[REEC] Revista Eletrônica de Engenharia Civil
DESENVOLVIMENTO·TECNOLOGIA·E·AMBIENTE
Volume 21, N° 1, 2026 63 - 80
https://revistas.ufg.br/reec

CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE EM ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO ARMADO: UMA OBRA INDUSTRIAL COMO ESTUDO DE CASO

Quality characterization in prefabricated reinforced concrete structures: case study on prefabricated on site industrial

Juliana Prestes Ribeiro de Faria[1]; Bianca Morais Zanin[2]

PALAVRAS CHAVE:
Gestão da qualidade;
Pré-fabricado de concreto;
Obra industrial;
Não-conformidades.

KEYWORDS:
Quality management;
Prefabricated concrete;
Industrial work;
Unconformities.

RESUMO: A construção de edifícios industriais com pré-fabricados de concreto se justifica por oferecer em prazos e custos previstos. Mas o precário controle de qualidade na produção das peças pelos fornecedores pode impactar no gerenciamento destes. O objetivo desta pesquisa foi caracterizar as não-conformidades (defeitos) em elementos pré-fabricados produzidos para uma obra industrial. A caracterização engloba a identificação dos defeitos, a definição técnica destes e do processo de produção. O método utilizado é de um estudo de caso, por se tratar da análise extensiva da etapa de execução de uma obra industrial com estrutura pré-fabricada de concreto. Para a realização destes foram levantados os registros contidos em relatórios fotográficos de acompanhamento da execução assim como em fichas de verificação de materiais para mapear as não conformidades encontradas nas peças, levantando o número total de desvios e separando-os por classe de defeitos, conforme a NBR 5425 (ABNT, 1985). Defeitos no acabamento e o aparecimento de fissuras são duas não-conformidades toleráveis que juntamente com as trincas (graves) totalizam quase 40% de todos os defeitos identificados, estando estes presentes principalmente nas lajes alveolares e nas lajes duplo T. As decisões gerenciais para a melhoria da produção destas peças e redução dos defeitos esteve baseada nestes levantamentos contribuindo para reduzir os atrasos na entrega deste empreendimento industrial.

ABSTRACT: *The construction of industrial buildings with prefabricated concrete is justified by offering expected deadlines and costs. But precarious quality control in the production of parts by suppliers can impact their management. The objective of this research was to characterize non-conformities (defects) in prefabricated elements produced for an industrial project. Characterization encompasses the identification of defects, their technical definition and the production process. The method used is a case study, as it involves an extensive analysis of the execution stage of an industrial project with a prefabricated concrete structure. To carry out these, the records contained in photographic reports monitoring the execution as well as in material verification sheets were collected to map the non-conformities found in the parts, surveying the total number of deviations and separating them by class of defects, according to the NBR 5425 (ABNT, 1985). Defects in the finish and the appearance of cracks are two tolerable nonconformities that, together with (serious) cracks, total almost 40% of all defects identified, these being present mainly in hollow core slabs and double T slabs. Management decisions for the improving the production of these parts and reducing defects was based on these surveys, helping to reduce delays in the delivery of this industrial enterprise.*

*** Contato com os autores:**
[1] **e-mail: juliana.faria@uel.br (J. P. R. Faria)**
Engenheira Civil, Doutora, Docente da Universidade Estadual de Londrina (UEL).
[2] **e-mail: bianca.morais.zanin@uel.br (B. M. Zanin)**
Engenheira Civil pela Universidade Estadual de Londrina (UEL).

Publicado em 28 de junho de 2026

ISSN: 2179-0612 DOI: 10.5216/reec.V21i1.78230
© 2026 REEC - Todos os direitos reservados.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil as obras industriais utilizam sistemas estruturais pré-fabricados de concreto, em sua grande maioria (Milani et al., 2012). Isso ocorre pois estas oferecem agilidade na execução, previsibilidade financeira, qualidade, segurança e solidez (Van Acker, 2002). Mas a principal vantagem oferecida pela pré-fabricação é a da alta qualidade real do produto, garantida pela utilização de métodos padronizados capazes de controlar a produção e os elementos pré-fabricados. Este aspecto é um fator decisivo para os profissionais que optam pelo uso desta tecnologia (Skrzypczak, 2023).

Entretanto o crescimento deste setor e o aumento do número de empresas fabricantes com baixos níveis de desenvolvimento tecnológico nos seus processos produtivos, vem ocasionando uma queda na qualidade das peças disponibilizadas ao mercado. Richardson (1991) menciona que a ocorrência de falhas na confecção das peças ocorre por erros de leitura de projeto, no corte e no preparo das armaduras, na dosagem do concreto, no nível do adensamento desejado, assim como no armazenamento e no transporte até a obra.

Estas ocorrências ferem a NBR 9062 pois esta indica em um dos seus capítulos a necessidade de controle de qualidade dos elementos pré-fabricados de concreto desde o desenvolvimento do projeto até a execução. A realização de inspeções, também é uma exigência da norma técnica com uma frequência capaz de alcançar a conformidade permanente do produto. Os códigos europeus recomendam a utilização de procedimentos de controle que garantam a implantação de sistemas de qualidade em fábricas de pré-moldados de concreto. Além disso, sugerem diversas medidas para garantir a consistência da qualidade em todo o processo de produção. Esses incluem os testes não destrutivos e destrutivos de materiais e componentes, verificações dimensionais geométricas, inspeções visuais, etc.

A inspeção e verificação da conformidade ou da não conformidade com os requisitos especificados dentro dos sistemas de gestão da qualidade é referenciado na NBR 5425, intitulada Guia de inspeção por amostragem no controle e certificação de qualidade. Os procedimentos para definição da amostragem e as formas adequadas de inspeção, classificação e decisão pela qualidade das peças são descritos nesta, e importam a esta pesquisa, pois seu objetivo foi caracterizar as não-conformidades (defeitos) em elementos pré-fabricados produzidos para uma obra industrial. A caracterização engloba a identificação dos defeitos, a definição técnica destes e a sua respectiva classificação segundo a NBR 5425 em críticos, graves e toleráveis.

O empreendimento localizado próximo a cidade de Londrina, no norte do Estado do Paraná possui uma serie de edificações industriais, administrativas e de apoio com área aproximada de 123.500,00m². No período compreendido entre os anos de 2021 e 2022 foi realizada a coleta de dados por meio da análise de fichas de verificação de materiais (FVM) e dos relatórios fotográficos de recebimento dos elementos pré-fabricados produzidos por uma empresa nas proximidades da obra.

2. MÉTODO

Esta pesquisa é classificada como exploratória pois busca uma proximidade com a realidade do objeto estudado. O método utilizado é de um estudo de caso, por se tratar da analise extensiva da etapa de execução de uma obra industrial com estrutura pré-fabricada de concreto.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

O empreendimento alvo deste estudo de caso localiza-se próximo da cidade de Londrina, no norte do Estado do Paraná. O projeto previa a construção de dois edifícios industriais (prédio 1 e 2) e de outras

cinco edificações de apoio a produção e de cunho administrativo (apoio 1, 2, 3, 4 e 5), como pode ser observado na Figura 1.

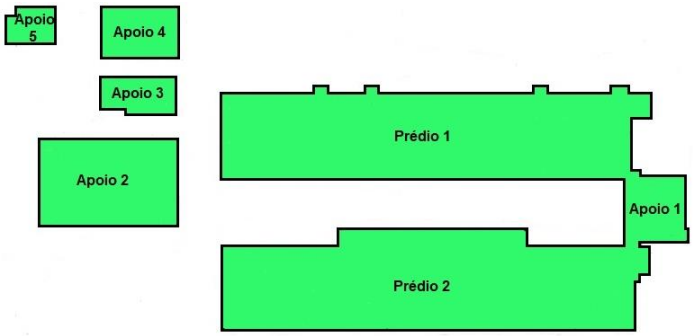

FIGURA 1 – Disposição das edificações.
FONTE: Autora (2022).

Todos os edifícios foram concebidos com uma estrutura pré-fabricada de concreto, tendo como exceção aquele intitulado apoio 4. No início do período de coleta de dados, dezembro de 2021, os prédios de apoio 2, 3 e 5 já estavam com a montagem da estrutura pré-fabricada concluída. O prédio de apoio 1 e o prédio 2 estava com as estruturas pré-fabricadas em fase de produção na fábrica. E por fim, o prédio 1 estava com uma parte das estruturas pré-fabricadas montada e outra parte sendo produzida. Com relação a obra como um todo, estavam sendo executados serviços de fundações em uma edificação e de cobertura e fechamento em estrutura metálica em outras duas. As outras quatro edificações restantes concentravam os serviços de montagem dos pré-fabricados, alvenaria de vedação e execução de pisos.

A estrutura dos edifícios era constituída por pilares, vigas e lajes (laje alveolares e lajes duplo-T), sendo os componentes produzidos em uma fábrica situada nas proximidades da obra, e transportada até o local em carretas. O projeto estrutural previa a utilização de aproximadamente 3320 elementos pré-fabricados, sendo eles 460 pilares, 830 vigas e 2030 lajes (1000 lajes alveolares e 1030 lajes duplo-T).

Ainda com relação ao projeto estrutural dos edifícios em execução havia diversos tipos de vigas e pilares que variavam em dimensões de acordo com sua posição. Os pilares dispunham de consolos para suporte das vigas, podendo variar a quantidade de consolos para cada pilar. Tanto os pilares como as vigas apresentavam alças de saque para sua retirada da forma e transporte, e furo de içamento para sua montagem.

As vigas retangulares de seção completa eram dispostas ao entorno do prédio, utilizando-as como vigas de travamento lateral. Já as vigas retangulares de seção parcial – vigas que contém armadura saliente - são dispostas dentro do limite da edificação, sendo realizada sua segunda etapa de concretagem em conjunto com o capeamento da laje.

Com relação as lajes, o projeto previa a utilização daquelas em forma de duplo-T (ou conhecida como laje π) e alveolares, variando as dimensões de acordo com as especificações de onde serão posicionadas. As lajes duplo-T apresentam mesa e alma, e serão posicionadas de forma que a mesa sirva como piso dos demais níveis da edificação após a concretagem do seu capeamento, tornando-se um elemento composto entre vigas, pilares e lajes. Já nas lajes alveolares também é realizado o capeamento da laje e são utilizadas como piso em áreas onde deverão suportar maiores cargas.

2.2 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE

Na primeira etapa da pesquisa foi realizada uma visita a central de pré-fabricação da empresa fornecedora da estrutura em concreto, com o intuito de caracterizar o seu processo de produção, o

transporte e a montagem destas no canteiro. As informações coletadas foram cruzadas com os preceitos constantes na revisão bibliográfica.

A empresa construtora adotava o sistema de gestão da qualidade aderente à norma NBR ISO 9001 (ABNT, 2015) e ao Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), sendo inclusive certificada por este. Assim, a qualidade dos materiais recebidos era verificada pela inspeção e registro nas fichas de verificação de materiais (FVM). Foram então levantadas as fichas preenchidas no momento da entrega de pilares, vigas, lajes alveolares e lajes duplo-T, entre os meses de dezembro de 2021 até abril de 2022.

Nestes documentos foram estudadas as descrições e anotações realizadas no momento da inspeção a fim de elencar as não conformidades (defeitos) que apresentavam maior incidência, e em seguida estas foram listadas. Os dados constantes nas FVM foram classificados por defeito e planilhados. Os dezoito tipos de não conformidades (unidades defeituosas) encontradas foram reclassificadas em defeitos críticos, graves e toleráveis, segundo a NBR 5425 (ABNT, 1985), conforme está na Tabela 1 que segue:

TABELA 1: Itens não conformes por classe de defeito - críticos, graves e toleráveis.

Itens não conformes	Classe do Defeito
Armadura deslocada e cobrimento em desacordo com o projeto	Crítico
Falta de Armadura	Crítico
Exposição da Armadura	Crítico
Nichos de Concretagem	Crítico
Fraturas e Quebras	Crítico
Dimensões	Grave
Trincas	Grave
Manchas de oxidação	Grave
Ausência de dispositivos para içamento ou deslocados	Grave
Insertos e aterramentos em desacordo com o projeto	Grave
Furos para montagem de vigas em desacordo com o projeto	Grave
Pinos para montagem em desacordo com o projeto	Grave
Chave de cisalhamento em desacordo com o projeto	Grave
Porosidade	Tolerável
Desalinhamento / Linearidade	Tolerável
Fissuras	Tolerável
Acabamentos	Tolerável
Manchas de Lixiviação	Tolerável

FONTE: Autora (2022).

Cinco defeitos foram classificados como críticos, oito defeitos classificados como graves e cinco defeitos classificados como toleráveis. Os critérios utilizados para a classificação em crítico, grave e tolerável estão baseados na NBR 5426 e, também, foram utilizados por Vanzella (2016). O crítico diz respeito a um defeito que gera uma condição insegura em uso ou que impede o funcionamento, ou ainda não desempenha alguma função importante. Já o grave está em um nível abaixo do crítico, por produzir uma redução na utilidade do produto para o fim a que se destina. Enquanto o tolerável é o que não reduz a utilidade do produto para seu fim, nem influi substancialmente no seu uso efetivo.

A NBR 5425 também indica os métodos de inspeção, sendo que neste caso cabe aquele por atributos. Neste é realizada a verificação para cada unidade de produto do lote, indicando a presença ou a ausência de uma determinada característica qualitativa. Para um determinado requisito especificado é então realizada a contagem do número de unidades que possuem (ou não) a referida característica, sendo utilizados termos como “aprovado” ou “reprovado”, “ocorre” ou “não ocorre” (ABNT NBR 5425:1985). Com

relação a quantidade a ser inspecionada, estas ocorreram em 100% das peças pré-fabricadas recebidas em obra neste período. Ou seja, cada unidade do produto foi individualmente aceita ou rejeitada para as respectivas características.

Após o mapeamento dos principais defeitos encontrados, o levantamento do número total de suas ocorrências, e a separação por classe de defeitos, pode-se compor os gráficos para defeitos considerados críticos, graves e toleráveis de acordo com o percentual de suas ocorrências – segundo a NBR 5425 (ABNT, 1985) "porcentagem defeituosa" - em cada elemento estrutural (pilares, vigas, lajes duplo-T e lajes alveolares).

O tratamento dos dados também buscou identificar os itens não conformes por elemento estrutural e desenvolver os gráficos de porcentagem defeituosa, realizando análises do maior número de ocorrências encontradas nos 18 tipos elencados e por tipo de elemento (vigas, lajes e pilares). Assim, foi possível indicar os prováveis problemas na produção e gerenciar estes juntamente com o fabricante, para se ter o menor impacto no andamento da obra.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados a caracterização do processo de fabricação, o transporte utilizado, a montagem dos elementos e a identificação e análise das não-conformidades (defeitos).

3.1 PROCESSO DE PRODUÇÃO DOS ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO

A empresa de pré-fabricados tem capacidade de produzir de 20 a 30m³ por dia, totalizando aproximadamente 700m³ ao mês. São fabricados cerca de cinco pilares e oito vigas por dia. E de dez a onze lajes por pista de concretagem, intercalando os períodos de fabricação das lajes, ocorrendo dia-sim, dia-não.

A produção de concreto se dá em uma central, contendo silos para cimento, baias de agregados e tambores de armazenamento de aditivos. Com relação a verificação da qualidade do concreto no seu estado endurecido, é realizada a moldagem de quatro corpos de prova a cada 10m³ produzidos, sendo realizado o rompimento para verificação da sua resistência à compressão.

O primeiro é rompido após dezoito horas da concretagem realizada para que seja verificada a resistência do concreto para içamento da peça e destinada ao acabamento ou ao armazenamento. Aos sete dias é rompido o segundo corpo de prova e os demais aos vinte e oito dias.

Caso o rompimento do primeiro corpo de prova com 18 horas não atinja a resistência mínima necessária definida em projeto que é de 20 MPa, rompe-se o segundo corpo de prova com 24 horas para uma nova verificação, e os outros dois corpos de prova restantes são rompidos após 28 dias.

3.1.1 Rotina de Produção de Pilares e Vigas

A rotina de produção das vigas é, basicamente, a mesma dos pilares, sendo estas pontuadas abaixo:

- Primeiramente é preparado a armadura do pilar ou da viga de acordo com o projeto especificado.
- Ao mesmo tempo que é montada a armadura, é ajustada a forma onde o pilar ou a viga será concretada, evidenciando o prumo, alinhamento e realizando a aplicação do desmoldante.
- Posteriormente, posiciona-se a armadura na forma e caso estejam previstos insertos metálicos de aterramentos, e/ou chumbadores para fixação da cobertura, estes também são posicionados e é realizada a soldagem da armadura (quando necessário) nesta etapa.

- Logo após o posicionamento e a solda dos insertos metálicos são colocados os espaçadores para concretagem, permitindo assim que a armadura permaneça com o cobrimento mínimo exigido em projeto. Então é feita a conferência do pilar ou viga, o travamento da forma e a sua concretagem com seu correto adensamento.
- Após a concretagem do pilar e a passagem do tempo de espera para seu içamento, é montado e concretado seus consolos. Sendo, primeiramente, posicionado sua armadura realizando a ancoragem, e logo após feita sua concretagem com seu correto adensamento.
- As vigas de seção final são inteiramente concretadas na fábrica. Já as vigas de seção parcial são concretadas na fábrica até uma altura estipulada por projeto, deixando a armadura saliente para ser concretada em segunda etapa no seu local definitivo de utilização, em conjunto com o capeamento da laje.

El Debs (2000) coloca que os insertos e consolos com pinos para ancoragem de vigas podem ser concretados junto ao pilar ou em etapas distintas. Van Acker (2002) já afirma que consolos são elementos concretados junto ao pilar, formando um único elemento construtivo. E, Araujo et. al. (2017) esclarece que devem ser concretados em etapas distintas, devido a entraves quanto a logística pois os consolos podem estar posicionados em distintos planos.

3.1.2 Rotina de Produção de Lajes

A rotina de produção de lajes se difere da rotina de produção de pilares e vigas pois são em concreto protendido. Para as lajes duplo-T (conhecida como laje π), primeiramente, tem-se a sua armadura preparada de acordo com o projeto e posicionada em uma pista de concretagem. Após esta etapa são posicionadas e tracionadas as cordoalhas, realizando assim sua protensão, e em seguida é executada a concretagem e o adensamento do concreto.

Já para as lajes alveolares o processo se difere ainda mais, pois diferente da laje duplo-T elas não possuem armadura passiva e são produzidas por meio de máquinas extrusoras. Seu processo de produção consiste no posicionamento de sua armadura ativa e disposição das cordoalhas ao longo da pista de concretagem. Posteriormente é realizado o tracionamento para protensão, e a concretagem.

Diferente dos demais traços de concreto, o traço do concreto para sua extrusão tem uma menor relação agua cimento, tornando-se mais “esfarelento”. O concreto é lançado no interior da máquina, e a mesma extrusa-o linearmente ao longo da pista, formando assim a laje alveolar.

3.1.3 Acabamento e Armazenagem

Após a cura do concreto e o tempo de espera para içamento das peças, as vigas e os pilares são destinadas ao acabamento. Enquanto as lajes são destinadas ao armazenamento pois nestas não é realizando o acabamento fino, apenas o grosso, com a utilização da máquina niveladora de concreto.

Já o acabamento grosso de vigas e pilares é realizado com desempenadeira, para o correto alisamento do concreto. Posteriormente, tem-se o acabamento fino, que consiste na utilização do disco de desbaste, para que a aparência das peças permaneça nivelada e uniforme. Possíveis imperfeições que possam estar presentes nas peças são corrigidas com a aplicação de argamassa colante AC-III. Outra forma utilizada para o acabamento fino é a aplicação de uma película produzida através da mistura de dois cimentos, água e cola.

Após o acabamento fino, as peças são transferidas ao local de estocagem e seguindo a programação de entrega, os pré-fabricados são transportados em carretas até a obra, e descarregados próximo ao seu lugar definitivo de utilização.

3.2 ROTINA DE MONTAGEM DOS ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS EM CONCRETO

3.2.1 Montagem de Pilares e Vigas

O processo de montagem do pilar consiste em seu transporte por meio de um guindaste, onde é inserido um pino no furo de içamento e realizado seu levantamento, posicionando-o no cálice de fundação.

Após posicionamento do pilar no cálice de fundação são arranjadas cunhas de travamento e realizada a inspeção topográfica para atestar a verticalidade do pilar. Posteriormente, é executado o procedimento para sua consolidação com concreto autoadensável. Os cálices e os pilares possuem chave de cisalhamento, que são preenchidas com graute, o qual deve ter a resistência mínima especificada pelo projetista. Também se utiliza o concreto autoadensável para nivelamento do fundo do cálice.

O processo de montagem das vigas consiste em seu içamento por meio de um guindaste através das suas alças de içamento, e posicionamento no consolo do pilar onde tem-se um pino metálico para ancoragem, formando uma ligação viga-pilar.

3.2.2 Montagem das Lajes

A montagem das lajes também consiste em seu içamento por meio de um guindaste, onde são posicionadas de certa forma que fiquem apoiada nas vigas. Posteriormente, é realizado o chaveteamento, processo que ligam as lajes, não deixando fendas entre elas. Após a montagem dos elementos pré-fabricados, é realizado o capeamento da laje. Neste momento, é posicionada a armadura complementar para o capeamento e posteriormente lançado o concreto. O adensamento é realizado, e com a cura do concreto é formando assim uma estrutura composta. Segundo El Debs (2000) um conjunto de elementos ligados entre si formam um único elemento estrutural e são denominados de estrutura composta.

3.3 DEFEITOS IDENTIFICADOS NOS PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO

Através da análise das fichas de verificações de materiais e de relatórios fotográficos, foram elencadas as principais não conformidades (defeitos) encontradas nos elementos pré-fabricados de concreto.

3.3.1. Não-conformidades na armação de pilares e vigas

Nas inspeções realizadas foram identificadas armaduras deslocadas e peças com cobrimentos em desacordo com o projeto estrutural. A NBR 6118 (ABNT, 2014) – Projetos de estrutura de concreto, salienta que vários fatores são determinantes para durabilidade do material, dentre eles o do respeito ao cobrimento mínimo da armadura de acordo com a classe de agressividade do ambiente.

Neste caso, o nível de agressividade do ambiente no qual esta estrutura está inserida é o de classe IV, e por isso o cobrimento deve ser de 4,0 cm. Entretanto, foram evidenciados cobrimentos com valores abaixo de 1,5 cm, como é possível verificar na Figura 2.

FIGURA 2 – A esquerda, armadura deslocada e cobrimento em desacordo com o projeto. A direita, falta de armadura.
FONTE: Autora (2022).

Nas peças pré-fabricadas também foram identificadas armaduras faltantes ou divergentes das especificadas em projeto. Todos os defeitos apresentados nesta seção são decorrentes do processo de fabricação além do de exposição da armadura que também foi identificado nas peças (Figura 3). A causa provável está relacionada a fase de concretagem da peça que pode ter deslocado a armadura ou a forma.

FIGURA 3 – Exposição da armadura.
FONTE: Autora (2022).

3.3.2 Pinos para Montagem e furação em desacordo com o Projeto

O exemplo da Figura 4 apresenta o posicionamento dos pinos para montagem de pilares em desacordo com o especificado em projeto, e na imagem ao lado os furos para montagem das vigas tambem deslocados.

FIGURA 4 – Pinos para montagem em desacordo com o projeto.
FONTE: Autora (2022).

3.3.3 Chave de Cisalhamento, Insertos Metálicos e de Aterramento em Desacordo com o Projeto

A Figura 5 apresenta o posicionamento de elementos em desacordo com o especificado em projeto. No exemplo tem-se chaves de cisalhamento menores, não contornando todas as faces do pilar, e insertos metálicos e de aterramento com posições divergentes do especificado no projeto. A NBR 9062

indica que na fabricação dos pré-moldados deve ser respeitada a tolerância de locação, que é de ± 15 mm, para avaliação da qualidade das peças.

FIGURA 5 – Chave de cisalhamento, inserts metálicos e de aterramento.
FONTE: Autora (2022).

3.3.4 Deslocamento ou ausência de dispositivos para Içamento

Na Figura 6 nota-se o içamento de um pilar sendo realizado através de cintas, diferentemente do que havia sido especificado em projeto, justamente porque a peça não apresentava a furacão necessária. A NBR 9062 (ABNT, 2017) considera alças e pinos de içamento como ligações temporárias utilizadas para o manuseio e a montagem das peças. Os projetos devem incluir detalhamento do sistema de içamento, com descrição de seu tipo, posição e ancoragem.

Esta recomenda que sejam observados os ângulos e o posicionamento das alças conforme o projeto, de maneira que trabalhem sob forca de tração na parte externa e internamente ao cisalhamento por aderência. Ao utilizar alças, devem ser verificadas as capacidades de carga desta, para que não ocorra ruptura.

FIGURA 6 – Içamento de peça através de alças, devido à ausência de pinos.
FONTE: Autora (2022).

3.3.5 Dimensões

Na Figura 7 notam-se várias não conformidades e desvios, entre elas: acabamento; trincas e; dimensões. As lajes apresentadas abaixo apresentavam variação de ± 2 cm na altura e comprimento, o qual de acordo com a NBR 9062 (ABNT, 2017) ultrapassa a tolerância admitida.

FIGURA 7 – Laje e viga com desvios nas dimensões, seção transversal e linearidade.
FONTE: Autora (2022).

A outra peça apresentada possui um significativo desalinhamento, sendo que a NBR 9062 (ABNT, 2017) estabelece as tolerâncias a serem respeitadas para as dimensões da seção transversal e do comprimento assim como para a condição da linearidade, conforme Tabela 2.

TABELA 2: Tolerâncias de fabricação para elementos pré-moldados.

Grupo de elementos pré-moldados	Seção ou dimensão		Tolerância
Pilares, vigas, pórticos e elementos lineares	Comprimento	L≤ 5 m	± 10 mm
		5 m < L ≤ 10 m	± 15 mm
		L > 10 m	± 20 mm
	Seção transversal		- 5 mm e + 10 mm
	Distorção		± 5 mm
	Linearidade		± L/1000

FONTE: Adaptado de NBR 9062 (ABNT, 2017).

3.3.6 Acabamentos

A NBR 9062 (ABNT, 2017) recomenda que seja realizada a verificação da aparência do elemento quanto a rebarbas, cantos quebrados, lascas ou defeitos semelhantes em todos os produtos acabados. Possíveis imperfeições poderão então passar pelo processo de acabamento fino, onde ocorre a aplicação de argamassa colante AC-III para correção ou de uma pasta com cimento branco. A Figura 8 é um exemplo de peça com quebras, que foi recebida no canteiro de obras.

FIGURA 8 – Peça com defeitos no acabamento superficial.
FONTE: Autora (2022).

3.3.7 Porosidade e nichos de concretagem

Na Figura 9 nota-se a presença de poros na superfície do concreto, que podem ocorrem por falhas no adensamento ou pela utilização um de concreto que oferece maior porosidade. Os poros existentes permitem a passagem de água para o interior, o que pode desencadear a deterioração das armaduras. Segundo a NBR 6118, os mecanismos preponderantes na despassivação são por carbonatação ou na ação de cloretos.

Assim como os poros, os nichos de concretagem (bicheiras) permitem a passagem de água para o interior da peça ocasionando os mesmos mecanismos, diminuindo a durabilidade e a vida útil da peça. As causas estão relacionadas a falhas ou defeitos relativos à concretagem.

FIGURA 9 – Peça com a presença de poros e com nichos de concretagem.
FONTE: Autora (2022).

3.3.8 Fissuras e trincas

As fissuras, como apresentadas na Figura 10, são aberturas finas alongadas com espessuras de no máximo 1 mm. Podem ocorrer devido a vários fatores, como a retração do concreto devido a evaporação excessiva da água de amassamento no momento da cura (retração plástica). Ou ainda, pela baixa qualidade e reduzida espessura do concreto de cobrimento da armadura. A NBR 6118 indica a necessidade de controle de fissuração para a proteção das armaduras, definindo qual a abertura característica limite de fissuras na superfície do concreto em função direta da agressividade do ambiente. Valores da ordem de 0,2 mm a 0,4 mm não tem importância significativa na corrosão das armaduras, segunda a norma técnica.

FIGURA 10 – Fissuras.
FONTE: Autora (2022).

As trincas, como apresentadas na Figura 11, são aberturas espessas de até 3 mm. Podem ocorrer devido a contínua abertura da fissura ou durante o processo de transporte carga/descarga.

FIGURA 11 – Trincas.
FONTE: Autora (2022).

3.3.9 Manchas de Lixiviação e de Oxidação

A lixiviação do concreto pode ocorrer devido a reações químicas advinda da água que entra pelos poros do concreto e o hidróxido de cálcio formado pelo processo de hidratação do cimento. Este fenômeno ocasiona manchas esbranquiçadas nas estruturas, pois a infiltração da água dissolve e transporta os cristais de hidróxidos de cálcio, formando depósitos de sais como apresentada na Figura 12.

FIGURA 12 – Manchas de lixiviação e de oxidação.
FONTE: Autora (2022).

A NBR 6118 em seu item de exigências de durabilidade considera a lixiviação como um dos mecanismos preponderantes de deterioração relativos ao concreto, que podem comprometer a segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil.

Já as manchas de oxidação podem aparecer como indícios do processo de corrosão das armaduras, ou ainda de arames deixados dentro das formas e expostos pela alta porosidade do concreto, ou devido a nichos de concretagem.

3.3.10 Fraturas e Quebras

A Figura 13 apresenta uma fratura e quebra de um elemento pré-fabricado. Quebras podem ocorrer por choques mecânicos provocados pelo transporte incorreto das peças, ou por problemas na fase de desmoldagem quando do saque de peças sem que o concreto tenha atingido a resistência ao manuseio.

FIGURA 13 – Fraturas e Quebras.
FONTE: Autora (2022).

3.4. CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DAS NÃO CONFORMIDADES

Após a identificação das não-conformidades, foi avaliada a frequência com que estas apareceram nos relatórios fotográficos e nas fichas de verificação de materiais (FVM). A classificação destes em defeitos críticos, defeitos graves e defeitos toleráveis foi posteriormente realizada.

3.4.1 Não Conformidades por Elemento Estrutural

A Tabela 3 apresenta o número total de peças pré-fabricadas inspecionadas e o número total de itens não conformes por elemento estrutural, sendo eles: pilar; viga e lajes.

TABELA 3: Não conformidades por elemento estrutural.

	Total de elementos	**Total de itens não conformes**
Pilares	99	66
Vigas	53	71
Lajes TT	19	220
Lajes Alveolar	59	105

FONTE: Autora (2022).

Ao longo dos meses foram inspecionadas duzentos e trinta peças, sendo que as não conformidades registradas nos documentos totalizam quatrocentos e sessenta e duas (Tabela 4). Nota-se que o elemento estrutural que apresenta o maior número de itens não conformes *versus* quantidade total de elementos são as lajes π, apresentando 220 itens inspecionados não conformes. As lajes π apresentaram mais não conformidades do que todos os elementos avaliados, pois uma mesma peça apresentava mais de um defeito. A laje alveolar também sofreu vários apontamentos, mas estes ainda foram substancialmente menores.

TABELA 4: Não conformidades por elemento estrutural.

Itens não conformes	Pilares	Vigas	Lajes TT	Lajes Alveolar	Total
Acabamento	6	26	21	17	70
Trincas	0	0	47	17	64
Fissuras	0	15	32	0	47
Manchas de oxidação	0	0	32	0	32
Manchas de Lixiviação	0	0	32	0	32
Nichos de Concretagem	0	0	16	12	28
Inserts e aterramentos em desacordo com o projeto	26	0	0	0	26
Exposição da Armadura	0	0	0	26	26
Armadura deslocada e cobrimento em desacordo com o projeto	0	0	19	5	24
Desalinhamento / Linearidade	3	6	11	3	23
Fraturas e Quebras	4	9	5	3	21
Dimensões	0	4	0	17	21
Furos para montagem de vigas em desacordo com o projeto	16	0	0	0	16
Pinos para montagem em desacordo com o projeto	0	11	0	0	11
Porosidade	0	0	5	5	10
Chave de cisalhamento em desacordo com o projeto	8	0	0	0	8
Ausência de dispositivos para içamento ou deslocados	2	0	0	0	2
Falta de Armadura	1	0	0	0	1
Total:	**66**	**71**	**220**	**105**	**462**

FONTE: Autora (2022).

Por serem peças protendidas que são fabricadas nas pistas de concretagem, é possível indicar que o excesso de não conformidades esteja relacionado a concretagem, adensamento e cura das lajes duplo T, e no caso da laje alveolar com o traço do concreto e possíveis problemas na máquina extrusora.

3.4.2 Itens não conformes por classe de defeito - críticos, graves e toleráveis

3.4.2.1 Defeitos críticos

O Gráfico da Figura 14 apresenta a porcentagem defeituosa das não conformidades consideradas críticas em pilares, vigas e lajes. Nota-se que ocorre a maior frequência de defeitos críticos ocorre nas lajes alveolares e nas duplo T. Ambas apresentaram defeitos como: armadura deslocada, cobrimento mínimo em desacordo com o projeto, armadura exposta, nichos de concretagem, fraturas e quebras.

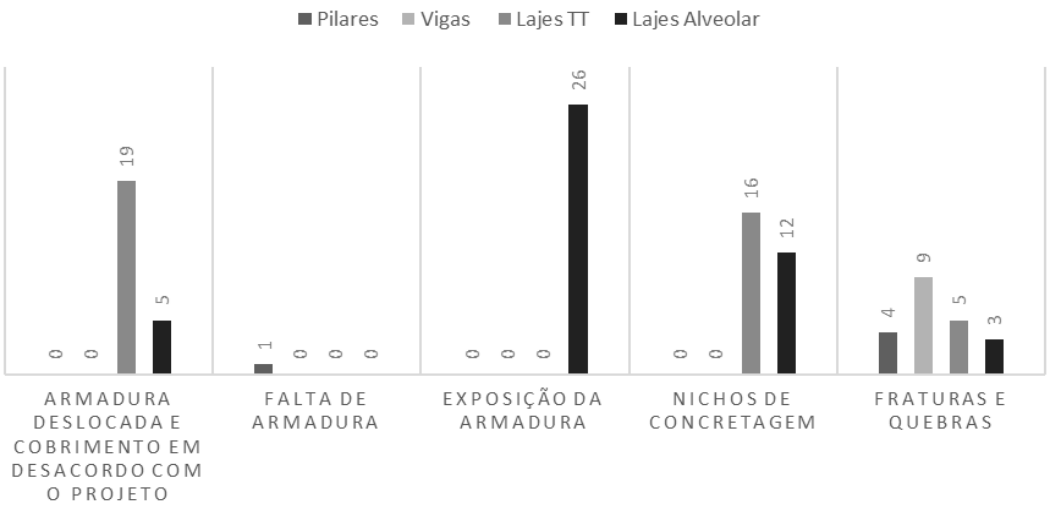

FIGURA 14: Defeitos críticos.
FONTE: Autora (2022).

3.4.2.2 Defeitos graves

O Gráfico da Figura 15 apresenta a porcentagem dos defeitos considerados graves em pilares, vigas e lajes. Nota-se que ocorre o maior percentual de desvios nas dimensões em lajes alveolares, as trincas e as manchas de oxidação ocorrem com maior percentual nas lajes π. Os pilares apresentam menor incidência de defeitos que as lajes assim como distintos tipos, pois nestes é frequente a ausência de dispositivos para içamento, insertos em desacordo com o projeto, furos e chaves de cisalhamento. As vigas registram poucas não-conformidades se comparadas com os pilares e as lajes.

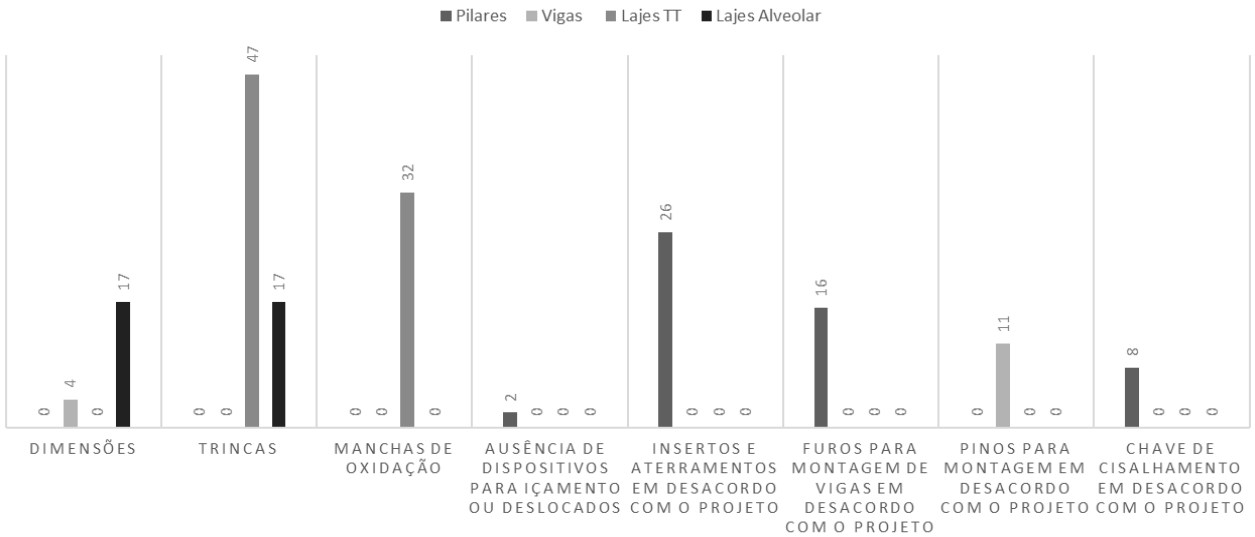

FIGURA 15: Defeitos graves.
FONTE: Autora (2022).

3.4.2.3 Defeitos toleráveis

O Gráfico da Figura 16 apresenta a porcentagem dos defeitos considerados toleráveis em pilares, vigas e lajes. Novamente, o maior percentual se concentra nas lajes duplo T e alveolares, sendo que todos os defeitos estão presentes seja em um tipo ou no outro. Por outro lado, as vigas aparecem como o

segundo elemento estrutural com maior incidência como: desalinhamento, fissuras e defeitos no acabamento.

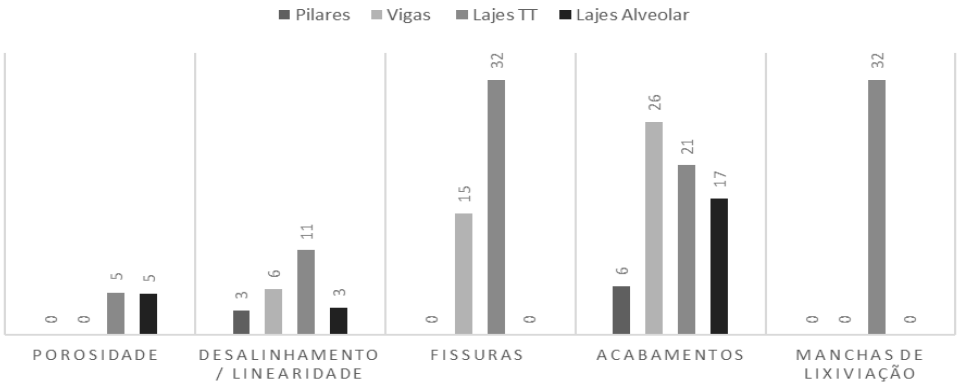

FIGURA 16: Defeitos toleráveis.
Fonte: Autora (2022).

Da totalidade de não conformidades, 39% destas são consideradas toleráveis, 38% são consideradas graves e os 23% restantes são defeitos graves. Além disso, a maioria das ocorrências aparece nas lajes e nos pilares. Entretanto, é fundamental conhecer quais defeitos são mais frequentes e como são classificados a fim de priorizar as ações para eliminar e/ou reduzir as não conformidades junto ao fornecedor de pré-fabricados, ainda durante o andamento da obra. A alteração do fornecedor, apesar de justificável não seria viável, e geraria uma série de atrasos ainda maiores do que os que já estavam ocorrendo pela devolução de diversas peças.

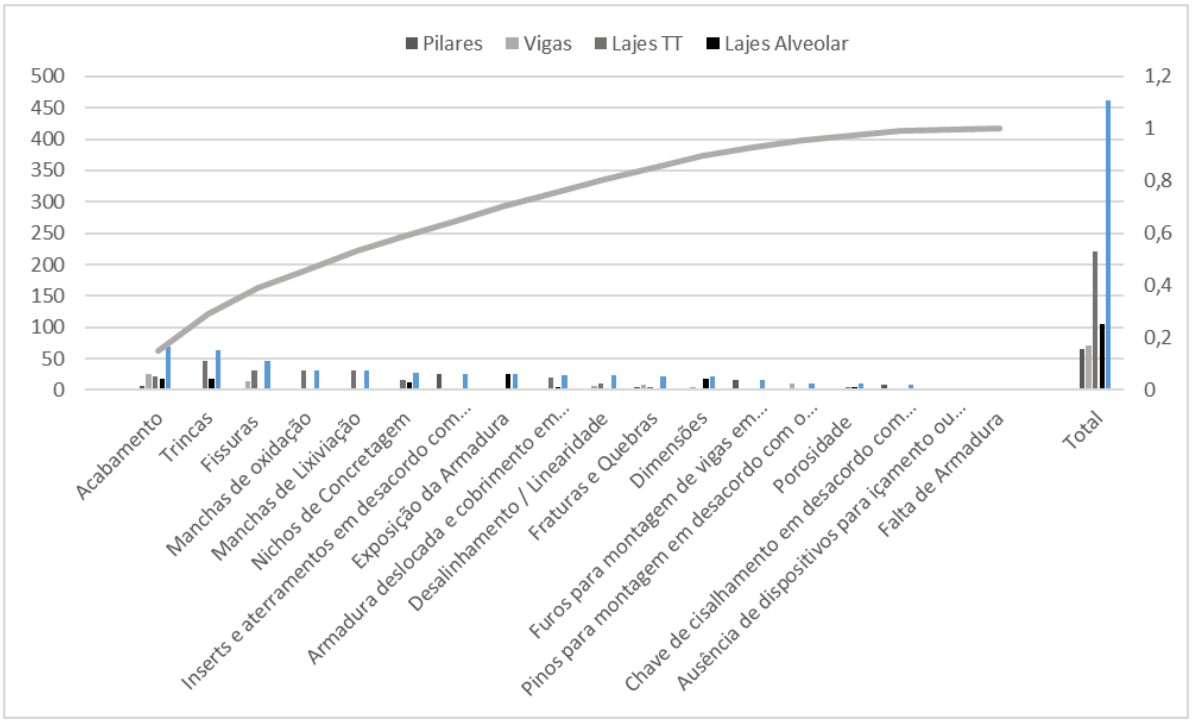

FIGURA 17: Defeitos toleráveis.
FONTE: Autora (2022).

Geralmente utilizado na gestão da qualidade, no contexto da aplicação dos Seis Sigmas ou do ciclo PDCA, tem-se o diagrama de Pareto. Esta é uma ferramenta que pode ser utilizada para estabelecer uma

ordenação dos defeitos mais relevantes, de maneira a projetar após sua análise um plano de ações que devem ser realizadas de acordo com a prioridade. A construção do diagrama se dá pelo cálculo da frequência de cada causa que é representada como um histograma, mas por ordem decrescente, e tendo os acumulados simulados por uma linha (Gráfico da Figura 17).

Mais de 80% dos defeitos estão concentrados em quatro não conformidades toleráveis, três graves e três críticas. Estas últimas são preocupantes pois se referem ao aparecimento de nichos de concretagem, exposição de armaduras e armadura deslocada ou com cobrimento em desacordo com o projeto estrutural. Nestes casos, as peças ao serem utilizadas gerarão uma condição insegura em uso. Defeitos no acabamento e o aparecimento de fissuras são duas não-conformidades toleráveis que juntamente com as trincas (graves) totalizam quase 40% de todos os defeitos, e por isso merecem a devida atenção.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os programas de qualidade gerenciados pelas construtoras buscam justamente reduzir as perdas provocadas por itens defeituosos. Entretanto, como estes aparecem durante o andamento da obra, faz-se necessário concentrar esforços não no sentido de eliminar todas as não-conformidades, pois o tempo e por consequência os custos atrelados a isso seriam significativos. As ações devem ser direcionadas aos defeitos que são responsáveis pela maioria das não-conformidades.

Outro aspecto relevante é identificar os tipos de defeitos e sua criticidade, pois com esta informação é possível atuar juntamente com o fornecedor para solucionar de maneira eficaz os problemas na produção dos pré-fabricados de concreto.

Neste estudo de caso, ficou evidenciado que uma parte significativa (40%) dos defeitos eram classificados como toleráveis (acabamentos e fissuras) e graves (trincas). Estes últimos se concentravam nas lajes duplo T e alveolares, mas também apareciam nas vigas. A identificação destes e sua classificação foram fundamentais para que medidas direcionadas a melhoria da fabricação pudessem ser exigidas e implementadas rapidamente, e tendo os resultados contribuído para reduzir os atrasos na entrega deste empreendimento industrial.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, MESO. **Análise das manifestações patológicas em edificações escolares pré-fabricadas na cidade de Campinas/SP**. 2017. Dissertação (mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5425**: guia de inspeção por amostragem no controle e certificação de qualidade. Rio de Janeiro, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9001**: sistema de gestão da qualidade - requisitos. Rio de Janeiro, 2015.

BATISTON, Eduardo Roberto; PELISSER, Fernando; WALNIER, Rodrigo. Análise de acabamento superficial em elementos pré-fabricados de concreto. **HOLOS**, v. 8, p. 233-243, 2018.

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. 1. ed. São Carlos: EESC-USP, 2000.

RICHARDSON, J. **Quality in Precast Concrete: Design—Production—Supervision**; Longman Scientific & Technical: Essex, UK, 1991.

SKRZYPCZAK, Izabela. Statistical Quality Inspection Methodology in Production of Precast Concrete Elements. **Materials**, v. 16, n. 1, p. 431, 2023.

VAN ACKER, A. **Manual de sistemas pré-fabricados de concreto**. Traduzido por Marcelo de Araújo Ferreira. São Paulo: Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto, 2002.

VANZELLA, M. **Não conformidades em pré-moldados de concreto: comparação entre duas empresas fornecedoras de um empreendimento**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Curso de Engenharia Civil. Porto Alegre, 2016.