https://doi.org/10.4322/CBPAT.2022.020

Congresso Brasileiro de Patologia das Construções

RELATO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO PRÉ-FABRICADAS: DA PRODUÇÃO À PÓS-MONTAGEM

Adair Antonio Riboli[1], Caroline Techio[2]*; Luciéle da Silva Knierim[3]; Rodrigo André Klamt[4]
*Autor de contato: carolinetechio.eng@gmail.com

[1] Departamento de Engenharias e Ciência da Computação, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Frederico Westphalen, Brasil
[2] Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil
[3] Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil
[4] Departamento de Engenharias e Ciência da Computação, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Frederico Westphalen, Brasil

RESUMO

O concreto pré-fabricado promete atender a execução da obra com maior rapidez e de forma sustentável se comparado ao concreto moldado *in loco*. Isso decorre, geralmente, pela produção industrial possuir maior controle tecnológico, dispondo de condições capazes de executar as etapas com maior segurança e qualidade. O objetivo da pesquisa foi realizar um estudo aplicado a fim de verificar as manifestações patológicas em peças pré-fabricadas, mediante inspeção visual das mesmas, além de acompanhar o processo da produção até o destino final da obra. Também, com base no conhecimento científico, buscou-se distinguir as falhas que deram origem aos problemas apresentados nas peças, de modo a propor alternativas apropriadas para minimizá-las. Foram identificadas diversas manifestações patológicas cujas origens variam desde decorrentes do traço, do adensamento, das fôrmas, da montagem e descuidos no transporte/montagem das mesmas. De mesma forma, as soluções factíveis são distintas a depender da natureza de origem das falhas, podendo ser preventivas ou corretivas e, incluindo, treinamento das equipes, no intuito de evitar falhas por descuidos.
Palavras-chave: Manifestações patológicas, estrutura pré-fabricada, concreto.

ABSTRACT

Prefabricated concrete promises to meet the execution of the work more quickly and sustainably compared to cast-in-place concrete. This is generally due to the fact that industrial production has greater technological control, providing conditions capable of executing the steps with greater safety and quality. The objective of the research was to carry out an applied study in order to verify the pathological manifestations in prefabricated parts, through visual inspection of the same, in addition to monitoring the production process until the final destination of the work. Also, based on scientific knowledge, we sought to distinguish the failures that gave rise to the problems presented in the pieces, in order to propose appropriate alternatives to minimize them. Several pathological manifestations were identified whose origins vary from the trace, the densification, the forms, the assembly and carelessness in the transport/assembly of the same. In the same way, feasible solutions are different depending on the nature of origin of the failures, and may be preventive or corrective and, including, training of teams, in order to avoid failures due to carelessness.
Keywords: Pathological manifestations, prefabricated structure, concrete.

1. INTRODUÇÃO

De certa maneira todos os seres terrestres buscam um abrigo para o seu *hábitat.* No entanto, o ser humano, por se tratar de um ser racional, desde o princípio de sua existência vem aprimorando seu ambiente em busca de um abrigo que lhe proporcione maior conforto e segurança, assim, com o

decorrer do tempo o ramo da construção civil passou por vários processos de inovação tecnológica, propiciando a descoberta de novos materiais e técnicas que contribuíram para seu sucesso.

As demandas cada vez mais crescentes movimentaram os canteiros de obra no Brasil, tanto no setor industrial como no de habitação, gerando um avanço científico e tecnológico na construção civil. Por isso, pode-se dizer que houve melhora na qualidade das obras, mas isso não foi suficiente para eliminar totalmente as manifestações patológicas nas edificações. (ISAIA, 2005).

O aquecimento do mercado da construção civil despertou interesse e aumentou a concorrência, tornando as empresas mais competitivas e favorecendo a criação de alternativas para reduzir mão de obra manual e os desperdícios. Por este motivo houve um grande investimento na industrialização da construção civil, potencializando o setor de pré-fabricado. De acordo com a NBR 9062 (ABNT, 2017), os elementos pré-fabricados são “executados fora do local de utilização definitiva na estrutura, com controle de qualidade”, além disso, se apresentam mais eficientes na rapidez de execução, controle de qualidade, projetos de modulação e relativa organização de produção, gerando melhor aproveitamento dos materiais.

O padrão de qualidade na produção do pré-fabricado é um fator de grande importância, sendo que o processo produtivo inadequado, bem como sua posterior montagem, é responsável por várias manifestações patológicas que influenciam diretamente na eficiência do elemento (MOREIRA, 2009). Podem-se citar diversos problemas presentes nos elementos pré-fabricados de concreto, como trincas nos consoles, as indesejáveis bolhas que se formam nas laterais da fôrma, as fissuras em pilares e vigas; e as fraturas que ocorrem nas extremidades dos elementos e nos consoles de encaixe das vigas.

No entanto, mesmo com possíveis problemas de manifestações patológicas, o pré-fabricado de concreto armado se apresenta como uma grande solução para atender o crescimento da demanda na construção civil. Os processos construtivos mais eficientes são fatores determinantes para as empresas enfrentarem as concorrências, a fim de buscar novas alternativas que permitam acelerar os processos e atender as exigências de normas técnicas e de mercado. Com o mercado cada vez mais exigente, o padrão de qualidade estética e funcional está em primeiro lugar e o processo produtivo deve ser monitorado e executado com alto controle de qualidade. Com esse propósito, após o desmolde das peças de concreto pré-fabricado, a verificação de possíveis manifestações patológicas decorrentes do processo produtivo, transporte, montagem e pós-montagem são essenciais e possuem a finalidade de identificar suas possíveis causas e buscar alternativas para solucioná-las.

Com base no crescimento da industrialização, esta pesquisa buscou estudar as manifestações patológicas ocorridas no processo de produção, transporte, montagem de pilares e vigas pré-fabricados de concreto armado, além da análise desses problemas na pós-montagem; e tem a finalidade de auxiliar os engenheiros na solução dos empecilhos encontrados nestas etapas. Após identificar as manifestações e suas principais causas, e apresentar uma possível solução, buscou-se com essa pesquisa incentivar a maior qualidade e segurança das obras em concreto pré-fabricado, além de proporcionar tranquilidade e conforto aos usuários, revertendo a imagem negativa do pré-fabricado, criada pelos problemas ocorridos no passado.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Componentes, dosagem e lançamento do concreto

Os agregados são materiais inertes encontrados na natureza, possuem custo relativamente baixo e são de grande importância no concreto por compor no mínimo ¾ do volume. Os de origem natural recebem processo simples de lavagem ou seleção e os sintéticos são processados artificialmente. As propriedades da brita podem exercer grande influência na qualidade do concreto, desta forma, é importante conhecer o tipo de rocha, sua textura, tendência à degradação, abrasão, dureza, resistência, forma, dimensão, textura superficial e absorção (NEVILLE; BROOKS, 2013).

A escolha do cimento também é fundamental para atender a necessidade do projeto. No caso do pré-fabricado, a finura do cimento acelera a pega inicial, aumenta permeabilidade, a trabalhabilidade e coesão do concreto. Entretanto, há o aumento da liberação de calor, ficando suscetível à fissuração (EL DEBS, 2017). O uso de aditivos plastificantes e super plastificantes permitem reduzir a relação água/cimento (a/c) mantendo a trabalhabilidade do concreto sem aditivo, assim, facilitando o lançamento em locais de difícil acesso e minimizando a fissuração e a retração, o que contribuí para evitar o surgimento das avarias (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Inclusive, uma das soluções para minimizar as manifestações patológicas, é o uso de aditivos, pois, permite a redução da água e mantém a trabalhabilidade, da mesma forma, pode reduzir o consumo de cimento e manter a resistência desejada. Quando reduzido o consumo de cimento, o aquecimento no interior do elemento é menor, minimizando as possibilidades de retração e fissurações na peça endurecida. Ainda, conforme recomendações da ABNT NBR 15900-1 (2009), a água utilizada deve ser livre de impurezas e com níveis de sódio e potássio aceitáveis, sendo a mesma fornecida para abastecimento ao público a ideal para produção do concreto. O uso não adequado desse elemento pode desencadear a diminuição da resistência, aparecimento de manchas, corrosão da armadura, entre outros (NEVILLE; BROOKS, 2013).

O adensamento do concreto é fator preponderante em termos de patologias. Alencar (2008) diz que o processo de adensamento pode causar um desconforto na fábrica e nem sempre é executado adequadamente. Logo, para solucionar essa questão, surgiu o Concreto Auto-Adensável (CAA), que mediante sua fluidez pode se distribuir uniformemente no interior da fôrma, preenchendo todos os espaços sem apresentar falhas e nem bolhas de ar, dispensando, assim, o nivelamento e também uso de vibradores. Para isso as fôrmas devem ser estanques, evitando vazamentos dos agregados finos.

2.2 Manifestações patológicas em elementos pré-fabricados

As manifestações patológicas em pré-fabricados podem surgir em decorrência de fatores como descuidos e não seguimento à alguns requisitos fundamentais na produção, execução ou mesmo na utilização, como, por exemplo nas etapas de dosagem, controle de qualidade dos materiais, adensamento do concreto e transporte das peças. Assim, faz-se necessário o conhecimento do problema para aplicar o tratamento adequado. Neste item serão apresentadas as principais manifestações patológicas em estruturas pré-fabricadas de concreto.

A primeira delas são as bolhas na superfície e laterais das fôrmas das peças, sendo um problema corriqueiro e que, segundo GEYER (1995 *apud* FIABANI, 2010), surge durante o processo de mistura e lançamento do concreto, momento em que somente partes do ar presente na massa é eliminado com a vibração, assim, a água e o ar que permanecem no interior tendem a acomodar-se

nas laterais e faces das fôrmas. O maior desconforto causado por essa manifestação patológica ocorre quando a estrutura não recebe camada de reboco para revestimento e é somente aplicada pintura, ficando as bolhas ainda aparentes.

Para Isaia (2011), as manchas na superfície do concreto podem ter origens diversas. As manchas induzidas podem ocorrer em concretos com diferentes tipos de cimento, pigmentação, agregados de pigmentos distintos e falta de controle de qualidade dos materiais. O lançamento em tempos diferentes, muda o tempo de pega, e o processo de adensamento inadequado mantém os agregados na superfície da peça, ocasionando a coloração diferente e de difícil correção.

As fissuras são manifestações patológicas que ocorrem na estrutura de concreto e podem ter origens físicas, químicas ou mecânicas. Elas se manifestam quando a tensão de tração supera a resistência do concreto fresco ou endurecido e, dependendo da maneira ou forma que se apresenta, permite fazer o diagnóstico de sua causa (ISAIA, 2011). Podem ser decorrentes de diversos fatores, como adensamento inadequado, cura ineficiente do concreto, problemas no transporte e içamento das peças.

Em relação à retração, a mesma tem como principal causa a exposição do elemento pré-fabricado de concreto fresco em ambientes propícios à evaporação da água, como, por exemplo: altas temperaturas; baixa umidade relativa do ar; ou contato direto com o sol. A fissuração no estado plástico ou no início do endurecimento é desencadeada por impedir o assentamento das partículas sólidas e quando há perda do volume d'água por evaporação. A fissuração não possui uma direção definida, mas no caso de concreto armado a tendência das deformações é seguir a direção das barras de aço. Uma forma de minimizar é empregando aditivos plastificantes e super plastificantes que mantém a fluidez do concreto, reduzindo o volume de água e, consequentemente, diminuindo a evaporação (ISAIA, 2011).

Ainda, há as quebras, que segundo Moreira (2009), nas estruturas pré-fabricadas podem surgir em forma de fraturas em cantos ou pontos específicos, podendo ser relacionados com deformidades das fôrmas, erros na desmoldagem ou pela ineficiência do desmoldante. Moreira (2009) explica que as quebras podem surgir ao não serem respeitadas as idades mínimas para desmoldagem, submetendo o concreto à esforços que o mesmo ainda não possui resistência suficiente para suportar. Como consequência das fraturas causadas no manuseio, ocorre a condenação e o descarte da peça.

Durante o processo de concretagem e adensamento do concreto pode ocorrer segregação entre o agregado graúdo e a argamassa, além da formação de cavidades e nichos de concretagem. Essas manifestações patológicas acarretam imperfeições que podem comprometer as peças, sendo que a causa pode ser decorrente da dosagem inadequada do concreto, adensamento mal-executado, estanqueidade das fôrmas ou alta concentração de barras de aço.

3. METODOLOGIA

Esta pesquisa foi desenvolvida em uma empresa que atua no ramo de indústria de pré-fabricados de concreto armado e indústria de estruturas metálicas, situada no município de Frederico Westphalen, no estado do Rio Grande do Sul. O foco da pesquisa foi a inspeção visual das manifestações patológicas encontradas em pilares e vigas pré-fabricados, ocorridas nos processos de: fabricação; retirada das fôrmas; transporte até o local de aplicação; montagem e pós-montagem.

A análise não teve foco somente em uma obra e sim em elementos estruturais destinados às diferentes construções, a fim de que a análise tivesse maior dimensão.

As manifestações patológicas constatadas nas vigas e pilares analisados foram comparadas com as encontradas na literatura, de modo a analisar a tipologia das mesmas e possíveis fatores de ocorrência. Por fim, através da revisão de literatura, do conhecimento prático e teórico, foram propostas possíveis soluções para as desconformidades encontradas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Bolhas

Uma tipologia de patologia encontrada foi a bolha aparente. As bolhas aparentes na superfície do elemento pré-fabricado, ou presentes na lateral da fôrma, são oriundas da falha em alguma fase da produção, e podem ser vistos na Figura 1. Neste caso o elemento foi produzido com traço tradicional utilizado pela empresa de 1:3:4 (cimento CP V - ARI: areia: brita 01).

Figura 1 - Bolhas na lateral da peça com o traço 1:3:4 (cimento:areia:brita 01)

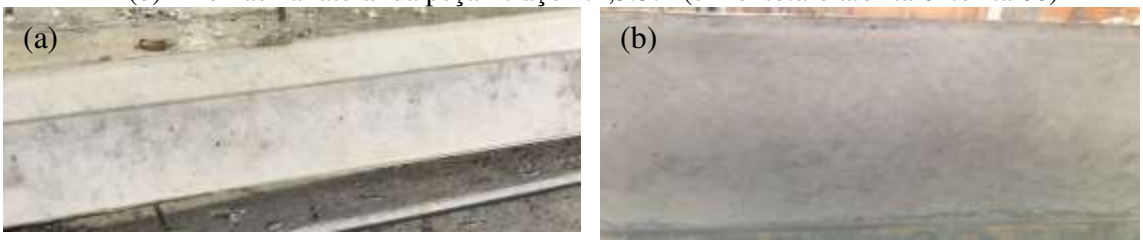


Fonte: os autores.

A correção requer cuidados especiais e atenção nos detalhes em todas as fases do processo. Na tentativa de eliminar ou minimizar as bolhas, foi executado outro traço, buscando alterar a dosagem dos agregados. Em uma nova produção foi alterado somente o agregado graúdo, utilizando traço 1:3:3:1 (cimento: areia: brita 01: brita 00). Os demais componentes foram mantidos conforme o traço tradicional usado na empresa.

Como na segunda tentativa ainda surgiram bolhas buscou-se propor outra solução e foi adquirido concreto usinado, com resistência à compressão simples de 30 MPa, com traço não divulgado pela empresa fornecedora do concreto, mas usando agregados de mesma origem dos utilizados na empresa produtora das peças, composto com areia natural lavada, areia industrial, brita 01 e cimento CP-II-Z com aditivo plastificante. A nova peça, produzida na terceira tentativa, pode ser vista na Figura 2 (a). Percebe-se, nesse caso, que ainda há presença de bolhas.

Figura 2 (a) **-** Bolhas na lateral da peça executada com concreto usinado – CP-II-Z
(b) - Bolhas na lateral da peça - traço 1:2,5:3:1 (cimento:areia:brita 01:brita 00)

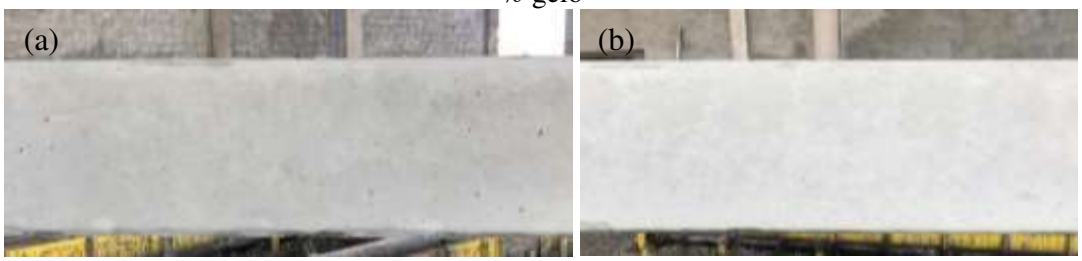


Fonte: os autores.

Na quarta tentativa em busca da solução do problema foi alterado o traço do concreto, usando maior teor de cimento, sendo 1:2,5:3:1 (cimento: areia: brita 01: brita 00). Este, apresentou um resultado satisfatório na aparência da peça endurecida e melhor resultado no tempo de cura para desmolde da peça pronta, conforme mostra a Figura 2(b). No entanto, houve desvantagem em relação ao aumento do custo de produção, devido à inclusão de maior porcentagem de cimento se comparado aos constituintes menos onerosos.

Ainda, buscando minimizar ou eliminar as bolhas da superfície, foi substituída parte de água em seu estado natural por gelo, portanto, em seguida foram moldadas duas situações: a primeira utilizou 100% da água em seu estado natural (Figura 3a) e a segunda substituiu 50% da água em seu estado natural por 50% em estado sólido (Figura 3b).

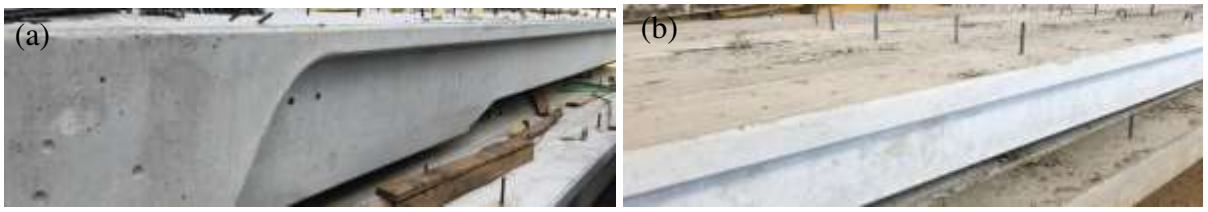
Figura 3 – (a) Peça com traço 1:2,5:3:1 (cimento:areia:brita 01:brita 00), 100 % de água em estado natural; (b) Peça com traço 1:2,5:3:1 (cimento: areia: brita 01**:** brita 00) com 50 % de água em estado natural e 50 % gelo



Fonte: os autores.

Cabe ressaltar, também, que todas as peças foram executas em fôrmas com chapa metálica. No entanto, observou-se que as peças pré-fabricadas executadas com o mesmo traço de concreto apresentavam aparências distintas. As peças confeccionadas com chapa metálica preta, com menor dureza, apresentaram uma superfície mais porosa; e as peças produzidas com chapa metálica ¨COR¨, de maior dureza, apresentaram superfície mais lisa, conforme mostram as Figuras 4a e 4b.

Figura 4 - Peça confeccionada com fôrma em chapa preta normal (a) e chapa COR (b)



Fonte: os autores.

Analisando as Figuras 4a e 4b percebe-se que a adição de água no estado sólido (gelo) traz melhor resultado, apresentando uma peça de melhor aparência e superfície lateral mais lisa. Em uma avaliação final, depois de relatada as possíveis soluções para minimizar o surgimento de bolhas em estruturas pré-fabricadas, pode-se concluir que as mesmas podem ser inibidas de diversas maneiras. Ressalta-se que todos os experimentos foram executados em temperatura ambiente e que essa não era constante nos dias de experimentação. A temperatura média nas semanas de experimentação foi de 22 °C. A sugestão inicial (menos onerosa) é que as fôrmas sejam confeccionadas com materiais de superfície mais lisa possível e livre de porosidade. Outra solução eficiente, também, é o aumento do teor de cimento, todavia, cabe ressaltar que esta última solução eleva significativamente o custo de produção.

4.2 Retração

A retração do concreto, em geral tem diferentes possíveis origens, sendo as principais o volume inadequado de água na mistura e a evaporação repentina dessa. Esse problema tem caraterística clara de excesso de água e perda rápida de sua massa, que possivelmente é ocasionada pela alta temperatura de hidratação do cimento CP V ARI, formando uma linha definida na direção da armadura, não permitindo assentamento das partículas sólidas do concreto. Essa manifestação patológica pode ser vista na Figura 5.

Figura 5 - Retração na linha da armadura



Fonte: os autores.

As soluções para essa manifestação patológica, estão diretamente relacionadas a dosagem do concreto, principalmente na adição de água, que é o produto responsável pela hidratação e por melhorar a trabalhabilidade do concreto. O excesso de água prejudica a resistência e também provoca a retração. Assim, minimizar a evaporação da água, utilizar aditivos plastificantes e diminuir o calor de hidratação do cimento, garantindo uma cura adequada ao manter a peça umedecida, são procedimentos que solucionam o fenômeno da retração (ISAIAS, 2011).

4.3 Fissuras

As fissuras aparentes em estruturas pré-fabricadas geralmente são aberturas superficiais que devem ser tratadas para não permitir a penetração de agentes agressivos no seu interior. Estas podem ocorrer também por cargas atuantes excessivas, falhas de projeto e execução. Também, as fissuras presentes em pré-fabricados, passiveis de recuperação, normalmente são oriundas de retrações originadas por falhas em alguma das fases da execução, como, por exemplo, pelo adensamento inadequado, pelas fôrmas ou processo de preparo e lançamento ineficientes. Na situação analisada, como mostra a Figura 6, foi identificado na empresa que as fissuras, após o processo de produção, são originárias do adensamento inadequado do concreto, sendo essa situação identificada durante a produção do elemento. Neste caso, a solução é ajustar as fôrmas e o traço do concreto com maior atenção quanto a relação água-cimento. Esses procedimentos permitem um adensamento mais eficiente e a redução do aparecimento das fissuras durante o endurecimento do concreto.

Figura 6 – Fissuras por adensamento inadequado

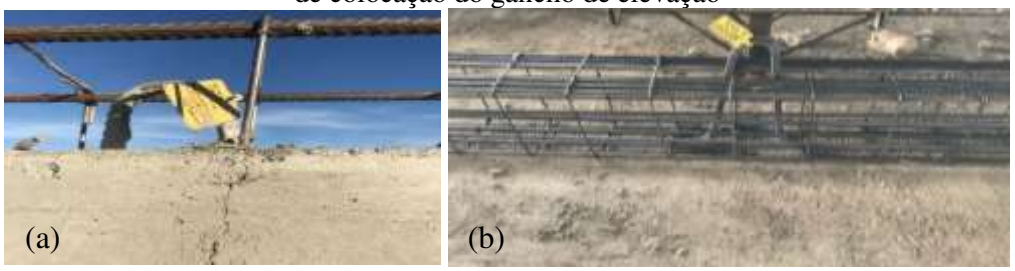


Fonte: os autores.

Também foram identificadas fissuras oriundas do processo de montagem das peças. Neste caso, conforme a Figura 7a, as fissuras apareceram nos pontos de içamento dos pré-fabricados. Quando içadas, as peças recebem um esforço pontual de grande intensidade causando um esforço de corte

e também tensão de tração na face superior do elemento, pelo fato da peça ficar em balanço durante o içamento, facilitando assim abertura de fissuras nos locais mais frágeis e normalmente obedecendo à linha do estribo.

Figura 7 – (a) Fissura na linha do estribo durante o içamento da peça; (b) Reforço da armadura no ponto de colocação do gancho de elevação



Fonte: os autores.

Conforme El Debs (2017), no momento do içamento e transporte, os elementos pré-fabricados sofrem esforços dinâmicos pontuais que necessitam atenção e reforço estrutural. Como solução, inicialmente é preciso observar a resistência à compressão inicial ideal do concreto para retirar as peças da fôrma. Também é possível fazer um reforço pontual da armadura nos locais de fixação da estrutura de içamento, tal como realizado na empresa, conforme Figura 7b.

4.4 Quebras

As fraturas (ou quebras) em estruturas pré-fabricadas geralmente vêm acompanhadas de uma imprudência no desmolde, durante o processo de içamento ou ainda em quedas. Em geral, as quebras ocorrem, nos casos supracitados, quando a peça é submetida a um esforço excessivo, para o qual não foi projetada. Durante a pesquisa foi observado uma fratura em um elemento pré-fabricado, mostrado na Figura 8.

Figura 8 – Elemento pré-fabricado fraturado



Fonte: os autores.

Em geral, nos casos como apresentado na Figura 8, a fratura em uma peça pré-fabricada não é superficial. Devido ao esforço recebido ocorre movimento interno na peça, ou até mesmo uma deformação na armadura, tornando sua recuperação inviável e passível de condenação e descarte. As quebras oriundas por quedas, por posicionamento irregular nos pontos de apoio durante a armazenagem ou pelo transporte, principalmente quando se colocam uma peça sobre outra sem separadores dispostos adequadamente, podem causar fraturas.

A solução, nesse caso, está relacionada mais aos cuidados durante o içamento, as condições dos cintos de elevação, aos cabos de aço e aos ganchos utilizados na movimentação, pois, são estes elementos que suportam as cargas. O cuidado no içamento e as condições dos equipamentos devem sempre ser observadas. Quanto ao posicionamento dos separadores de níveis é importante mantê-

los alinhados, transferindo a carga diretamente para a base. Na Figura 9 é apresentado um exemplo de apoio alinhado na vertical, executado na empresa. Neste caso, Moreira (2009) explica que para evitar as quebras, além do adequando ponto de apoio, deve-se respeitar ainda as idades mínimas para desmoldagem.

Figura 9 - Ponto de apoio alinhado na vertical



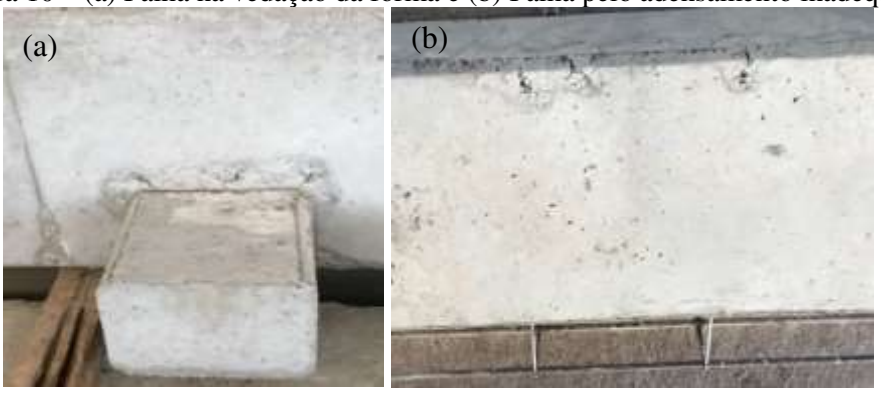
Fonte: os autores.

4.5 Descontinuidade e falhas na concretagem

Detectou-se duas falhas principais causadoras dos nichos de concretagem. A primeira é a dificuldade para executar o adensamento devido à abertura existente na fôrma para confecção do console de apoio das vigas. A segunda trata-se de uma falha na fôrma que permitia o vazamento da nata de cimento, não propiciando, em consequência, o adensamento adequado.

Os nichos e falhas na concretagem sempre estão ligados às falhas ocorridas em qualquer etapa da produção (SOUZA; RIPPER, 1998). Assim, a solução consiste em eliminar os vazamentos das fôrmas, o que irá permitir condições ideais para o adensamento. As falhas encontradas na vedação da fôrma e pelo adensamento são apresentadas nas Figuras 10a e 10b, respectivamente.

Figura 10 – (a) Falha na vedação da fôrma e (b) Falha pelo adensamento inadequado



Fonte: os autores.

4.6 Manifestações patológicas no transporte, montagem e pós-montagem

As condições das estradas utilizadas para transportes das estruturas geralmente submetem as mesmas a esforços dinâmicos excessivos, fato condicionante a aparência de defeitos. A determinação do número de pontos de apoio na base da carroceria do veículo também é crucial. Também, por se tratar de elementos com elevado peso, a movimentação na obra é executada com auxílio de equipamentos, como os caminhões munck, pontes aéreas, entre outros. Nesta etapa, as peças inçadas podem balançar e chocar-se umas contra as outras, causando avarias nas partes mais frágeis, principalmente cantos e consoles. Na Figura 11a é demonstrada uma peça pré-fabricada com patologia decorrente do transporte da empresa para obra.

Figura 11 – (a) Fraturas geradas durante o transporte; (b) Fôrma de proteção do console

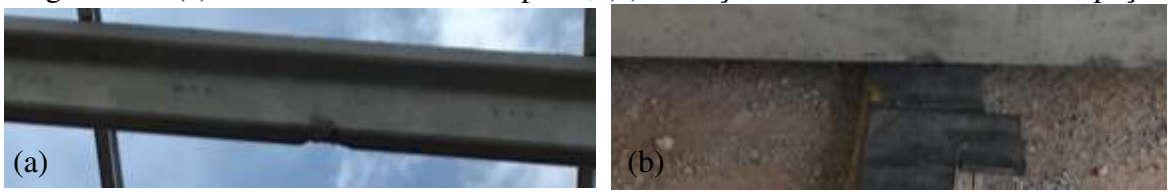


Fonte: os autores.

Uma solução proposta para este problema é a proteção ao console, através de fôrmas de madeira ou metálicas, de modo a evitar fraturas neste ponto. As proteções dos consoles devem ser colocadas antes da movimentação no canteiro de obras e retiradas antes da montagem na obra. A Figura 11b demonstra o sistema de proteção com o encaixe da fôrma no console e a proteção já fixada executada na empresa.

Após aplicação do sistema de proteção ao console não surgiram defeitos no elemento, demonstrando que a técnica é efetiva. Durante o transporte e a montagem também pode ocorrer fratura ao longo das peças que tem origem quando a peça superior gera uma sobrecarga na inferior, submetendo um esforço excessivo no ponto de apoio, podendo causar avarias. Mesmo não comprometendo a segurança, esse tipo de fratura deixa uma aparência desagradável e diminui a camada de proteção da armadura, possibilitando a ação de agentes externos nas armaduras e, como consequência podendo afetar a mesma futuramente. Um exemplo de peça que teve quebra durante o transporte é apresentado na Figura 12a.

Figura 12 – (a) Fraturas durante o transporte; (b) Proteção com borracha na base da peça



Fonte: os autores.

A solução, para evitar as quebras, é impedir o contato direto das peças de concreto com material rígido no apoio, colocando sob a peça uma camada de material emborrachado fixado entre o concreto e o ponto de apoio, cuja finalidade é absorver os impactos do transporte e permitir melhor distribuição das tensões nos locais. A solução apresentada é mostrada na Figura 12b.

Também podem surgir fraturas no processo de montagem da obra, como mostra a Figura 13. Se essa manifestação patológica compromete a eficiência da peça, sendo necessária sua substituição e implicando em retrabalho, podemos ter atrasos no cronograma, pois, é necessário a retirada da peça montada, tempo para confecção e cura de uma nova peça, além do transporte e montagem da mesma. No caso de correção da peça já montada, o seu preenchimento depende de fazer uma fôrma específica para o local, além de equipamento de segurança para executar o trabalho em alturas. Nesse caso, a fim de evitar defeitos no processo de correção, o ideal é selecionar e ofertar treinamento específico a equipe de montagem, para que os trabalhos sejam executados com calma e segurança. Além disso, é de extrema importância manter equipamentos de elevação bem conservados e que os mesmos tenham capacidade superior ao peso a ser içado.

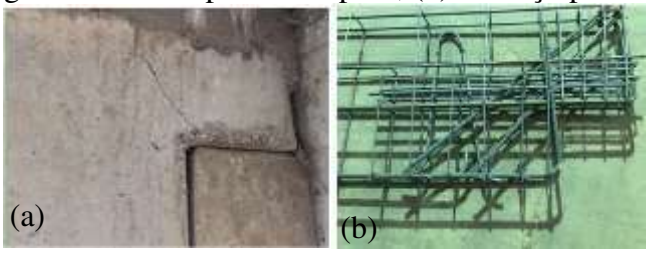
Figura 13 – Fraturas na montagem



Fonte: os autores.

A ocorrência de manifestações patológicas em obra pré-fabricada após a montagem quase sempre tem origem em etapas anteriores executadas inadequadamente. Um dos pontos mais críticos e propícios a apresentar fissuras é no console da viga que se apoia no pilar e segundo El Debs (2017), deve ser armado com reforço pontual de ancoragem, suspensão e costura. A Figura 14 mostra a viga fissurada no ponto de apoio com o pilar e a fissura gerada, possivelmente, por análise *in loco*, foi devido à falta de armadura de ancoragem, ocasionando sobrecarga no concreto do console. A solução imediata para essa situação foi a inclusão de reforços pontual da armadura de ancoragem.

Figura 14 – (a) Viga fissurada no ponto de apoio; (b) Reforço para a armadura da viga



Fonte: os autores.

5. CONCLUSÕES

Manifestações patológicas são recorrentes nas estruturas, em geral, e podem ser causadas por diversas circunstâncias. As bolhas, na análise dessa pesquisa, surgiram, provavelmente, pela não eliminação de todo ar presente no interior do concreto, podendo ser decorrentes de erros na vibração do concreto, das fôrmas porosas ou mesmo em virtude do traço aplicado. Já, a retração, ocorreu, possivelmente, pela quantidade de água adotada no traço em conjunto com a cura inadequada. As fissuras surgiram tanto no processo de produção — durante o adensamento — quanto na montagem e içamento das peças que foi realizado de forma inadequada. As últimas manifestações apresentadas foram as quebras e fraturas, cujas estão mais relacionadas com o manuseio das peças, em casos de imprudência e descuidos como quedas ou batidas, por exemplo.

Em todos os casos, as soluções correlacionam cuidados nas etapas, em geral, desde fabricação à montagem e transporte das peças. Dosar com cuidado o traço utilizado para produzir o concreto, garantir um adensamento eficiente da pasta e utilizar materiais de qualidade, bem como treinar a equipe para que tenham conhecimento sobre os serviços que serão executados, são exemplos de soluções que implicam em minimizar as manifestações patológicas supracitadas. As correções também se baseiam nos cuidados com o transporte e içamento das estruturas, evitando agravar problemas já existentes e garantindo a integridade das peças ao chegar na obra.

A descrição das manifestações encontradas nas peças analisadas, bem como diagnóstico de suas prováveis causas e soluções factíveis embasam o conhecimento já consolidado sobre o tema, demonstrando que há maneiras tanto de corrigir os problemas em sua ocorrência, como mitigar seu

surgimento. Além do conhecimento técnico de engenharia para apresentar soluções adequadas, é necessário compreender os critérios que englobam a análise do processo como um todo, garantindo a eficiência de todas as etapas e dos produtos entregues ao consumidor final. Essa pesquisa pôde, com os resultados apresentados, apresentar problemas correntes e possíveis de correções dos mesmos, auxiliando engenheiros na melhoria da qualidade de obras de construção civil.

Após a análise de todas as manifestações patológicas apontadas os autores acreditam que possa haver falhas no controle tecnológico de produção das peças, bem como descuidos e falta de supervisão na execução, visto que as avarias surgiram em etapas distintas da produção, montagem e até mesmo pós-montagem.

6. REFERÊNCIAS

ALENCAR, R. S. A. **Dosagem do concreto auto adensável**: produção de pré-fabricados. 2008. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9062: **Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-moldado**. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15900-1: **Água para amassamento do concreto. Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro, 2009.

EL DEBS, M. K. **Concreto Pré-moldado: fundamentos e aplicações**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

FIABANI, V. **Edificações com paredes de concreto**: fatores que influenciam o surgimento de defeitos na superficie das placas. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

ISAIA, G. C. (Org.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005.

ISAIA, G. C. (Org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1.ed. São Paulo: IBRACON, 2011.

MOREIRA, K. A. W. **Estudo das Manifestações Patológicas na Produção de Pré-Fabricados de Concreto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, 2009.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto.** 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: Pini. 1998.