ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Fluxo físico de elementos pré-fabricados de concreto por meio de aerofotogrametria

Physical flow of prefabricated concrete elements using aerial photogrammetry

Paulla Borges Avila da Silva
UFBA| Salvador | Brasil | paullasilva@ufba.br
Allan Victor Ribeiro de Souza Ferreira
UFBA| Salvador | Brasil | allan.ferreira@ufba.br
Roseneia Rodrigues Santos de Melo
UFBA| Salvador | Brasil | roseneia.engcivil@gmail.com
Carolina Andrade de Oliveira
UFBA| Salvador | Brasil | carolina.bam27@gmail.com
Reymard Savio Sampaio de Melo
UFBA| Salvador | Brasil | reymard.savio@ufba.br
Jardel Pereira Gonçalves
UFBA| Salvador | Brasil | jardelpg@ufba.br

Resumo
A otimização dos fluxos de processo de montagem de formas e armaduras de vigas pré-fabricadas de concreto é fundamental para maximizar os benefícios desse método construtivo, conhecido por sua capacidade de reduzir custos, agilizar a execução e aumentar a qualidade do produto. No entanto, a inconsistência na adoção de tecnologias e na representação dos dados do local de produção pode desafiar a implementação de estratégias de melhoria de processos, limitando a plena realização dos benefícios do método construtivo. A utilização de drones associados à fotogrametria surgiu como uma tecnologia de destaque para capturar e representar tanto o layout do canteiro de obras quanto da fábrica de pré-fabricados. Portanto, este artigo tem como objetivo investigar o uso de ortofotos e mapofluxogramas para avaliar os fluxos físicos dos processos de montagem de formas e armaduras de vigas pré-fabricadas de concreto. A estratégia de pesquisa adotada foi o estudo de caso exploratório. Os resultados enfatizam que as atividades de transporte são responsáveis pela maior parte dos desperdícios. As atividades do novo modelo proposto para o processo de armação evidenciaram uma redução de 33% para 22,2% na quantidade da atividade de transporte e de 25% para 22,2% na atividade de estoque. Como contribuição, este artigo demonstra a eficácia da integração de tecnologias de drones e fotogrametria na otimização dos processos de montagem em fábricas de pré-fabricados de concreto.

Como citar:
SILVA, P.; FERREIRA, A.; MELO, OLIVEIRA, C.A. R.; MELO, R.; GONÇALVES, J. Fluxo físico de elementos pré-fabricados de concreto por meio de aerofotogrametria. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

Palavras-chave: Pré-fabricados de concreto. Aerofotogrametria. Drones. Mapofluxograma. Construção Enxuta.

Abstract

Optimizing process flows for assembling formwork and prefabricated concrete beam reinforcement is essential to maximize the benefits of this construction method, which is known for its ability to reduce costs, speed up execution, and increase product quality. However, inconsistency in the adoption of technologies and the representation of production site data can challenge the implementation of process improvement strategies, limiting the full realization of the benefits of the construction method. Drones associated with photogrammetry have emerged as a prominent technology for capturing and representing both the layout of the construction site and the prefabricated factory. Therefore, this article aims to investigate the use of orthophotos and map flowcharts to evaluate the flow and contribute by proposing improvements in the assembly processes of formwork and reinforcement of prefabricated concrete beams, using these tools to analyze physical flows. The research strategy adopted was the exploratory case study. The results emphasize that transport activities are responsible for the majority of waste. The activities of the new model proposed for the framing process showed a reduction from 33% to 22.2% in the quantity of transport activity and from 25% to 22.2% in inventory activity. As a contribution, this article demonstrates the effectiveness of integrating drone and photogrammetry technologies in optimizing assembly processes in precast concrete factories.

Keywords: Prefabricated concrete. Aerial photogrammetry. Drones. Mapoflowchart. Lean Construction.

INTRODUÇÃO

A indústria da construção apresenta importância significativa na economia, representando 9% a 15% do PIB na maioria dos países, mas enfrenta ineficiências e falta de aumento de produtividade [1]. As mudanças tecnológicas e a intensificação da concorrência impõem a necessidade de alcançar níveis superiores de produtividade, incentivando as construtoras a aprimorarem seus métodos e repensarem seus sistemas de produção para aumentar sua competitividade, direcionando eficientemente os recursos disponíveis, resultando na redução de desperdícios [2].

A filosofia da construção enxuta foi adaptada da indústria manufatureira para a indústria da construção há mais de três décadas buscando minimizar tempo, custos, esforços e desperdícios, para maximiza o valor [3]. [4] discute que as perdas por superprodução representam um desafio significativo, muitas vezes encobrindo outras formas de desperdício e exigindo uma abordagem prioritária para melhorias.

Além disso, outras categorias de perdas incluem transporte, processamento ou fabricação de produtos defeituosos, movimento, espera e estoque. Cada tipo de perda deve ser examinado, desde suas causas até suas consequências, ressaltando a importância da eliminação eficaz para a otimização operacional e a redução de custos desnecessários [4]. Estratégias específicas, como análise de valor, são sugeridas para lidar com as causas fundamentais dessas perdas, demonstrando a aplicação prática dos princípios da construção enxuta na gestão do canteiro [4].

Nesse sentido, o conhecimento dos fluxos é crucial para controlar e reduzir prazos, resultando em vantagens competitivas. A logística de canteiro envolve a gestão dos fluxos físicos e de informações associados à execução de atividades, abordando temas

como planejamento detalhado, gestão da interface entre agentes, gestão física do local de trabalho e movimentação interna [5]. O gerenciamento logístico adequado, segundo [5], agrega valor aos clientes internos, garantindo a disponibilidade correta de produtos nos locais e tempos adequados.

De acordo com o estudo de [6], profissionais do setor estão cada vez mais recorrendo a ferramentas que facilitam a captação de dados para otimização das atividades operacionais. Os autores mencionam a utilização de drones, aeronaves remotamente pilotadas (RPA), como uma solução eficiente para a rápida captação de dados em imagens e vídeos, que são fundamentais para o mapeamento preciso do fluxo de trabalho no local de construção. Entretanto, apesar do progresso tecnológico na área de representação geográfica, o potencial das tecnologias como drones e fotogrametria para identificar, medir e caracterizar as perdas de transporte em canteiros de obras tem sido subutilizado [4].

As tecnologias de fotogrametria e drones são ferramentas valiosas para a análise de fluxo físico, pois oferecem *insights* detalhados em tempo real sobre o movimento de materiais, equipamentos e pessoal no local do pátio de produção nas etapas iniciais do projeto [7]. Além disso, as ortofotos e nuvens de pontos podem ser usadas para avaliar a disposição de equipamentos e estoques em ambientes que não possuem projetos ou que estão desatualizados [8].

A integração dessas tecnologias com métodos tradicionais, como mapofluxogramas e diagramas de processo, pode proporcionar uma visão detalhada e precisa dos fluxos de trabalho, facilitando a identificação de desperdícios e a implementação de melhorias. Isso é essencial para alcançar a eficiência e a eficácia na construção pré-fabricada de concreto, alinhando-se aos princípios da construção enxuta.

Portanto, torna-se necessária a utilização de drones e fotogrametria para o mapeamento de fluxos físicos em fábricas de pré-fabricados de concreto, integrado aos princípios da construção enxuta. Este artigo tem como objetivo analisar o fluxo do processo de forma e armação de vigas pré-fabricadas de concreto, por meio de um mapofluxograma apoiado por aerofotogrametria. Adicionalmente, busca-se propor melhorias visando à otimização do processo produtivo.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

LEAN CONSTRUCTION

A construção enxuta (*Lean Construction*) visa minimizar as perdas e maximizar a eficiência nos processos construtivos. Entre as principais perdas estão as relacionadas a transporte, estoques, movimentação, esperas, superprodução, defeitos e processamento excessivo. Diagramas de processos são ferramentas visuais que representam sequências de atividades ou operações dentro de um processo, facilitando a identificação de gargalos e oportunidades de melhoria [9].

O uso de mapofluxogramas, que são representações gráficas dos fluxos físicos e das operações de um processo, é vital para identificar e eliminar desperdícios. Esses diagramas ajudam na visualização das etapas do processo e na localização de

ineficiências, permitindo uma análise detalhada das atividades e a identificação de melhorias necessárias [10].

No contexto da construção enxuta, termos como *lead time* (tempo total do ciclo de produção, desde o pedido até a entrega) são cruciais para a análise e otimização dos fluxos de trabalho. A redução do *lead time* é uma meta essencial para melhorar a eficiência e reduzir desperdícios, alinhada aos princípios da construção enxuta [11].

A pré-fabricação tem sido reconhecida como um método eficaz para a implementação da construção enxuta [12]. A construção pré-fabricada de concreto consiste na produção de componentes de construção em uma fábrica, que são posteriormente montados no canteiro de obras. Essa abordagem apresenta diversos benefícios, tais como redução dos custos de construção, maior rapidez na execução, menor desperdício, melhoria na qualidade e diminuição do consumo de materiais [13].

Para otimizar ainda mais as operações nesse setor, diversas tecnologias vêm sendo introduzidas. No entanto, devido à natureza baseada em projetos e à participação de numerosas empresas de pequeno e médio porte, a adoção de tecnologias de informação ainda é incipiente, dificultando a eficiência na construção pré-fabricada de concreto [14]. O estudo realizado por [15] propôs um método para análise de fluxos físicos usando BIM 4D em canteiros de obras, baseado em algoritmos genéticos. Segundo os autores, a coleta dos dados durou cerca de 10 dias, com uma média de 6 horas por visita, representando um elevado tempo de observação e aquisição de dados. Eles destacaram a importância de um planejamento adequado do layout para garantir um trabalho contínuo e eficiente.

FOTOGRAMETRIA E TECNOLOGIA

A fotogrametria é a ciência e tecnologia de obter informações precisas sobre objetos físicos e o ambiente por meio do registro, medição e interpretação de imagens fotográficas [16]. Quando essas imagens são capturadas a partir de aeronaves ou drones, o processo é denominado aerofotogrametria, permitindo a criação de mapas e modelos tridimensionais detalhados de grandes áreas [17].

De acordo com [18], o avanço tecnológico proporcionou o aumento das aplicações do uso de sensores fotográficos de alta tecnologia e resolução embarcadas em drones. Tais ferramentas computacionais são definidas como Sistema de Informações Geográficas (SIG) e com sua utilização, torna-se factível a representação e mensuração dos elementos geográficos que proporcionam a análise, avaliação e introdução de melhorias das situações reais. Além disso, se destaca por ser uma ferramenta que gera imagens confiáveis de alta resolução espacial e temporal através da Aerofotogrametria, oferecendo repetibilidade e precisão sobre objetos físicos, todos esses benefícios a um baixo custo quando comparado a outros métodos [18].

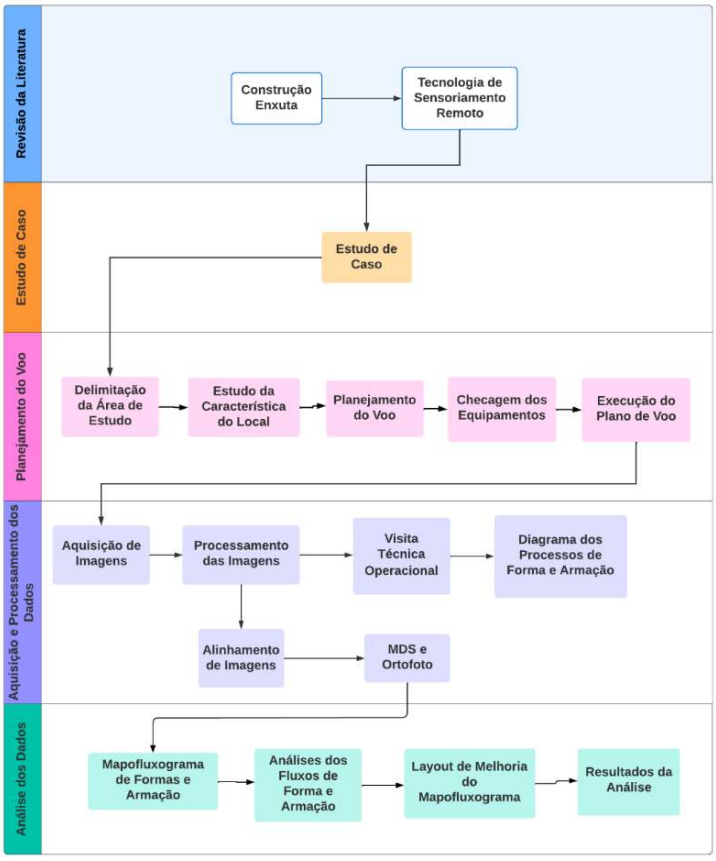
Entre os produtos gerados pela aerofotogrametria estão os Modelos Digitais da Superfície (MDS), que representam a superfície terrestre em três dimensões, incluindo todos os objetos presentes, como edificações e vegetação [19], e as ortofotos, imagens aéreas corrigidas geometricamente para garantir uma escala uniforme em toda a imagem, possibilitando seu uso como mapas precisos [20].

METÓDO DE PESQUISA

ESTRATÉGIA E DELINAMENTO DA PESQUISA

A estratégia de pesquisa adotada foi o estudo de caso exploratório com o objetivo de investigar o uso de ortofotos e mapofluxograma para avaliar o fluxo do processo de fabricação e montagem da forma e armação de vigas pré-fabricadas em um pátio de uma fábrica de pré-fabricados de concreto para uma obra de infraestrutura e propor implementação de melhorias para otimização do processo. O estudo de caso exploratório foi adotado como estratégia de pesquisa para proporcionar uma compreensão aprofundada e contextualizada do fenômeno em questão. Esse método é particularmente adequado quando se busca investigar fenômenos contemporâneos em profundidade, especialmente quando o contexto do estudo é complexo e multifacetado [21]. A escolha por um estudo de caso exploratório se justifica pela necessidade de obter *insights* sobre o uso de drones e aerofotogrametria para análise de fluxos físicos em fábrica de pré-fabricado, que nem sempre dispõem de projetos atualizados.

Figura 1: Delineamento da pesquisa



Fonte: os autores.

O estudo foi delineado em cinco principais etapas, conforme a Figura 1, sendo elas: (i) revisão da literatura, (ii) levantamento dos dados *in loco* com o uso do drone e por meio de observações diretas, (iii) processamento das imagens para geração de ortofoto, (iv) análise de fluxos com o apoio de ortofoto e nuvem de pontos para a

geração de mapofluxograma, e (v) proposição de melhorias visando a redução das perdas e aumento das atividades que agregam valor.

LEVANTAMENTO DE DADOS E INFORMAÇÕES IN LOCO

A implementação da proposta ocorreu no pátio de uma fábrica de produção de peças pré-fabricadas para obras de infraestrutura, com uma área de 12.650,00 metros quadrados, designada como Fábrica A, conforme apresentado na Figura 2 (à esquerda). Os principais equipamentos utilizados no canteiro incluíam caçambas para transporte, caminhões Munck, carros de mão, pórticos rolantes sobre trilho e pórticos rolantes sobre pneus.

A coleta de dados e informações foi realizada através de duas visitas previamente agendadas ao local, cada uma com duração média de 6 horas. Na primeira visita, conduzida por dois pesquisadores em condições climáticas adequadas, foram empregadas técnicas de observação direta e entrevistas não estruturadas. Essas entrevistas foram direcionadas aos encarregados responsáveis pelo acompanhamento da produção, com o objetivo de obter informações detalhadas sobre os processos e práticas no local.

As entrevistas não estruturadas foram escolhidas por serem um método qualitativo de coleta de dados onde o entrevistador não segue um conjunto fixo de perguntas, permitindo uma abordagem mais flexível e adaptável. Essa flexibilidade facilita a exploração de tópicos e questões que surgem naturalmente durante a conversa [22]. Foram discutidos temas como desafios diários na produção, práticas de gestão de tempo e recursos, e sugestões para melhorias. Esse método contribuiu significativamente para o trabalho desenvolvido, fornecendo *insights* detalhados e contextuais que complementaram as observações diretas, resultando em uma análise mais abrangente e precisa.

Cada etapa do processo foi observada, incluindo os equipamentos utilizados para transporte e produção no pátio. A avaliação abrangeu as operações de movimentação de materiais, uso de maquinário e eficiência dos fluxos de trabalho.

Na segunda visita, realizada durante uma manhã e conduzida por dois pesquisadores, um piloto e um observador, foi executado um voo automático utilizando o aplicativo DroneDeploy e um drone modelo DJI Mavic Air 2S. O plano de voo seguiu um formato de grid duplo, com altitude de 50 metros, e sobreposições lateral e transversal de 75% e 70%, respectivamente. O voo automático teve uma duração de 45 minutos, sendo utilizado duas baterias. Um total de 419 imagens foram capturadas.

PROCESSAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

O processamento das imagens foi realizado com o software Pix4D, amplamente reconhecido pela sua capacidade de gerar produtos resultantes da aerofotogrametria, como Modelos Digitais da Superfície (MDS) e Ortofotos. Esta metodologia permitiu a obtenção de dados precisos e detalhados, proporcionando uma visão aérea da área da fábrica e das condições de sua superfície, o que é fundamental para a análise de fluxo físicos e proposição de melhorias nos processos de produção.

Inicialmente, as ortofotos passaram por uma análise para obter informações detalhadas sobre a área estudada, resultando na elaboração dos diagramas de processo e mapofluxograma dos processos de forma e armação. A nuvem de pontos também foi processada para extrair informações tridimensionais relevantes. Posteriormente, as imagens coletadas foram submetidas a uma análise para identificar padrões e características importantes. Com base nos dados coletados, foi possível identificar cada etapa do processo estudado e elaborar o diagrama de processos das atividades de forma e armação de vigas. Em seguida, foi desenvolvido o Mapofluxograma, representado sobre a ortofoto.

PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS

Após análise dos dados e informações coletadas no local, foram estabelecidas diretrizes específicas para otimizar e melhorar o processo no pátio de produção. As conclusões derivadas do processamento das imagens, coleta manual e análises das ortofotos e nuvem de pontos permitiram identificar áreas necessitadas de melhorias, readequação ou aprimoramento. Com base nessas percepções, foram delineadas recomendações para aumentar a eficiência operacional e gerencial do pátio. Foram gerados diagramas de processo e mapofluxograma com as melhorias propostas visando identificar as inter-relações espaciais e operacionais a fim de otimizar o fluxo e, consequentemente, reduzir as perdas.

RESULTADO E DISCUSSÃO

ANÁLISE DO LAYOUT DO PÁTIO DE PRODUÇÃO

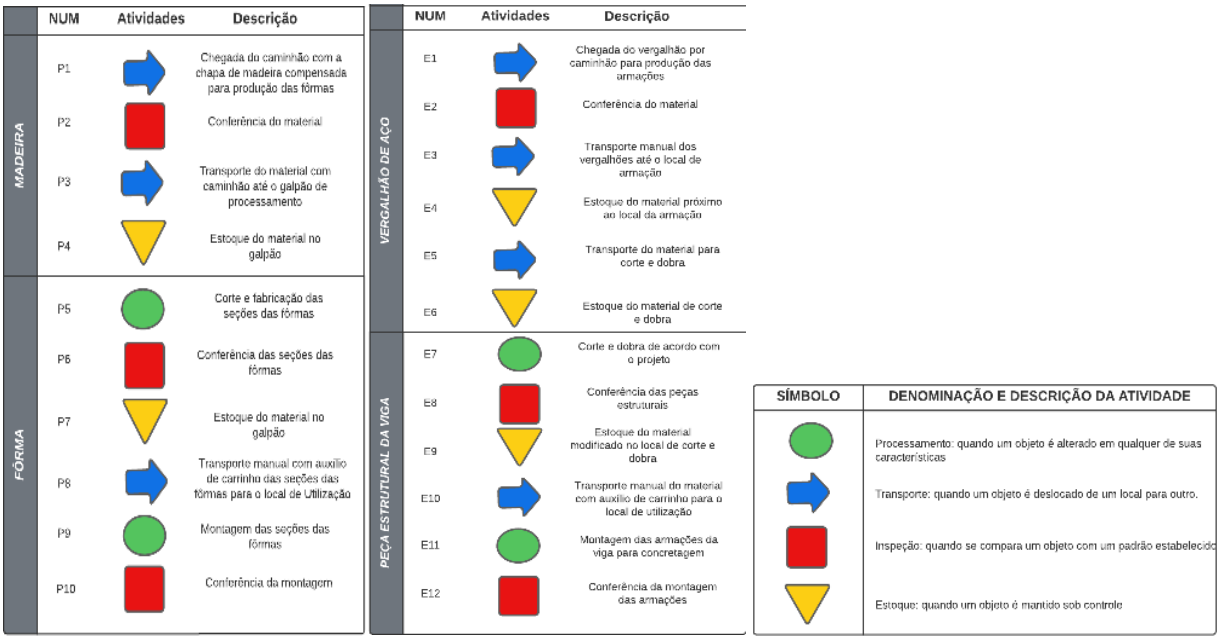
Figura 2: Pátio de grande extensão de uma obra de infraestrutura (à esquerda); MDS (à direita)



Fonte: os autores.

A Figura 2 apresenta a fábrica de pré-moldados de concreto e o Modelo Digital da Superfície (MDS) gerado após o processamento das imagens. Durante a visita, em estreita colaboração com o gerente de produção, foi possível compreender a sequência das etapas construtivas, conforme demonstrado no Diagrama de Processo dos serviços de forma e armação (Figura 3).

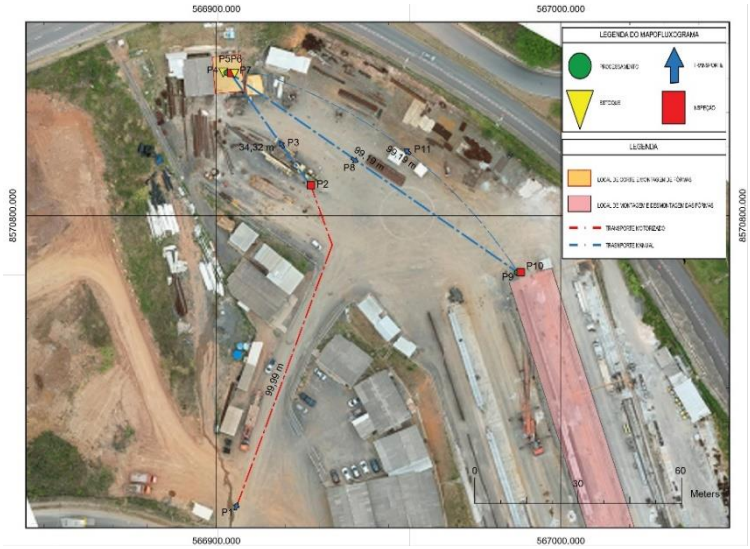
Figura 3: Diagrama de processo de Formas (à esquerda); Diagrama de processo de Armações (ao centro); Simbologia utilizada no diagrama de processos (à direita).



Fonte: os autores.

Os Mapofluxogramas apresentados nas Figuras 4 e 5 ilustram as atividades executadas no processo de formas e armações das vigas pré-fabricadas no pátio de produção. A análise do diagrama de processos e do Mapofluxograma permitiu a identificação do número de atividades que não agregam valor à produção referente ao processo de confecção das vigas. Deste modo, identificar essas atividades é necessário para a otimização do processo, pois ao eliminar tais atividades, há uma oportunidade de aumentar a eficiência geral, reduzir custos e melhorar a produtividade.

Figura 4: Mapofluxograma de Forma das Vigas.



Fonte: os autores.

Figura 5: Mapofluxograma de Armação das Vigas.



Fonte: os autores.

As Tabelas 1 e 2 oferecem um resumo das atividades em cada fase do processo, facilitando a identificação e compreensão das áreas que precisam de melhorias. Observou-se que a atividade de transporte, que representava 33% e 36% nas fases de armação e formas, respectivamente, é um ponto crítico para otimização. Reduzir o transporte pode levar a uma diminuição significativa no estoque, contribuindo para uma gestão mais eficiente dos recursos e melhorando o desempenho geral do processo.

Tabela 1: Atividades no processo de armação

Tipo de operação	Atividades (und.)	Atividades (%)
Processamento	2	17%
Transporte	4	33%
Estoque	3	25%
Inspeção	3	25%
Total	**12**	**100%**

Fonte: os autores.

Tabela 2: Atividades no processo de forma

Tipo de operação	Atividades (und.)	Atividades (%)
Processamento	2	18%
Transporte	4	36%
Estoque	2	18%
Inspeção	3	27%
Total	**11**	**100%**

Fonte: os autores.

A proposta de reduzir essas atividades é uma estratégia válida, pois não só diminui os custos associados, mas também pode encurtar os tempos de ciclo, resultando em uma possível redução do lead time do processo. Como foi observado durante as visitas que uma parte significativa do transporte era realizado manualmente, essa redução terá um impacto positivo na saúde e segurança dos trabalhadores. Priorizar o uso de equipamentos para transporte, em vez de realizar essas tarefas manualmente, tornará a proposta ainda mais benéfica para os colaboradores.

A utilização do mapofluxograma integrado ao processamento de imagens permitiu uma visão detalhada do canteiro de obras, facilitando a identificação de áreas críticas e oferecendo suporte para análises mais aprofundadas do contexto operacional, incluindo a configuração atual do canteiro e o fluxo de trabalho dos agentes. Essa abordagem revelou, por meio de observações diretas, deficiências no layout que resultavam em atividades sem valor agregado e atrasos devido ao aumento do tempo necessário para a execução de certas tarefas. Além disso, a análise revelou oportunidades para otimização, ao destacar pontos onde a reconfiguração do layout poderia reduzir ineficiências e melhorar o fluxo de trabalho, potencialmente aumentando a produtividade e a eficácia operacional.

PROPOSTA

A sequência das atividades foi analisada, levando em consideração os requisitos técnicos, o fluxo do processo e a eficiência da equipe, visando uma gestão mais eficiente dos agentes envolvidos na produção. Por outro lado, a adoção de princípios da construção enxuta requer uma análise detalhada do fluxo, com o objetivo de minimizar ou eliminar atividades que não agregam valor ao produto. Assim, após a análise do mapa de fluxo, foi proposto um novo fluxo físico, Figuras 6 e 7, para os processos de forma e armação das vigas pré-fabricadas. Essa proposta visa reduzir atividades de fluxo, com foco na otimização do processo e na redução de desperdícios.

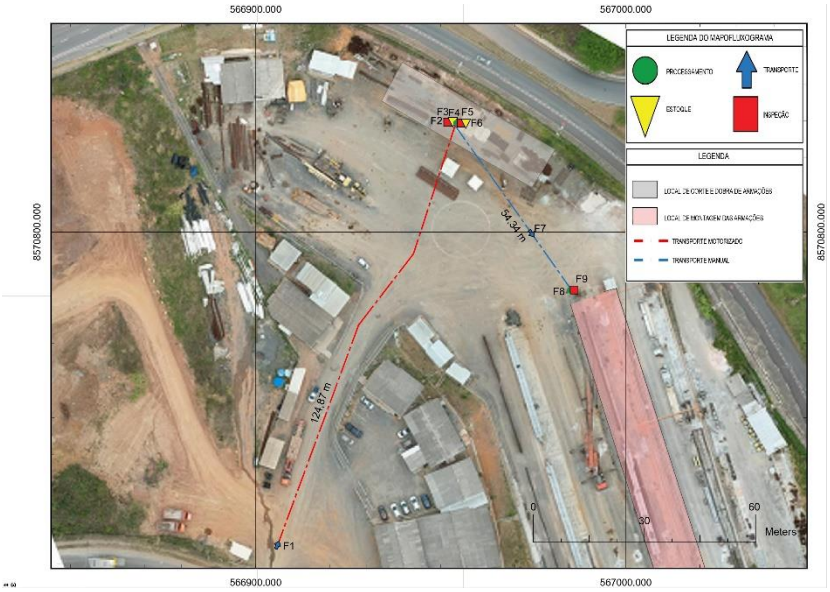
As soluções propostas visam a redução de atividades que não agregam valor, com foco especial nas perdas por transporte e estoque. A Tabela 3 ilustra os resultados do novo modelo para o processo de armação, demonstrando uma redução percentual de transportes em relação ao total de atividades de 33% para 22,2% e na redução de atividade de estoque de 25% para 22,2%. Embora as atividades de inspeção representem uma parte significativa do processo, não foram alteradas, pois são essenciais para garantir a qualidade do produto final e prevenir perdas por retrabalho.

Além disso, foi observado que o processo de forma, conduzido pela empresa, está otimizado, uma vez que todas as etapas desempenhadas são necessárias para o processo. Uma sugestão para melhorar o fluxo seria realizar uma mudança de *layout* no pátio, de modo que a fabricação das peças ocorra mais próxima do local de concretagem das vigas, sem interferir nas demais atividades. A Figura 6 apresenta o mapofluxograma proposto de armação, indicando um possível local de corte e dobra, resultando em uma redução no percurso de transporte manual dos agentes de 107,30 metros para 54,34 metros (ou seja, 49% do deslocamento), na atividade P8.

Além disso, os resultados obtidos por [23] mostram que o método empregado facilitou uma compreensão mais profunda das atividades de fluxo físico e resultou em uma redução significativa das perdas de transporte no local em análise. A utilização de mapofluxogramas georreferenciados possibilitou a medição precisa das distâncias relacionadas às perdas decorrentes de movimentações e transporte. Consequentemente, foi identificada uma diminuição nas perdas de transporte com a modificação do layout em uma média de 15,2 metros em cada deslocamento dos trabalhadores. A aplicação de drones revelou-se eficaz para atingir os objetivos da

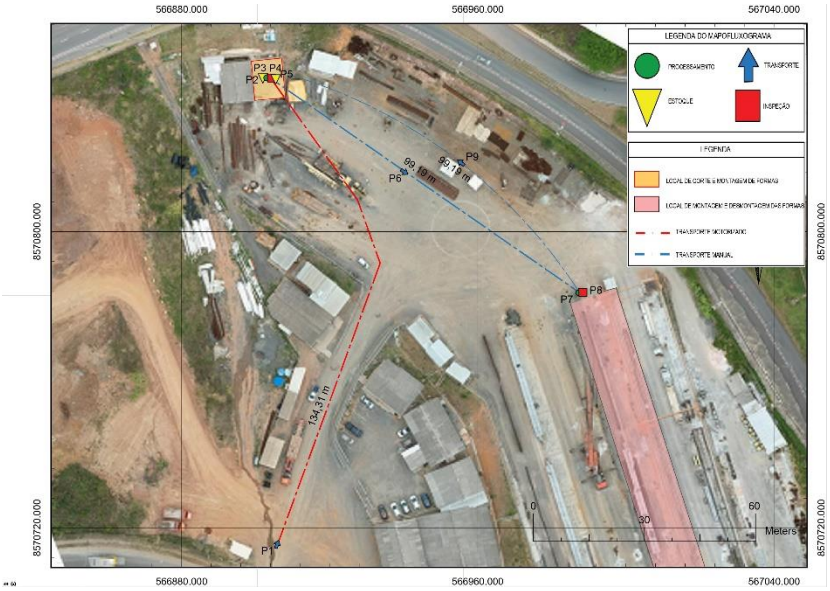
pesquisa, uma vez que as imagens capturadas permitiram aos pesquisadores identificar as deficiências nos fluxos físicos no canteiro de obras em estudo.

Figura 6: Mapofluxograma proposto de melhoria de atividades de armação.



Fonte: os autores.

Figura 7: Mapofluxograma proposto e mudança no layout.



Fonte: os autores.

Tabela 3: Resumo de atividades do mapofluxograma proposto do processo de armação

Tipo de operação	Atividades (und.)	Atividades (%)
Processamento	2	22,2%
Transporte	2	22,2%
Estoque	2	22,2%
Inspeção	3	33,3%
Total	9	100%

Fonte: os autores.

CONCLUSÃO

Devido aos benefícios da construção pré-fabricada de concreto, a análise do fluxo de processos com um mapofluxograma apoiado por fotogrametria revelou ganhos notáveis. A utilização de drones possibilitou a criação de ortofotos georreferenciadas, permitindo a visualização das atividades e a medição das distâncias percorridas pelos colaboradores, favorecendo a otimização pela eliminação ou redução de atividades que não agregam valor. Os resultados mostraram que o modelo proposto para o processo de armação possibilita uma redução de perda por transporte de 33% para 22,2% e de perda por estoque de 25% para 22,2%, destacando melhorias de fluxos no pátio de produção.

Como limitação da tecnologia tem-se a restrição do uso de drone em espaços internos. O seu uso em canteiros restritos depende das condições específicas do local e das regulamentações de voo de drones. Essas tecnologias podem ser úteis para o planejamento de layout de canteiro em todas as fases da construção, incluindo ambientes fabris, como pátio de pré-fabricado de concreto, que não possuem cadastro atualizado. Além disso, outras tecnologias podem ser integradas para uma análise mais abrangente. Embora tenha o custo do levantamento utilizando drones e fotogrametria, os benefícios a longo prazo, como economia de tempo e melhorias na segurança, geralmente compensam esse investimento.

Estudos futuros podem se beneficiar da adoção de métodos avançados de análise, como simulações computacionais e análise de redes, além da integração com outras tecnologias digitais, como realidade aumentada e inteligência artificial, para otimizar ainda mais os processos na construção civil.

REFERÊNCIAS

[1] DELGADO, J. Robotics and automated systems in construction: Understanding industry-specific challenges for adoption. **Journal of Building Engineering**, v. 26, p. 100868, 2019.

[2] BURGOS, A.; COSTA, D. B. Assessment of Kanban Use on Construction Sites. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 20., 2012, San Diego. **Proceedings [...].** 2012.

[3] KOSKELA, L. 1993. **Lean production in construction.** In: L.F. Alarcon, ed. Lean Construction. 1. ed. Rotterdam: A.A. Balkema, 1993. p. 1-9.

[4] PÉREZ, C. **Proposta de um método para a identificação, mensuração e caracterização das perdas por transporte nos fluxos físicos em canteiros de obras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

[5] CARDOSO, F. Importância dos Estudos de Preparação e da Logística na Organização dos Sistemas de Produção de Edifícios: Alguns Aprendizados a Partir da Experiência Francesa. In: Seminário Internacional Lean Construction – A Construção Sem Perdas, 1., 1996, São Paulo. **Anais [...].** São Paulo, 1996.

[6] LIU, P.; CHEN, A.; HUANG, Y.; HAN, J.; LAI, J.; KANG, S.; SAI, M. A Review of Rotorcraft Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Developments and Applications in Civil Engineering**. Smart Struct. Syst**, v. 13, n. 6, p. 1065-1094, 2014.

[7] PARK, H.; RACHMAWATI, T.; KIM, S. **UAV-Based High-Rise Buildings Earthwork Monitoring—A Case Study.** Sustainability, v. 14, n. 16, p. 10179, 2022.

[8] HAMLEDARI, H.; MCCABE, B.; DAVARI, S. Automated computer vision-based detection of components of under-construction indoor partitions. **Automation in Construction,** v. 74, p. 78-94, 2017.

[9] DAMELIO, R. **The Basics of Process Mapping.** Productivity Press, 2011.

[10] SILVA, D. **Aplicação do FMEA como suporte para melhoria de processos na construção civil: um estudo de caso.** Trabalho de conclusão de curso (Engenharia de Produção)- Universidade Federal de Campina Grande, Sumé, 2019.

[11] LIKER, J. **The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer.** 1. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2004.

[12] VWY, T.; CM, T.; SX, Z.; WCY, N. Towards adoption of prefabrication in construction. **Building and environment**, v. 42, n. 10, p. 3642-3654, 2007.

[13] XU, G. **Cloud asset-enabled integrated IoT platform for lean prefabricated construction.** Automation in Construction, v. 93, p. 123-134, 2018.

[14] PÉREZ, C.; FERNANDES, L.; COSTA, D. **A literature review on 4D BIM for logistics operations and workspace management.** Proceedings, 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, Boston, MA, USA, sect.8, 2016, pp. 53–62.

[15] VIANA, C.; SOUZA, C.; PÉREZ, C.; COSTA, D. **Análise dos fluxos físicos em canteiro de obra por meio do uso de simulações BIM 4D e com base em algoritmos genéticos.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 1., 2017. **Anais [...].** 2017.

[16] WOLF, P.; DEWITT, B. **Elements of Photogrammetry with Applications in GIS**. 3. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2000.

[17] KRAUS, K. Photogrammetry: Volume 1. **Fundamentals and Standard Processes.** Dümmler, 1993.

[18] KOTIKOV, J. GIS-modeling of multimodal complex road network and its traffic organization. **Transportation Research Procedia**, v. 20, p. 340-346, 2017.

[19] LI, Z.; ZHU, Q.; GOLD, C. **Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology.** 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2005.

[20] MIKHAIL, E.; BETHEL, J.; MCGLONE, J. **Introduction to Modern Photogrammetry.** 1. ed. New York: Wiley, 2001.

[21] YIN, R. **Case study research and applications**. 6. ed. Thousand Oaks: Sage Publications, 2018.

[22] CRUZ NETO, O.; MINAYO, M. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade.** Petrópolis, RJ: Editora Vozes, 1999.

[23] SACRAMENTO, I.; CAMPOS, V.; FERNANDES, V.; FERREIRA, E. Veículo aéreo não tripulado como suporte à gestão de fluxos físicos em canteiros de obra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 11., 2019, Brasília. **Anais [...].** Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 2019. p. 1-10.