

APRIMORAMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO DE ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS - ESTUDO DE CASO DO EM UMA INDÚSTRIA DE PRÉ-MOLDADOS EM GUARAPUAVA-PR

MENDES, Cassiano Ricardo¹

DALA COSTA, Bárbara Pergher²

RESUMO: Neste artigo, aprimorou-se o processo construtivo de elementos pré-moldados em uma indústria localizada em Guarapuava-PR, que atua no setor há mais de 10 anos e já entregou mais de duzentas obras. Foram identificadas as causas das patologias presentes nos elementos fabricados e analisados os efeitos da aplicação de soluções construtivas nos processos de fabricação e transporte das estruturas. Esse estudo foi proporcional para reduzir custos não previstos em orçamentos, minimizar desperdícios, diminuir impactos ambientais e aumentar a segurança estrutural das obras de engenharia. A implementação dessas melhorias proporcionou um avanço significativo na eficiência e qualidade dos processos, beneficiando a empresa e seus clientes.

PALAVRAS-CHAVE: patologias em pré-fabricados, fissuração em pré-moldados, deformações em elementos pré-moldados.

ABSTRACT: This article focused on improving the construction process of precast elements in a company located in Guarapuava, PR, which has been operating in the sector for over 10 years and has delivered more than 200 projects. The causes of defects in the manufactured elements were identified, and the effects of applying construction solutions to the processes of manufacturing, transportation, assembly, and use of the structures were analyzed. This study was essential to reduce unforeseen costs in budgets, minimize waste, decrease environmental impacts, and increase the structural safety of engineering works. The implementation of these improvements resulted in significant advancements in process efficiency and quality, benefiting the company and its clients.

KEYWORDS: Pathologies in precast elements, cracking in precast components, deformations in precast elements.

1. INTRODUÇÃO

Concreto pré moldado, conforme define o autor e pesquisador Mounir Khalil El Debs (2017), é um componente estrutural de concreto fabricado fora do local da construção, em fábricas ou ambientes controlados, e posteriormente transportado para montagem. O processo garante maior controle sobre a qualidade do material, resistência e precisão nas dimensões, além de reduzir o tempo de execução das obras. Essa técnica é amplamente utilizada em projetos de infraestrutura e edificações, proporcionando eficiência e economia no canteiro de obras.

¹ Engenharia Civil, 10º Período, Centro Universitário Campo Real, engc-cassianomendes@camporeal.edu.br

² Engenharia Civil, Professora do Centro Universitário Campo Real, prof_barbaracosta@camporeal.edu.br

Segundo Pederiva (2009), esses elementos representam uma opção válida para racionalizar o processo de produção. As peças pré-moldadas possuem características significativas, como rapidez de execução, controle de qualidade, projetos de modulação e um relativo nível organizacional de produção.

Com o objetivo de melhorar os processos produtivos de uma fábrica de pré-moldados localizada em Guarapuava-PR, foram realizadas visitas técnicas para identificar possíveis inadequações nas etapas de produção de elementos estruturais. Durante essas inspeções, foram detectados problemas visíveis nas estruturas, que foram registrados e analisados de forma sistemática. Com base em fundamentos teóricos, normas técnicas e princípios de engenharia estrutural, foram elaboradas e implementadas soluções para otimizar os processos produtivos e corrigir as inadequações observadas.

A empresa analisada atua no setor de estruturas pré-moldadas, com foco na produção de barracões industriais e comerciais. Fundada em 2014, apresenta um volume de produção anual que ultrapassa dez unidades de barracões. O processo de fabricação segue normas técnicas e busca garantir o desempenho esperado para os elementos estruturais produzidos, com atualizações frequentes em seus métodos e práticas.

Diante deste cenário, a pesquisa desenvolvida tem como objetivo geral analisar o processo produtivo da fábrica e propor melhorias, considerando os impactos financeiros e operacionais associados. Para isso, verificou-se a produção de elementos estruturais, incluindo lajes, vigas, pilares e placas, visando prevenir problemas como retração, fissuração, variações na relação água/cimento, acúmulo de tensões internas e manuseio inadequado. Tais problemas podem comprometer a integridade e o desempenho funcional das peças fabricadas, sendo a sua mitigação uma prioridade no estudo.

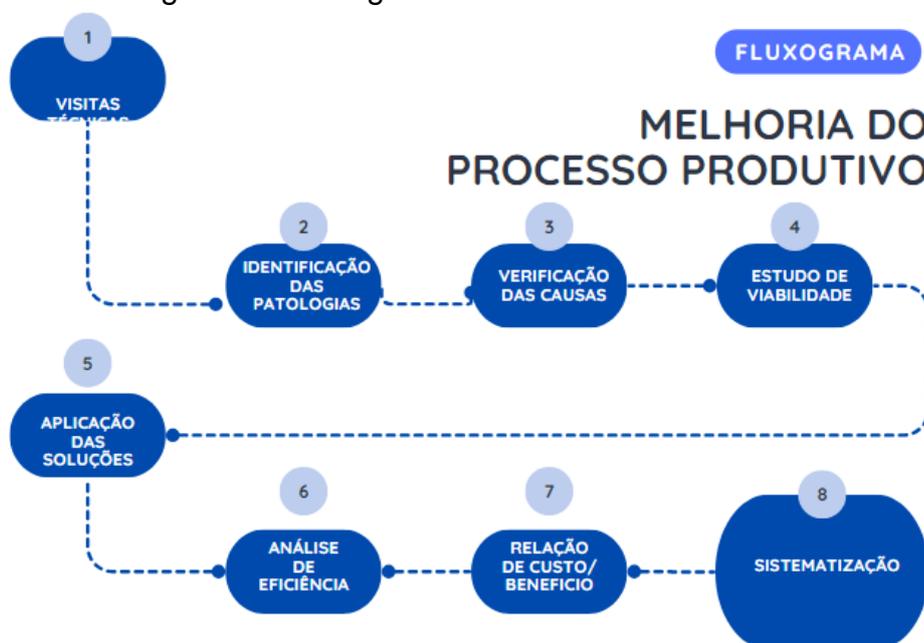
2. METODOLOGIA

A estruturação deste artigo foi organizada em etapas distintas. Inicialmente, foram definidos os procedimentos metodológicos e os processos de investigação utilizados na pesquisa. Em seguida, foram analisados os impactos econômicos e cronológicos relacionados à execução das obras, com base nos dados obtidos. Posteriormente, identificaram-se as principais manifestações patológicas presentes

nas edificações avaliadas, acompanhadas de uma análise técnica dos problemas observados.

Na sequência, realizou-se um levantamento de soluções tecnológicas disponíveis no mercado nacional, complementado pela avaliação de alternativas com viabilidade técnica e econômica. Por fim, registrou-se a aplicação das intervenções propostas, seguida da avaliação do desempenho obtido. Os resultados foram apresentados em formato objetivo, com o uso de gráficos que permitiram quantificar os efeitos das medidas implementadas, conforme demonstrado na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma das atividades realizadas



Fonte: Autor (2024).

Com base na identificação dos elementos estruturais que apresentavam maior incidência de falhas, foram realizados levantamentos iniciais com o objetivo de catalogar os principais problemas, registrar as manifestações patológicas e realizar os diagnósticos preliminares. Para embasar a análise, foram consultados artigos técnicos, normas regulamentadoras e bibliografias específicas, que auxiliaram na determinação das possíveis causas das não conformidades identificadas.

Ao longo do processo, constatou-se um número significativo de patologias ocorrendo predominantemente durante as etapas de transporte das estruturas pré-moldadas. Para mitigar essas falhas, foram pesquisadas soluções técnicas descritas em publicações científicas e oferecidas por fabricantes nacionais, os quais

disponibilizam produtos e métodos de engenharia direcionados à prevenção de danos em elementos estruturais tanto na fase de fabricação quanto no transporte. A aplicação e o teste de algumas dessas alternativas resultaram em uma redução das patologias observadas e em impactos financeiros menos expressivos.

As inconsistências que permaneceram, para as quais não existiam soluções comercialmente disponíveis, foram tratadas por meio de estratégias desenvolvidas em colaboração entre a empresa e o autor. Estas soluções visaram minimizar os custos adicionais e promover melhorias no processo de produção, contribuindo para a redução de falhas nos elementos estruturais e para a otimização das etapas subsequentes do ciclo produtivo.

2.1. ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS

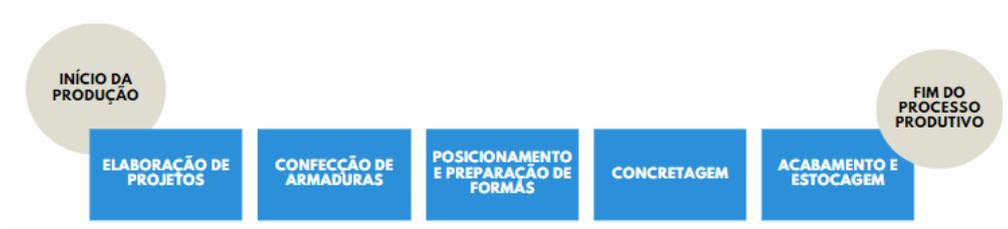
O uso de pré-moldados oferece diversas vantagens, como maior controle de qualidade, redução do tempo de execução das obras e maior eficiência na produção. Segundo El Debs (2017), o pré-moldado é fabricado em ambientes controlados, o que possibilita a obtenção de um material com características mecânicas e dimensionais superiores, além de permitir a fabricação de peças em larga escala, aumentando a produtividade e reduzindo o desperdício de materiais. Outra vantagem citada pelo autor é a padronização das peças, o que facilita o processo de montagem no canteiro de obras.

No entanto, esse sistema também apresenta limitações. De acordo com Pederiva (2009), uma das principais desvantagens do uso de pré-moldados é a necessidade de transporte e armazenamento adequado das peças, o que pode acarretar custos adicionais e demandar espaço considerável no canteiro de obras. Além disso, o alto custo inicial de produção das formas e a dificuldade em adaptar as peças para projetos arquitetônicos complexos podem limitar a flexibilidade do uso de pré-moldados em determinados tipos de construção.

Além das vantagens estruturais, o processo de produção das peças pré-fabricadas ocorre fora do ambiente da obra, utilizando um sistema de formas, como ilustrado na Figura 2. Após o desenvolvimento do projeto, as armaduras são confeccionadas e inseridas nas formas. Em seguida, realiza-se a concretagem com concreto de alta resistência. Nas etapas finais, as peças são içadas, levadas para o

setor de acabamento, estocadas e, por fim, transportadas aos destinos finais para sua implementação.

Figura 2 – Fluxograma do processo de produção de pré-moldados



Fonte: Autor (2024).

2.1.1. Processo de Fabricação

O processo de fabricação dos pré-moldados na empresa inicia-se com o preparo das formas metálicas para a inserção das armaduras. Em seguida, o setor responsável pela produção de concreto envia caminhões do tipo balão, cuja carga é despejada nas formas, finalizando assim a confecção dos elementos de concreto armado. Posteriormente, as peças passam por inspeção, acabamento e, com o auxílio de um sistema de ponte rolante, são estocadas até o momento do transporte para os locais de instalação.

Entre os elementos produzidos na fábrica, destacam-se pilares, vigas e lajes, que compõem as estruturas, além de placas de concreto utilizadas no fechamento lateral das edificações. Segundo Mario Salvadori (1979, p. 38), "uma viga é um membro horizontal de uma estrutura que suporta as cargas aplicadas em sua superfície e as transfere para os suportes verticais ou paredes". As vigas são fundamentais na construção de edifícios e pontes, pois distribuem o peso e garantem a estabilidade estrutural. Ainda de acordo com Salvadori, os pilares são elementos estruturais verticais cuja função é suportar cargas e transferi-las para as fundações. O autor afirma que "um pilar é um membro vertical que suporta uma carga concentrada ou distribuída e a transfere para uma base sólida" (1979, p. 39). Por fim, sobre as lajes, Carlos Henrique Andery (2007) define que elas são "elementos estruturais planos, usualmente horizontais, de pequena espessura em relação às suas dimensões em planta, projetados para resistir às forças perpendiculares ao seu plano, como cargas verticais.

2.1.2. Anomalias na Produção de Estruturas Pré-Fabricadas

Segundo Brisolara (2014, p18), o estudo das patologias em construções envolve a análise das causas e dos sintomas dos problemas que surgem nesses contextos. As patologias incluem falhas e anomalias decorrentes da perda de desempenho de um elemento, subsistema ou sistema construtivo.

Essas anomalias podem ser causadas pelo uso inadequado, operação incorreta ou falta de manutenção, gerando danos significativos à edificação, tanto do ponto de vista estrutural quanto em sua aparência (Brisolara, 2014, p22). A seguir serão conceituados os principais tipos de patologias identificados neste trabalho.

Quadro 1 – Patologias Identificadas no Processo Produtivo

<p>Acúmulo de Tensões Devido ao Lançamento Inadequado de Concreto</p>	<p>De acordo com o descrito na obra de Marcos Neto (1998), o acúmulo de tensões devido a variações na seção transversal de um elemento de concreto pode resultar em uma distribuição desigual de cargas e tensões. Essas variações podem ocorrer devido a mudanças nas dimensões da seção ou a irregularidades na forma do elemento. O efeito é um aumento nas tensões locais, que pode levar ao desenvolvimento de fissuras e comprometer a capacidade de carga e a integridade estrutural do componente.</p>
<p>Variações na Relação Água/Cimento</p>	<p>Neville e Brooks (2010) afirmam que a relação água/cimento exerce uma influência significativa sobre a resistência e outras propriedades do concreto. Uma relação água/cimento baixa não só aumenta a resistência, mas também melhora a durabilidade e a impermeabilidade do concreto. Em contrapartida, uma relação água/cimento alta pode resultar em maior porosidade, redução da resistência, aumento da permeabilidade e diminuição da durabilidade do material. Neville (1975) destaca que a resistência do concreto pode ser influenciada por diversos fatores, incluindo a relação entre o cimento e a água, a relação entre o cimento e o agregado e até mesmo o formato das partículas do agregado utilizado.</p>

<p>Inadequações no Armazenamento</p>	<p>Segundo o pesquisador Helene (2007), a estocagem inadequada de elementos como lajes pode acarretar diversos problemas que comprometem sua qualidade e desempenho. Entre os principais problemas estão a deformação devido ao empilhamento incorreto por uso inadequado de apoios, o aparecimento de fissuras e trincas causadas por tensões concentradas. Esses fatores resultam na redução da resistência e durabilidade das lajes, comprometendo sua segurança e funcionalidade e aumentando a possibilidade do aparecimento de fissuras que podem, em casos mais extremos, até mesmo, condenar a peça fabricada.</p>
<p>Manuseio para Transporte Inadequado</p>	<p>Os autores Helene e Terzian (1992) descrevem que o manuseio e transporte incorretos são uma das principais causas de patologias que podem incluir fissuras, trincas e até a perda de resistência mecânica, resultado de impactos, vibrações e deformações que ocorrem durante o deslocamento das peças. Além disso, destaca-se que a ausência de planejamento adequado no transporte pode levar à sobrecarga ou distribuição incorreta de tensões nas peças, provocando defeitos que, muitas vezes, só são identificados após a aplicação de carga no projeto final.</p>
<p>Retração na Superfície</p>	<p>O fenômeno de retração em elementos concretados resulta, principalmente, da perda de água na pasta de cimento e de alterações físico-químicas internas. No estado fresco do concreto, essa perda de água pode ocorrer devido ao processo de cura do concreto, ao efeito da exsudação, ou ainda por alguma superfície em contato com o concreto. Esse processo é responsável pelo surgimento do efeito conhecido como chamada retração plástica, que provoca o aparecimento de fissuras na superfície do concreto que afetam diretamente a aparência e resistência dos pré-fabricados (HELENE, 2007).</p>

Aparecimento de Bolhas de Ar	<p>Segundo Mehta e Monteiro (2014), em sua obra <i>Concrete: Microstructure, Properties, and Materials</i>, as bolhas de ar são formadas principalmente quando a água e o ar ficam presos na superfície do concreto fresco, e a eliminação dessas bolhas depende do correto adensamento e das condições de aplicação. A presença excessiva dessas bolhas pode comprometer a qualidade estética e a durabilidade da superfície do concreto, uma vez que formam pontos de fraqueza. Também segundo MILANI, Cleovir José et al. (2012) o aparecimento bolhas ocorre devido a utilização de desmoldantes inadequados e vibração realizada de forma incorreta durante a etapa de concretagem.</p>
------------------------------	--

Fonte: Acervo do autor (2024).

3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise dos resultados apresentados nesta seção baseia-se em uma investigação detalhada realizada por meio de visitas aos centros de produção, carregamento e canteiros de obras. A seguir, são discutidos os problemas encontrados e suas causas específicas, bem como os impactos gerados no processo produtivo.

3.1. IDENTIFICAÇÃO DAS NÃO CONFORMIDADES

Nesta etapa foram realizadas um grande número de visitas aos centros de produção, carregamento e nos canteiros de obras afim de se identificar e registrar os defeitos que resultaram na inutilização das peças. Os principais problemas identificados referem-se à estocagem inadequada, lançamento do concreto incorreto, vazamentos nas mangueiras da produção de lajes, transporte inadequado e a constatação de bolhas e outras incoerências nas faces dos elementos.

3.1.1. Lançamento Inadequado de Concreto nas Lajes

Durante a etapa de fabricação foi identificado, conforme visto na Figura 4, um efeito causado pelo espalhamento indevido do concreto na forma. Quando o concreto era lançado de forma descontínua, ocorria o acúmulo de material na região central da forma, gerando um deslocamento das mangueiras utilizadas na produção dos alvéolos nas lajes. Esse deslocamento comprometia a uniformidade da distribuição do concreto, resultando em falhas na estrutura das lajes e prejudicando a qualidade final do produto. A irregularidade no lançamento, portanto, interferia diretamente na eficiência do processo de fabricação e na integridade das peças.

Figura 4 – Lançamento com acúmulo de concreto na região central



Fonte: Acervo do autor (2024).

3.1.2. Problemas Causados por Mangueiras Danificadas

Em uma das visitas realizadas, verificou-se que as mangueiras, responsáveis por gerar espaços vazios no interior das lajes por meio da utilização de água, apresentavam vazamentos, conforme visto na Figura 5. Ao investigar o problema com mais atenção, percebeu-se que diversos efeitos eram causados por esse fenômeno, muitos deles nocivos aos elementos concretados.

Neste caso, o vazamento de água nas mangueiras não só aumenta a relação água/cimento, reduzindo a resistência do concreto, como também, em algumas situações, inutiliza a massa de concreto pela lavagem do aglomerante.

Figura 5 – Mangueira com vazamento de água



Fonte: Acervo do autor (2024).

O volume de água desprendido pelas mangueiras era tão significativo que, como mostrado na Figura 6, podia-se observar que o acúmulo de líquido na superfície dos elementos concretados. Após a secagem, essas superfícies apresentavam uma grande quantidade de manchas brancas, indicando a ocorrência do fenômeno da lixiviação, um dos efeitos provocados pelo excesso de água na massa. A lixiviação ocorre quando os sais solúveis presentes no concreto são dissolvidos e transportados para a superfície, resultando em marcas visíveis e comprometendo a durabilidade das peças.

Figura 6 – Lajes apresentando excesso de água na superfície indicando vazamentos



Fonte: Autor (2024).

3.1.3. Identificação Problemas por Estocagem Indevida de Lajes

Foi observado que algumas lajes, cujo processo de produção não apresentou quaisquer inconsistências, apresentaram trincas no momento do carregamento, sugerindo que o armazenamento estava sendo realizado de forma inadequada.

Figura 7 – Registro de estocagem inadequada.



Fonte: Acervo do autor

Essas fissuras foram observadas principalmente em dois pontos: nas transições de tamanho entre as lajes, como mostrado na Figura 7, e nos apoios, que estavam sendo posicionados muito próximos ou muito distantes do bordo externo da laje.

3.1.4. Fissuração de Lajes Durante a Etapa de Transporte

Durante os estudos, percebeu-se que uma das etapas mais críticas para o surgimento de fissuras era o transporte. Observou-se que as lajes, embora em bom estado ao sair do local de origem, chegavam ao destino com várias trincas. Isso indicava que o transporte estava sendo feito de maneira inadequada, causando impactos significativos nos custos e prazos. Como indicado na Figura 8, verificou-se que os pré-moldados eram carregados de forma a concentrar tensões em pontos específicos, favorecendo o surgimento de trincas e outras patologias.

Figura 8 – Registro de carregamento inadequado.



Fonte: Acervo do autor

3.1.5. Identificação de Bolhas nas Peças Concretadas

Foi identificado uma grande quantidade de estruturas apresentando descontinuidades nas faces laterais com o formato de pequenas bolhas, de acordo com o identificado na Figura 9, sendo esta uma das patológicas mais incidentes nas peças de pré-moldado, ocorrendo principalmente nas vigas e pilares.

Figura 9 – Elemento estrutural com inconsistências do tipo bolha em suas faces.



Fonte: Acervo do autor

3.1.6. Identificação de Retração nas Faces Superiores dos Elementos

Foi constatado conforme visto na Figura 10, fissuras nos elementos concretados em suas faces superiores sendo um sintoma do fenômeno da retração. A retração do concreto refere-se à diminuição de volume da massa cimentada que ocorre ao longo do tempo, sem a necessidade da influência de forças externas afetando a qualidade e aparência dos pré-fabricados.

Figura 10 – Viga apresentando trinca por retração plástica



Fonte: Acervo do autor

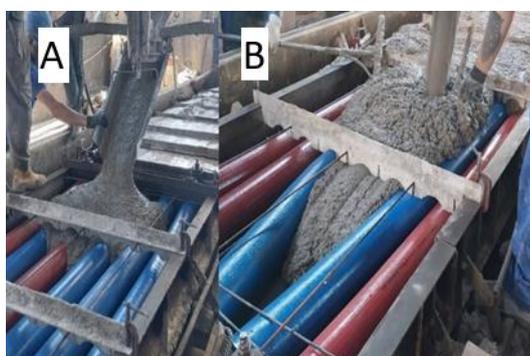
3.2. CORREÇÕES NO PROCESSO DE PRODUÇÃO

Na sequência estão descritas as soluções que foram desenvolvidas afim de corrigir os problemas identificados dentro do processo produtivo da fábrica. Além de iniciar ações corretivas nas atividades relacionadas, foram implementados produtos e técnicas de acordo com as normas vigentes e na falta destes, realizou-se a criação e adaptação de soluções com base em conhecimentos de engenharia.

3.2.1. Lançamento do Concreto

Conforme verifica-se na Figura 11, é possível identificar as diferenças no resultado do lançamento com o uso de uma bica. Na imagem A, as mangueiras mantêm suas posições projetadas, enquanto no método anterior, mostrado na imagem B, elas se deslocavam para posições inadequadas, alterando a seção transversal dos elementos concretados.

Figura 11 – Lançamento utilizando bica adaptada (A) e direto da caixa (B).



Fonte: Acervo do autor

Outra medida para alinhar as mangueiras nas lajes foi a adaptação dos espaçadores, como mostrado na Figura 12, a fim de aumentar a área de contato com as mangueiras e assim impedir seu deslocamento. Os espaçadores precisaram ser cuidadosamente inseridos de forma a evitar possíveis danos, como rasgos ou furos, nas mangueiras.

Figura 12 – Registro da utilização de espaçadores adaptados



Fonte: Acervo do autor (2024)

A utilização conjunta dos espaçadores adaptados e da bica artesanal para lançamento do concreto permitiu que os alvéolos das lajes deixassem de apresentar incoerências na seção transversal, como mostrado na comparação entre os resultados da concretagem antes e depois das adaptações. Essas modificações garantiram uma distribuição mais uniforme do concreto, evitando falhas que comprometiam a integridade das peças. Além disso, as adaptações contribuíram para a melhoria da precisão no preenchimento das formas, resultando em lajes com maior qualidade estrutural e menos defeitos visuais. A implementação dessas soluções também demonstrou uma redução nos custos com reparos, otimizando o processo produtivo.

3.2.2. Regularização de Vazamentos e da Relação A/C

Buscando corrigir os problemas de vazamentos nas mangueiras de água da forma de lajes assim como procurando evitar o descarte das mangueiras que gerava grandes custos e demandava grande quantidade de tempo, foram implementadas algumas soluções sendo a de maior efetividade a utilização de soldas plásticas.

Foram testados diversos produtos existentes no mercado, como colas, silicones e fitas adesivas apropriadas para o tipo de material do qual são feitas as mangueiras e assim obteve-se uma solução mais econômica em comparação com as penosas trocas de mangueiras que diminuíram significativamente o custo com manutenções.

Desta forma os efeitos do excesso de água nas lajes, efeito de sucessivos vazamentos, foi mitigado através de uma solução integrada de diferentes produtos e materiais que formaram um recurso eficiente que não só impede a redução da

resistência nas lajes quanto diminuiu os custos advindos da necessidade de substituição das mangueiras.

3.2.3. Correções no Processo De Estocagem

Na busca soluções para as fissurações causadas no momento de estocagem, foram inicialmente realizados cálculos de resistência que relacionaram a distância dos apoios com o tamanho das lajes afim de verificar quais eram as medidas ideais afim de garantir a atuação das menores tensões possíveis nos elementos.

Após essa etapa, outro passo importante foi a conferência e implementação de ações que busquem garantir o devido acompanhamentos das instruções do manual das estruturas pelos colaboradores da empresa, elaborado pelos projetistas das estruturas. A Figura 15 ilustra o armazenamento das peças seguindo as instruções e procedimentos corretos para estocagem.

Figura 15 – Foto do estoque realizado em conformidade com os cálculos e normas vigentes.



Fonte: Acervo do autor

O manual apresentado pelo projetista, por exemplo, limita a quantidade de lajes estocadas em cada pilha, discriminação dos tipos de apoios permitidos, entre outras informações que eram ignoradas nos procedimentos de estocagem.

3.2.4. Correções na Etapa de Carregamento

Afim de obter melhores informações sobre essa etapa, foram elaborados um conjunto de testes que consistiram em realizar os carregamentos de lajes, vigas e

pilares com destino às obras em diferentes configurações no posicionamento dos apoios.

Figura 16 – Registro de uma carga de peças

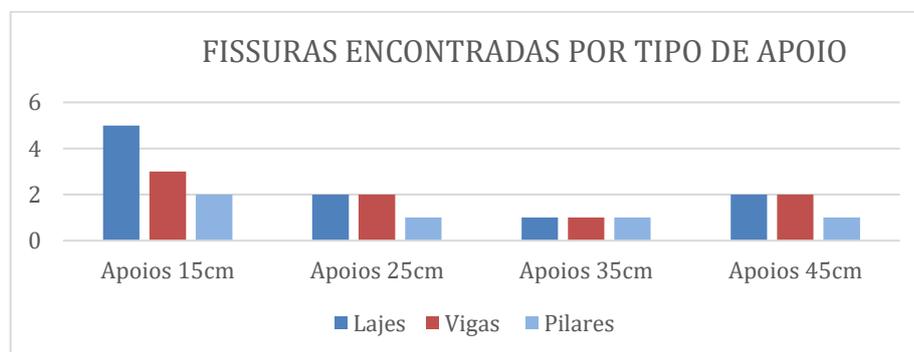


Fonte: Acervo do autor

Estes ensaios, conforme ilustrado na Figura 16, em conjunto com dados fornecidos pela empresa e informações obtidas de artigos técnicos sobre o assunto, permitiu realizar uma análise minuciosa identificando-se os fenômenos que ocorrem no processo, desde o acúmulo de carga até ao efeito da trepidação e de inércia.

Nesta situação os apoios mais centralizados permitiam às estruturas diminuição dos esforços internos gerados pelo movimento da carga e conseqüentemente a diminuição de fissurações em até 75% conforme analisado no Gráfico 1, que relaciona a quantidade de fissuras em cada elemento analisado com a configuração de diferentes tipos de apoio.

Gráfico 1 – Gráfico das patologias observadas em diferentes tipos de apoio.



Fonte: Banco de dados da empresa

Os ensaios realizados evidenciaram que as configurações com apoios posicionados a 15, 25 e 45 centímetros apresentavam o maior número de fissuras. Em especial, os apoios de 15 cm destacaram-se por concentrarem a maior quantidade

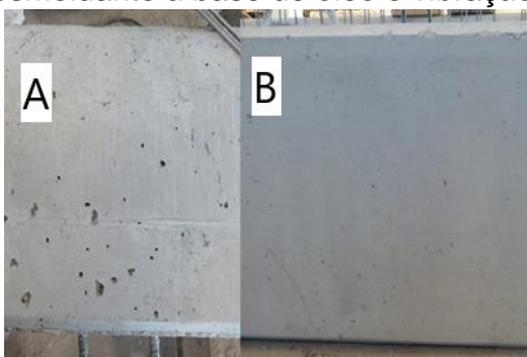
de patologias, indicando que a proximidade dos apoios às bordas acentuava os esforços internos nas estruturas, comprometendo sua integridade.

Com base nesses resultados, foi possível implementar um novo procedimento para a elaboração das cargas destinadas às obras. Esse procedimento consistiu em utilizar vigotes com maior área de contato nas lajes e reposicionar os apoios a 35 centímetros da borda. Essas alterações proporcionaram uma redução drástica no surgimento de fissuras nesta etapa da produção, otimizando a qualidade estrutural e prolongando a durabilidade das construções.

3.2.5. Correções Visando Impedir o Aparecimento De Bolhas

Segundo também o autor Annerel (2007) as bolhas na superfície do concreto são causadas pelo aprisionamento de ar e pela presença de detritos na forma, porém o tipo de desmoldante, método de vibração e o material da forma também impactam o acabamento da peça. Por isso esses fatores foram corrigidos com base no manual de instruções do fabricante do equipamento de vibração e das normas técnicas referentes ao assunto NBR 14931 (2004), o tempo de utilização de método de inserção no concreto fresco. Na Figura 17, pode-se verificar os efeitos da mudança de procedimento no acabamento das peças que passaram a apresentar menor quantidade de bolhas nas faces dos elementos concretados.

Figura 17 – Comparação de elementos concretados com biodesmoldante e vibração adequada (B) e com desmoldante à base de óleo e vibração inadequada (A).



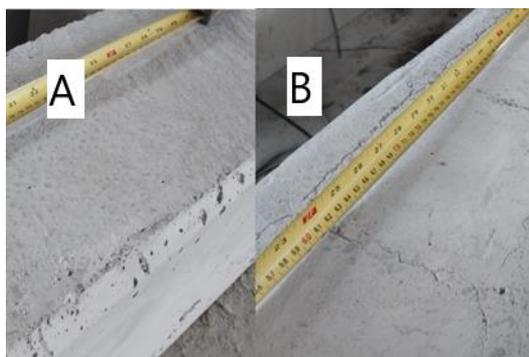
Fonte: Acervo do autor

3.2.6. Aplicação das Correções Combatendo a Ocorrência da Retração

Segundo o autor e pesquisador Helene (2007) a perda de água durante a fase de cura do concreto, fator de ocorrência da retração plástica, pode ser controlada se

foram adotados procedimentos adequados durante o lançamento do concreto e seu adensamento. Desta forma, foram adotadas medidas que buscassem evitar a perda de água da massa de concreto, sendo a mais efetivas a formação de estufas acima das formas de concreto utilizando-se de lonas plásticas e mantas térmicas de alto desempenho. Conforme verificado na Figura 18, houve uma diminuição na incidência de trincas na face superior consequência dos efeitos do fenômeno da retração.

Figura 18 – Comparação de duas vigas, coberta (A) e não coberta (B).

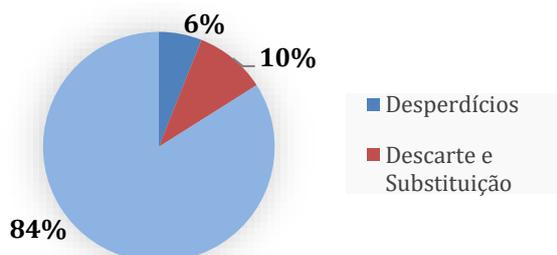


Fonte: Acervo do autor

3.2.7. Análise Geral dos Problemas Antes das Ações de Correção

Com objetivo de aumentar a eficiência, diminuindo os índices de desperdícios e retrabalhos, e ainda buscando maior competitividade e eficiência em sua atuação, a empresa disponibilizou balanços financeiros, como verificado no gráfico 2, que possibilitaram obter os custos médios com a reprodução de estruturas devido ao aparecimento de defeitos.

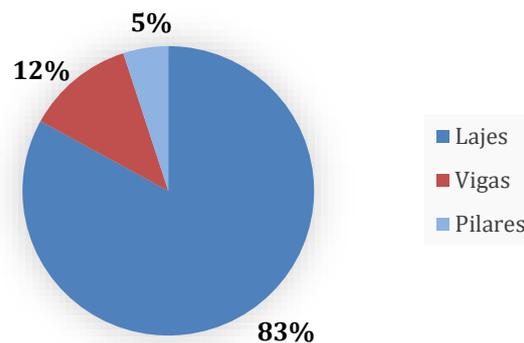
Gráfico 2 – Relação dos custos com os prejuízos pelo aparecimento de patologias de uma obra.



Fonte: Autor (2024)

Os balanços permitiram verificar que em algumas obras, onde o aparecimento de problemas estruturais foi mais intenso, o valor dos prejuízos pela fabricação inadequada de elementos chegou a 16% do custo da obra, conforme gráfico 2. Os dados ainda permitiram verificar quais os tipos de peças que mais apresentaram defeitos, conforme visto no gráfico 3.

Gráfico 3 – Proporção dos elementos fissurados separados por tipo.

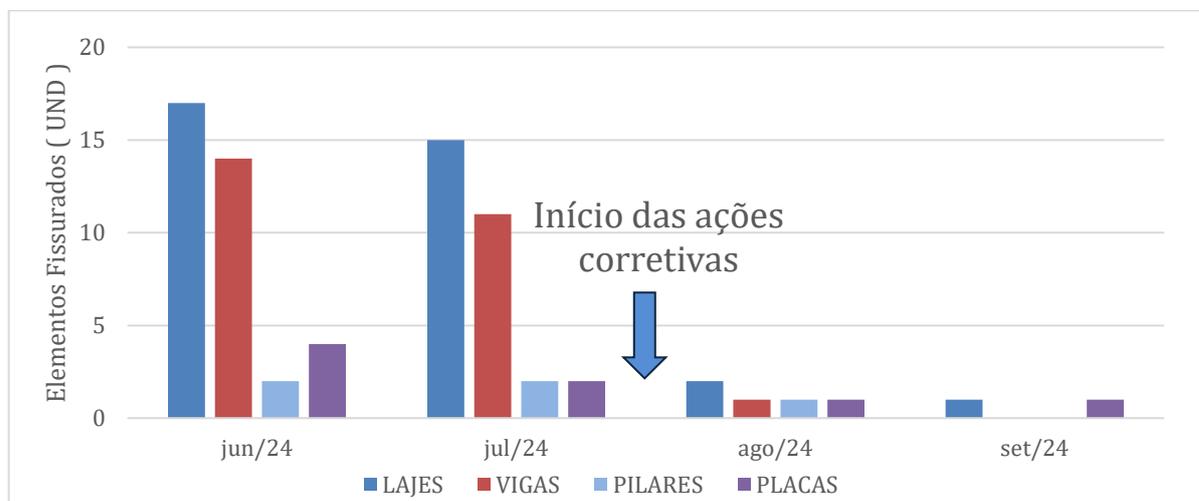


Fonte: Autor (2024).

3.3. ANALISE COMPARATIVA

Após serem adotadas as diversas ações corretivas no processo produtivo de elementos pré-moldados da fábrica, pode-se perceber conforme indica o Gráfico 4, que houve significativa diminuição na quantidade de inconsistências observadas nas peças afetadas pelas correções.

Gráfico 4 – Elementos fissurados por mês e indicação do início das ações corretivas.



Fonte: Autor (2024).

4. CONCLUSÃO

Analisando, por exemplo, o número de lajes, elemento que apresentava o maior índice de peças defeituosas e com necessidade de reprodução, pode-se verificar, através do Gráfico 4, uma redução de 91% na quantidade de elementos defeituosos ao se comparar o período de dois meses antes das ações corretivas com os dois meses após sua aplicação. Além disso, houve diminuição na quantidade de pilares e vigas com defeitos.

De forma geral, o número total de elementos fissurados caiu cerca de 8%, o que também reduziu o desperdício de materiais e os impactos financeiros negativos para a fábrica. Como também mostrado no Gráfico 4, as melhorias implementadas nos procedimentos produtivos resultaram em uma redução significativa das patologias identificadas, indicando que a maioria das ações corretivas atingiu seus objetivos.

A maior qualidade no processo produtivo, incluindo o uso de equipamentos, materiais e técnicas mais adequados, contribuiu diretamente para reduzir os prejuízos causados pela necessidade de refazer peças de concreto pré-moldado defeituosas. Outro ponto importante foi a identificação da necessidade de sistematizar o processo de melhorias, já que o incentivo à busca por melhores resultados motivou a equipe a perseguir continuamente a excelência em suas atividades. As ações corretivas também possibilitaram à empresa entregar um produto final com melhor acabamento, garantindo obras de maior qualidade visual e aumentando a satisfação dos clientes.

Por fim, este trabalho alcançou êxito tanto na melhoria do processo produtivo quanto na redução significativa de perdas financeiras, além disso, demonstrou que a aplicação do conhecimento de engenharia pode levar a empresa a níveis elevados de eficiência e qualidade em sua produção.

5. REFERÊNCIAS

ANNEREL, E.; SCHUTTER, G. de. microstructure and aesthetic appearance of scc. international rilem symposium on self-compacting concrete, p5., 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14931: Execução de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1992). NBR 6118 - Projeto e execução de obras em concreto armado (Revisão). Rio de Janeiro

BRISOLARA, G.P. (2014). Patologia na Construção Civil: a permanência de velhos erros em novos contextos. CREA-SC. Santa Catarina

EL DEBS, M. K. Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações. 2. ed. São Paulo, 2017.

FERREIRA, M. de A. (1993). Estudo de deformabilidades de ligações para análise linear em pórticos planos de elementos pré-moldados de concreto. São Carlos, 193p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

HELENE, P.; TERZIAN, P. Manual de Dosagem e Controle do Concreto. 1. ed., São Paulo: Pini, 1992.

HELENE, P.; PEREIRA, F.; Rehabilitación y mantenimiento de estructuras de concreto. São Paulo: CARGRAPHICS, 2007. 21p. SALVADORI, Mário - ESTRUTURAS PARA ARQUITETOS. Buenos Aires, Editora La Isla, 1979.

HELENE, P.; TIBÉRIO, A.; "Concreto de cimento Portland." Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais 2 (2007): 945-984.

JÚNIOR, Enio Ribeiro. Propriedades dos materiais constituintes do concreto. Revista Especializem, 2015. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/55502557/enio-ribeiro-junior-1615287.pdf>

MARCOS NETO, N., Estruturas Pré-Moldadas de Concreto para Edifícios de Múltiplos Pavimentos de Pequena Altura: Uma Análise Crítica. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas), Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo, P. M. (2014) Concrete – Microstructure, Properties, and Materials – 4ª Ed. Ed.: MC Graw Hill Education. ISBN.: 978-0-07-179787-0. Inglês. p.675

MILANI, Cleovir José et al. Processo produtivo de elementos pré-moldados de concreto armado: detecção de manifestações patológicas. Risco Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo (Online), n. 15, p. 82-91, 2012.

NEVILLE, A. M. Properties of concrete. Londres, Reino Unido, Pitman, p 65-73, 1975.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. Concrete Technology. 2. ed. London: Pearson Education, 2010.

PEDERIVA, José Vicente. Tecnologia da construção de estruturas de concreto. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2009.