoxarifado por exemplo. Além disso, o posicionamento da mini grua deve considerar a posterior alocação das áreas produtivas e de estocagem, permitindo maior agilidade no processo produtivo principal: a supraestrutura.

Em segunda instância, pode-se observar a classificação “Especialmente Importante”, na qual a proximidade entre setores não foi colocada como item obrigatório, mas sim como fator benéfico ao correto funcionamento da logística da obra. Tem-se, por exemplo, a locação dos estoques de aço e madeira com relativa proximidade às centrais produtoras. Cabe ressaltar que essa relação não adquiriu a classificação mais alta, já que a movimentação de materiais não é constante, sendo realizada a cada novo elemento a ser montado. Ou seja, quando se realiza a montagem de um pilar, todo o aço cortado e dobrado já está separado e identificado, permitindo que todo o conjunto seja transportado.

Por sua vez, a classificação “Importante” ocorreu em relações que possuem interligação, mas essa comunicação não ocorre repetidamente ou não se faz crucial para a execução das tarefas que agregam valor ao empreendimento. A presença da central de entulho próximo da central de fôrmas é importante, pois muitos retalhos de madeira são gerados durante o processo produtivo. Entretanto, a proximidade entre as duas centrais não é crucial para o desenvolvimento da atividade produtiva de maneira eficaz, sendo possível otimizar as tarefas sem que essas áreas estejam fisicamente interligadas. Além disso, outras relações também recebem a classificação de importante devido a frequência de contato existente como, por exemplo, o almoxarifado e a central de entulho, uma vez que o controle de saída de material é realizado pelo almoxarife da obra.

A classificação de “Ordinário” ocorreu para relações em que existe uma intercomunicação, mas essa pode ser considerada apenas como um extra positivo ao *layout* da obra. A presença do refeitório

próximo ao elevador cremalheira, por exemplo, não interfere no processo produtivo, mas pode corroborar para a locomoção dos funcionários com maior agilidade e conforto.

Por fim, cabe ressaltar que a classificação "Indesejável" ocorreu para áreas que não devem ficar próximas. Nesse quesito, a presença da sala de reuniões em proximidade ao refeitório e às centrais produtoras deve ser evitada, uma vez que esses ambientes são grandes geradores de barulho, que podem atrapalhar tarefas que demandam concentração. Além disso, cabe também considerar que as demais relações existentes foram classificadas como "Sem importância" uma vez que não foram identificados fatores preponderantes que demandassem uma avaliação mais profunda das intercomunicações.

4.2.2. Definição de áreas.

Com as relações existentes determinadas e classificadas, a definição da área nominal destinada a cada setor de trabalho deve ocorrer em paralelo. Conforme descrito no item 2.3 (SLP) na Tabela 1, a determinação do tamanho das áreas seguiu algumas recomendações normativas e de uso corriqueiro propostas por Saurin e Formoso (2006).

Em relação ao banheiro para os trabalhadores da obra, foi considerado que, por se tratar de uma estrutura difícil de ser ampliada futuramente, o número de trabalhadores para o ambiente é o correspondente ao pico estimado para a obra, de 95 trabalhadores. Sendo assim, o dimensionamento considerou que o banheiro deve comportar 5 conjuntos formados por lavatório, vaso sanitário, mictório e chuveiro. Cada conjunto corresponde a 2,44m².

O vestiário, por sua vez, se trata de um ambiente que pode ser aumentado futuramente. Dessa forma, o dimensionamento pode considerar o efetivo de trabalhadores para execução das tarefas relacionadas ao momento do estudo em questão, sendo esse o total de 35 trabalhadores. O mesmo conceito aplicou-se ao dimensionamento do refeitório.

Para o dimensionamento do almoxarifado não existem critérios técnicos que indiquem dimensões aceitáveis. Dessa forma, como o almoxarifado presente na obra do estudo era considerado pequeno, optou-se por utilizar o dobro da área encontrada, de forma que se entende que todos os itens que estavam sendo armazenados fora do almoxarifado possam então, ter o devido controle de entrada e saída. Cabe ressaltar que o armazenamento de tubos de PVC não foi realizado no almoxarifado, dispondo a construtora de um local específico para o seu armazenamento.

O escritório destinado à engenharia não teve sua área modificada, visto que os funcionários que ali trabalham consideram o espaço existente como suficiente. O mesmo critério pode ser adotado para a sala de reuniões, uma vez que os móveis utilizados em ambos os ambientes são os mesmos considerados no presente estudo.

As centrais destinadas à produção propriamente dita devem considerar os produtos gerados por elas. Dessa forma, o dimensionamento da central de fôrmas considerou o maior painel individual produzido por ela, dispondo ele de um comprimento de 5,40m. Já a central de armação observou o mesmo critério, sendo o maior elemento montado com comprimento de 8,01m. Ambas estruturas produzem elementos de grande tamanho, devendo ainda sua área ser acrescentada de espaço suficiente para a movimentação dos produtos gerados.

O estoque destinado ao armazenamento de madeira atentou que a maior dimensão do insumo armazenado pela obra é de 5,40 metros. Além disso, foi considerado que a obra mantém em estoque sarrafos, guias e chapas de compensado, para os quais a área pode ser estimada equivalente à 220 chapas de compensado. Já o estoque destinado para o armazenamento de aço cortado e dobrado deve levar em conta a maior barra esperada para o desenvolvimento do empreendimento, sendo uma limitação usual a consideração de 12 metros. Dessa forma, a área destinada ao estoque desses insumos deve comportar essa medida em uma de suas dimensões e ser capaz de armazenar um lote completo de lajes e vigas correspondentes a um pavimento da edificação. Por fim, cabe ressaltar que o espaço destinado à central de entulho atentou ao posicionamento de duas caçambas acrescidas de um espaço de movimentação dos equipamentos.

Outras áreas foram consideradas de menor impacto para o presente estudo, por isso suas dimensões foram estimadas considerando as estruturas existentes no canteiro objeto do estudo. O resultado gerado para cada um dos setores abordados pode ser consultado no Quadro 2.

Quadro 2 - Dimensões para os setores de vivência, suporte e produção.

Setor/Item	**Dimensões (m)**	**Área (m²)**
Banheiros	3,50x5,00	17,50
Vestiário	4,00x12,82	51,275
Refeitório	5,00x5,60	28,00
Almoxarifado	6,00x8,85	53,10
Escritório	4,00x5,26	21,06
Sala de Reuniões	4,00x4,10	16,42
Central de fôrmas	4,00x7,00	28,00
Central de armação	6,00x10,00	60,00
Central de entulho	3,00x4,80	14,40
Estoque de madeira	3,00x6,00	18,00
Estoque de aço	6,00x12,00	72,00
Descanso Térmico	2,50x2,50	6,25
Portaria	3,00x3,56	10,68
Sala do Mestre de Obras	3,00x3,00	9,00

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

4.2.3. Espacialização do diagrama de inter-relação.

Definidas as áreas necessárias para cada setor, pôde-se realizar a integração das dimensões observadas e as relações existentes. Para isso, conforme descrito por Muther e Hales (2015, p. 8-5), "Um diagrama de inter-relações especializado é, na verdade, um *layout* que une o espaço disponível à uma organização lógica". Portanto, a utilização do diagrama de inter-relações elaborado no tópico 4.2.1 torna-se essencial, uma vez que se deve seguir uma organização setorial do arranjo físico preliminar. Dessa forma, a ordem para concepção do diagrama especializado seguiu a prioridade classificada anteriormente para cada uma das relações existentes. O resultado final gerado pode ser visualizado na Figura 13.

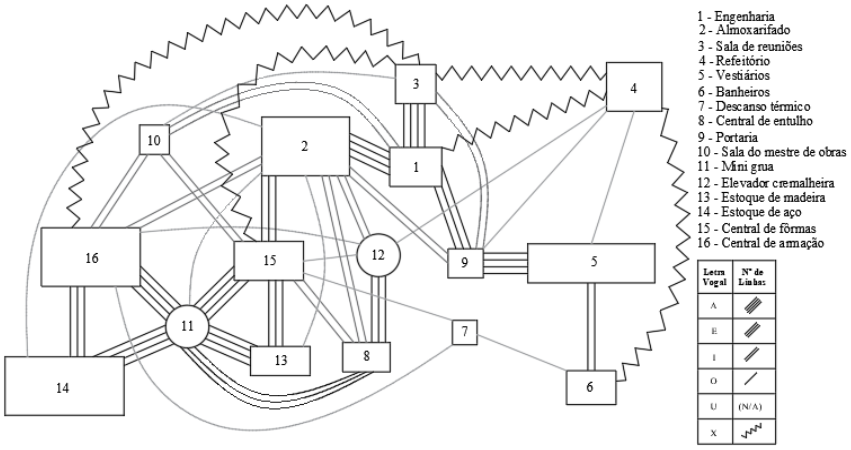


Figura 13 - Diagrama de inter-relação espacializado. Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Com isso, torna-se importante observar a quantidade de relações existentes. Diferentemente de modelos industriais nos quais a criação do diagrama especializado geralmente resulta em um perfil linear da disposição do arranjo físico, no canteiro de obras a situação é outra, com uma série de atividades que se comunicam diretamente com vários setores da obra, sem formar uma linha contínua de desenvolvimento dos processos. Essa perspectiva faz com que existam muitos cruzamentos de linhas de conexão, algo que Muther e Hales (2015) sugerem que seja evitado. Além disso, é importante observar que as relações indesejáveis não foram possíveis de serem colocadas com grande afastamento, uma vez que os setores em questão estão ligados a áreas em comum, o que impede disposições mais distantes.

Dessa forma, com o diagrama especializado tem-se um pré-projeto de *layout* de canteiro de obras. A concepção do projeto final fica pendente à identificação das limitações impostas pelo local de construção, passo que está descrito na próxima seção.

4.2.4. Limitações para concepção do *layout* final.

Em relação às limitações impostas para a construção do *layout* final do canteiro de obras, elas são identificadas basicamente pela composição estrutural do edifício, sendo os pilares os elementos que impõem as maiores restrições. Além disso, deve-se observar que o posicionamento dos equipamentos (mini grua e elevador cremalheira) possuem requisitos específicos. O elevador cremalheira deve ser locado em uma das faces da torre do empreendimento, preferencialmente com sua chegada em ambientes amplos dos apartamentos, permitindo que a movimentação de materiais seja facilitada. Outro fator importante é a observação de que as laterais esquerda e direita da torre possuem paredes de concreto aparente, que percorrem ambas as faces desde o 2º pavimento até a cobertura, impedindo a locação do equipamento nessas fachadas. A mini grua, por sua vez, possui mais opções de locação, podendo ocupar o espaço de um dos poços dos elevadores ou prevendo passagens nas lajes para seu posicionamento devido seu caráter ascensional.

Para facilitar a compreensão das limitações impostas, pode-se observar a Figura 14, na qual as linhas em vermelho indicam a projeção da torre. Além disso, surge como limitação também outros elementos estruturais como escadas e rampas de veículos. Nesse quesito, torna-se importante observar que dentre as escadas presentes no pavimento escolhido para a disposição do *layout*, apenas a escada central prossegue para o restante da torre, sendo a escada à direita finalizada no 2º pavimento da edificação. Além disso, a rampa de veículos também está presente no subsolo 1, ligando-o ao subsolo 2, porém como o pavimento mais abaixo não foi considerado como parte integrante do estudo, a área ocupada pela rampa será apenas colocada como limitador para a disposição dos setores de trabalho.

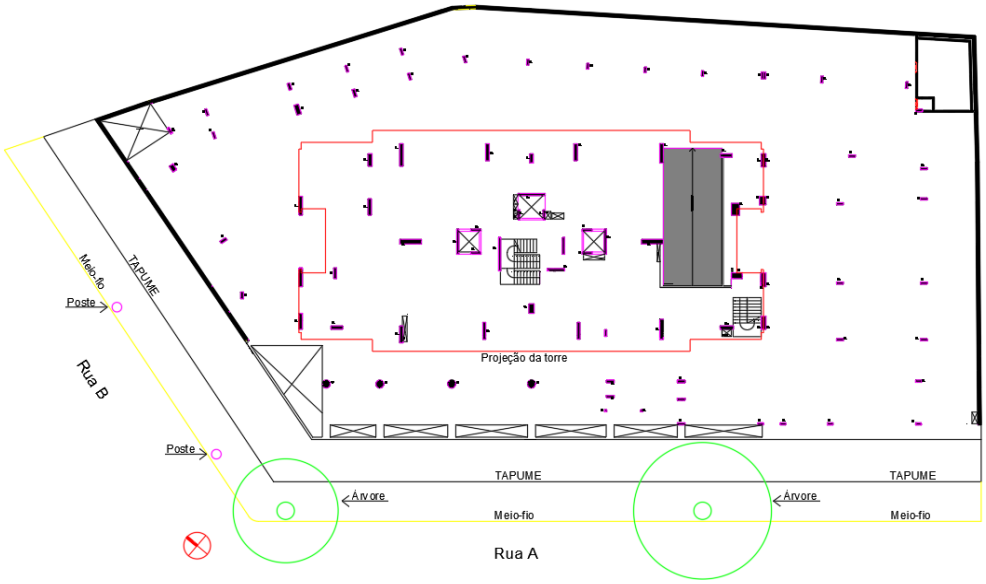


Figura 14 - Estrutura da edificação e demais limitações. Fonte: Adaptado do projeto estrutural da edificação.

Torna-se importante observar a presença de duas árvores em frente ao canteiro de obras, na rua A, limitando a locação dos portões de acesso de veículos. Outra interferência encontrada é a presença de dois postes na rua B, no entanto, essa limitação acaba não influenciando o *layout* do canteiro, já que nessa lateral o subsolo 1 encontra-se enterrado, não possuindo acesso direto ao nível da rua. Com as limitações identificadas, a concepção do *layout* final pode ser realizada, sendo o resultado gerado demonstrado na seção seguinte.

4.2.5. *Layout* final.

A concepção do *layout* final do canteiro de obras foi resultado da integração dos diagramas gerados, dos fluxos constatados e das limitações existentes. Com isso, foi possível elaborar um projeto com objetivo de reduzir perdas e estimular a comunicação entre os setores sem a necessidade de movimentação propriamente dita, além de induzir o desenvolvimento de movimentações seguras, garantindo a separação dos fluxos de pessoas e materiais, e assegurando o acesso à obra com todos os equipamentos de proteção individual necessários. O projeto de *layout* para o canteiro de obras do empreendimento pode ser visto na Figura 15.

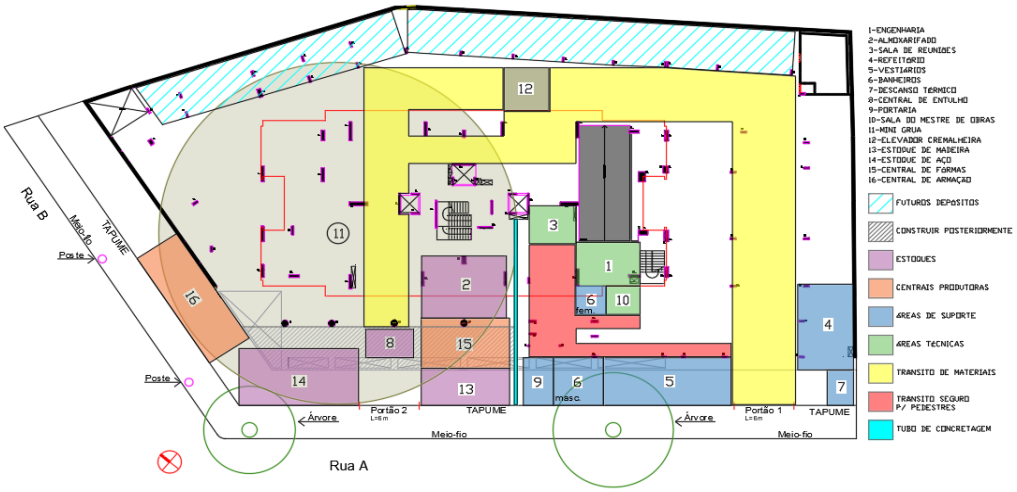


Figura 15 - Layout do canteiro de obras proposto para obra base do estudo. Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Devido as limitações observadas no tópico 4.2.4 (Limitações para concepção do *layout* final), alguns setores tiveram suas áreas modificadas, seja em dimensões como em valor nominal. Entretanto, todas as modificações geradas não causaram prejuízos aos preceitos impostos, garantindo uma área maior ou igual a anteriormente estabelecida. As áreas modificadas podem ser consultadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Dimensões atualizadas para os setores de vivência, suporte e produção.

Setor/Item	**Dimensões (m)**	**Área (m²)**
Banheiros	(5,00x5,02)+(3,00x3,00)	34,10
Vestiário	12,82x5,02	64,3564
Refeitório	5,60x9,04	50,62
Almoxarifado	6,53x8,51	55,57
Escritório	6,41x4,59	29,42
Sala de Reuniões	4,00x4,695	18,78
Central de fôrmas	5,29x8,85	46,82
Central de armação	4,73x13,19	62,39
Central de entulho	3,00x4,80	14,40
Estoque de madeira	3,91x8,85	34,60
Estoque de aço	6,00x12,00	72,00
Descanso Térmico	2,64x3,73	9,85
Portaria	3,03x5,02	15,21
Sala do Mestre de Obras	3,00x3,41	10,23

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Em relação à disposição das áreas, algumas considerações devem ser feitas. Observando uma grande relação existente entre a mini grua e as áreas produtivas e seus respectivos estoques, surge a necessidade de que parte da laje do 2º pavimento tenha sua execução postergada, mesmo essa não sendo uma situação ideal, mas que agrega muitos benefícios logísticos ao canteiro. Além disso, o posicionamento da mini grua foi modificado, previsionando-se passagens em lajes para sua instalação, de forma que seu alcance atinja a extremidade mais próxima à calçada da obra. Essa configuração pressupõe o planejamento estrutural prévio para receber as cargas incidentes, beneficiando o descarregamento de materiais diretamente dos caminhões e facilitando a movimentação de insumos e produtos entre estoques e centrais produtoras. Entretanto, essa disposição resultou em parte do pavimento da torre descoberto da atuação da mini grua, demandando a instalação do elevador cremalheira nessa área com objetivo de garantir o atendimento de todos os setores da edificação. Cabe ressaltar também que o reposicionamento da mini grua e dos setores de trabalho proporcionou duas soluções para as problemáticas de distância percorrida pelos materiais descrita no tópico 4.1 (Análise do *layout* real da obra base do estudo): i) reduziu a zero a distância entre as centrais produtoras e seus estoques; e, ii) permitiu a cobertura da grua em todas as áreas que agregam valor ao empreendimento.

A determinação dos caminhos para movimentação de materiais se aproveitou da estruturação interna da edificação, adotando o caminho que será utilizado para movimentação de veículos para esse fim. Dessa forma, foi possível interligar os dois portões de acesso aos meios de transporte vertical. O portão 1 ficou caracterizado pelo recebimento de materiais de usos futuros, ou atuação como alternativa caso o portão 2 esteja inviabilizado de uso. Por sua vez, o portão 2 pode ser considerado o principal acesso de materiais da obra já que está intrinsecamente ligado aos estoques de madeiras e aço, além de permitir acesso a central de entulho para a troca de caçambas. O acesso de pedestres ficou centralizado na edificação, possuindo portaria para recepção de visitantes e funcionários. Por fim, cabe ressaltar ainda que foi projetado o trajeto de instalação da tubulação utilizada para o bombeamento do concreto, assegurando sua posição de forma que se gerasse o menor número de interferências com a circulação de pessoas e materiais.

5. Conclusões.

O planejamento do *layout* do canteiro de obras do estudo de caso se mostrou extremamente importante devido aos benefícios gerados. Por meio de uma elaboração técnica dos setores de trabalho, pôde-se observar quais os gargalos existentes e as perdas inerentes no processo, as quais muitas vezes passam despercebidas a uma observação menos meticulosa. Por meio desse estudo, foi possível constatar que a construção do *layout* é banalizada, mesmo sendo de conhecimento amplo que os impactos gerados pelo incorreto posicionamento das estruturas podem ocasionar prejuízos financeiros e atrasos nos processos produtivos.

O estudo elaborado objetivou estabelecer um critério técnico e de fácil aplicação para concepção de *layouts* de canteiros de obra que reduzam deslocamentos e otimizem o tempo de trabalho. Por meio da aplicação de modelos visuais que abordam as necessidades inerentes a cada empreendimento (como a Figura 12 do item 4.2.1 – Diagrama de inter-relações), foi possível gerar espaços produtivos melhor aproveitados e que agregam maior valor à edificação que se constrói, afastando-se de aplicações baseadas apenas na experiência, mas adicionando ela na construção racionalizada do arranjo físico. Conforme comentado no item 4.2.1 (Diagrama de inter-relações), foi possível aproximar áreas que desenvolvem relações frequentes ou com muita interdependência, sendo um dos casos a disposição do estoque de madeira ao lado da central de fôrmas, de maneira que se priorizassem as atividades agregadoras de valor ao empreendimento. Com isso, foi possível reduzir a distância de deslocamento para produção de fôrmas em 29%, e para montagem de armaduras em 41,7%, além de incentivar que a movimentação restante seja realizada por meio de equipamentos, eliminando o transporte manual. Além disso, no item 4.2.2 (Definição de áreas) realizou-se o dimensionamento das áreas produtivas, de estocagem e de vivência, obedecendo aos padrões normativos vigentes e a material técnico específico, proporcionando maior conforto e segurança aos trabalhadores.

Por meio da aplicação do SLP, de Muther e Hales (2015), tornou-se possível observar a realidade presente na obra estudada, identificando as áreas disponíveis e o comportamento dos fluxos existentes. Por meio da construção de fluxogramas das atividades de construção de fôrmas e armação (4.1 – Análise do *layout* real da obra base do estudo) foi possível constatar que várias melhorias

poderiam ser implementadas, retirando-se etapas que não agregavam valor e adotando-se novas práticas que acelerassem o processo contribuindo, assim, para a diminuição do desvio entre aquilo que é produzido e aquilo que efetivamente é convertido em valor para o empreendimento, superando uma visão tradicional centrada apenas na transformação. Apesar do posicionamento dos equipamentos de movimentação no centro geométrico do empreendimento ser a perspectiva recomendada, o empreendimento avaliado demonstrou que uma análise mais aprofundada da disposição das áreas de trabalho tornou benéfica a movimentação da mini grua para o canto da torre. A abordagem sob uma perspectiva mais ampla possibilitou descentralizar os fluxos de abastecimento, gerando mais possibilidades de movimentação de materiais por meio da distribuição dos equipamentos de transporte, ao mesmo tempo que conseguiu atingir todas as áreas de aplicação dos produtos gerados, com o afastamento do elevador cremalheira do raio de atuação da mini grua.

Além disso, uma observação importante foi a adequação das áreas de vivência e trabalho. Baseando-se nos critérios normativos, foi possível projetar espaços melhor aproveitados, que valorizem o conforto dos funcionários e promovam maiores facilidades para execução dos trabalhos, além de resultar em menor consumo de materiais para construção de áreas de vivência, considerando os princípios do *Smart Consumption*. Por meio da racionalização do arranjo físico se viabilizou a separação do deslocamento de materiais e de pessoas, assegurando maior segurança e agilidade a todos agentes envolvidos à medida que evita a ocorrência de acidentes e acelera os deslocamentos corroborando, por sua vez, com a comprovação do conceito de *Smart Working*. Conforme demonstrado na Figura 15 no item 4.2.5 (*Layout* final), uma das soluções adotadas foi o posicionamento de áreas técnicas e vestiários próximos a portaria, reduzindo o tempo de exposição de funcionários e visitantes sem os devidos equipamentos de proteção.

As áreas de estocagem e de produção foram aproximadas, aproveitando-se em grande parte da área do terreno que não será construída. Com isso, diminuiu-se a quantidade de movimentações, uma vez que o almoxarifado está imediatamente ao lado das centrais produtivas (Figura 15 no item 4.2.5 – *Layout* final), e de distâncias percorridas por pessoas ou materiais, garantindo maior velocidade no processo e, consequentemente, reduzindo as perdas. Além disso, o pré-planejamento de áreas para ampliação futura permitiu observar cenários em que o início de outras atividades não mude drasticamente os fluxos existentes, garantindo padrões de movimentação já estabelecidos e diminuindo a quantidade de interferências. Cabe ressaltar também que a composição do almoxarifado centralizado no *layout* da obra permitiu que esse estivesse próximo de todas as frentes produtivas ao mesmo tempo que está sob vistoria direta do corpo técnico da obra.

Ainda, analisou-se a logística interna da obra sob o caráter técnico-qualitativo, o qual demonstrou a mini grua como um dos elementos centrais para o correto funcionamento dos fluxos do canteiro. As inter-relações de maior relevância foram priorizadas, assegurando rápida comunicação entre setores, através do encurtamento de distâncias. Além disso, foi possível constatar as limitações presentes na obra, incorporando na estruturação do seu arranjo físico a presença de árvores, elementos estruturais e postes que poderiam influenciar negativamente a execução de tarefas posteriores caso não fossem considerados, conforme demonstrado pela Figura 14 no item 4.2.4 (Limitações para concepção do *layout* final).

Por fim, torna-se necessário comentar que para a concepção de uma obra eficiente, que assimile padrões do *lean construction*, o processo deve iniciar pela não banalização do planejamento do canteiro de obras. A aplicação de metodologias e técnicas deve ser amplamente difundida, de modo a reduzir perdas muitas vezes imperceptíveis, mas que estão diretamente atreladas ao incorreto posicionamento de estruturas, mesmo que sejam de caráter temporário. Além disso, torna-se evidente a necessidade de modernização do setor, podendo esse se beneficiar de novas tecnologias que permitam maior rastreabilidade dos serviços aplicados e que resultem em produtos mais controláveis e gerenciáveis, favorecendo a aplicação de uma visão centrada no *Smart Product* consegue-se gerar um produto mais eficiente na sua construção e, principalmente, durante o uso do cliente. Somente pelo entendimento aprofundado, sob olhar técnico, de que a obra é um processo constante de transformação, que tornar-se-á possível aumentar a produtividade da construção civil, proporcionando mais segurança, incremento da qualidade de vida do trabalhador e a construção de edificações mais sustentáveis.

Referências.

ANTUNES, J. A. V. **O mecanismo da função de produção**: a análise dos sistemas produtivos do ponto de vista de uma rede de processos e operações. Porto Alegre: PPGEP/UFRGS, 1994.

BLS – BUREAU OF LABOR STATISTICS. ***Productivity***. Disponível em: https://www.bls.gov/productivity/. Acesso em: 17 mar. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria nº 3.214, de 8 de junho de 1978. Aprova a Norma Regulamentadora nº 15 (Atividades e Operações Insalubres). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 6 jul. 1978a.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria nº 3.214, de 8 de junho de 1978. Aprova a Norma Regulamentadora nº 18 (Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 6 jul. 1978b.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria nº 3.214, de 8 de junho de 1978. Aprova a Norma Regulamentadora nº 24 (Condições Sanitárias e de Conforto nos Locais de Trabalho). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 6 jul. 1978c.

EXAME. **O custo da burrice**. 2015. Disponível em: https://exame.com/revista-exame/o-custo-da-burrice/. Acesso em: 5 abr. 2025.

FGV. **Boletim Macro**: dosando o otimismo. Rio de Janeiro: FGV/Instituto Brasileiro de Economia, maio 2023.

ISATTO, E. ***Lean Construction***: diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na construção civil. Porto Alegre: SEBRAE, 2000.

KOSKELA, L. ***An exploration towards a production theory and its application to construction***. [S. l.]: Technical Research Centre of Finland, 2000. (VTT Publications, 408).

KOSKELA, L. ***Application of the new production philosophy to construction***. Stanford: Centre of Integrated Facility Engineering, 1992. (Technical Report, 72).

MATTOS, A. D. **Planejamento e controle de obras**. 2. ed. São Paulo: PINE, 2010.

MUTHER, R.; HALES, L. ***Systematic Layout Planning***: *a total system of layout planning*. 4. ed. Marietta, 2015.

RAMOS, M. S. ***Smart consumption***: *a concept of sustainable consumption in the context of industry 4.0*. 2023. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

SAURIN, T. A.; FORMOSO, C. T. **Planejamento de canteiros de obra e gestão de processos**: recomendações técnicas Habitare. Porto Alegre: ANTAC, 2006. v. 3.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção**: do ponto de vista da engenharia de produção. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SOUZA, U. E. L.; FRANCO, L. S. **Definição do *layout* do canteiro de obras**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1997. (Boletim Técnico, BT/PCC/177).

WEIL, K. E. Planejamento do *layout*, sistema SLP. **RAE – Revista de Administração de Empresas**, v. 19, n. 3, jul./set. 1979.

WORLD POPULATION REVIEW. ***Most Productive Countries 2025***. Disponível em: https://worldpopulationreview.com/country-rankings/most-productive-countries#top-10-most-productive-countries-in-the-world-gdp-per-capita-ppp-int. Acesso em: 17 mar. 2025.