



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

MATHEUS SOUZA SILVA

**AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE LAJES
PRÉ-MOLDADAS EM CATALÃO - GO**

Ilha Solteira

2022

MATHEUS SOUZA SILVA

**AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE LAJES
PRÉ-MOLDADAS EM CATALÃO - GO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Engenharia do
Campus de Ilha Solteira – UNESP, como
parte dos requisitos para obtenção do grau de
Engenheiro Civil.

**Orientador: Prof. Dr. Marco Antônio de M.
Alcântara**

Ilha Solteira

2022

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S586a Silva, Matheus Souza.
Avaliação da produção de lajes pré-moldadas em Catalão - GO / Matheus Souza Silva. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022
47 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (graduação em Engenharia Civil) -
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2022

Orientador: Marco Antônio de Moraes Alcântara
Inclui bibliografia

1. Laje. 2. Vigota. 3. Pré-moldado.



Erika Renata Bocchi Lomba
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
Supervisora Técnica de Seção
CRB/8 -10792

Matheus Souza Silva

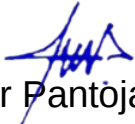
**AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE LAJES PRÉ-MOLDADAS EM
CATALÃO - GO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado como parte dos requisitos para
obtenção do grau de Engenheiro Civil, junto ao
Curso de Graduação em Engenharia Civil, da
Faculdade de Engenharia da Universidade
Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho",
Câmpus de Ilha Solteira.

Aprovado em 12/12/2022

Comissão Examinadora


Prof. Dr. Marco Antônio de Moraes Alcantara
UNESP/FE - Campus de Ilha Solteira (Orientador)


Prof. Dr. Artur Pantôja Marques
UNESP/FE - Campus de Ilha Solteira

Rodrigo Andraus Bispo
Me Rodrigo Andraus
Doutorando UNESP/FE - Campus de Ilha Solteira

Ilha Solteira
12 de dezembro de 2022

À minha mãe Donária Aparecida
e ao meu pai Mário Pereira

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre me guiar no caminho correto, por ensinar sobre coragem e humildade.

Agradeço aos meus pais Mário e Donária e à minha irmã Isabela, por fazerem todo o possível para que essa conquista acontecesse.

Ao meu orientador Marco, pelos ensinamentos na sala de aula e na vida, pela paciência e comprometimento com a docência.

A todos os professores que contribuíram para a minha formação, desde a primeira escola até o fim da graduação.

A minha namorada Yasmin, pelo apoio incondicional e doses diárias de amor.

Aos meus companheiros de graduação e vizinhança, especialmente ao Guilherme, por todas as risadas e amizade que tornaram o dia a dia tão prazeroso.

RESUMO

Algumas alternativas vêm surgindo para industrializar a construção civil. Elementos pré-moldados são opções, associando rapidez de execução e ótimo custo-benefício. Tendo em vista o uso difundido das lajes pré-moldadas, realizou-se este trabalho a fim de avaliar a produção das vigotas, elementos que compõe essa estrutura, no município de Catalão - GO. Para isso, foi realizada uma revisão da bibliografia, reunindo as recomendações e exigências de acordo com as normas técnicas vigentes e trabalhos de demais autores. O estudo de caso aconteceu em duas fábricas da cidade, que apresentaram processo de fabricação semelhantes, sem controles rígidos de qualidade, destacando-se armazenamento inadequado dos materiais, não cumprimento do cobrimento mínimo e relação água cimento elevada. Como as empresas não executam ensaios de resistência a compressão dos concretos e flexão e cisalhamento das vigotas, não foi possível determinar qual traço e execução foi melhor. Portanto, observou-se que é necessário profissionalização dos processos para que haja maior qualidade e segurança das lajes pré-moldadas, o que pode ser melhorado com parceria das empresas com as faculdades de engenharia civil do município.

Palavras-chave: Laje. Vigota. Pré-moldado.

ABSTRACT

Some alternatives have been emerging to industrialize civil construction. Precast elements are options, combining speed of execution and great cost-effectiveness. Considering the widespread use of precast slabs, this work was carried out in order to evaluate the production of joists, elements that make up this structure, in the municipality of Catalão - GO. For this, a review of the bibliography was carried out, gathering the recommendations and requirements in accordance with current technical standards and works by other authors. The case study took place in two factories in the city, which had a similar manufacturing process, without strict quality controls, highlighting inadequate storage of materials, non-compliance with minimum cover and high water-cement ratio. As the companies do not carry out compressive strength tests of the concrete and bending and shearing of the beams, it was not possible to determine which trait and execution was better. Therefore, it was observed that it is necessary to professionalize the processes so that there is greater quality and safety in precast slabs, which can be improved through a partnership between the companies and the civil engineering schools in the municipality.

Keywords: Slab. Joist. Precast.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Laje formada por nervuras pré-moldadas.....	13
Figura 2 – Corte em laje de vigotas do tipo trilho.	14
Figura 3 – Corte em laje de vigotas do tipo trilho protendido	14
Figura 4 – Corte em de vigotas do tipo treliça	15
Figura 5 – Detalhes da treliça.....	16
Figura 6 – Diagramas de tensão da seção transversal nos três Estádios de uma viga.....	17
Figura 7 – Esquema de viga submetida à flexão com trecho fissurado.....	19
Figura 8 – Vigota Trelifácil	24
Figura 9 – Modificação na seção para garantir cobrimento.....	27

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Foto 1	– Armazenamento do cimento – Empresa A	31
Foto 2	– Armazenamento da areia grossa – Empresa A	32
Foto 3	– Armazenamento da brita 0 – Empresa A.....	32
Foto 4	– Identificação da treliça – Empresa A	33
Foto 5	– Armazenamento das treliças – Empresa A.....	33
Foto 6	– Corte das armaduras adicionais – Empresa A.....	34
Foto 7	– Fôrmas de vigotas treliçadas – Empresa A	36
Foto 8	– Fôrmas de vigotas tipo trilho – Empresa A	36
Foto 9	– Armazenamento das vigotas prontas – Empresa A.....	37
Foto 10	– Armazenamento do cimento – Empresa B	38
Foto 11	– Armazenamento dos agregados Empresa B	39
Foto 12	– Armazenamento das treliças – Empresa B.....	39
Foto 13	– Cura das vigotas treliçadas nas fôrmas – Empresa B	40
Foto 14	– Adensamento do concreto nas fôrmas – Empresa B.....	41
Foto 15	– Seção transversal da vigota treliçada	42
Foto 16	– Vigota com armadura exposta – Empresa B	42
Foto 17	– Armazenamento das vigotas – Empresa B.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Limites para deslocamentos.....	21
Tabela 2	– Classes de agressividade ambiental.....	25
Tabela 3	– Correspondência entre classe de agressividade e relação água/cimento.....	26
Tabela 4	– Correspondência entre a classe de agressividade e cobrimento nominal para $\bar{x}_c = 5,0$ mm.....	26
Tabela 5	– Aço para utilização em lajes pré-fabricadas.....	28
Tabela 6	– Traço utilizado pela fábrica – Empresa A.....	34
Tabela 7	– Traço utilizado pela fábrica – Empresa B.....	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Objetivo geral.....	11
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1	Histórico do pré-moldado	11
2.2	Vigotas pré-moldadas – Informações técnicas	12
2.2.1	Vigotas tipo trilho	14
2.2.2	Vigotas protendidas	14
2.2.3	Vigotas treliçadas	14
2.3	Análise da deformação – Estado limite de serviço	17
2.4	Deslocamentos limites	20
2.5	Perspectivas de inovações	23
2.6	Processo de fabricação das vigotas pré-moldadas	24
3	METODOLOGIA.....	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1	Empresa A	30
4.2	Empresa B	37
5	CONCLUSÃO.....	43
6	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

Desde a Revolução Industrial todos os setores de mercado buscam otimizar seus processos de fabricação com o objetivo de aumentar produtividade, qualidade e segurança. A construção civil acompanhou essa transformação, entretanto, segundo Santine (2005), dentre todas as indústrias a da construção é considerada uma das mais atrasadas. Isso em virtude do alto índice de desperdício, morosidade, baixo controle de qualidade e produtividade.

Assim, mesmo com o crescimento do setor, ainda falta investimento em tecnologia e capacitação da mão de obra, visto que tanto os processos construtivos utilizados hoje, como os materiais empregados, em sua maioria não atendem as especificações técnicas (SILVA; VALIN JR, 2014).

Nesse sentido, a utilização de elementos pré-moldados vem ganhando espaço no mercado da construção civil, com destaque as lajes pré-moldadas em obras de pequeno e médio porte. Dentre as vantagens desse sistema estão a facilidade de manuseio e montagem, ausência de fôrmas de lajes e a existência de fábricas de lajes pré-moldadas em quase todas as cidades de médio porte, tornando seu uso difundido, além do que, apresentam desempenho compatível com as necessidades de projeto, quando bem dimensionadas e executadas (FLÓRIO, 2004).

De acordo com norma técnica de projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado NBR 9062:2017, o pré-moldado é definido como: “Elemento que é executado fora do local de utilização definitiva na estrutura, com controle de qualidade menos rigoroso, dispensando o uso de laboratórios e instalações congêneres próprias para inspeção”.

Segundo Flório (2004), as lajes pré-fabricadas são um sistema formado por nervuras pré-moldadas, também conhecidas como vigotas ou treliças, que são espaçadas de maneira uniforme por lajotas de cerâmica ou EPS, sendo cobertas por uma capa de concreto moldada no local.

Portanto, devido ao seu amplo mercado e utilização, esta pesquisa visa estudar o processo de produção e execução das vigotas pré-moldadas em Catalão, Goiás.

1.1 Objetivo

Propõe-se investigar o processo de produção de vigotas pré-moldadas no município de Catalão - Goiás, verificando se são atendidas as especificações e normas técnicas vigentes, correto armazenamento da matéria-prima, tempo de cura do concreto, cuidado em relação ao armazenamento e transporte dos elementos prontos, bem com saber o nível de conhecimento técnico dos profissionais que realizam a sua fabricação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Histórico do pré-moldado

Não se pode ter uma data precisa em que começou a pré-moldagem, o próprio nascimento do concreto armado ocorreu com a pré-moldagem de elementos, fora do local de seu uso. Sendo assim, pode-se afirmar que a pré-moldagem começou com a invenção do concreto armado (VASCONCELOS, 2002).

De acordo com o mesmo autor, em 1891, Coignet, uma empresa localizada nas proximidades de Paris, produziu vigas de concreto pré-moldado e armado para construir um cassino em Biarritz, considerada a obra precursora no uso da tecnologia. Já por volta de 1900, as primeiras lajes de concreto armado em grande escala, com apenas 5 cm de espessura, estavam sendo pré-moldadas nos Estados Unidos.

A grande demanda social por habitações no início do século XX, principalmente em países industrializados como Inglaterra e Estados Unidos, gerou uma necessidade de projetos de construção baseados em processos industriais, tais como a pré-fabricação do concreto. Mas essa demanda só se intensificou e firmou ao final da segunda Guerra Mundial, tanto nos Estados Unidos quanto na Europa. A reconstrução das cidades europeias e a crescente populacional no solo americano pós-guerra gerou uma grande necessidade de habitações, atendida graças a pré-fabricação (HERNÁNDEZ, 2016).

De acordo com Vasconcelos (2002), no Brasil, a primeira obra executada com elementos pré-moldados foi em 1926, o Hipódromo da Gávea na cidade do Rio de Janeiro. Foram usadas estacas pré-moldadas nas fundações e cercas no perímetro do hipódromo, mas foi uma solução cara e trabalhosa em que as vantagens da pré-moldagem não foram eficazes. A racionalização e a industrialização de sistemas

construtivos só se tornaram pauta no fim da década de 50, época que a Construtora Mauá, de São Paulo, especializada em construções industriais, executou vários galpões pré-moldados no próprio canteiro de obras.

O Conjunto Residencial da Universidade de São Paulo – CRUSP, da cidade universitária Armando Salles de Oliveira, em São Paulo, foi o primeiro edifício de vários pavimentos construído com elementos pré-moldados. Os prédios de seis pavimentos foram projetados pelo Fundo de Construção da Universidade de São Paulo – FUNDUSP em 1964 e funcionavam como alojamento de estudantes. Nesta obra as peças foram fabricadas no canteiro de obra, onde existia espaço de sobra para a produção e armazenagem. Este foi um elemento altamente favorável, o que não acontece atualmente em obras situadas em regiões populosas das cidades (VASCONCELOS, 2002).

De acordo com a engenheira civil Íria Doniak, presidente-executiva da Abcic (Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto), em entrevista a Santos (2021), nos últimos 20 anos quase dobrou a participação da pré-fabricação no mercado, indo de 4 a 5% para 8 a 10%, considerando o percentual total sobre estruturas, fundações e fachadas. Íria diz que valores são apenas uma estimativa, uma vez que não existe ainda um dado confiável. Comparados a Europa, em que a taxa varia de 30% a 90%, sendo os índices mais altos nos países nórdicos, Holanda e Bélgica, o Brasil possui um índice muito baixo, e o crescimento vai depender de alguns pontos, como o retorno dos investimentos nacionais e internacionais e a capacidade do governo lidar com a economia em geral.

2.2 Vigotas pré-moldadas – Informações técnicas

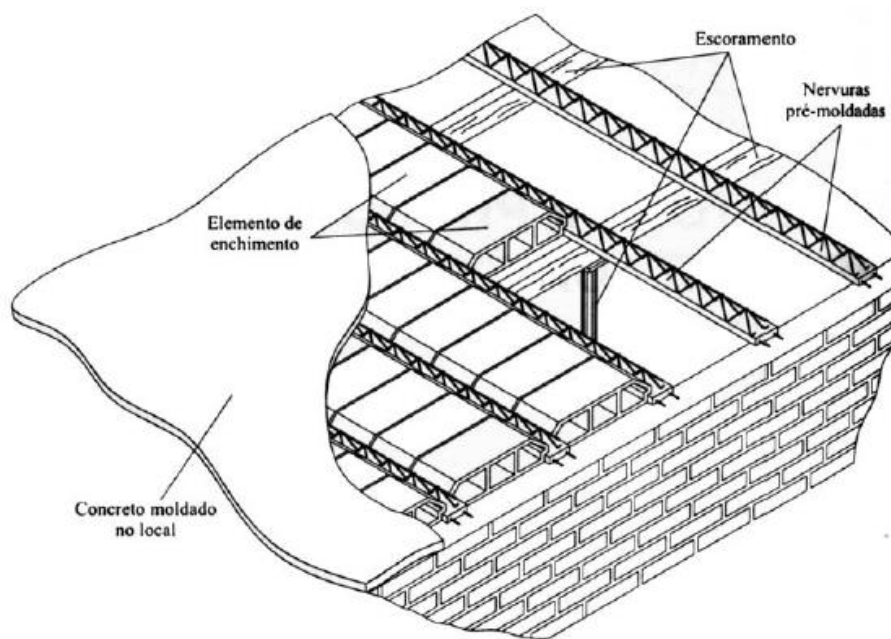
De acordo com Flório (2004):

As lajes com vigotas pré-fabricadas, como o nome já caracteriza, são sistemas formados por nervuras cujas vigotas (parte da nervura) são pré-moldadas de concreto armado (trilho ou treliça) espaçadas de maneira uniforme por lajotas (normalmente cerâmicas ou de outros materiais como o EPS) e cobertas por uma capa de concreto moldada no local, cuja função é garantir a distribuição dos

esforços atuantes no elemento, aumentar sua resistência à flexão e nivelar o piso (FLÓRIO, 2004, p.18).

Na figura 1 vê-se os elementos que compõem a laje pré-moldada.

Figura 1 - Laje formada por nervuras pré-moldadas.



Fonte: EL DEBS, 2000.

Embora os elementos de concreto pré-fabricados e pré-moldados compartilhem o conceito de serem peças produzidas fora do local de utilização definitiva, a NBR 9062:2017 os diferencia em relação ao controle de qualidade. Os pré-fabricados são executados industrialmente em instalações provisórias ou não, com rigoroso controle de qualidade, sendo indispensável à existência de laboratório e demais instalações permanentes, condições estas não exigidas a pré-moldagem, o que torna a utilização destes elementos em obras de pequeno e médio porte muito maior. É importante ressaltar que mesmo com níveis de controle de qualidade diferentes, os requisitos estabelecidos nas normas técnicas devem ser seguidos para ambos, tanto de projeto quanto produção e montagem.

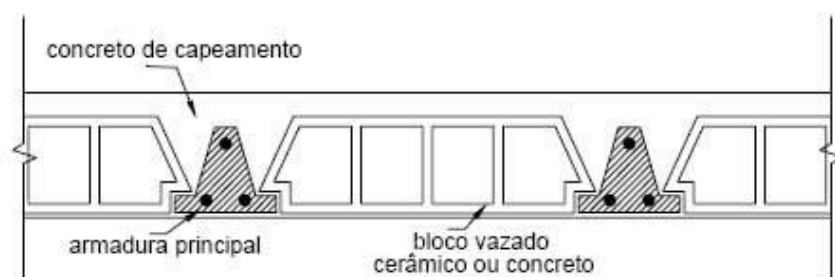
A vigota pré-moldada consiste em uma armadura envolta total ou parcialmente em concreto estrutural, sendo esta armadura a inferior de tração da laje, integrando parcialmente a seção de concreto da nervura longitudinal (NBR 14859-1:2002). São

utilizados três tipos de vigotas nas obras: as vigotas de concreto armado (trilho), as vigotas de concreto protendido e as vigotas treliçadas.

2.2.1 Vigotas tipo trilho

É uma vigota de concreto armado normalmente com seção no formato de um “T” invertido (figura 2) com armadura passiva totalmente envolvida pelo concreto, utilizada para compor as lajes de concreto armado (FLÓRIO, 2004). A especificação e distribuição da armadura devem seguir o projeto estrutural, bem como a altura de capa do concreto.

Figura 2 - Corte em laje de vigotas do tipo trilho.

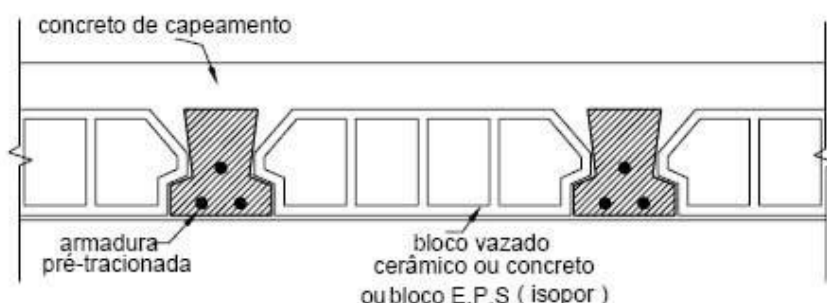


Fonte: FAZ FÁCIL, 2012.

2.2.2 Vigotas protendidas

Estes elementos (figura 3) possuem geometria similar as armadas, mas com armadura ativa pré-tensionada também totalmente envolvida pelo concreto da vigota, utilizadas para compor as lajes de concreto protendido (FLÓRIO, 2004).

Figura 3 - Corte em laje de vigotas do tipo trilho protendido

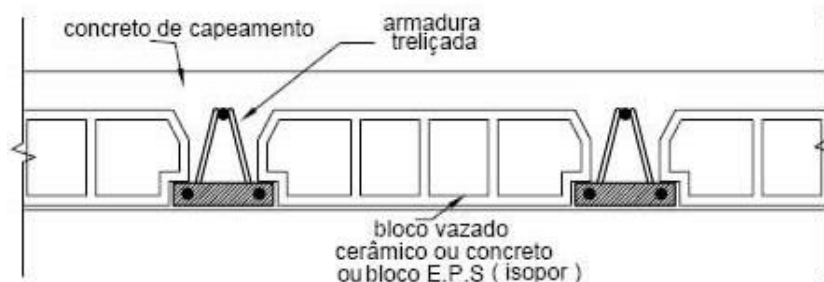


Fonte: FAZ FÁCIL, 2012.

2.2.3 Vigotas treliçadas

Conforme a NBR 14859-1:2002 as vigotas treliçadas (figura 4) são constituídas por uma armação de treliça e pela base de concreto, podendo ser inseridas armaduras adicionais de acordo com a carga e o tamanho da laje, desde que a armadura passiva de flexão esteja totalmente envolta pela base de concreto.

Figura 4 - Corte em de vigotas do tipo treliça.

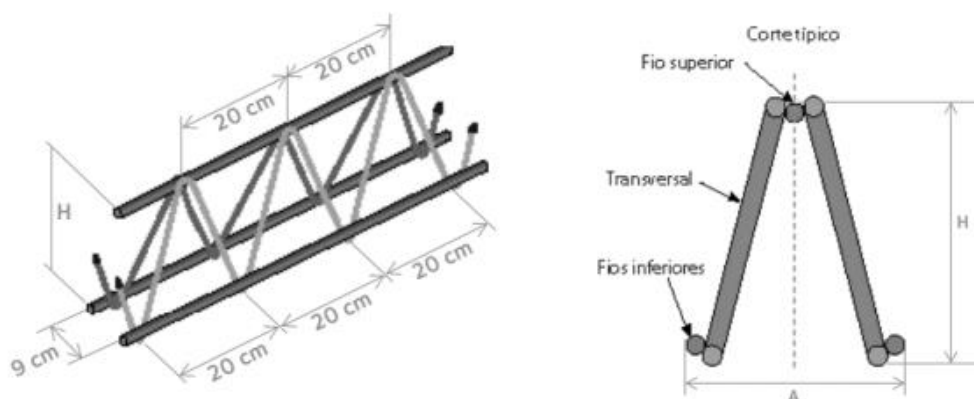


Fonte: FAZ FÁCIL, 2012.

A NBR 14859-1:2002, diz que as armaduras treliçadas são armaduras de aço pronta, pré-fabricada, em forma de estrutura espacial prismática, constituída por fios de aço paralelos na base (banzo inferior), os quais resistem às forças de tração oriundas do momento fletor positivo e um fio de aço no topo (banzo superior), que colabora como armadura de compressão durante a montagem e concretagem da laje treliçada. Os banzos são unidos pelas sinusóides, formando as diagonais, que além de colaborarem como armadura resistente à força cortante, promovem uma perfeita coesão entre o concreto do elemento pré-moldado e o concreto de capeamento. As treliças usadas são padronizadas e podem ser escolhidas pelos projetistas com o auxílio de tabelas feitas por fornecedores em função do vão e do carregamento de utilização da laje. Algumas dimensões das treliças são fixas, conforme a Figura 5.

A altura da treliça (H), é dada entre as superfícies limites dos banzos inferior e superior, têm padrões de 8cm, 12cm, 16cm, 20cm, 25cm e 30cm. A base (A) é a distância entre os fios do banzo inferior, no caso de 9cm. O passo é a distância entre os nós da treliça, no caso de 20cm. A nomenclatura da treliça é dada em função de sua altura e da bitola dos fios que a compõem. Por exemplo a treliça TR16745 possui altura de 16 cm, conforme os 2 primeiros algarismos, bitola do banzo superior de 7mm, do fio da diagonal de 4,2mm, e de 5mm no banzo inferior (TÁVORA, 2017).

Figura 5 – Detalhes da treliça.



Fonte: Manual Técnico de Lajes Trelaçadas, ArcelorMittal (2010)

A NBR 6118:2014 prescreve que a espessura da mesa da vigota, quando não houver tubulações horizontais embutidas, deve ser maior ou igual a $1/15$ da distância entre nervuras e não menor que 3 cm. O valor mínimo deve ser 4 cm, quando existirem tubulações (diâmetro máximo 12,5 mm) embutidas. Vigotas com espessura menor que 8 cm não devem conter armadura de compressão.

Para o projeto das lajes nervuradas a NBR 6118:2014 estabelece as seguintes condições:

- a) para lajes com espaçamento entre eixos de vigotas menor ou igual a 65 cm, pode ser dispensada a verificação da flexão da mesa, e para a verificação do cisalhamento da região das nervuras, permite-se consideração dos critérios de laje;
- b) para lajes com espaçamento entre eixos de vigotas entre 65 cm e 110 cm, exige-se a verificação da flexão da mesa e as vigotas devem ser verificadas ao cisalhamento como vigas; permite-se essa verificação como lajes se o espaçamento entre eixos de vigotas for até 90 cm e a largura média das vigotas for maior que 12 cm;
- c) para lajes nervuradas com espaçamento entre eixos de vigotas maior que 110 cm, a mesa deve ser projetada como laje maciça, apoiada na grelha de vigas, respeitando-se os seus limites mínimos de espessura.

As lajes de vigotas pré-fabricadas treliçadas podem ser executadas de duas maneiras: unidirecional ou nervurada. No sistema de laje unidirecional, as vigotas são arranjadas na direção do menor que vão da laje e em uma única direção, como o próprio

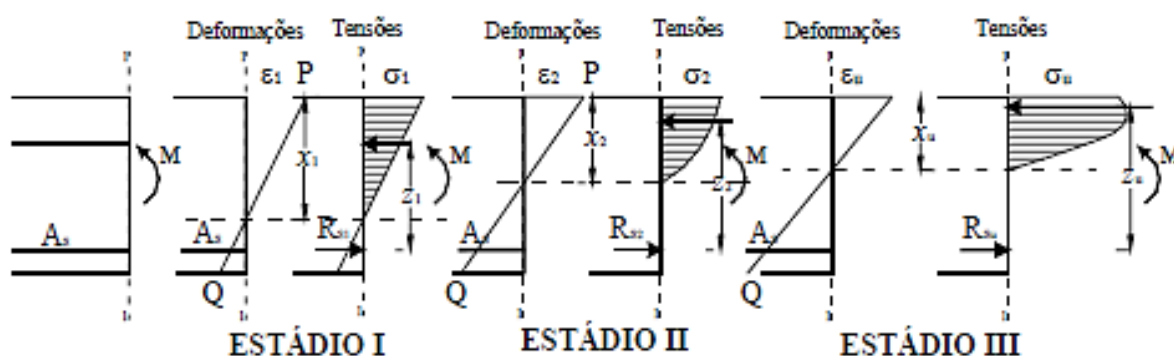
nome já diz. Já na laje nervurada, segundo Flório (2004), as vigotas são colocadas também na direção do menor vão, mas com nervuras transversais moldadas no local de execução, armadas com barras de aço isoladas.

2.3 Análise da deformação – Estado limite de serviço

Conforme a NBR 6118:2014 as verificações de estado limite último (ELU) e estado limite de serviço (ELS) devem ser atendidas por todos os elementos estruturais, sendo determinantes no dimensionamento. O ELU é o estado limite relacionado ao colapso estrutural que determina a paralisação do uso da construção, enquanto que o ELS, ou limite de deformação excessiva, é o estado em que as deformações atingem limites estabelecidos para a utilização normal da estrutura.

A verificação de colapso nas lajes nervuradas pré-moldadas está relacionada a capacidade resistente das seções sob flexão e cisalhamento. O momento fletor (M) atuante na seção pode atingir um valor que provoque o colapso do elemento, denominado de momento fletor de ruína (M_u). Até que esse valor seja atingido nota-se diferentes níveis de deformação, denominados estádios (figura 6), conceituados a seguir conforme Flório (2004).

Figura 6 – Diagramas de tensão da seção transversal nos três Estádios de uma viga



Fonte: FLÓRIO, 2004

Estádio I – Fase que corresponde ao início do carregamento. As tensões normais que surgem são de baixa magnitude e não ultrapassam a resistência característica à

tração do concreto (f_{tk}). Tem-se um diagrama linear de tensões ao longo da seção transversal da peça e não aparecem fissuras visíveis a olho nu.

É no estágio I que é feito o cálculo do momento de fissuração (M_r), que separa o estágio I do estágio II. Determinado o momento de fissuração, é possível calcular a armadura mínima, de modo que esta seja capaz de absorver, com adequada segurança, as tensões causadas por um momento fletor de mesma magnitude.

Estádio II - Neste nível de carregamento, as tensões de tração na maioria dos pontos abaixo da linha neutra (LN) terão valores superiores ao da resistência característica do concreto à tração e a seção se encontra fissurada na região tracionada. Portanto, a contribuição do concreto tracionado deve ser desprezada, resistindo aos esforços de tração apenas o aço.

Admite-se que a tensão de compressão no concreto continue linear, embora alguns autores considere uma variação parabólica como mostrada na figura 6.

Resumidamente, o estágio II serve para a verificação da peça em serviço, como o estado limite de deformações excessivas. O estágio II termina com o início da plastificação do concreto comprimido.

Estádio III – Neste estágio, a zona comprimida encontra-se plastificada e o concreto dessa região está na iminência da ruptura. Supõe-se que a distribuição de tensões no concreto ocorra segundo um diagrama parábola- retângulo.

Ainda de acordo com Flório (2004), o dimensionamento das estruturas de concreto armado é normalmente determinado no estado limite último (estádio III), garantindo que resistam aos esforços sem colapsar. Entretanto, em muitas situações, o estado limite de deformação excessiva passa a ser determinante no dimensionamento. Para Droppa Jr (1999) a fissuração do concreto tem grande influência no cálculo das flechas de lajes formadas por vigotas pré-moldadas. Considerando isso, afirma que a adoção da fórmula de Branson (Eq. 1), para análise não-linear é satisfatória para a avaliação das flechas em serviço.

O método simplificado de Branson, recomendado pela NBR 6118:2014, adota uma fórmula de inércia equivalente ponderada entre os estádios I e II do concreto.

$$I_{eq} = \left(\frac{M_r}{M_a}\right)^3 \cdot I_I + \left[1 - \left(\frac{M_r}{M_a}\right)^3\right] \cdot I_{II} \leq I_I \quad \text{Eq. 1}$$

Onde

I_{eq} é o momento de inércia efetivo;

I_I é o momento de inércia da peça no estágio I;

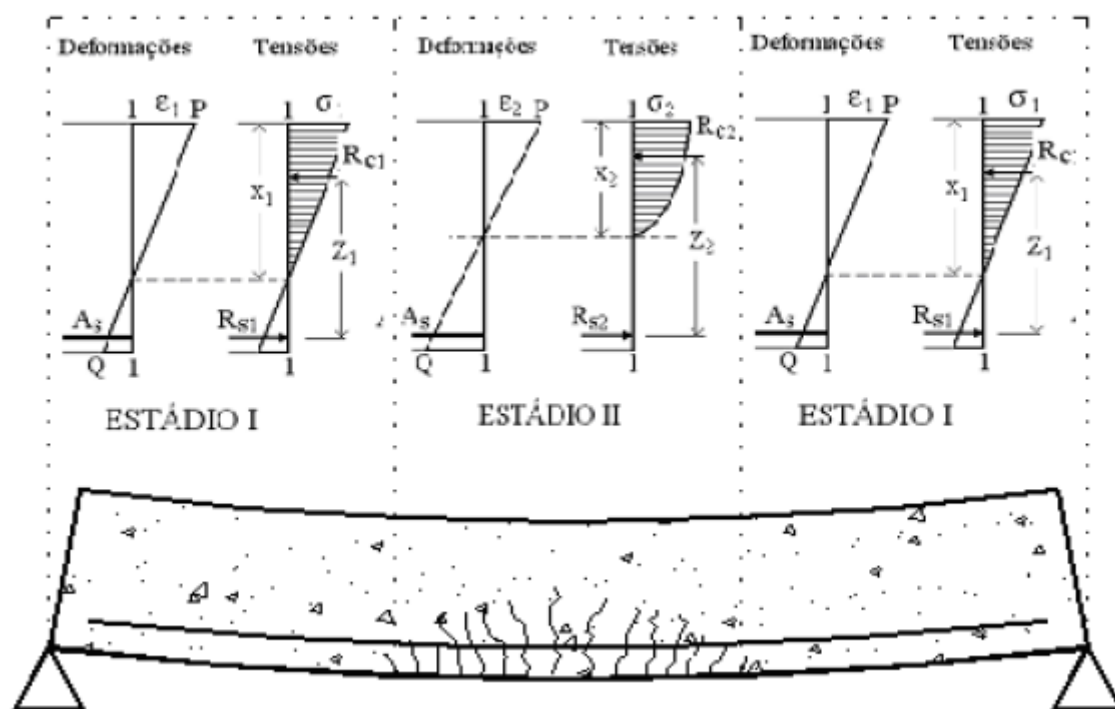
I_{II} é o momento de inércia da seção fissurada de concreto no estágio II;

M_a é o momento fletor na seção crítica do vão considerado, ou seja, o momento máximo;

M_r é o momento de fissuração do elemento estrutural;

A figura 7 representa um esquema de viga submetida à flexão com trechos em diferentes estádios, sendo necessário aplicar a fórmula de Branson para determinar a inércia efetiva. Conhecido esse valor, as flechas imediatas podem ser calculadas pelas expressões de resistência dos materiais.

Figura 7 – Esquema de viga submetida à flexão com trecho fissurado



Fonte: FLÓRIO, 2004

Peixoto (2002) ressalta que a flecha de um elemento depende não só da inércia, mas também das características do concreto. Para uma mesma peça e mesmo carregamento espera-se igual resistência do concreto, principalmente caracterizada pelo módulo de elasticidade (E_c). Contudo, este valor é influenciado por diversas variáveis, podendo resultar em resistências características sem precisão. A escolha e mistura dos materiais, transporte, lançamento, adensamento e cura do concreto são algumas variáveis que devem ser controladas para a obtenção de um concreto com as características desejadas.

No trabalho de Peixoto (2002) ele ensaiou diversos protótipos de nervura formada por vigotas treliçadas pré-moldadas que tiveram condições de adensamento e cura distintas. As nervuras foram submetidas a ensaio de flexão e as flechas obtidas foram comparadas as calculadas por Branson. Constatou-se que a expressão forneceu resultados de deslocamentos inferiores aos experimentais nos processos onde a vibração foi menos eficiente e deslocamentos superiores nos processos onde houve vibração eficiente. Para a variação de cura, observou-se que quando respeitada, houve concordância dos valores experimentais e obtidos por Branson, diferentemente dos protótipos não curados, portanto, confirmando que os concretos com mesmo f_{ck} , podem apresentar E_c e rigidez diferentes, e consequentemente deslocamentos distintos.

2.4 Deslocamentos limites

De acordo com a NBR 6118:2014, p. 76 “deslocamentos-limites são valores práticos utilizados para verificação em serviço do estado-limite de deformações excessivas da estrutura.”, sendo classificados em quatro grupos básicos apresentados a seguir:

- a) Aceitabilidade sensorial: o limite é caracterizado por sensações desagradáveis aos usuários da estrutura. A razão das limitações pode ser visual, com deslocamento limite igual a $l/200$, sendo l o comprimento do vão, ou de outros tipos como vibrações, provenientes de cargas acidentais, com deslocamento igual a $l/350$;
- b) Efeitos específicos: os deslocamentos podem impedir a utilização adequada da construção. Exemplo: superfícies que devem drenar água em $l/250$, pavimentos que devem manter planos $l/600$ e elementos que suportam equipamentos sensíveis de acordo com a recomendação do fabricante;

- c) Efeitos em elementos não estruturais: deslocamentos estruturais podem ocasionar o mau funcionamento de elementos que, apesar de não fazerem parte da estrutura, estão a ela ligados. Assim, as razões das limitações podem ser paredes, com limitação de $l/500$ no caso de alvenarias e revestimentos e $l/250$ no caso de divisórias leves e $H/500$ para movimento lateral de edifícios;
- d) efeitos em elementos estruturais: os deslocamentos podem afetar o comportamento do elemento estrutural, provocando afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas.

A NBR 6118:2014 fornece na tabela 13.3, p. 77-78 os valores-limites de deslocamentos apresentados aqui na tabela 1.

Tabela 1 - Limites para deslocamentos

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$l/250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$l/350$
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	$l/250^a$
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	$l/350$ contraflecha ^b
			Ocorrido após a construção do piso	$l/600$
	Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	De acordo com recomendação do fabricante do equipamento
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	$l/500^c$ e 10 mm e $\theta = 0,0017 \text{ rad}^d$
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	$l/250^c$ e 25 mm

Continua

Tabela 1 (continuação)

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação frequente ($\psi_1 = 0,30$)	$H/1\,700$ e $H_i/850$ e entre pavimentos ^f
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	$l/400$ ^g e 15 mm
Efeitos em elementos não estruturais	Forros	Movimentos térmicos horizontais	Provocado por diferença de temperatura	$H_i/500$
		Revestimentos colados	Ocorrido após a construção do forro	$l/350$
		Revestimentos pendurados ou com juntas	Deslocamento ocorrido após a construção do forro	$l/175$
	Pontes rolantes	Desalinhamento de trilhos	Deslocamento provocado pelas ações decorrentes da frenagem	$H/400$
Efeitos em elementos estruturais	Afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas	Se os deslocamentos forem relevantes para o elemento considerado, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-os ao modelo estrutural adotado.		

^a As superfícies devem ser suficientemente inclinadas ou o deslocamento previsto compensado por contraflechas, de modo a não se ter acúmulo de água.

^b Os deslocamentos podem ser parcialmente compensados pela especificação de contraflechas. Entretanto, a atuação isolada da contraflecha não pode ocasionar um desvio do plano maior que $l/350$.

^c O vão l deve ser tomado na direção na qual a parede ou a divisória se desenvolve.

^d Rotação nos elementos que suportam paredes.

^e H é a altura total do edifício e H_i o desnível entre dois pavimentos vizinhos.

^f Esse limite aplica-se ao deslocamento lateral entre dois pavimentos consecutivos, devido à atuação de ações horizontais. Não podem ser incluídos os deslocamentos devidos a deformações axiais nos pilares. O limite também se aplica ao deslocamento vertical relativo das extremidades de lintéis conectados a duas paredes de contraventamento, quando H_i representa o comprimento do lintel.

^g O valor l refere-se à distância entre o pilar externo e o primeiro pilar interno.

NOTAS

1 Todos os valores-limites de deslocamentos supõem elementos de vão l suportados em ambas as extremidades por apoios que não se movem. Quando se tratar de balanços, o vão equivalente a ser considerado deve ser o dobro do comprimento do balanço.

2 Para o caso de elementos de superfície, os limites prescritos consideram que o valor l é o menor

vão, exceto em casos de verificação de paredes e divisórias, onde interessa a direção na qual a parede ou divisória se desenvolve, limitando-se esse valor a duas vezes o vão menor.

3 O deslocamento total deve ser obtido a partir da combinação das ações características ponderadas pelos coeficientes definidos na Seção 11.

4 Deslocamentos excessivos podem ser parcialmente compensados por contraflechas.

Fonte: NBR 6118: 2014.

A contraflecha é definida como o deslocamento vertical intencional aplicado nas vigotas pré-fabricadas durante a montagem, por meio do escoramento, contrário ao sentido da flecha e deverá ser calculada para que após a retirada do escoramento e a aplicação de todo carregamento, a laje não desloque acima da flecha limite (NBR 14859-1:2002). Entretanto, a atuação isolada da contraflecha não pode ocasionar um desvio do plano maior que $l/350$.

2.5 Perspectivas de inovações

Apesar de suas vantagens em relação a outros sistemas estruturais, as vigotas treliçadas e praticamente todos os produtos e serviços oferecidos dentro e fora da construção civil têm potencial para serem mais eficientes, tanto econômica quanto produtivamente. Essa busca pela melhoria é reconhecida por meio de pesquisas e experimentações realizadas para melhor compreender as partes que compõem o sistema. Neste caso, destacam-se os estudos de otimização estrutural, de custo e de escoramento. Além disso, a experiência com materiais modificados e métodos de execução do processo, como no caso da protensão de vigotas, pode trazer vantagens significativas sobre os métodos convencionais.

Nesse mesmo contexto, a Novatreliça, da empresa ArcelorMittal, substitui a base de concreto da vigota por um perfil metálico de aço zincado, de cerca de 1mm de espessura, o que reduz o peso em aproximadamente 80%, de acordo com o fabricante. Com isso, ganha-se em produtividade, de modo que um só operário consiga manusear e instalar as vigotas para execução com mais facilidade, sendo necessária uma quantidade menor de mão de obra. Além disso, o transporte é feito com menor custo, mais agilidade e menor risco de perdas (TÁVORA, 2017). Pode-se visualizar na figura 8 a vigota utilizada nesse sistema.

Figura 8 – Vigota Trelifácil



Fonte: Trelifácil ® ArcelorMittal (2019).

A utilização de enchimento de EPS, escoramento e formas metálicas e, recentemente, a Trelifácil ® são inovações que reduzem o peso próprio da estrutura, o tempo de execução e o desperdício de materiais no canteiro de obra, quando tratamos do sistema convencional de construção. Entretanto, existem novas formas de construir, cada vez mais eficientes e limpas, a exemplo do steel frame, e cabe ao mercado escolher com segurança e economia a melhor solução para cada obra.

2.6 Processo de fabricação das vigotas pré-moldadas

Para a fabricação das vigotas pré-moldadas, deve-se seguir as normas técnicas abaixo:

NBR 6118:2014 - Projeto e execução de obras de concreto armado - Procedimento

NBR 14931:2004 - Execução de estruturas de concreto – Procedimento

NBR 9062:2017 - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado

NBR 12655:2015 - Concreto - Preparo, controle e recebimento – Procedimento

NBR 14859-1:2002 - Laje Pré-Fabricada -Requisitos Parte 1: Lajes Unidirecionais.

NBR 7480:2007 - Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado
- Especificação

NBR 14862:2002 - Armaduras treliçadas eletrossoldadas - Requisitos

Diferentemente dos elementos pré-fabricados, os pré-moldados não exigem um controle rígido de qualidade, entretanto, como visto anteriormente, a confiabilidade dos elementos estruturais está diretamente relacionada a um processo de produção controlado, seguindo as normas técnicas. Para isso, a escolha e armazenagem da matéria prima é primordial.

A composição do concreto e a escolha dos materiais componentes devem satisfazer as exigências estabelecidas na NBR 12655:2015, para concreto fresco e endurecido, observando: consistência, massa específica, resistência, durabilidade, proteção das barras de aço quanto à corrosão e o sistema construtivo escolhido para a obra. O concreto deve ser dosado a fim de minimizar sua segregação no estado fresco, levando-se em consideração as operações de mistura, transporte, lançamento e adensamento (NBR 14859-1:2002). A resistência característica à compressão será a especificada pelo projeto estrutural, sendo exigida pela NBR 6118:2014 no mínimo 20MPa. A relação água cimento limite (a/c), bem como o cobrimento mínimo ($c_{\min}$) estão relacionados a classe de agressividade ambiental a que esse elemento está exposto, dado de acordo com tabela 2.

Tabela 2 – Classes de agressividade ambiental

	Agressividade	Ambientes para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾ Industrial ^{1), 2)}	Grande
IV	muito forte	Industrial ^{1), 3)} Respingos e maré	Elevado

1) Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

2) Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente

3) Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118:2014

Classificada a agressividade, a partir das tabelas 3 e 4 determina-se a relação água cimento máxima e o cobrimento mínimo, respectivamente.

Tabela 3 - Correspondência entre classe de agressividade e relação água/cimento

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$

NOTAS

1) O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na NBR 12655.

2) CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

3) CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 6118:2014

Tabela 4 - Correspondência entre a classe de agressividade e cobrimento nominal para $\Delta_c = 5,0$ mm

Tipo de Estrutura	Componente ou elemento	classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto Armado	Laje	15	20	30	40
	Viga/Pilar	20	25	35	45
Concreto Protendido	Todos	25	30	40	50

Fonte: adaptada da NBR 6118:2014

Portanto, de acordo com a NBR 6118:2014, o cobrimento para uma laje pré-moldada localizada em um ambiente urbano classe de agressividade II (agressividade moderada com pequeno risco de deterioração da estrutura), considerando uma tolerância de execução de $\Delta_c = 5,0$ mm pois trata-se de um elemento pré-moldado, seria de 20 mm, valor que deixa praticamente todas as vigotas pré-moldadas existentes no mercado fora das especificações da norma (FLÓRIO, 2004). Essa adaptação para adequação a norma é difícil, visto que a sapata da vigota treliçada tem normalmente 3,0 cm e deve receber a armadura, ou seja, as dimensões da vigota teriam que aumentar e com isso os fabricantes de materiais de enchimento também teriam que modificar as dimensões verticais das abas de apoio, garantindo assim o perfeito encaixe entre os componentes das lajes nervuradas pré-fabricadas.

deve ser homogeneizado energicamente, de forma a impedir a decantação dos sólidos contidos no aditivo (NBR 12655:2015).

O aço para fins de utilização em lajes pré-moldadas deve atender ao disposto na tabela 5.

Tabela 5 – Aço para utilização em lajes pré-fabricadas

Produto	Norma	Diâmetro nominal mínimo mm	Diâmetro nominal máximo mm
Barras/fios de aço CA 50/CA 60	NBR 7480	6,3 (CA 50)	20,0(CA 50)
		4,2 (CA 60)	10,0(CA 60)
Armadura treliçada eletrossoldada	NBR 14862	Diagonal (sinusóide): 3,4	Diagonal (sinusóide): 7,0
		Banzo superior: 6,0	Banzo superior: 12,5
		Banzo inferior: 4,2	Banzo inferior: 12,5

Fonte: adaptada da NBR 14859-1:2002

A armadura deve ser colocada no interior das fôrmas, de modo que, durante o lançamento do concreto, mantenha-se na posição indicada no projeto, permanecendo inalteradas as distâncias das barras entre si e as faces internas das fôrmas. É permitido para isso o uso de arame ou espaçadores de concreto ou de material plástico de alta densidade, principalmente para garantir o cobrimento do aço e evitar patologias no futuro. Nas vigotas de concreto armado a colocação dos espaçadores distanciados em no máximo 50,0 cm é exigida. O posicionamento da armadura deve ser garantido para que se possa utilizar o valor de tolerância dimensional das vigotas acabadas de 5 mm.

De acordo com a NBR 9062:2017, durante ou imediatamente após o lançamento o concreto deve ser adensado, uma das formas é por vibração. O adensamento deve ser cuidadoso, para que o concreto preencha toda a fôrma e devem ser tomadas as precauções necessárias para que não se formem ninhos ou haja segregação dos materiais; deve-se evitar, quando da utilização de vibradores de imersão, o contato do vibrador com a armadura, para que não se formem, com a vibração desta, vazios a seu redor, com prejuízo da aderência. Quando forem utilizados vibradores de fôrma externos, estes devem ser dispostos em quantidades e distâncias tais entre si que garantam o adensamento uniforme do concreto mesmo nos pontos mais afastados dos vibradores.

As fôrmas podem ser constituídas de aço, alumínio, concreto ou madeira, revestidas ou não de chapas metálicas, fibra, plástico ou outros materiais que atendam

às características exigidas. As fôrmas devem ser cuidadosamente limpas antes de cada utilização e caso tratadas com produtos antiaderentes de facilitem a desmoldagem, esses devem ser aplicados antes da colocação das armaduras e não podem exercer qualquer ação química prejudicial ao concreto (NBR 9062: 2017).

Enquanto não for atingido o endurecimento satisfatório, o concreto deve ser protegido contra agentes prejudiciais como mudanças bruscas de temperatura, secagem, chuva forte, agentes químicos, bem como choque e vibrações de intensidade tal que possam produzir fissuração na massa do concreto ou prejudicar a sua aderência à armadura. A proteção contra a secagem prematura deve ser feita mantendo-se umedecida a superfície. Segundo Távora (2017), é habitual fazer a desforma das vigotas pré-moldadas com intervalo de pelo menos 16h, para um concreto de 20 MPa, que é o mínimo recomendado. Até o transporte para a obra ou até a montagem, deve-se esperar três dias. Pode-se usar cimento de alta resistência inicial para diminuição desses prazos.

O armazenamento deve se dar com vigotas empilhadas, apoiadas em sarrafos espaçados de no máximo 2,5m. E o transporte para a obra deve ser com veículo que suporte a carga e impeça tombamento e deslizamentos longitudinais e transversais das camadas dispostas.

A montagem dos elementos pré-moldados deve obedecer ao disposto no projeto de execução da laje e no manual de colocação e montagem da laje quanto ao arranjo físico e às especificações das vigotas e dos elementos de enchimento.

Logo após a instalação de todas as vigotas, são colocadas as linhas de escoras. É importante que essas tarefas sejam feitas juntas, para evitar que qualquer sobrecarga atue nas vigotas sem que estejam devidamente escoradas. Isso porque esses elementos não foram feitos para resistirem sozinhos à flexão, sem que o concreto esteja na zona de compressão, na parte superior da laje. Sem o correto escoramento, os elementos estão sujeitos a flechas acima do permitido e até a ruína. O espaçamento entre linhas de escoramento deve ser determinado no projeto de execução da laje, considerando o tipo de vigota e as cargas na fase de montagem e concretagem, é nessa fase também que se aplicam as contraflechas, caso necessário (FLÓRIO, 2004).

3 METODOLOGIA

A produção deste trabalho consiste em duas etapas, sendo elas:

- 1) Revisão da bibliografia acerca da fabricação de elementos pré-moldados, em especial as vigotas para utilização em lajes, afim de compreender o funcionamento e requisitos para sua produção.
- 2) Após este levantamento foi realizado um estudo de caso em duas fábricas de vigotas pré-moldadas no município de Catalão – GO, confrontando as exigências e recomendações da norma com a realidade encontrada em campo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

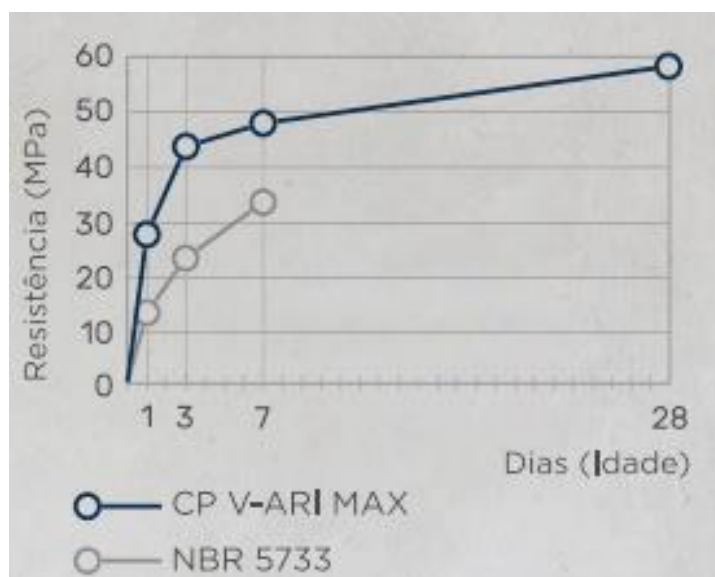
4.1 Empresa A

A visita à fábrica de vigotas pré-moldadas foi realizada em um dia cuja noite anterior havia chovido, então foi possível verificar a atuação da empresa em uma situação desfavorável, principalmente a respeito do controle da matéria-prima.

Além das vigotas pré-moldadas tipo trilho e treliça a empresa produz blocos de concreto, paver (piso intertravado) e poste para alambrado. Seis funcionários trabalham na produção dos elementos, normalmente confeccionando dois tipos de pré-moldado simultaneamente em regiões distintas da fábrica.

O cimento utilizado na produção das vigotas é o CP V-ARI da Nacional Cimentos, em sacos de 40kg, que dão ao concreto alta resistência inicial (20 Mpa em menos de 24 horas como apresentado no gráfico 1 de desempenho da fabricante) e agilizam a desforma. O cimento é armazenado sobre paletes e envolto em plástico filme PVC, exatamente como chegam do distribuidor e sobre as pilhas é colocada uma lona plástica. Os paletes são alocados em área coberta conforme a foto 1.

Gráfico 1 – Desempenho do cimento CP V-ARI Nacional Cimentos



Fonte: Ficha técnica CP V-ARI MAX Nacional cimentos

Foto 1 – Armazenamento do cimento – Empresa A



Fonte: autor, 2022.

Os agregados utilizados são a areia grossa e a brita 0, também denominada de pedrisco (granulometria de 4,8mm a 9,5mm). São fornecidos por uma distribuidora da cidade e não há qualquer controle de granulometria na fábrica. Os agregados são descarregados diretamente no solo, próximos a betoneira e não existe condições

favoráveis para o escoamento da água, sendo possível até observar poças próximas aos agregados (foto 2 e 3).

Foto 2 – Armazenamento da areia grossa – Empresa A



Fonte: autor, 2022.

Foto 3 – Armazenamento da brita 0 – Empresa A



Fonte: autor, 2022.

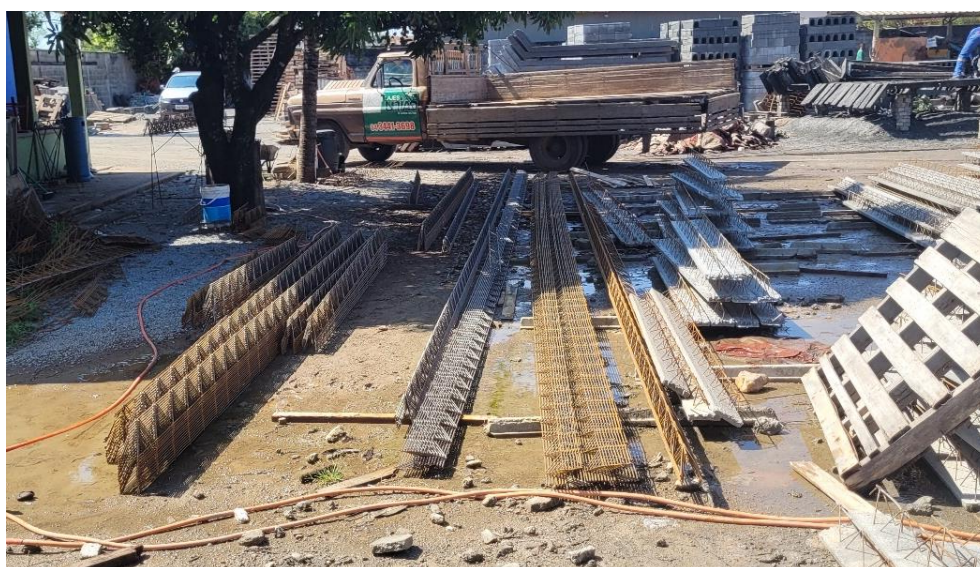
A ferragem utilizada é de acordo com o projeto estrutural do engenheiro da obra. As treliças chegam à fábrica identificadas por etiquetas do próprio fabricante (foto 4) e são armazenadas ora sobre calço, ora diretamente no solo, também não há cobertura, ficando expostas a chuva (foto 5).

Foto 4 – Identificação da treliça – Empresa A



Fonte: autor, 2022.

Foto 5 – Armazenamento das treliças – Empresa A



Fonte: autor, 2022.

A armadura adicional nas vigotas treliçadas e a armadura das vigotas tipo trilho chegam à fábrica em bobinas, colocadas diretamente no solo e quando utilizadas são colocadas em um carretel para medição e corte nas dimensões de projeto (foto 6).

Foto 6 – Corte das armaduras adicionais – Empresa A



Fonte: autor, 2022.

Segundo o funcionário responsável pela produção das vigotas, a dosagem do traço de concreto (tabela 6) é empírica e foi definida pela empresa de acordo com as experiências de obra e tentativa e erro. Dosagem empírica é aquela que não possui o conhecimento de um traço elaborado de acordo com uma metodologia técnica e não considera a implicação da variabilidade das fontes de materiais para o concreto nas suas propriedades. É desaconselhável a utilização de dosagem empírica para o preparo de concreto estrutural.

Tabela 6 – Traço utilizado pela fábrica – Empresa A

Tipo de vigota pré-moldada	Traço	Relação $\frac{\text{água}}{\text{cimento}}$
Vigota tipo trilho	1 saco de cimento 40kg	$0,67 \leq a/c \leq 0,79$
	4 latas* de areia grossa	
	4 latas de brita 0	
	1,5 a 1,75 latas de água	
Vigota treliçada	1 saco de cimento 40kg	$0,67 \leq a/c \leq 0,79$
	3 latas de areia grossa	
	3 latas de brita 0	
	1,5 a 1,75 latas de água	

* Lata de 18 litros.

Fonte: autor, 2022.

A quantidade de água de amassamento é incerta, visto que não há dados da umidade dos agregados. De acordo com o funcionário responsável, quando chove e os agregados estão com umidade elevada, parte da água de amassamento é reduzida até que o concreto atinja visualmente a trabalhabilidade desejada, sem ensaios específicos para isso.

Conforme a tabela 3, para a classe de agressividade moderada, considerando obra urbana, a relação água cimento deveria ser inferior a 0,60, valor extrapolado pela fábrica, resultando provavelmente em menor resistência estrutural e durabilidade dos elementos.

O amassamento do concreto é feito por betoneira e não é habitual o uso de aditivos, utilizado apenas o aditivo acelerador de pega quando é exigido um prazo menor de entrega, entretanto não apresentaram o recipiente e alegaram usar aproximadamente 50 ml em cada traço.

As fôrmas utilizadas são metálicas e recebem óleo queimado como desmoldante, produto desaconselhável para ser utilizado como tal, visto que sua composição não é conhecida e podem existir elementos prejudiciais ao concreto e até mesmo danar a aderência do concreto complementar a vigota.

As fôrmas das peças treliçadas são contínuas e têm largura fixa de 13 cm, são colocados limitadores para definir o comprimento da vigota, em conformidade com o projeto. Estes limitadores (foto 7) possuem cavas para que a armadura seja posicionada e haja cobertura, todavia, o executado é de aproximadamente 10mm, diferente do mínimo exigido pela tabela 4, de 20mm. Também não são usados espaçadores intermediários para que o cobertura seja adequado em longo de toda peça. O sistema de fôrmas para as vigotas tipo trilho seguem o mesmo processo, porém estas possuem comprimento máximo de 6 metros e largura fixa de 10cm (foto 8).

As vigotas treliçadas são adensadas manualmente por meio de martelo de borracha, enquanto as tipo trilho possuem uma mesa de vibração.

Foto 7 – Fôrmas de vigotas treliçadas – Empresa A



Fonte: autor, 2022.

Segundo o responsável, não existe um intervalo bem definido para a desforma, acompanham a cura do material e quando julgam endurecido suficiente retiram das fôrmas, o que geralmente acontece uma a duas vezes no dia, resultando de 10 a 24 horas. Após isso, são empilhadas uma sobre a outra, sem que exista espaçador entre os elementos (foto 9). Em média, após dois dias são transportadas para a obra, onde serão montadas e a laje concretada.

Foto 8 - Fôrmas de vigotas tipo trilho



Fonte: autor, 2022.

A empresa não molda corpos de prova (CP) e nem realizam qualquer ensaio de resistência, seja de compressão dos CPs ou flexão e cisalhamento dos elementos prontos.

Foto 9 – Armazenamento das vigotas prontas – Empresa A



Fonte: autor, 2022.

4.2 Empresa B

A visita a segunda fábrica aconteceu nas mesmas condições da primeira, em período chuvoso. A empresa é maior e produz mais elementos pré-moldados, como postes, manilhas e tubos de concreto, por isso suas instalações são maiores. De acordo com o responsável existe uma preferência pelas vigotas treliçadas em relação as tipo trilho, que tem sua produção muito inferior as primeiras. Ele afirma que o rendimento e consequentemente sua margem de lucro é superior nas treliçadas, conseguindo produzir até 320m² por dia com apenas dois funcionários e, ainda, destacou a superioridade técnica desse tipo vigota: vencer maiores vãos e maior aderência do concreto complementar a estrutura.

Existe na empresa um responsável por dimensionar e detalhar a montagem da laje. O cálculo é feito em software que fornece a altura da laje, a armadura adicional, a malha de distribuição, a especificação e volume de concreto complementar, a quantidade e distanciamento das linhas de escoramento e contraflechas, além do quantitativo dos materiais, pelo qual precificam as lajes. Segundo o responsável, por executarem esse

serviço e emitirem ART (Anotação de Responsabilidade Técnica), muitos engenheiros das obras não fornecem o projeto de laje completo, deixando a cargo da empresa e quando fornecem, também dimensionam para garantir maior segurança.

Os materiais utilizados na produção do concreto são os mesmos, cimento CP V-ARI da Nacional Cimentos (desempenho conforme gráfico 1), areia grossa e brita 0, não é utilizado nenhum tipo de aditivo. O cimento é armazenado em local fechado sobre paletes e envolto em filme PVC, como apresentado na foto 10. São empilhados em 20 unidades, mais do que as 15 indicadas na NBR 12655:2015.

Foto 10 – Armazenamento do cimento – Empresa B



Fonte: autor, 2022.

Os agregados são armazenados da mesma forma que na empresa A, diretamente no solo. Por estarem próximos e serem realocados com pá carregadeira, há mistura dos agregados (foto 11).

Já com as treliças há um cuidado maior, são guardadas em cavaletes, afastadas do solo e em área coberta (foto 12). O aço adicional (normalmente CA60), é fornecido em bobinas, colocadas em carretel e cortadas.

Foto 11 – Armazenamento dos agregados Empresa B



Fonte: autor, 2022.

Foto 12 – Armazenamento das treliças – Empresa B



Fonte: autor, 2022.

O traço usado pela empresa B é apresentado na tabela 7. Observa-se que tanto para as vigotas tipo trilho como as treliçadas o traço tem maior composição de agregados quando comparado ao da empresa A. A quantidade de água também é superior ($a/c = 0,9$), inclusive à normatizada na NBR 6118:2014, de 0,60, conforme a tabela 3. Essa

adição de água é justificada pela diminuição da trabalhabilidade do concreto fresco em virtude da presença de mais elementos secos. A umidade dos agregados não é aferida, porém reduzem a água de amassamento quando essa é elevada.

O amassamento é feito em betoneira e o responsável afirma que moldam CP's quando é solicitado pelo engenheiro da obra, mas não é uma prática habitual da empresa.

Tabela 7– Traço utilizado pela fábrica – Empresa B

Tipo de vigota pré-moldada	Traço	Relação $\frac{\text{água}}{\text{cimento}}$
Vigota tipo trilho	1 saco de cimento 40kg 6 latas* de areia grossa 4,5 latas de brita 0 2 latas de água	$a/c = 0,9$
Vigota treliçada	1 saco de cimento 40kg 5 latas de areia grossa 4 latas de brita 0 2 latas de água	$a/c = 0,9$

* Lata de 18 litros.

Fonte: autor, 2022.

As fôrmas utilizadas (foto 13), o lançamento manual do concreto e o adensamento manual por meio de martelo de borracha (foto 14) é igual ao da empresa A. Utilizam como desmoldante a mistura de óleo queimado e óleo diesel.

Foto 13 – Cura das vigotas treliçadas nas fôrmas – Empresa B



Fonte: autor, 2022.

Foto 14 – Adensamento do concreto nas fôrmas – Empresa B



Fonte: autor, 2022.

O cobrimento é definido pelas cavas nos limitadores de comprimento, e é de 10mm, diferente dos 20mm exigido na NBR 6118:2014, dado na tabela 4. A armadura é colocada nas fôrmas após o lançamento do concreto e não são utilizados espaçadores intermediários que garantam o cobrimento ao longo de toda a vigota, pelo contrário, são posicionados pesos sobre as treliças para que não movimentem durante a cura, ação que pode flexionar a armadura e diminuir o cobrimento no centro da peça. Na foto 15, observa-se a seção transversal da vigota treliçada e o posicionamento da armadura na sapata de concreto.

No caso das vigotas tipo trilho, é lançada uma camada de concreto, posicionada a armadura que resistirá a compressão e lançado o concreto restante, para em seguida adicionar a armadura positiva, a vigota é adensada numa mesa vibratória. Nesse processo, o cobrimento pode não ocorrer, como apresentado na foto 16.

As peças são desenformadas após 24 horas e armazenadas em pilhas, afastadas do solo e as camadas separadas por sarrafos (foto 17), por onde ficam no mínimo sete dias, até serem transportadas para a obra. Durante esse período as vigotas são molhadas diariamente.

Foto 15 – Seção transversal da vigota treliçada



Fonte: autor, 2022.

Foto 16 – Vigota com armadura exposta – Empresa B



Fonte: autor, 2022.

Foto 17 – Armazenamento das vigotas – Empresa B



Fonte: autor, 2022.

5 CONCLUSÃO

Acompanhando a produção das vigotas de lajes pré-moldadas unidirecionais verificou-se que não existe controle de qualidade definido, como a realização de ensaios que meçam a trabalhabilidade do concreto fresco, sua resistência no estado endurecido ou o deslocamento vertical da laje. Ao definir os elementos pré-moldados como aqueles executados fora do local definitivo do elemento e sem rígido controle de qualidade, o que os diferencia dos pré-fabricados, a NBR 9062:2017 dá margem para a falta de profissionalização dessa atividade.

Apesar de criarem seus processos pautados nas normas técnicas, as duas empresas visitadas apresentaram como principais erros o não cumprimento do cobrimento mínimo ($c_{\min}$: 20mm; executado: 10mm) e elevada relação água cimento (exigido: $a/c \leq 0,60$; executado: $0,67 \leq a/c \leq 0,90$). Como não existem dados de ensaios técnicos das vigotas não é possível determinar qual dos traços utilizados é superior. Em relação ao armazenamento dos materiais e dos elementos prontos, bem como organização das instalações e processos, a empresa B foi superior.

Investimento em estrutura, correção e adaptação dos processos e a introdução de ensaios que aumentem o controle de qualidade e segurança das vigotas não

garantem retorno financeiro devido à alta concorrência. Uma solução seria a parceria das empresas com as faculdades de engenharia civil da cidade, beneficiando todas as instituições envolvidas e profissionalizando o mercado.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655 - Concreto - Preparo, controle e recebimento – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859-1: Laje Pré-Fabricada-Requisitos Parte 1: Lajes Unidirecionais**. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14862 - Armaduras treliçadas eletrossoldadas - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2002.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2014: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211 - Agregados para concreto — Especificação**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480 - Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado – Especificação**. Rio de Janeiro, 2007.

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

DROPPA JR, A. **Análise estrutural de lajes formadas por elementos pré-moldados tipo vigota com armação treliçada**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: Fundamentos e aplicações**. Livro Técnico. EESC-USP São Carlos, SP. 2000.

FAZ FÁCIL: “Laje pré-fabricada. Como se faz a montagem desta laje?”, 2012. Disponível em: <<https://www.fazfacil.com.br/reforma-construcao/montagem-laje-pre-fabricada/>>. Acesso em: 22 de set. 2022.

FICHA TÉCNICA CP V-ARI MAX. Nacional cimentos, 2018.

FLÓRIO, M. C. **Projeto e Execução de Lajes Unidirecionais com Vigotas em Concreto Armado**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos–SP, 2004.

HERNÁNDEZ, D. F. O. **Desenvolvimentos na pré-fabricação do concreto. Lições do passado e avanços para o futuro**. Industrializar em concreto. São Paulo, v. 1, n. 2, p. 29-43, 2016.

MANUAL TÉCNICO DE LAJES TRELIÇADAS. ArcelorMittal, 2010.

PEIXOTO, E. M. **Os efeitos da vibração mecânica e cura controlada do concreto no comportamento à flexão de lajes com vigotas pré-moldadas**. Relatório final de iniciação científica – 01/06803-0, Fapesp. São Carlos, SP. 2002.

SANTINE, C. R. **Projeto e construção de lajes pré-moldadas de concreto armado**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Carlos, 2005.

SANTOS, I. “Aos 20 anos, Abcic move a construção industrializada no Brasil”. Cimento Itambé, 2021. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/aos-20-anos-abcic-move-a-construcao-industrializada-no-brasil/>>. Acesso em: 20 de set. 2022.

SILVA, M.R.; VALIN JR, M.O. **Fabricação de vigotas pré-moldadas em Cuiabá/MT**. In: 56º Congresso Brasileiro do Concreto, 2014, Natal –RN. Anais do 56º Congresso Brasileiro do Concreto, 2014. P.1-12

TÁVORA, V. J. **Desempenho estrutural de um novo sistema para construção de Lajes**. 2017. 73 f. Monografia (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2017.

TRELIFÁCIL®. ArcelorMittal, 2017.

VASCONCELLOS, A. C. **O Concreto no Brasil: pré-fabricação, monumentos, fundações**. Volume III. Studio Nobel. São Paulo, 2002.