



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO COMPARATIVO DOS PROCESSOS DE EXECUÇÃO ENTRE  
LAJES ALVEOLARES PROTENDIDAS E PAINÉIS TRELIÇADOS**

Carlos Arnholdt

Lajeado, novembro de 2014

Carlos Arnholdt

**ESTUDO COMPARATIVO DOS PROCESSOS DE EXECUÇÃO ENTRE  
LAJES ALVEOLARES PROTENDIDAS E PAINÉIS TRELIÇADOS**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão II, do Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Univates, como parte de exigência para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Ms. Marcio Goerck

Lajeado, novembro de 2014

Carlos Arnholdt

## **ESTUDO COMPARATIVO DOS PROCESSOS DE EXECUÇÃO ENTRE LAJES ALVEOLARES PROTENDIDAS E PAINÉIS TRELIÇADOS**

Este trabalho foi julgado adequado e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: \_\_\_\_\_

Prof. Marcio Goerck, UNIVATES.

Mestre em Engenharia Civil pela Univates, Lajeado, Brasil.

### **Banca Examinadora:**

\_\_\_\_\_  
Prof. João Batista Gravina, UNIVATES

Mestre em Administração pela UFRGS - Porto Alegre, Brasil.

\_\_\_\_\_  
Prof. Paulo Fernando Salvador, UNIVATES.

Doutor em Engenharia Civil pela UFRGS, Porto Alegre, Brasil.

Coordenador do Curso de Engenharia Civil: \_\_\_\_\_

Prof. MSc. Emanuele Amanda Gauer

Lajeado, 16 de novembro de 2014.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais, Enio e Natalia, ao meu irmão Wagner, em especial a minha companheira Bruna, que me deram apoio em todos os momentos e são a base do meu ser.

## **AGRADECIMENTOS**

A realização desta pesquisa só foi possível graças à colaboração de algumas pessoas, as quais expresso profundo agradecimento:

Às equipes das empresas, Pré – Concretos, Rotesma, Vale Correa pré – Moldados e Vigas Engenharia, que permitiram a realização desta pesquisa.

Ao meu orientador, Professor Ms. Marcio Goerck, que não mediu esforços para realização da pesquisa, proporcionou todas as condições para que o estudo fosse realizado e compartilhou todo seu conhecimento da área.

Aos meus pais, noiva, familiares e amigos que sempre me incentivaram e apoiaram na busca pelos meus objetivos.

A todos que contribuíram de alguma forma, muito obrigado.

## RESUMO

Os processos construtivos utilizados atualmente na construção civil apontam para a necessidade de evolução. A pré - moldagem vem se destacando por proporcionar melhoras tanto no aspecto racional quanto organizacional das obras. O presente estudo buscou indicar que as lajes pré - moldadas, em especial as alveolares protendidas e painéis treliçados, surgem como alternativas para a otimização geral das obras. A presente análise aborda o processo de fabricação e principalmente os métodos de execução de cada um destes sistemas estruturais, com a finalidade de analisar vantagens e desvantagens entre a utilização destes métodos estruturais. Para a elaboração desta análise, foram realizadas visitas técnicas em obras pré-fabricadas que utilizaram estes métodos de construção possibilitando a verificação de aspectos significativos na escolha do método a ser utilizado em cada obra. Além disso, o presente estudo contempla uma pesquisa em relação aos custos da execução e utilização destas lajes em obras de construção civil. Os dados e conclusões desta análise possibilitam aos engenheiros civis uma melhor análise da escolha de qual tipo de estrutura utilizar, lajes alveolares protendidas ou painéis treliçados, considerando as características específicas de cada obra.

**Palavras-chave:** Lajes alveolares protendidas. Painéis treliçados. Análise. Métodos de execução.

## **ABSTRACT**

Construction processes currently used in construction point to the need for evolution. The pre - molding has been outstanding for providing improvements in both rational and organizational aspect of the engineering works. This study sought indicate that the slabs pre - molded, particularly prestressed and lattice panels, emerge as alternatives to the overall optimization of the construction works. This analysis addresses the manufacturing process and especially the methods of execution of each of these structural systems, in order to analyze advantages and disadvantages of the use of these structural methods. To produce this analysis, technical visits were made in pre-fabricated construction works that used these construction methods enabling the verification of significant aspects in choosing the method to be used in each engineering work. In addition, this study includes a survey regarding the costs of execution and utilization these slabs in construction works. The data and conclusions of this analysis enable civil engineers to better analyze the choice of which type of structure adopt, prestressed hollow core slabs or lattice panels, considering the specific characteristics of each construction work.

**Keywords:** alveolar prestressed slabs. Lattice panels. Analysis. Methods of execution.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Elementos pré-moldados em processo de cura na fábrica. ....	20
Figura 2 – Processo de montagem das armaduras .....	25
Figura 3 – Saída de águas pluviais (parte inferior de uma coluna) .....	26
Figura 4 – Vibração utilizando o vibrador de concreto .....	29
Figura 5 – Mesa vibratória.....	30
Figura 6 – Ponte rolante .....	31
Figura 7 – Veículos para transporte.....	32
Figura 8 – Laje alveolar .....	42
Figura 9 – Pista de protensão.....	44
Figura 10 – Concreto abastecendo a extrusora.....	45
Figura 11 – Extrusora moldando a laje alveolar.....	46
Figura 12 – Máquina extrusora.....	46
Figura 13 – Processo de protensão com utilização de macaco hidráulico.....	47
Figura 14 – Usina de concreto e caçambas de transporte interno .....	48
Figura 15 – Içamento de laje alveolar da pista para o estoque .....	48
Figura 16 – Chanfro entre lajes .....	49
Figura 17 – Ligação em formato sinusóide .....	51
Figura 18 – Treliça utilizada para laje treliçada imagem treliça .....	52
Figura 19 – Detalhe da base de concreto .....	52
Figura 20 – Treliças encontradas no mercado .....	53
Figura 21 – Corte transversal da pré-laje treliçada.....	53
Figura 22 – Corte transversal da pré-laje treliçada.....	54
Figura 23 – Corte transversal pré-laje treliçada com elemento de enchimento.....	54
Figura 24 – Corte transversal de laje treliçada .....	54
Figura 25 – Vista de painel treliçado.....	55
Figura 26 – Corte transversal do painel treliçado.....	55
Figura 27 – Montagem armadura painéis treliçados.....	56
Figura 28 – Painel treliçado concretado .....	57
Figura 29 – Transporte horizontal na fábrica com ponte rolante. ....	57
Figura 30 – Painel treliçado.....	58
Figura 31 – Fôrmas e painéis.....	58
Figura 32 – Corte demonstrando o sistema de enchimento.....	60
Figura 33 – Montagem de vigotas treliçadas.....	62
Figura 34 – Projeto de lajes pavimento térreo. ....	66
Figura 35 – Detalhe projeto executivo dos painéis.....	67

Figura 36 – Guindaste .....	67
Figura 37 – Transporte e recebimento das peças.....	68
Figura 38 – Fixação do painel para içamento.....	69
Figura 39 – Painel sendo içado.....	69
Figura 40 – Colocação do painel no segundo pavimento.....	70
Figura 41 – Posicionamento da peça .....	70
Figura 42 – Posicionamento do painel sobre as vigas .....	71
Figura 43 – Ausência de escoramento .....	71
Figura 44 – Torniquetes.....	72
Figura 45 – Chaveteamento .....	73
Figura 46 – Procedimento de execução da montagem .....	75
Figura 47 – Içamento dos painéis treliçados .....	76
Figura 48 – Disposição do painel sobre as vigas.....	76
Figura 49 – Escoramento de laje treliçada.....	77
Figura 50 – Fixação das mestras.....	77
Figura 51 – Disposição do EPS .....	78
Figura 52 – Projeto armadura negativa.....	78
Figura 53 – Armadura negativa .....	79
Figura 54 – Concretagem da laje .....	79

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Valores mínimos das cargas verticais.....	37
Quadro 2 – Comparativo dos processos de executivos .....	80

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 – Comparativo de custos para carga de 400KN/m <sup>2</sup> .....	84
Gráfico 2 – Comparativo de custos para carga de 600KN/m <sup>2</sup> .....	85

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Situação 1: Carga de serviço 400Kg/m <sup>2</sup> - Laje alveolar.....	83
Tabela 2 – Situação 2: Carga de serviço 600Kg/m <sup>2</sup> - Laje alveolar.....	83
Tabela 3 – Situação 1: Carga de serviço 400Kg/m <sup>2</sup> - Pannel treliçado.....	83
Tabela 4 – Situação 2: Carga de serviço 600Kg/m <sup>2</sup> - Pannel treliçado.....	83
Tabela 5 – Situação 1: Carga de serviço 400Kg/m <sup>2</sup> - Comparativo.....	84
Tabela 6 – Situação 2: Carga de serviço 600Kg/m <sup>2</sup> - Comparativo.....	85

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABCIC –	Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto
ABESC –	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem
ABNT –	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAPEX –	Associação Brasileira do Poliestireno Expandido
ARI –	Alta Resistência Inicial
CAA –	Concreto Auto Adensável
CAD –	Concreto Alto Desempenho
CCV –	Concreto Convencional
EPS –	Poliestireno Expandido
FCK –	Resistência característica do concreto a compressão
KGF –	Quilograma Força
KN –	Quilonewton
LA –	Laje
MPA –	Megapascal
NBR –	Norma Brasileira Regulamentadora
PACP –	Painel Alveolar de Concreto Protendido
PLT–	Pré-laje Treliçada
TON –	Tonelada

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1 Objetivo do trabalho .....</b>	<b>17</b>
<b>1.1.1 Objetivo do principal .....</b>	<b>17</b>
<b>1.1.2 Objetivos secundários .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2 Hipótese .....</b>	<b>17</b>
<b>1.3 Delimitação.....</b>	<b>18</b>
<b>1.4 Organização do trabalho .....</b>	<b>18</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 Pré-moldados: princípios gerais.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.1 Produção de elementos pré-moldados.....</b>	<b>22</b>
<b>2.1.2 Fabricação de elementos de concreto pré-fabricado .....</b>	<b>22</b>
<b>2.1.3 Fôrmas.....</b>	<b>23</b>
<b>2.1.4 Montagem da armadura.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1.5 Instalações prediais .....</b>	<b>25</b>
<b>2.1.6 Concreto .....</b>	<b>26</b>
<b>2.1.7 Adensamento .....</b>	<b>28</b>
<b>2.1.8 Vibração de elementos pré-moldados .....</b>	<b>29</b>
<b>2.1.8.1 Internas.....</b>	<b>29</b>
<b>2.1.8.2 Externas.....</b>	<b>29</b>
<b>2.1.9 Cura.....</b>	<b>30</b>
<b>2.1.10 Desmoldagem .....</b>	<b>30</b>
<b>2.1.11 Transporte de elementos pré-moldados ou pré-fabricados .....</b>	<b>32</b>
<b>2.2 Elementos estruturais horizontais pré-moldados: lajes.....</b>	<b>33</b>
<b>2.2.1 Vantagens e desvantagens da utilização de elementos pré-moldados em lajes .....</b>	<b>34</b>
<b>2.2.2 Vantagens.....</b>	<b>34</b>
<b>2.2.3 Desvantagens .....</b>	<b>36</b>
<b>2.2.4 Cargas .....</b>	<b>37</b>
<b>2.2.5 Requisitos de desempenho para lajes .....</b>	<b>39</b>
<b>2.2.5.1 Conforto térmico e acústico .....</b>	<b>40</b>
<b>2.3 Lajes alveolares.....</b>	<b>41</b>
<b>2.3.1 Definições e utilização de lajes alveolares .....</b>	<b>41</b>
<b>2.3.2 Considerações sobre cobrimento e espaçamento das cordoalhas .....</b>	<b>43</b>
<b>2.3.3 Produção de lajes alveolares .....</b>	<b>44</b>
<b>2.3.4 Aspectos sobre a utilização lajes alveolares .....</b>	<b>49</b>

2.3.5 Escoramento.....	50
2.4 Lajes treliçadas.....	50
2.4.1 Tópicos para dimensionamento de lajes treliçadas.....	51
2.4.2 Tipos de lajes que utilizam treliças.....	53
2.4.3 Fabricação de painel treliçado .....	56
2.4.4 Aspectos sobre a montagem de estrutura contendo laje treliçada .....	58
2.4.4.1 Sistemas de enchimento.....	60
2.4.5 Escoramento .....	61
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>63</b>
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>65</b>
4.1 Processo para execução de lajes alveolares protendidas pré-fabricadas. ....	65
4.1.1 Identificação da obra.....	65
4.1.2 Condições iniciais sobre a obra .....	65
4.1.3 Locação do guindaste.....	67
4.1.4 Chegada dos painéis até a obra.....	68
4.1.5 Içamento das peças.....	68
4.1.6 Montagem dos painéis .....	70
4.1.7 Processo de equalização dos painéis.....	72
4.1.8 Chaveteamento .....	72
4.1.9 Capa de concreto .....	73
4.2 Processo para execução de laje composta por painéis treliçados.....	73
4.2.1 Identificação da obra.....	74
4.2.2 Condições iniciais da obra .....	74
4.2.3 Chegada de materiais para execução da laje .....	74
4.2.4 Locação de guindaste .....	74
4.2.5 Montagem da laje .....	75
4.2.6 Preparação para concretagem da laje .....	77
4.2.7 Concretagem da laje.....	79
4.2.8 Cura do concreto .....	80
4.3 Comparativo dos processos de executivos.....	80
4.4 Pesquisa de preço das lajes: Comparativo. ....	81
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>80</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>89</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil atualmente é considerada a menos desenvolvida dentre as outras atividades fabris. De modo geral esta afirmação é justificada por El Debs (2000) pelo fato da construção civil apresentar grande desperdício de materiais, prazos indeterminados para entrega das obras, baixa produtividade e pouco controle de qualidade.

Por outro lado, com advento tecnológico dos últimos anos, a construção civil passou por várias etapas de transformação, sendo que cada uma destas ficou marcada por alguma nova tecnologia, método ou tendência arquitetônica.

De acordo com Serra et al. (2005) e Brumatti (2008), com o desenvolvimento de soluções industriais na área da construção civil, iniciou-se a tendência de industrialização nas obras, tendência esta denominada de indústria de pré-fabricados. Os pré-fabricados são estruturas submetidas à secagem tornando-se mais resistentes antes de serem empregadas em obras.

A industrialização e a organização devem estar juntas para o efetivo desempenho do processo da construção civil. Desta forma, segundo Brumatti (2008), os processos produtivos, inovações tecnológicas e remodelagem nas técnicas de execução que melhoram o desempenho produtivo das obras.

No presente estudo serão abordadas informações sobre a pré-fabricação de lajes no sentido de reforçar a ideia de que a produção das mesmas é destaque no ramo da construção civil. Algumas lajes pré - moldadas são capazes de vencer vãos maiores do que as convencionais trazendo diversos benefícios, como a agilidade para montagem e uniformidade de material empregado na obra. Esta modalidade de obra civil, de acordo com Serra et al.

(2005), está ligada não somente aos processos de fabricação, mas também a evolução do transporte, montagem e controle de novos materiais impregnados nas construções.

A pré-fabricação pode ocorrer por meio de vários sistemas. Tudo depende do país da produção, ou seja, deve ser planejada de acordo com a demanda e disponibilidade de recursos que a região oferece (como equipamentos para produção, transporte e instalação). Ordóñez (2010) e Serra et al. (2005) dizem que a implantação da construção racionalizada deve ser entendida como consequência da aplicação de tecnologia ao processo de fabricação e que a pré-fabricação de componentes como pilares, vigas e lajes agregaram muito para construção civil do Brasil e do mundo, principalmente no que diz respeito à qualidade.

Quanto ao grau de industrialização, segundo pesquisas de Melhado e Souza (2002), podemos salientar a possibilidade de execução por três tipos de processos: os tradicionais, os racionalizados e os industrializados (sendo este último responsável pela produção dos componentes como vigas, pilares e lajes em instalações fixas e a partir de técnicas industriais).

Caracterizada pela repetição de processos produtivos, a pré-moldagem de acordo com Brumatti (2008), deve atender a coerência e precisão no que diz respeito a sua produção, ainda que aperfeiçoe questões como mão de obra e produtividade, ligadas diretamente à redução de desperdícios.

As perdas que ocorrem nas construções podem ser diminuídas de forma considerável na fase de projeto. De acordo com Melhado e Souza (2002), o gerenciamento da obra como um todo, contemplando detalhadamente a compatibilidade, racionalização e execução possibilitam a redução de perdas. O mesmo autor justifica que a adoção de projetos em fase produtiva, objetiva a confirmação de que todas as ações utilizadas sejam suficientemente abrangentes para o bom gerenciamento dos processos.

A fabricação de elementos construtivos por métodos industrializados aumenta a durabilidade das obras, garante a necessidade racionalizada dos materiais e possibilita variações arquitetônicas. Cassol (2014), diz que toda metodologia está engajada aos processos normativos apresentando propriedades mecânicas interessantes como, por exemplo, resistência ao fogo.

Lajes treliçadas e alveolares, caracterizam-se por serem lajes pré-moldadas capazes de vencer vãos e cargas acidentais significativas, favorecendo tanto questões estéticas quanto funcionais. Dependendo da necessidade do cliente, este benefício tem um custo que deve ser avaliado de acordo com a complexidade da obra, considerando desde a sua produção, transporte e montagem.

## **1.1 Objetivo do trabalho**

Os objetivos do estudo estão divididos em objetivos principal e secundários.

### **1.1.1 Objetivo do principal**

Descrever e avaliar os processos de execução da utilização de lajes alveolares protendidas e painéis treliçados por meio de estudo qualitativo de modo a destacar as vantagens e desvantagens da utilização de cada uma destas estruturas.

### **1.1.2 Objetivos secundários**

- a) Conhecer o processo de fabricação de cada laje estudada por meio de revisão bibliográfica e visita aos fabricantes;
- b) Verificar tecnologias construtivas para o emprego destas lajes, bem como suas vantagens e desvantagens;
- c) Realização de uma pesquisa de mercado que abordará os custos por m<sup>2</sup> de cada laje, com finalidade de contemplar uma avaliação inicial para viabilidade de cada método.

## **1.2 Hipótese**

O emprego da estrutura pré-moldada propicia características diferenciadas em uma obra. Os controles de qualidade e novas tecnologias para construção civil possibilitam atualmente atingir estruturas cada vez mais esbeltas e de vãos horizontais, livres de fachada a fachada. Desta forma, a utilização das lajes alveolares protendidas e painéis treliçados

possibilitam muitas vantagens durante a execução e uma obra, porém, possuem processos de execução diferenciados, que devem ser estudados antes de definir qual utilizar para sua obra.

### **1.3 Delimitação**

O presente trabalho foi desenvolvido através de visitas às fábricas de pré – fabricados Pré – concretos de Porto Alegre/RS e Vigas Pré - Moldados de Cruzeiro do Sul/RS, também foram realizados estudos em obras da empresa Rotesma de Chapecó/SC, cuja obra está localizada na cidade de Encantado/RS e da empresa Vigas Pré- moldados de localização citada anteriormente, com a obra localizada na cidade de Estrela/RS.

### **1.4 Organização do trabalho**

O capítulo dois (2) da presente pesquisa será dedicado para uma revisão bibliográfica que aborda o processo executivo de lajes pré-moldadas na construção Civil, com ênfase nas lajes painéis treliçados e alveolares protendidas. O capítulo três (3) relatará a metodologia utilizada na parte experimental do trabalho. O capítulo quatro (4) apresenta os resultados da pesquisa. E por fim, o capítulo cinco (5), é composto pelas considerações finais obtidas no estudo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A organização deste capítulo tem base nas referências bibliográficas da engenharia civil, mais especificamente sobre a utilização de estruturas horizontais pré-moldadas enfatizando os benefícios das mesmas nas obras. A próxima seção apresentará aspectos gerais sobre a evolução e utilização de estruturas pré-moldadas no Brasil e no mundo.

### 2.1 Pré-moldados: princípios gerais

Os elementos pré-moldados se diferem das estruturas convencionais porque são produzidos separadamente do local da obra, normalmente são produzidos em fábricas especializadas o que proporciona um controle de qualidade superior aos processos convencionais. O controle de qualidade é realizado através de um rigoroso acompanhamento verificando o comprimento, acabamento e transporte das peças. De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2001), no caso da pré-fabricação é realizado um rígido controle de qualidade desde a fase de projeto, montagem da armadura, concretagem, cura e transporte. Essa fiscalização é desenvolvida por técnicos treinados e especializados para realização de tal atividade.

Segundo a Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto (ABCIC, 2003), o fato de passarmos a montagem de elementos de grande porte com alto consumo de matéria prima para uma fábrica, proporciona a possibilidade de processos industrializados e racionalizados. A mão de obra torna-se, neste caso, especializada, aumentando de forma considerável a sua eficiência na montagem do produto. O atual mercado competitivo da construção civil torna obrigatória a necessidade de uma revisão dos processos construtivos, a

inserção da automação em processos que antes eram manuais como, por exemplo, a montagem da armadura.

Conforme Acker (2007) existem algumas restrições quanto à utilização de elementos pré-moldados em edifícios ou obras mais esbeltas. O principal problema a ser vencido são as forças devidas ao vento, que atuam horizontalmente prejudicando a estabilidade da estrutura. Porém, países como Bélgica e Holanda, já possuem obras de até cento e quarenta e dois (142) metros de altura, oriundas de estruturas pré-moldadas. Estas obras são concebidas por meio de uma espinha dorsal moldada *in loco* justamente para garantir a estabilidade da edificação.

A pré-fabricação trabalha com equipamentos que garantem a eficácia e controle de materiais em sua produção. Esta vantagem, de acordo com a ABCIC (2003) proporciona o desenvolvimento do concreto auto adensável, que com a utilização de aditivos reduz a utilização da relação água cimento na mistura, baixando custos de produção e aumentando suas propriedades mecânicas.

A Figura 1 apresenta alguns pilares e vigas pré-fabricados em processo de cura em uma fábrica de pré-fabricados.

Figura 1 – Elementos pré-moldados em processo de cura na fábrica



Fonte: Do autor.

Visando a necessidade da indústria de pré-fabricados evoluir constantemente, os elementos produzidos devem atender as necessidades e propriedades mecânicas necessárias. Esta busca deve ocorrer em materiais que possibilitem superar estes desafios, e, por exemplo,

o Concreto de Alto Desempenho (CAD), que surge como aliado para o desenvolvimento de elementos mais eficientes.

De acordo com ABCIC (2003), o CAD, que alcança resistências superiores a 50 (cinquenta) MPA, é difundido na indústria da pré-fabricação. O CAD traz inúmeros benefícios para construção civil, sua alta resistência proporciona elementos mais esbeltos nas estruturas verticais e vãos maiores no que diz respeito a estruturas horizontais.

Nakamura (2006) classifica o CAD como um material nobre, indicado somente em estruturas especiais como shopping, indústrias e obras de arte. O principal benefício do CAD é tornar a estrutura mais leve, considerando que sua composição possui menor relação água/cimento possibilitando assim a construção de edificações mais esbeltas. O mesmo autor complementa que o concreto de alto desempenho tem como consequência redução de custos no escoramento já que a estrutura é mais leve.

O CAD proporciona maior eficiência ao processo de protensão<sup>1</sup> das peças, possibilitando a utilização de maior número de cabos e aumentando propriedades mecânicas dos elementos, como desempenho a flexão, fissuração e carga de serviço (ABCIC, 2003).

Nakamura (2006) complementa que o CAD, comparado ao concreto convencional, tem custo elevado em 30% a 40%, porém o valor elevado não o classifica como mais custoso comparado ao concreto convencional.

Da mesma forma que o CAD, o Concreto Auto Adensável (CAA) está difundindo-se rapidamente na indústria de pré-fabricados proporcionando uma reação muito positiva na indústria de pré-fabricados (ABCIC, 2003). Enquanto o CAD proporciona aumento das propriedades mecânicas, como resistência e durabilidade dos elementos, o CAA proporciona que o concreto quando despejado na forma dispense a vibração<sup>2</sup>, as tecnologias podem ser utilizadas juntamente proporcionando benefícios consideráveis.

Para Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem (ABESC, 2011), o concreto auto adensável apresenta características plásticas e é caracterizado pela sua

---

<sup>1</sup> Protensão: Alongamento prévio da armadura por meio de equipamentos de protensão com a finalidade de provocar a contra flecha e assim, aumentar as condições de serviço do elemento que for submetido (ABNT, 2004).

<sup>2</sup> Vibração: Processo mecânico de movimentação das partículas existentes nos componentes do concreto com a finalidade de eliminar o ar retido (MANUAL..., 2014).

alta fluidez e trabalhabilidade<sup>3</sup>. Estas características altamente inovadoras são oriundas de inúmeras pesquisas que criaram aditivos capazes de evitar a segregação de materiais, característica esta que é comum em concretos com alta fluidez convencionais. Estes aditivos utilizados na produção de CAA são denominados como super- plastificantes.

### **2.1.1 Produção de elementos pré-moldados**

Conforme Acker (2007), a pré-moldagem é caracterizada como uma obra onde seus elementos estruturais são produzidos em fábrica especializada, posteriormente ocorre o transporte e montagem da edificação no canteiro. Para o autor é dada como falsa a afirmação que a estrutura pré-moldada é mais cara do que a convencional.

A produção de uma estrutura de concreto pré-moldado abrange inúmeros processos podendo ser de execução e de ligações definitivas. O concreto pré-moldado de fábrica é, de acordo com El Debs (2000), formado basicamente quatro etapas distintas sendo elas: execução, transporte do elemento da fábrica até a obra, montagem e fase de realização das ligações.

A utilização de elementos pré-moldados para as construções necessita de um planejamento adequado para que as suas quatro etapas possam ocorrer fluentemente sem imprevistos. No item a seguir ocorre uma breve explicação sobre cada uma delas.

### **2.1.2 Fabricação de elementos de concreto pré-fabricado**

A execução dos elementos pré-moldados de fábrica pode ser dividida da seguinte forma conforme (EL DEBS, 2000).

- a) Atividades preliminares: preparação dos materiais, montagem da armadura, mistura e controle do concreto, transporte horizontal do concreto até a forma;

---

<sup>3</sup> A trabalhabilidade é o nome dado ao estado do concreto ou argamassa que proporciona facilidade no manuseio, coesão e consistência [...] (SALVADOR, 2013).

- b) Execução: na fase da execução pode-se destacar a limpeza da forma, utilização do desmoldante<sup>4</sup>, colocação de armadura pronta que já foi montada na fase de atividades preliminares e colocação de peças auxiliares como espaçadores. Posteriormente é colocado o concreto na fôrma, para ocorrer a moldagem realiza-se a vibração do concreto para homogeneizar este processo, assim passando para o período de cura e posteriormente a desmoldagem;
- c) Atividades posteriores: como atividades posteriores destaca-se o transporte interno que ocorre após a desforma para o período de cura, acabamentos necessários em elementos que apresentem alguma deformidade superficial e armazenamento.

### 2.1.3 Fôrmas

Segundo Melhado e Souza (2002), as fôrmas possuem a função de acomodar o concreto plástico, temporariamente e na forma desejada até alcance a resistência ideal, e conseqüentemente, suportar os esforços que atuarão sobre ele. As fôrmas devem apresentar características importantes conforme os tópicos abaixo:

- a) Resistência capaz de receber as cargas do concreto em fase fluida, bem como a carga de operários transitando sobre elas;
- b) Rigidez capaz de manter as medidas das estruturas de concreto armado previstas em projeto;
- c) A estabilidade para proporcionar às fôrmas a capacidade de suportar aos contraventamentos;
- d) A estanqueidade garantindo que não haverá perda de água e agregados finos;
- e) Possibilitar o ideal posicionamento da armadura, garantindo que os cobrimentos previstos em projeto serão respeitados;
- f) Garantir o perfeito lançamento do concreto nas fôrmas bem como que ocorra a desforma.

---

<sup>4</sup> Desmoldante: Trata-se da substância química aplicada junto às fôrmas para evitar a aderência (ABESC, 2007).

Para produção de elementos pré-moldados as fôrmas passam a ter função fundamental, devendo ter todas as características acima citadas.

Segundo Loturco (2007), a industrialização e racionalização da construção civil aliada à necessidade de atendimento a legislações ambientais, proporcionam o impulso no uso de formas metálicas para moldagem de concretos armados. Estas fôrmas têm alta durabilidade, evitando o entulho gerado pelas fôrmas de madeira.

As fôrmas têm o papel principal no processo da pré-moldagem, pois são elas que determinarão a forma, qualidade e produção de um determinado segmento. Conforme El Debs (2000) são qualidades desejáveis no quesito formas:

- a) Dimensões padronizadas, garantindo a estabilidade volumétrica e tolerâncias admitidas por norma;
- b) Que sua composição seja de materiais de propriedades adequadas garantindo longa durabilidade, e assim, garantindo a sua reutilização contínua;
- c) Que seja fácil de manejar, assegurando fácil montagem de armadura;
- d) Apresentar com auxílio de desmoldante pouca aderência e facilidade para limpeza;
- e) Seja estanque, para que não ocorra fuga da nata de concreto;
- f) Possibilite uso para seções variadas garantindo variações de projeto.

As fôrmas podem ser constituídas de vários materiais, tais como: madeira, aço, concreto ou alvenaria e plásticos reforçados ou fibras de vidro. A escolha do tipo de forma segundo El Debs (2000) deve ser realizada observando o produto que se deseja, entretanto algumas características também podem ser citadas: acabamento, número de reutilizações, formato dos elementos e adensamento. Entretanto, para fabricação de elemento como lajes pré-moldadas a forma que se qualifica em função de suas propriedades é a forma de metal, pois garante grande número de reutilizações, dimensões padronizadas e bom acabamento.

### 2.1.4 Montagem da armadura

O trabalho para armação dos elementos pré-moldados é similar ao processo de montagem da armação realizada na moldagem *in loco*. Porém a fabricação realizada em série garante racionalização deste processo e maior eficiência em relação à outra metodologia. A produção em série segundo El Debs (2000), propicia a implantação de dispositivos e equipamento para auxílio do corte e dobra das armaduras, e ainda destaca-se a possibilidade de utilização de solda para realização das ligações de montagem da armadura.

Por ser um processo contínuo, a montagem da armadura se transforma em um procedimento racionalizado dentro da fábrica de pré-moldados. Esta atividade poderá ser auxiliada por meio de equipamentos automatizados e mão de obra especializada, garantindo assim rapidez do fluxo da montagem, conforme a figura 2.

Figura 2 – Processo de montagem das armaduras



Fonte: Do autor.

### 2.1.5 Instalações prediais

De acordo com Melhado e Souza (2002), a execução de lajes deve ter absoluto cuidado com instalações complementares. Deverá ser previsto através de eletrodutos ou embutidos, as prumadas também deverão ser observadas quanto à passagem de shafts.

O concreto pré-moldado permite em fase de projeto a previsão de sistemas de rede hidráulica e elétrica passem por entre os elementos de concreto, conforme a Figura 3 observa-

se claramente este método que facilita a montagem dos sistemas hidráulicos e elétricos posteriormente que a estrutura esteja montada. Para que não ocorram problemas no momento da execução do projeto elétrico e hidráulico, deve-se planejar e gerenciar de forma minuciosa a fase de projeto, através do método da compatibilização de projetos.

Melhado e Souza (2002) complementam que, na construção racionalizada a previsão de instalações elétricas e hidráulicas devem ser contempladas na fase de execução das estruturas.

Figura 3 – Saída de águas pluviais (parte inferior de uma coluna)



Fonte: Do autor.

Conforme Leonardi (2009), os elementos pré-moldados proporcionam inúmeros benefícios para execução de instalações prediais em relação a obras convencionais. Encanamentos e dutos elétricos podem ser moldados para passar entre os elementos facilitando a instalação *in loco* e a estética da edificação. Claro que a implantação destas pré-instalações hidráulicas e elétricas dependem de detalhado planejamento em fase de projeto.

### 2.1.6 Concreto

Conforme Melhado e Souza (2002), no sistema construtivo convencional o concreto é alvo de preocupação no que diz respeito a sua resistência e trabalhabilidade. No que diz respeito à resistência é recomendada a regularidade de testes para verificação do seu desempenho, entretanto a trabalhabilidade que proporciona fácil redução de vazios, boa

moldagem e boa resistência a segregação garantindo homogeneidade, não possui um teste capaz de mensurá-la.

De acordo com Pedroso (2007) o concreto atualmente é um dos materiais mais utilizados do mundo. No Brasil anualmente é consumido 60 milhões de toneladas do material. Em nível mundial uma pesquisa apontou que seu consumo ultrapassa 11 bilhões de toneladas por ano. O sucesso do concreto é consequência de suas propriedades, pois apresenta resistência a água diferentemente do aço e da madeira, sua plasticidade proporciona as mais variadas formas às edificações.

Conforme Diniz (2009) existe materiais que atendem as características do concreto e assim podem ser submetidos às mesmas situações. Estes materiais proporcionam os mesmos desempenhos que o concreto, porém, economicamente nenhum o supera. A principal vantagem do concreto trata-se da sua versatilidade, ainda mais que estudos apontam que a resistência do concreto está evoluindo, testes apontam que brevemente teremos concreto alcançando os 100 MPA.

Pedroso (2007) afirma que a composição do concreto é um material compósito constituído basicamente de um aglomerante, agregados e aditivos, abaixo é identificado cada um deles como:

- a) É denominado aglomerante o cimento em contato com a água;
- b) Os agregados são constituídos de materiais granulares normalmente brita e areia;
- c) Os aditivos são produtos adicionados ao concreto para obter propriedades especiais, normalmente aceleradores ou retardadores de pega.

O mesmo autor complementa que o concreto é um homogêneo composto por cimento, agregados miúdos e graúdos e água. A utilização de aditivos é opcional.

Segundo Kuperman (2007), o concreto é um material de propriedades e estruturas extremamente complexas, onde a sua porosidade e a quantidade de água adicionada a ele são decisivas para sua fluência. Para ele o concreto possui características heterogêneas.

### 2.1.7 Adensamento

De acordo com Dal Molin e Tutikian (2008) a qualidade do concreto endurecido está diretamente ligada com a sua capacidade de preencher todos os espaços dentro da fôrma, sem deixar vazios e bolhas. O autor ressalta que tanto para o CAA quanto para o CCV esta qualidade de preencher os vazios envolvendo a armadura só é eficiente, se este, ocorrer sem que haja a segregação do material, ou seja, quando o agregado graúdo se concentra no fundo da fôrma.

Conforme Faria (2008) o concreto auto-adensável proporciona alta produtividade em obra por ter rápida aplicação dispensando vibração. A utilização deste tipo de concreto ocorre normalmente em fábricas de concreto pré-moldado, porém seus benefícios causam a rápida difusão de sua utilização para obras convencionais.

Para Dal Molin e Tutikian (2008) a utilização de ferramentas para vibração do CAA é estritamente proibida, suas propriedades o qualificam para que este processo ocorra naturalmente.

O adensamento é um procedimento importante que deve ser realizado para garantir a qualidade da produção de elementos pré-moldados. Na pré-fabricação é preferível a utilização de concretos de maior resistência mecânica (normalmente acima de 30 Mpa), conseqüentemente para se chegar a estas resistências ocorre uma redução da relação água cimento, introduzindo então, a necessidade da realização do adensamento (EL DEBS, 2000). Que pode ocorrer das seguintes maneiras: vibração, centrifugação, prensagem e vácuo.

Faria (2008) salienta sobre a agilidade e trabalhabilidade do concreto auto-adensável comprovada em teste realizado por uma parceria, uma construtora e uma concreteira em São Paulo se uniram para realização deste tira teima. Neste teste foram concretadas duas lajes do mesmo tamanho utilizando em uma, o concreto convencional e em outra o concreto auto-adensável, e foi verificado que a laje que utilizou o concreto que dispensa vibração foi concretada em metade do tempo em relação a laje que utilizou concreto convencional.

## 2.1.8 Vibração de elementos pré-moldados

A vibração de elementos pré-moldados pode ocorrer de duas formas: internas e externas.

### 2.1.8.1 Internas

Conforme El Debs (2000), vibrações internas são realizadas por meio de agulhas que são introduzidas dentro do concreto para realização da vibração.

O vibrador é movido à energia elétrica que proporciona um movimento vibratório na sua extremidade denominada de agulha vibratória, esta por sua vez, é mergulhada no concreto onde faz com que preencha os vazios e assim envolva a armadura. Na Figura 4 é visualizada a vibração de uma capa de concreto aplicada *in loco* em uma laje treliçada.

Figura 4 – Vibração utilizando o vibrador de concreto



Fonte: Do autor.

### 2.1.8.2 Externas

Vibradores que atuam nas fôrmas ou por meio de mesas vibratórias. O segundo, é comum para o adensamento de lajes pré-moldadas (EL DEBS, 2000).

A figura a seguir mostra uma fôrma caracterizada pela vibração externa utilizada para fabricação de lajes treliçadas ou painéis treliçados. Este processo vibratório ocorre na mesa propriamente dita, que também é movida a energia elétrica.

Figura 5 – Mesa vibratória



Fonte: Do autor.

### **2.1.9 Cura**

Segundo El Debs (2000) na indústria da pré-moldagem o processo de cura ágil é fundamental para boa produtividade industrial, uma vez que a produção poderá seguir em frente quando tiver formas disponíveis. O mesmo autor complementa que devem-se utilizar algumas ferramentas para melhorar este processo, sendo elas: adotar cimento de Alta Resistência Inicial (ARI), utilização da cura térmica ou utilização de aditivos no concreto.

### **2.1.10 Desmoldagem**

Conforme El Debs (2000) a desmoldagem acontece normalmente por meios mecânicos, demandando de equipamentos para içamento e transporte horizontal dos elementos dentro do chão de fábrica ou canteiro de pré-moldagem. A desmoldagem depende de vários fatores para ser realizada com sucesso, como por exemplo: aderência do concreto com a fôrma e utilização de desmoldantes, sugere-se que a desforma ocorra quando a resistência do concreto seja superior a 10 Mpa.

O mesmo autor complementa que a desmoldagem pode ocorrer de várias formas, dependendo basicamente do tipo de fôrma utilizada, conforme verificado abaixo:

- a) Procedimento direto: não depende da abertura lateral da fôrma, ocorre por levantamento do elemento.
- b) Procedimento de separar os elementos: ocorre somente nas fôrmas do tipo bateria, que normalmente são utilizadas para fabricação de painéis de concreto.
- c) Procedimento de tombar a fôrma: este processo trata-se da moldagem horizontal da fôrma que posteriormente é posicionada verticalmente e após o processo de cura o elemento pré-moldado é retirado através de uma mesa para tombamento.

Após o elemento apresentar a resistência suficiente para ser retirado da fôrma, ele é removido por meio de transportes internos, e é levado para o processo de secagem posterior. O transporte interno na fábrica ocorre com a ponte rolante, que, como pode ser visto na Figura 6 são equipamentos capazes de içar e transportar horizontalmente elementos de 10 TON ou mais.

Figura 6 – Ponte rolante



Fonte: Fôrma e forma... (2014).

A ponte rolante realiza o transporte interno dos elementos pré-moldados, posterior a este processo de transporte tem-se o transporte até a obra que ocorre obviamente por meio de outros equipamentos como poderá ser compreendido no próximo item.

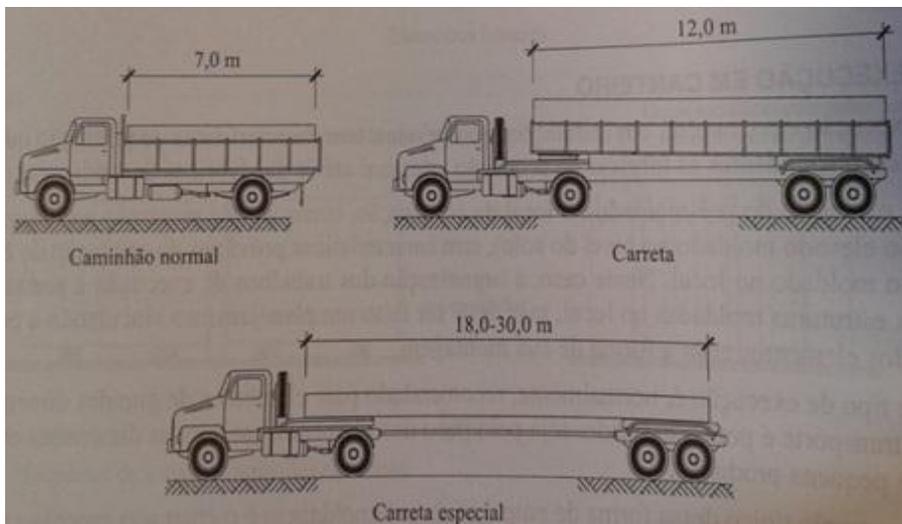
### 2.1.11 Transporte de elementos pré-moldados ou pré-fabricados

Segundo Vieira (2006), a logística para o transporte de elementos pré-moldados para obra tem fundamental importância, pois vários fatores devem estar interligados para chegada e montagem da estrutura *in loco*.

Segundo El Debs (2000), o transporte ocorre da fábrica até o local da obra e pode ocorrer de várias formas: marítima, ferroviário e rodoviário.

No Brasil as duas primeiras opções de transporte são raramente utilizadas, sendo que a forma de transporte predominante é a rodoviária através da utilização de caminhões e carretas conforme ilustra a Figura 7.

Figura 7 – Veículos para transporte



Fonte: El Debs (2000).

O transporte de elementos pré-moldados ou pré-fabricados regionalmente é realizado por meio rodoviário sendo predominante a utilização de caminhões truck ou carretas, nestes caminhões já existe o braço mecânico que auxilia o içamento destes elementos bem como a fixação da estrutura pré-moldada.

Todo processo industrial revisado bibliograficamente e detalhado até o momento demonstrou tópicos e processos da indústria de pré-moldados ou pré-fabricados em geral, incluindo todos os elementos de uma estrutura de concreto. Na próxima seção será focado o assunto que trata sobre elementos estruturais horizontais, e que, é o alvo do estudo. A partir

dela tudo que foi visto acima está relacionado a produção de lajes, porém serão acrescentados particularidades em todos os processos desde o projeto até sua montagem.

## **2.2 Elementos estruturais horizontais pré-moldados: lajes**

As lajes possuem a função de estruturar horizontalmente uma edificação, desta forma elas recebem as cargas superficiais e acidentais de cada pavimento. Nesta seção o estudo focará lajes alveolares e treliçadas, demonstrando suas características e aplicações, bem como suas vantagens.

Melhado e Souza (2002) afirmam que lajes pré-fabricadas são produzidas em fábricas especializadas e posteriormente são levadas prontas para montagem em obra. Esse processo industrializado provoca um impacto grande na forma convencional de construir. Este método é tido como racional e assim evitar problemas com compatibilização de projetos.

Estes elementos são caracterizados pela utilização horizontal nas estruturas pré-moldadas, possuem a incumbência de vencer vãos horizontais de forma a garantir sustentação das cargas permanentes e acidentais a que foram dimensionadas em projeto. A execução destes elementos é bastante específica de modo que várias empresas especializam-se neste segmento de lajes treliçadas e alveolares (EL DEBS, 2000).

Segundo Acker (2007), a evolução das estruturas pré-moldadas associada à protensão de elementos vem possibilitando um ganho em vãos livres nas edificações. O autor revela a possibilidade de alcançar em vãos de cobertura lajes de até 40m em obras industriais e comerciais. Com isso em garagens tem-se uma boa opção para a otimização de vagas que atualmente é um grande problema nas edificações convencionais, uma vez que ocorre uma diminuição considerável no número de pilares, ou ainda, a diminuição de sua seção. O mesmo autor ressalta que hoje em dia é comum executar vãos de até 16m sem pilares internos em edifícios de porte mediano. Em função do comprimento deste vão a espessura da laje fica em torno de 400 mm. Esta característica provoca maior adaptabilidade para edificação tornando o mesmo mais valorizado.

Elementos pré-moldados ou pré-fabricados de modo geral oferecem mais vantagens do que desvantagens propriamente ditas, partindo das vantagens relacionadas acima notam que

os principais benefícios estão na montagem de elementos estruturais horizontais. Estes elementos serão explicados de forma mais detalhada no próximo item.

### **2.2.1 Vantagens e desvantagens da utilização de elementos pré-moldados em lajes**

Os métodos convencionais construtivos trazem processos rudimentares e como dependem de inúmeros fatores para serem desenvolvidos, normalmente deve-se tolerar a lentidão e atrasos nas obras executados por estes métodos. A pré-fabricação proporciona agilidade e assim a possibilidade da utilização de cronogramas reduzidos proporcionando total interesse de investidores e empresas que necessitam de rapidez na execução de suas obras (ABCIC, 2003).

Para Faria (2008), em obras de grande porte tem-se inúmeros agravantes, um deles é a geração de resíduos na construção civil, neste quesito temos um bom desempenho, com menor desperdício de materiais.

Porém, equilibrar vantagens e desvantagens não se trata de uma tarefa fácil, algumas vezes para chegar-se ao conceito real do que é vantagem ou desvantagem em uma edificação pré-moldada deve-se levar em consideração especificamente custos diretos e indiretos de uma edificação (EL DEBS, 2000).

No próximo item podem ser elencadas no próximo item algumas vantagens de lajes pré-moldadas.

### **2.2.2 Vantagens**

Conforme Vieira (2006), a utilização de elementos pré-moldados em estruturas horizontais proporciona inúmeras vantagens, porém deve haver planejamento para sua execução. O planejamento citado refere-se aos aspectos logísticos, de compatibilização de projetos executivos, e de montagem. Desta forma transtornos posteriores são evitados e garante-se alguns benefícios, elencados abaixo:

- a) Cronograma de entrega reduzido;
- b) Diminuição considerável de perdas, principalmente na fase de execução e montagem da laje;

- c) Proporciona maior organização para o canteiro de obra;
- d) Diminuição de operários na obra;
- e) O controle de qualidades desenvolvidos em fábricas proporciona uma considerável redução de manutenções posteriores à entrega;
- f) Torna desnecessário adotar medidas improvisadas;
- g) Desempenho satisfatório em quesitos térmicos acústicos.

Conforme Acker (2007), a protensão pode ocorrer em elementos pré-moldados como vigas e lajes onde possibilitam a adoção de vãos maiores e edificações mais esbeltas. Em vãos comerciais e industriais as lajes de cobertura podem atingir até 40 m. Já em garagens o principal benefício está no espaço mais amplo em relação a edificações tradicionais, sendo que, com lajes e vigas protendidas, reduz-se consideravelmente em uma edificação o número de pilares e suas seções.

Para El Debs (2000), as principais vantagens relacionadas à pré-moldagem e a pré-fabricação se referem à execução de uma edificação, sendo que a estrutura é executada fora do local da obra sendo assim favorecendo a produção dos elementos estruturais e a redução considerável do cimbramento<sup>5</sup>.

Treliças... (2014) complementa dizendo que, lajes treliçadas podem ser executadas de 20 a 125cm de largura, sendo que o segundo caracteriza o painel treliçado, oferecem inúmeros benefícios tais como:

- a) Diminuição da utilização de formas;
- b) Redução da utilização de escoramento ou até sua eliminação;
- c) Sua simples disposição proporciona a função de fôrmas auto-portantes;
- d) Os painéis treliçados após montados em obra proporcionam aos operários uma segura plataforma de trabalho;

---

<sup>5</sup> Cimbramento trata-se de uma estrutura de suporte temporário para sustentar formas de elementos estruturais horizontais em período de cura do concreto (ABNT, 2004).

- e) Possibilidade de reforço do painel treliçado por meio de armadura adicional, bem como a redução de seu peso próprio com a utilização de sistemas de enchimento;
- f) Facilita a execução de instalações elétricas e hidráulicas;
- g) Rápida montagem e execução bem como redução de seus custos.

O mesmo autor ainda destaca que, quando a execução de elementos pré-fabricados ocorre em grande escala, obtém-se ainda melhores resultados, como: reaproveitamento de fôrmas, utilização da protensão, principalmente em lajes, aumento da produtividade tanto para aproveitamento de seções quanto mão de obra, propiciando maiores controles de qualidade. Como vantagens ainda têm-se o benefício da mão de obra estar menos exposta a fatores climáticos *in loco*.

De acordo com alguns autores a utilização de pré-moldados ou pré-fabricados traz algumas desvantagens, conforme pode ser verificado no próximo item.

### **2.2.3 Desvantagens**

Conforme El Debs (2000), algumas desvantagens da pré-moldagem ou pré-fabricação ocorrem em quase todos os processos, desde a fabricação até a montagem. Inicialmente destaca-se a necessidade da aquisição de fôrmas para moldagem dos elementos elevando o custo inicial para implantação do sistema. Após a produção tem-se a dificuldade do transporte, tanto horizontalmente dentro do chão de fábrica que deverá ser realizado com pontes rolantes quanto o transporte até o local da obra que será feito com a utilização de guindastes. Após a chegada à obra estes guindastes serão aproveitados para montagem da estrutura proporcionando altos custos de transporte.

Segundo Acker (2007), o grande desafio na utilização de estruturas pré-moldadas é a construção de edifícios, até o momento foram construídas algumas torres, porém, julgou-se necessária a montagem de uma espinha dorsal moldada *in loco*. O grande desafio para verticalização de estruturas pré-moldadas diz respeito a estabilidade global da estrutura.

Os painéis alveolares, assim como as lajes treliçadas, demonstram características estruturais de armação unidirecional, ou seja, armada em uma direção. Normalmente, estes painéis tem proposta estrutural bi apoiada, definida em projeto, raramente ocorrem balanços

de pequeno momento negativo que deve ser evitado. Outra consideração estrutural deste elemento, é a ocorrência de cargas concentradas ou distribuídas decorrentes das cargas de uma parede, que, devem ser distribuídas de forma transversal sobre a laje. Na próxima seção será possível identificar aspectos referentes a fabricação, armazenagem e montagem de lajes treliçadas e alveolares.

## 2.2.4 Cargas

As cargas são o principal assunto a ser tratado no início de projeto de uma laje. Para o dimensionamento e tomada de decisão deve ser realizado um detalhado estudo da finalidade e utilização da laje a ser executada.

A Norma Brasileira (NBR 6120) (ABNT, 1980, p. 01) “classifica as cargas como sendo acidental (q) e permanente (g)”. Esta norma, classifica carga permanente da seguinte forma:

2.1.1 Este tipo de carga é constituído pelo peso próprio da estrutura e pelo peso de todos elementos construtivos fixos e instalações permanentes.

2.1.2 Quando forem projetadas paredes divisórias, cuja posição não esteja prevista em projeto o cálculo de pisos com suficiente capacidade de distribuição transversal da carga, quando não for feito por projeto exato, pode ser feito admitindo, além dos demais carregamentos, uma carga distribuída uniformemente por metro quadrado não menor que um terço do peso por metro linear de uma parede pronta, observando o valor mínimo de 1 KN/m<sup>2</sup> (ABNT; 2000, p. 01).

A NBR 6120 (ABNT, 1980) aponta que cargas que atuam sobre os pisos das edificações caracterizados por móveis, pessoas e utensílios, denominam-se de cargas acidentais. A norma em questão aponta as seguintes cargas para dimensionamento de lajes:

Quadro 1 – Valores mínimos das cargas verticais

		KN/m <sup>2</sup>
	Local	Carga
1 Arquibancadas		4
2 Balcões		-
3 Bancos	Escritórios e banheiros	2
	Salas de diretoria e banheiros	1,5
	Sala de leitura	2,5
4 Bibliotecas	Sala para depósito de livros	4
	Sala para estante de livros, valor mínimo de	6
		Continua...

	<b>Local</b>	<b>KN/m<sup>2</sup> Carga</b>
Continuação Quadro 1... 5 Casas de máquinas	incluindo o peso de máquinas (ainda por ser calculado) porém com valor mínimo de Platéias com assentos fixos	7,5 3
6 Cinemas	Estúdio e plateia com assentos móveis Banheiro Sala de refeições e de assembléia com assentos fixos	4 2 3
7 Clubes	Sala de assembléia com assentos móveis Salão de danças e salão de esportes Sala de bilhar e banheiro	4 5 2
8 Corredores	Com acesso ao público Sem acesso ao público	3 2
9 Cozinhas não residenciais	A ser determinada em cada caso, porém valor mínimo de:	3
10 Depósitos	A ser determinada em cada caso, falta de valores experimentais	-
11 Edifícios residenciais	Dormitórios, sala copa, cozinha e banheiro Dispensa, lavanderia e área de serviço	1,5 2
12 Escadas	Com acesso ao público Sem acesso ao público Anfiteatro com assento fixo	3 2,5
13 Escolas	Corredor e sala de aula Outras salas	3 2
14 Escritórios	Salas de uso geral e banheiro	2
15 Forros	Sem acesso a pessoas	0,5
16 Galerias de arte	A ser determinada em cada caso, porém valor mínimo de:	3
17 Galeria de lojas	A ser determinada em cada caso, porém valor mínimo de:	3
18 Garragens e estacionamentos	Para veículos de carga ou passageiros não superior a 25 KN por veículo.	3
19 Ginásios de esportes	Ginásios de esportes	5
20 Hospitais	Dormitórios, enfermarias e salas de recuperação Corredores	2 3
21 laboratórios	Incluindo equipamentos a ser determinado em cada caso porém com valor mínimo de	3
22 Lavanderias	incluindo equipamentos	3
23 Lojas		4
24 Lavanderias		3
		Continuação...

	<b>Local</b>	<b>KN/m<sup>2</sup> Carga</b>
Conclusão Quadro 1... 25 Teatros	Palco	5
	Demais dependências: cargas iguais as específicas ao cinema	-
	Sem acesso ao público	2
	Com acesso ao público	3
26 Terraços	Inacessível a pessoas	0,5
	Destinados a heliportos elevados: cargas deverão ser fornecidas pelo órgão competente	-
27 vestíbulo	Sem acesso ao público	1,5
	Com acesso ao público	3

Fonte: ABNT (2000).

Para realização da escolha do sistema estrutural a ser utilizado, deverá ser feito um estudo para definir as cargas verticais permanentes, que, a finalidade da edificação proporcionará sobre a estrutura. Estas cargas primeiramente serão depositadas sobre as lajes posteriormente para vigas e pilares.

Quando não houver uma previsão de mobiliário, equipamentos ou trânsito que será empregado sobre a laje, deverá ser observado a finalidade da edificação e assim dimensionar a estrutura prevendo as cargas mínimas estabelecidas no Quadro 1.

### **2.2.5 Requisitos de desempenho para lajes**

A NBR 15575-2 (ABNT, 2013) impõe requisitos para durabilidade das edificações, considerando variáveis construtivas e ações externas:

- a) não ruir ou perder a estabilidade de nenhuma de suas partes;
- b) prover segurança aos usuários sob ação de impactos, choques, vibrações e outras solicitações decorrentes da utilização normal da edificação, previsíveis na época do projeto;
- c) não provocar sensação de insegurança aos usuários pelas deformações de quaisquer elementos da edificação, admitindo-se tal exigência atendida caso as deformações se mantenham dentro dos limites estabelecidos nesta Norma;
- d) não repercutir em estados inaceitáveis de fissuração de vedação e acabamentos;
- e) não prejudicar a manobra normal de partes móveis, como portas e janelas, nem repercutir no funcionamento normal das instalações em face das deformações dos elementos estruturais;
- f) cumprir as disposições das ABNT NBR 5629, ABNT NBR 11682 e ABNT NBR 6122 relativamente às interações com o solo e com o entorno da edificação.

A NBR 15575-3 (ABNT, 2013), estabelece requisitos mínimos para pisos internos executados sobre o solo ou elementos horizontais utilizados para separação dos pavimentos de uma edificação. Estes elementos horizontais podem ser constituídos por suporte estrutural e camadas.

Existem vários itens que possuem requisitos mínimos de desempenho estabelecidos por esta norma, porém, pode ser destacado a de conforto térmico e acústico, verificados no próximo item.

### **2.2.5.1 Conforto térmico e acústico**

Conforme Leonardi (2009) a massa térmica do concreto tem bom desempenho para armazenagem de energia térmica, este processo ocorre normalmente em pisos de lajes alveolares resultando na expressiva redução de custos em equipamentos para coleta de energia solar. Os alvéolos das lajes funcionam como um sistema de ventilação sendo que, no inverno a energia provinda das máquinas é armazenada e a noite recuperada, no verão o piso é refrigerado pelo ar noturno uma redução de até 30% de energia. Os alvéolos das lajes alveolares também podem ser utilizados como dutos elétricos e para passagem de canos hidráulicos.

De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013), as estruturas de concreto possuem a função de evitar a propagação de chamas e fumaça. Em lajes, é verificada a necessidade de selar as aberturas para passagem de prumadas verticais de instalações hidrossanitárias e elétricas. O mesmo cuidado deve ser tomado com dutos de ar-condicionado e ventilação, sendo que estes devem ser dotados com registros corta-fogo. Prumadas totalmente enclausuradas como ocorre normalmente em instalações de esgoto pluvial dispensam este tratamento de selagem. No caso de churrasqueiras e lareiras, estes devem ser construídos com materiais totalmente incombustíveis.

Conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013) no que diz respeito ao isolamento acústico, a norma estabelece a necessidade mínima de desempenho para o isolamento acústico entre pisos em unidades independentes. A norma considera dois tipos de ruído:

- a) Ruído de impacto; caracterizado por impacto do caminhamento, queda de objetos e semelhantes;

- b) Ruído aéreo; barulho decorrente de equipamentos eletrônicos de som bem como o ruído da fala entre ocupantes.

Na próxima seção será apresentado um estudo de lajes alveolares, baseado na bibliografia.

## **2.3 Lajes alveolares**

Também conhecidos por painéis alveolares, as lajes alveolares fazem parte de uma classe de elementos pré-moldados mais utilizados nas obras do mundo inteiro, estima-se que anualmente são produzidos 150 milhões de metros cúbicos. A laje alveolar é originária da Alemanha e sua evolução tecnológica passou a ser difundida para outros países também como Estados Unidos e posteriormente os demais. O painel alveolar também pode ser utilizado como parede, porém tem maior benefício ao ser utilizado na forma de estrutura horizontal (EL DEBS, 2000).

Conforme Marin et al. (2013) a produção de lajes alveolares é baseada em um alto controle de qualidade industrial dos elementos que são empregados na sua produção. Este controle ocorre desde os insumos utilizados como concreto até a manutenção e verificação dos equipamentos utilizados para sua moldagem e fabricação.

Na seção serão considerados alguns aspectos da utilização de lajes alveolares, como pode ser constatado já no próximo item.

### **2.3.1 Definições e utilização de lajes alveolares**

Faria (2008) destaca que a laje alveolar pretendida é a mais utilizada no mundo inteiro dentre os elementos pré-fabricados. Destaca também que no Brasil até o ano da publicação não tem normatização específica para padronização das especificações necessárias para definir os critérios de desempenho de lajes alveolares.

Segundo Carvalho (2012) a laje alveolar é basicamente constituída por um elemento pretendido por aderência, e que atualmente sua utilização vem crescendo em nosso País. Esta

demanda ocorre por ter baixo custo e bom desempenho já que o aço protendido possibilita que esta laje possa vencer vãos com mais de 9 m.

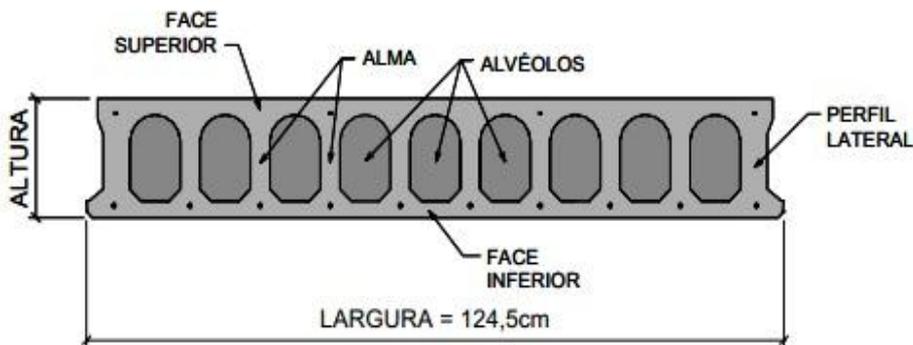
De acordo com Faria (2008) em meio a várias pesquisas realizadas no mundo inteiro definiu-se o principal critério a ser relevado no projeto de lajes alveolares protendidas: a tração, no entanto também é utilizada para suportar tensões de cisalhamento onde a armadura transversal não ocorre.

Conforme a NBR 14861 (ABNT, 2002, p. 02), laje alveolar pode ser prescrita da seguinte forma:

Laje do tipo painel alveolar protendido: Conjunto formado por painéis alveolares protendidos pré-fabricados, montados por justa posição lateral, eventual capa de concreto estrutural e material de rejuntamento.

Na Figura 8 pode ser verificada uma seção genérica de um painel alveolar, com largura padrão de 124,5cm.

Figura 8 – Laje alveolar



Fonte: Tatu... (2014).

França (2012), explica que os painéis alveolares vencem grandes vãos graças ao sistema de protensão, porém torna-se uma laje econômica em função dos seus alvéolos reduzindo assim o consumo de concreto.

Conforme a NBR 14861 (ABNT, 2002), o PACP como também é conhecido o painel alveolar de concreto protendido, deve ser produzido seguindo um rigoroso controle de qualidade de acordo com as prescrições da NBR 9062 (ABNT, 2001), em razão disso é produzida em fábricas especializadas. A produção destes elementos é composta pela colocação de armadura longitudinal ativa e alvéolos, atendendo a armadura inferior responsável por suportar as tensões de tração.

França (2012) considera que em fase de projeto de estruturas de lajes alveolares, assim como as demais estruturas de concreto armado, devem ser consideradas algumas peculiaridades antes de sua execução:

- a) Estudo dos materiais empregados para sua produção;
- b) Detalhada avaliação estrutural verificando estaticamente e a flexão das lajes;
- c) Pré-dimensionamento considerando todas deformações possíveis, destaca-se a deformação de longa duração;
- d) Projeto de estruturas detalhado graficamente;
- e) Calcular considerando todas as tensões atuantes sobre a estrutura, dentre elas flexão e cisalhamento.

De acordo com El Debs (2000), o dimensionamento de lajes alveolares protendidas inspira cuidados em apoios na ocorrência dos seguintes fatores:

- a) Reação causada pelas forças geradas no processo de transferência dos esforços de protensão e reações de apoio;
- b) Ancoragem das cordoalhas responsáveis pela protensão;
- c) Em casos de não haver armadura transversal resistência à força cortante.

### **2.3.2 Considerações sobre cobrimento e espaçamento das cordoalhas**

Conforme El Debs (2000) o cobrimento da armadura deverá suportar o processo de transferência dos esforços para armadura, além da segurança contra fogo e a corrosão.

Além das disposições construtivas elencadas anteriormente El Debs (2000) destaca que deve ser considerado o espaçamento da armadura protendida, esta que deve ser disposta na localização da alma do painel alveolar. Este espaçamento não poderá ser superior a 400 mm ou no mínimo de 3 vezes o diâmetro das cordoalhas.

### 2.3.3 Produção de lajes alveolares

Segundo Marin et al. (2013) lajes alveolares são produzidas em indústrias especializadas no ramo da pré-fabricação de concreto, onde as pistas de protensão podem passar dos duzentos metros de comprimento. Na Figura 9 é possível visualizar na pista de protensão a fôrma de laje alveolar. Nela pode ser constatada a utilização do desmoldante na superfície da fôrma, bem como as cordoalhas de protensão.

Para produção de lajes alveolares é característico que as linhas de produção tenham comprimentos superiores a 100m desta forma facilitando a produção contínua.

Figura 9 – Pista de protensão



Fonte: Do autor.

Conforme Marin et al. (2013) após a disposição das cordoalhas é alinhada a máquina extrusora junto à fôrma. Após a colocação da extrusora é alinhado o guia fio para garantia que as cordoalhas estejam dispostas junto à calha.

Após o posicionamento das cordoalhas conforme o projeto ocorre a concretagem, este detalhe é identificado na Figura 10.

Figura 10 – Concreto abastecendo a extrusora



Fonte: Do autor.

Neste caso, o concreto é fornecido por usina própria e o transporte dentro da fábrica ocorre horizontalmente por meio de pontes rolantes. As máquinas extrusoras devem ser abastecidas, pois são elas que moldam o concreto das lajes alveolares ao redor das cordoalhas de acordo com o projeto. As máquinas extrusoras além de moldar a laje alveolar, tem a função de compactar as lajes, e para que esta moldagem ocorra, é utilizado o concreto seco<sup>6</sup> ou *slump* 0.

Conforme Brumatti (2008), as extrusoras se movem por trilhos instalados na pista de protensão por meio do seu eficiente sistema de compactação, este sistema proporciona a produção de um elemento monolítico. A contra flecha é exercida através dos esforços de protensão que são assegurados pela perfeita aderência entre as cordoalhas e a laje, proporcionado pelo processo de extrusão. Este procedimento garante a produção de lajes com até 50 cm de altura e comprimento de 20 m.

Na Figura 11 pode-se ser verificado o processo de extrusão para fabricação de laje alveolar, nesta figura verifica-se a máquina extrusora em ação sobre a pista de protensão.

---

<sup>6</sup> Concreto seco: concreto que possui consistência seca, indicado para ser utilizado com o auxílio de equipamentos especiais de concretagem, como a extrusora (EL DEBS, 2000).

Figura 11 – Extrusora moldando a laje alveolar



Fonte: Do autor.

A extrusora pode ser removida de uma pista para outra com o auxílio da ponte rolante, desta forma, assim que o processo for finalizado remove-se a máquina e assim, ocorre o início do processo de cura da laje. Na Figura 12 pode-se ser verificada uma laje fabricada recentemente.

Figura 12 – Máquina extrusora



Fonte: Do autor.

Segundo Petrucelli (2009) feito o alinhamento das cordoalhas é realizado a fixação das mesmas por meio de cunhas em uma extremidade da fôrma e fixado o macaco hidráulico na outra extremidade conforme a Figura 13.

Para suportar as tensões deverá ser utilizado concreto de alta resistência.

É importante ressaltar que os processos de cura tem função importante na produção de lajes alveolares. Atualmente um processo de fabricação de lajes alveolares eficiente, tem sua cura inicial com prazo de 1 dia para remoção da fôrma. Este pequeno período para processo de cura proporciona bom desempenho produtivo do segmento.

Figura 13 – Processo de protensão com utilização de macaco hidráulico



Fonte: Petrucelli (2009).

O mesmo autor complementa que para suportar as tensões da extrusão deverá ser utilizado concreto de alta resistência podendo ultrapassar até os 75 Mpa em função de sua baixa relação água e cimento. Na figura a seguir é verificada uma usina de concreto dentro da fábrica onde são utilizadas para transporte horizontal duas caçambas.

As usinas de concreto são montadas em locais estratégicos, para atender a demanda da produção. As baias das usinas são abastecidas mecanicamente normalmente com a utilização de um veículo retro escavadeira.

Figura 14 – Usina de concreto e caçambas de transporte interno



Fonte: Petrucelli (2009).

As pistas de fabricação são contínuas sendo que, a partir do momento da concretagem, é realizada o período de cura é realizado o corte das peças de acordo com o projeto executivo. O corte das peças proporciona um aspecto produtivo interessante, uma vez que poderão ser fabricadas as peças de vários tamanhos em uma mesma concretagem.

O içamento do elemento pré-moldado, que é visto na Figura 15, é o processo de transporte da pista de fabricação para o estoque, onde permanecerá aguardando até atingir a resistência necessária para utilização nas obras.

Figura 15 – Içamento de laje alveolar da pista para o estoque



Fonte: Petrucelli (2009).

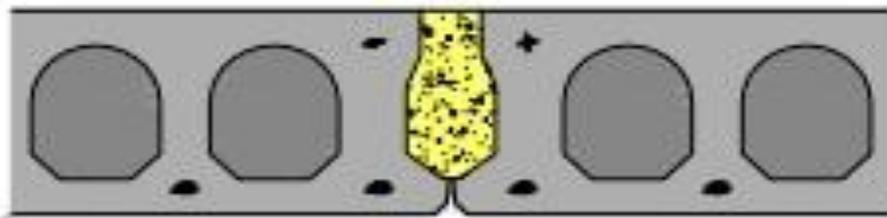
Da estocagem até a obra, o transporte das lajes alveolares normalmente é realizado por veículos adequados munidos com guindastes para auxílio no içamento dos elementos. No próximo item este processo será visto com maiores detalhes.

### 2.3.4 Aspectos sobre a utilização lajes alveolares

A montagem de painéis alveolares requer participação mecânica por meio de guindastes e manual por meio de operários montadores. O guindaste realiza o içamento da peça alveolar, porém não detém da precisão necessária para seu encaixe, com isso faz-se necessário o auxílio de montadores para realização do encaixe do painel alveolar junto à laje.

Entretanto, Tatu... (2014) relata que o encaixe dos painéis alveolares após sua disposição sobre as vigas requer um chanfro. Este chanfro é um método utilizado para regularização das lajes através de um enchimento com concreto entre os painéis, com a finalidade de regularizar a sua superfície, conforme verificado na Figura 16. Quando necessária é executado uma capa de concreto armado para regularização do piso e distribuição das cargas.

Figura 16 – Chanfro entre lajes



Fonte: Tatu... (2014, figura digital).

Para Vieira (2006), as lajes alveolares são indicadas para edificações de grande porte indicada especialmente para plantas industriais, supermercados ou de qualquer finalidade comercial. Sua utilização proporciona inúmeras vantagens dentre elas está a montagem que ocorre mecanicamente por meio de guindastes que agiliza a sua execução, conforme pode ser visto nas Figuras 38 e 39, verifica-se utilização de mão de obra reduzida Figura 42.

Os painéis alveolares tem a vantagem de se atingir vãos de 10 m graças a sua tecnologia de fabricação, fabricado por extrusão ou forma deslizante, posteriormente ocorrendo a protensão do elemento gerando assim a contra flecha verifica-se claramente como a evolução tecnológica passou a beneficiar a fabricação deste tipo de laje (EL DEBS, 2000).

Com as lajes alveolares tem-se a possibilidade de obter maiores vãos livres, portanto sua utilização é a alternativa indicada para grandes empreendimentos comerciais e industriais como: shoppings, aeroportos, estádios, lojas comerciais e estádios.

### **2.3.5 Escoramento**

Conforme Tatu... (2014), as lajes alveolares não necessitam de escoramento, ou seja, tem a resistência suficiente para atingir grandes vãos e suportar seu peso próprio no período de montagem. Esta afirmação é válida também quando o projeto indica a aplicação de uma capa de concreto.

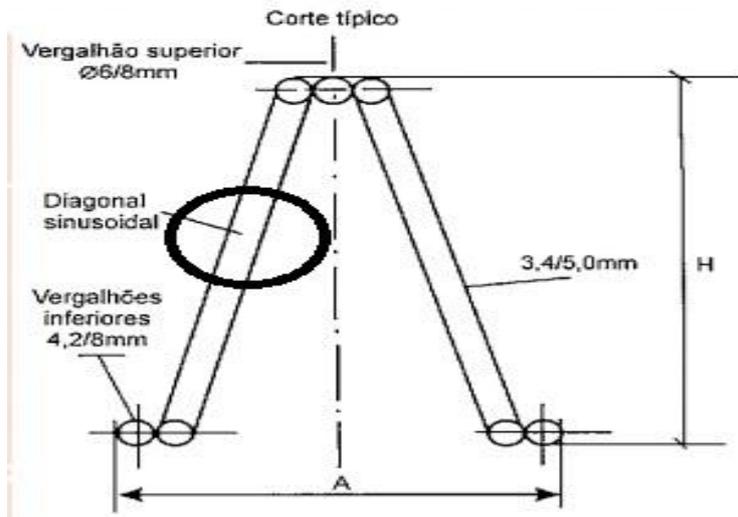
A utilização das lajes alveolares é muito ampla, seus benefícios construtivos tornam sua utilização indicada para alguns tipos de obra, no próximo item verifica-se sua utilização.

## **2.4 Lajes treliçadas**

Segundo Vieira (2006), lajes treliçadas são caracterizadas pela utilização da treliça como armadura. Este sistema de estrutura horizontal pode ser considerado uma laje mista, pois parte de sua produção ocorre em fábrica e a outra etapa ocorre em obra, onde depois de montada em obra ocorre a colocação da capa de concreto *in loco*.

De acordo com Puma (2002) as treliças são compostas de aço CA 60 e proporcionam excelente desempenho contra as forças de flexão e cisalhamento. O principal fator que proporciona tal benefício são as duas barras de aço que interligam os banzos inferiores ao banzo superior caracterizando um formato sinosóide conforme é ilustrado na Figura 17.

Figura 17 – Ligação em formato sinusóide



Fonte: Puma (2002, figura digital).

Conforme relatado anteriormente nesta seção será verificado as lajes treliçadas, que são caracterizadas pré-moldadas. Entretanto parte de sua execução ocorre em obra, onde é realizado o processo do enchimento e executado a capa de concreto, por isso alguns autores a tratam de pré-laje. Nos próximos itens este assunto será verificado de forma mais detalhada.

#### 2.4.1 Tópicos para dimensionamento de lajes treliçadas

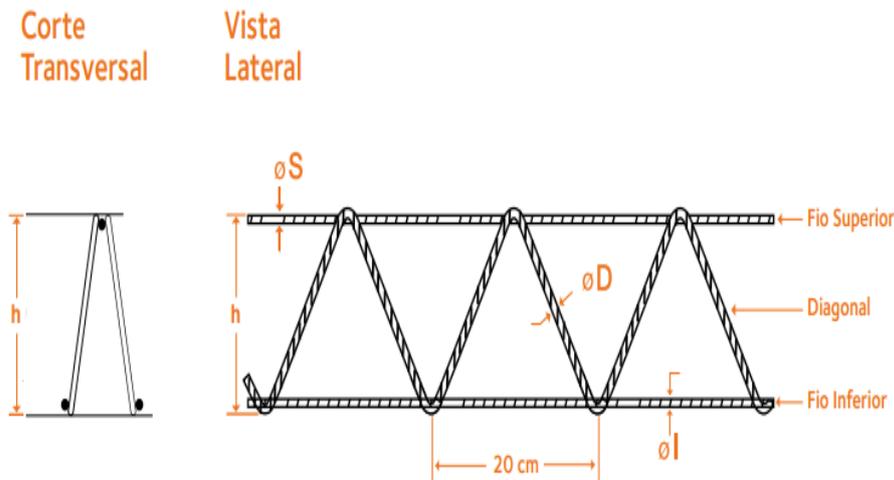
Conforme NBR 9062 (ABNT, 2002) as pré-lajes como também são conhecidas caracterizam-se por possuir armaduras unidirecionais, ou seja, a nervura é disposta em uma única direção ocorrendo no sentido longitudinal. Podem ser executadas armaduras transversais para formação de painéis treliçados.

De acordo com esta norma considera-se:

Denominadas pela sigla PLT (Pré-laje treliçada) e PLP (Pré-laje protendida), são placas com espessuras de 3,0 a 5,0 cm e larguras padronizadas. Constituídas por concreto estrutural, executadas industrialmente fora do local definitivo da estrutura, ou mesmo em canteiros de obra, sob-rigorosas condições de controle de qualidade. Englobam total ou parcialmente a armadura inferior de tração, integrando a seção de concreto da nervura. O cobrimento deve obedecer ao prescrito na norma (ABNT, 2002, p. 2).

Na Figura 18 pode ser identificada a ilustração de uma treliça, no corte transversal é possível identificar 2 fios utilizados no banzo inferior e 1 fio no banzo superior separados por uma distância (h), determinada em projeto, a mesma figura também proporciona a vista lateral da treliça (PUMA, 2002).

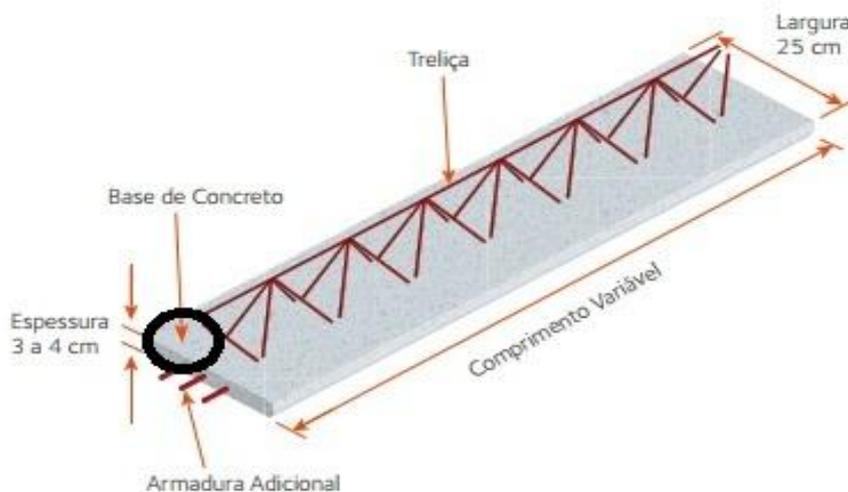
Figura 18 – Treliça utilizada para laje treliçada imagem treliça



Fonte: Treliças... (2014, figura digital).

As lajes formadas por vigotas pré-moldadas tem sua armadura constituída basicamente por uma treliça de aço caracterizando armação unidirecional, nos banzos superior e inferior. A treliça é disposta na fôrma onde recebe uma capa de concreto normalmente de 4cm que envolve os banzos inferiores (EL DEBS, 2000). Conforme pode ser visto na Figura 19.

Figura 19 – Detalhe da base de concreto



Fonte: Treliças... (2014, figura digital).

Para vãos maiores a armadura positiva poderá ser complementada passando a ter além da treliça, a disposição de barras complementares atendendo as necessidades do projeto estrutural.

Conforme Treliças... (2014) é oferecido ao mercado treliças que se adaptam a inúmeros projetos, cargas e vãos sendo que para isso deve ser realizado o cálculo e assim escolher a opção que oferece as propriedades suficientes para sua aplicação. Estas treliças podem ser verificadas na Figura 20.

Figura 20 – Treliças encontradas no mercado

#### Especificações do Produto

Modelo	Designação	Altura (h) (mm)	Composição/Fios			Peso Linear (kg/m)
			Superior (ø S)	Diagonal (ø D)	Inferior (ø I)	
TB 8L	TR 8644	80	6,0	4,2	4,2	0,735
TB 8M	TR 8645	80	6,0	4,2	5,0	0,825
TB 12M	TR 12645	120	6,0	4,2	5,0	0,886
TB 12R	TR 12646	120	6,0	4,2	6,0	1,016
TB 16L	TR 16745	160	7,0	4,2	5,0	1,032
TB 16R	TR 16746	160	7,0	4,2	6,0	1,168
TB 20 L	TR 20745	200	7,0	4,2	5,0	1,111
TB 20R	TR 20756	200	7,0	5,0	6,0	1,446
TB 25M	TR 25856	250	8,0	5,0	6,0	1,686
TB 25R	TR 25858	250	8,0	5,0	8,0	2,024
TB 30M	TR 30856	300	8,0	5,0	6,0	1,823
TR 30R	TR 30858	300	8,0	5,0	8,0	2,168

Comprimento: 8,10 e 12 m. Outras dimensões sob consulta.

Fonte: Treliças... (2014, figura digital).

De acordo com Treliças... (2014) a escolha de uma treliça deve estar baseada em uma análise estrutural detalhada, e não descarta a possibilidade de armadura complementar tanto para momentos positivos, quanto negativos.

#### 2.4.2 Tipos de lajes que utilizam treliças

A utilização de treliças em lajes permite algumas variações na sua execução possibilitando adquirir características necessárias para o projeto a ser adotado. De acordo com NBR 14861/2002, podemos executar as seguintes lajes treliçadas com a utilização de treliças:

- Pré-laje treliçada; trata-se da treliça mais a camada de 3 a 4cm de concreto, a concretagem é realizada anteriormente. A partir dela pode-se obter as variações verificadas nas figuras 21, 22 e 23.

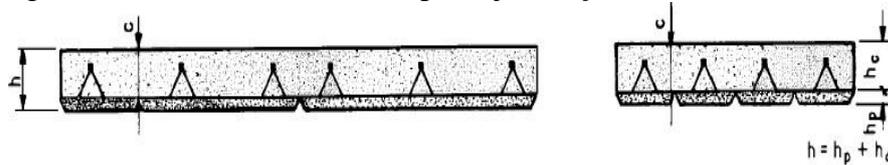
Figura 21 – Corte transversal da pré-laje treliçada



Fonte: ABNT (2002).

- b) Laje maciça com pré-laje treliçada; é composta pela pré-laje treliçada, porém, é concretada sem nenhum tipo de enchimento, desta forma caracteriza-se maciça.

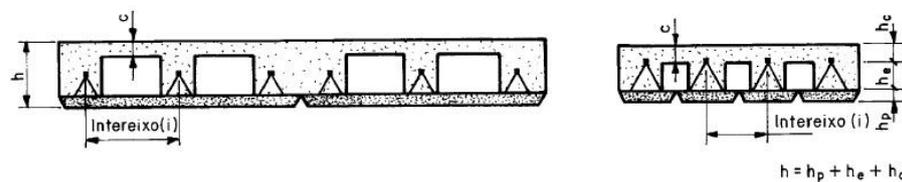
Figura 22 – Corte transversal da pré-laje treliçada



Fonte: ABNT (2002).

- c) Laje nervurada com pré-laje treliçada e elemento de enchimento; é composta pela pré-laje e um sistema de enchimento, que proporciona uma redução do peso próprio na laje e economia de concreto.

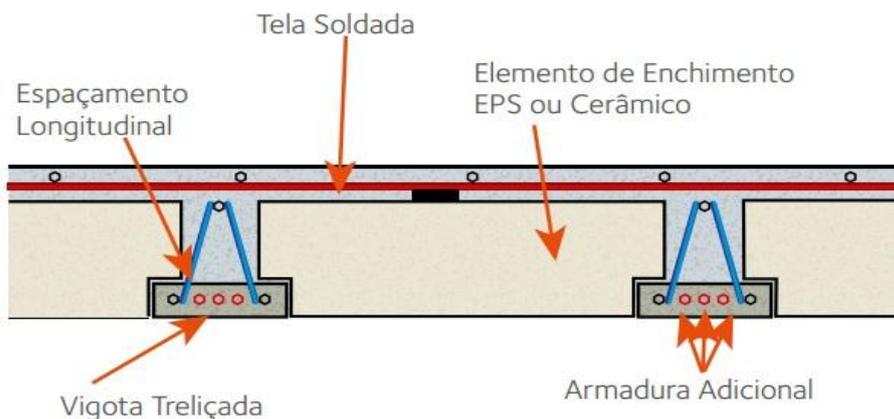
Figura 23 – Corte transversal pré-laje treliçada com elemento de enchimento



Fonte: ABNT (2002).

Dentre as pré-lajes citadas acima será destacado o item c) apresentado na Figura 23, ela apresenta a utilização de enchimento sem função estrutural, este enchimento está disposto sobre o painel pré-moldado. Conforme a Figura 24 os sistemas de enchimento também podem estar dispostos apoiados em vigotas, desta forma podem ser vistos os seguintes elementos dispostos em corte transversal.

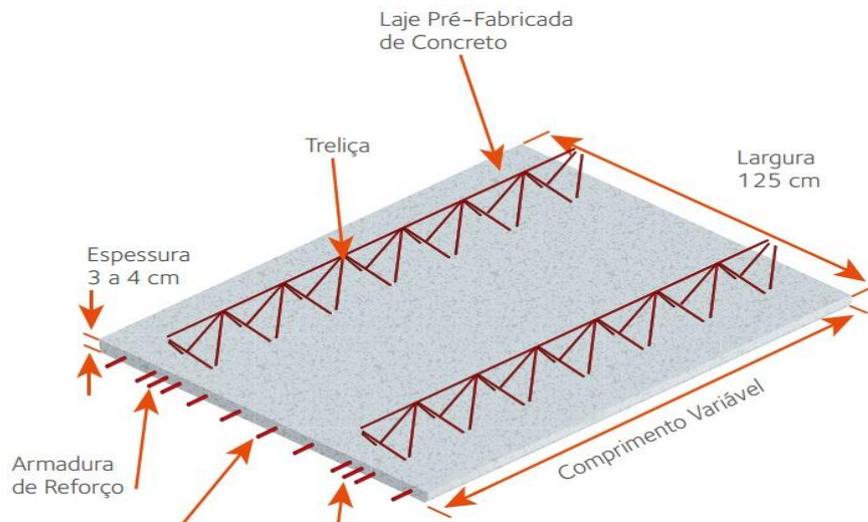
Figura 24 – Corte transversal de laje treliçada



Fonte: Treliças... (2014).

O presente estudo elencou várias modalidades de laje treliçadas, porém, verificou os processos de fabricação e execução, bem como custos de mercado somente da Pré – laje painel treliçado conforme demonstrado na Figura 25. Estes painéis possuem 125cm de largura e podem ser constituídas de duas, três ou quatro treliças, de acordo com o cálculo solicitante.

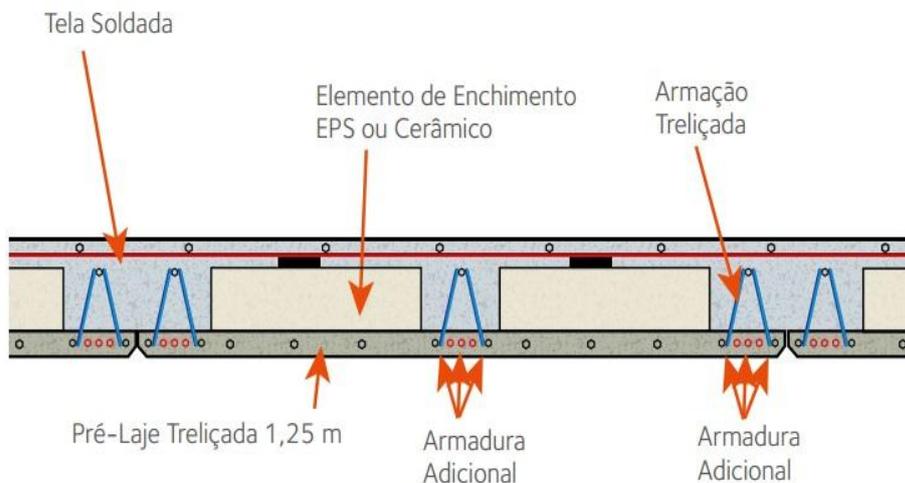
Figura 25 – Vista de painel treliçado



Fonte: Treliças... (2014, figura digital).

O mesmo painel é demonstrado em corte transversal conforme a Figura 26, porém com três treliças por painel.

Figura 26 – Corte transversal do painel treliçado



Fonte: Treliças... (2014, figura digital).

No próximo item será iniciado uma verificação do processo de fabricação do painel treliçado, baseado em pesquisas bibliográficas e empresas fabricantes.

### 2.4.3 Fabricação de painel treliçado

Neste caso o painel treliçado é formado pela disposição de 4 vigotas treliçadas em uma fôrma, a principal diferença entre painéis treliçados e vigotas treliçadas ocorre no período da fabricação, nas vigotas treliçadas as fôrmas são individuais por treliça, já no painel treliçado a fôrma possibilita a concretagem de quatro treliças, possibilitando assim o formato do painel treliçado.

Na Figura 27 tem o detalhe da montagem da armadura que foi disposta dentro das fôrmas para concretagem do painel treliçado.

Figura 27 – Montagem armadura painéis treliçados



Fonte: Do autor.

As treliças são dispostas sobre as fôrmas mediante a utilização de espaçadores e posteriormente ocorre a concretagem, na Figura 28, pode ser visto uma laje no formato de painel recém concretada na fábrica Vigas Pré-moldados.

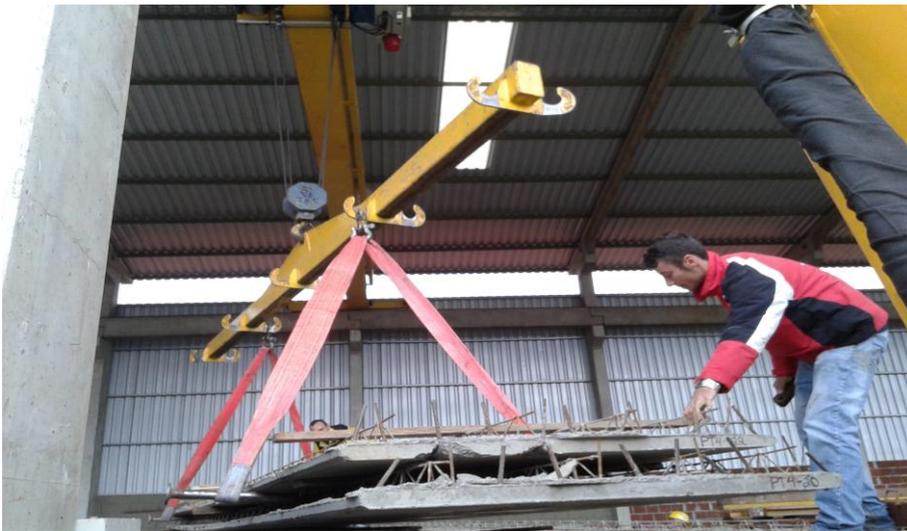
Figura 28 – PAINEL TRELIÇADO CONCRETADO



Fonte: Do autor.

Posteriormente a laje é removida da fôrma com a utilização de sistemas de transporte horizontal na fábrica, sendo que o mais comum é a ponte rolante verificada na Figura 29.

Figura 29 – Transporte horizontal na fábrica com ponte rolante



Fonte: Do autor.

Após a remoção das lajes, elas são conduzidas para o período de cura que ocorre no estoque da fábrica, conforme verificado na Figura 30.

Figura 30 – Painel treliçado



Fonte: Do autor.

Na Figura 30 temos painéis treliçados fabricados em fôrmas de mini painéis unidas, para a obra estudada foi utilizada também uma fôrma para painéis lisa, como pode ser verificado na Figura 31.

Figura 31 – Fôrmas e painéis



Fonte: Do autor.

No próximo item será demonstrado o processo de montagem das lajes em obra.

#### **2.4.4 Aspectos sobre a montagem de estrutura contendo laje treliçada**

Romanini (2014) relata que o escoramento é uma das primeiras etapas da execução de uma laje treliçada. As lajes devem ser dispostas de acordo com o vão e posteriormente

realizado o escoramento que será explicado no próximo item. Na Figura 33 da página 62 podem ser constatados os detalhes para execução e montagem de lajes treliças em vigotas.

De acordo com Manual Gerdau... (2014) antes de realizar a montagem do escoramento que poderá ser composto por escoras de madeira, ou metálicas, deverá ser compactado o solo para que não ocorra o afundamento das escoras e assim uma deformação prematura da laje. Recomenda-se ainda, que além de compactado seja colocado sobre o solo tabuas de madeira, ou até, que seja realizado o contrapiso de concreto para disposição das escoras, que posteriormente receberão a carga da laje recém concretada. Estas recomendações deverão ser seguidas para que não ocorram deformações e até o colapso da estrutura.

O mesmo autor complementa que as vigotas deverão ser dispostas de acordo com os vãos indicados no projeto, a disposição ocorrerá sobre as paredes ou vigas com um transpasse de 5 cm, após a colocação das vigotas é colocado o elemento de enchimento que atuará como redutor de peso próprio a laje.

De acordo com a NBR 14859 (ABNT, 2002, p. 07-08) “item 5.1.2, o projeto para execução e montagem de lajes deve ser detalhado da seguinte forma”, conforme prescrição a seguir:

#### 5.1.2 Projeto de execução da laje

Documento que deve obrigatoriamente acompanhar a entrega dos produtos e contemplar o seguinte:

- a) altura total da laje e da capa de concreto complementar;
- b) distanciamento entre escoras e quantidade de linhas de escoramento;
- c) quantidade, comprimento, localização e direção das vigotas pré-fabricadas;
- d) especificação e posicionamento dos elementos de enchimentos;
- e) contra-flechas;
- f) disposição e especificação das nervuras de travamento (NT);
- g) quantidade, especificação e disposição das armaduras complementares.
- h) classe de resistência do concreto complementar;
- i) previsão de consumo de concreto e aço complementar por metro quadrado da laje;
- j) altura total da vigota pré-fabricada;
- k) cargas consideradas, conforme 3.6;
- l) análise e detalhamento das aberturas de qualquer amplitude na laje, quando couber.
- m) detalhamento de apoios e ancoragem das vigotas;
- n) prazo e modo de retirada do escoramento (NBR 14859 apud ABNT, 2002, p. 07-08).

Para execução adequada de uma laje é necessário observar todas as informações contidas no projeto para que o elemento estrutural atenda às solicitações e cargas que lhe foram atribuídas em projeto.

Kilaje (2014) complementa da importância de ser observado o esquadro da disposição unidirecional dos elementos treliçados. A colocação deve ser iniciada por uma extremidade, de acordo com a evolução da colocação deverão ser observados os pontos de luz, previstos em projeto e na montagem da laje.

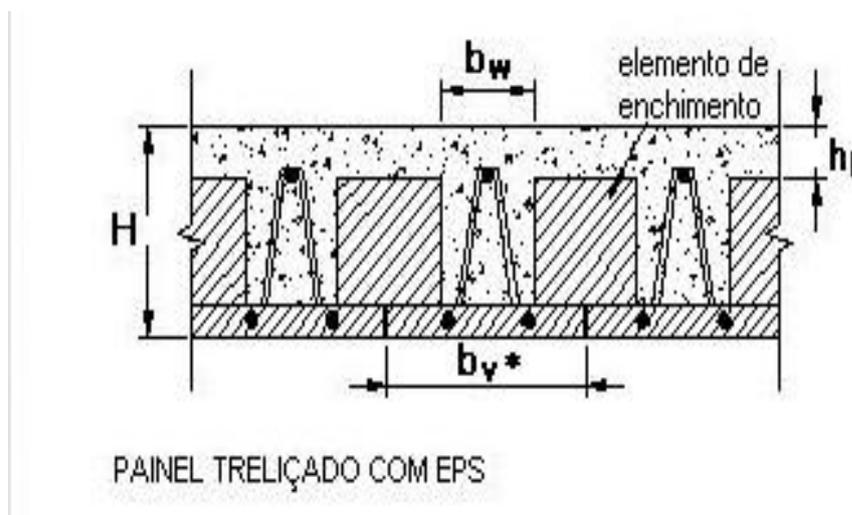
#### 2.4.4.1 Sistemas de enchimento

Segundo Lajes Paulista... (2014), o sistema de enchimento de uma laje deve ser constituído por materiais inertes, tais como: EPS, cerâmico, concreto ou até materiais resinados. Estes materiais são dispostos sobre vigotas ou sobre pré-lajes com a finalidade de reduzir seu peso próprio, e os mais utilizados são o EPS e cerâmica.

Para os painéis treliçados os sistemas de enchimento não possuem a função estrutural. O painel treliçado é formado por uma placa de concreto disposta nos banzos inferiores da treliça, tornando desnecessário que o EPS<sup>7</sup> seja submetido a tensões de tração, e sim a tensões de compressão, este sistema pode ser visualizado na Figura 32.

Na figura a seguir verifica-se a disposição de um painel treliçado com enchimento de EPS em corte.

Figura 32 – Corte demonstrando o sistema de enchimento



Fonte: Lajes Paulista (2014, figura digital).

<sup>7</sup> EPS: sigla internacional dada ao poliestireno expandido (ABRAPEX, 2014).

### 2.4.5 Escoramento

Conforme Faria (2006), para termos a garantia de uma boa estrutura deve-se ter cuidados planejamento e execução do cimbramento ou escoramento de lajes que forem rapidamente solicitadas após sua montagem. O resultado de uma má execução de escoramento resulta em deformações excessivas dos elementos submetidos a tal.

De acordo com o Manual Gerdau... (2014), antes da colocação das vigotas ou painéis treliçados, deve ser verificado se os apoios estão nivelados, e também, se estes apoios possuem a resistência necessária para receber as cargas das lajes. A laje somente poderá ser disposta mediante a existência de estrutura portante, podendo ser paredes portantes ou vigas.

O sistema de painéis treliçados proporciona economia no quesito cimbramento comparado aos sistemas convencionais, necessários somente algumas escoras para sustentação da laje recém concretada.

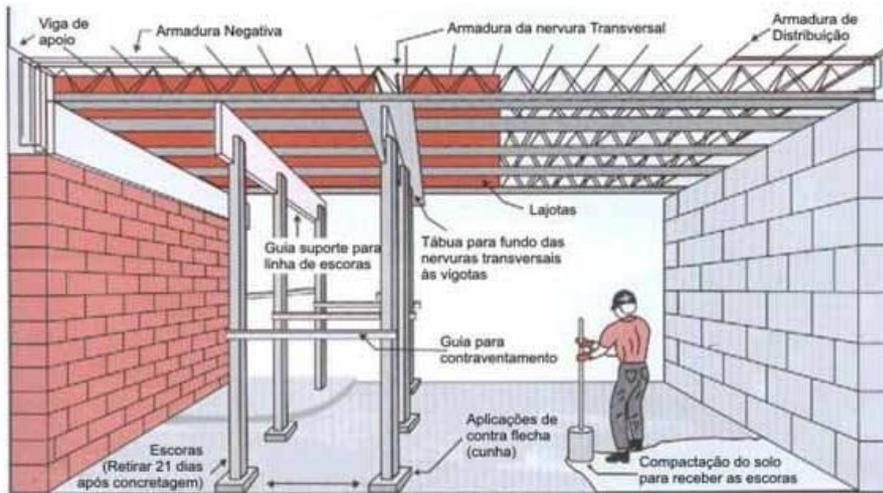
Conforme Kilage (2014), no momento do escoramento deverá ser previsto a execução da contra-flecha para eliminar as deformações indesejáveis com a aplicação das cargas.

De acordo com a NBR 14859 (ABNT, 2002), o escoramento deverá observar o prazo de 21 dias, podendo ser removido de forma parcial após este prazo.

Romanini (2014) complementa que a execução do escoramento deve ser realizada antes da colocação dos elementos treliçados, caso as escoras forem dispostas sobre o solo, estas devem ser fixadas sobre tabuas, com a finalidade de evitar o afundamento das escoras e assim uma possível deformação da laje.

Na Figura 33 pode ser verificado o escoramento realizado em uma laje, onde as escoras ficariam dispostas sobre o solo, entretanto abaixo delas a figura sugere a colocação de tabuas de obra para não ocorrer deformação excessiva no momento da concretagem.

Figura 33 – Montagem de vigotas treliçadas



Fonte: Romanini (2014).

Melhado e Souza (2002) alertam que a desforma é o último processo a ser contemplado com o concreto nos primeiros dias ou semanas. Caso as fôrmas ou escoras sejam retiradas antes do concreto atingir a resistência necessária a laje poderá sofrer deformações excessivas e não previstas em projeto. Essas deformações provocam um defeito cumulativo, sendo que as deformações deverão ser corrigidas com argamassa para manter seu nivelamento posterior a isto haverá um aumento de seu peso próprio.

### 3 METODOLOGIA

Para a realização desta pesquisa, foram utilizados métodos qualitativos na busca das informações necessárias para que fosse possível atingir os objetivos pretendidos. Segundo Flick (2009) e Charmaz (2009), os métodos qualitativos permitem uma melhor análise das possibilidades que o trabalho pode seguir, pois, ao utilizar métodos qualitativos está se permitindo uma análise mais ampla e característica do objeto em questão.

Através de estudos de campo, visitas técnicas, pesquisas bibliográficas, análise documental de projetos de obras e conversas com profissionais envolvidos com as obras em acompanhamento, foi possível analisar comparativamente a utilização e a execução das lajes alveolares pretendidas e painéis treliçados em obras de construção civil.

Este trabalho iniciou-se através da pesquisa bibliográfica, ou seja, seleção e categorização de diferentes fontes bibliográficas que se referem ao assunto em questão. Além disso, as fontes bibliográficas, reforçam e auxiliam na afirmação as ideias do pesquisador e as constatações que o mesmo faz. De acordo com Duarte e Barros (2008, p. 51), a pesquisa bibliográfica “é o planejamento global inicial de qualquer trabalho de pesquisa que vai desde a identificação, localização e obtenção da bibliografia pertinente sobre o assunto”.

Para a caracterização das lajes alveolares pretendidas e painéis treliçados foram realizadas visitas técnicas em duas obras específicas, constituídas basicamente por estrutura pré-moldada: uma utilizando lajes alveolares pretendidas e a outra painéis treliçados. Os processos de execução foram relatados seguindo a montagem das lajes e através de conversas com profissionais envolvidos. O registro destas visitas foi feito por meio de fotografias e escrita.

As visitas nas obras que utilizaram as lajes que são o objeto de estudo deste trabalho podem ser designadas como ações de pesquisa de campo. De acordo com Vergara (2010, p. 43), pesquisa de campo é a “investigação empírica realizada no local onde ocorre ou ocorreu um fenômeno ou que dispõe de elementos para explicá-lo”. Este tipo de pesquisa exige conversa com profissionais envolvidos, registro da realidade e ações do local.

Ao final do acompanhamento da execução das duas lajes, foi possível construir um quadro comparativo caracterizando e qualificando cada um dos processos. Essa comparação possibilitou a observação de vantagens e desvantagens na utilização de cada uma das lajes abordadas no decorrer desta pesquisa.

O processo de caracterização das duas lajes em estudo contou também com ações de análise documental. Neste caso os documentos referem-se às plantas e projetos oficiais da obra que foram acompanhadas durante a pesquisa. A utilização desta ferramenta metodológica é afirmada por Duarte e Barros (2008, p. 271-272) que a definem da seguinte maneira: “a análise documental compreende a identificação, a verificação e a apreciação de documentos para determinado fim.”

Neste estudo também foi realizada uma pesquisa de mercado para verificação dos custos praticados na execução das lajes em questão. O autor determinou que as obras fossem na cidade de Lajeado e que a montagem fosse limitada a uma edificação de um pavimento com 600 m<sup>2</sup> de laje, limitada a um pé direito de 6 m. Desta forma, há igualdade de dois agravantes no preço final da cada laje sendo eles: transporte e utilização de guincho. O preço de compra e montagem de cada laje foi verificado para diferentes vãos, (6m, 8m e 10m), com a finalidade de avaliar a viabilidade e auxiliar a escolha do método mais adequado frente a diferentes situações que surgirem.

Os orçamentos das lajes treliçadas e dos painéis alveolares foram realizados com empresas do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, para vãos de 6, 8 e 10 metros, arbitrados pelo autor deste estudo. Nesta pesquisa foi considerado somente o custo da laje, considerando que, para realização do estudo comparativo não haverá mudança do sistema estrutural como um todo.

## **4 RESULTADOS**

Neste capítulo serão apresentadas as características observadas, através do acompanhamento dos processos de execução de lajes alveolares protendidas e dos painéis treliçados.

### **4.1 Processo para execução de lajes alveolares protendidas pré-fabricadas**

Os próximos itens trazem a abordagem dos processos inerentes à execução de laje alveolar protendida. Primeiramente é identificada a obra e suas condições iniciais para execução, e posteriormente os procedimentos de execução.

#### **4.1.1 Identificação da obra**

A obra que foi objeto de estudo é uma edificação pré-moldada, localizada na cidade de Encantado (RS) e que está sendo executada pela empresa Rotesma. A edificação possui três pavimentos: um subsolo, um térreo e o segundo pavimento totalizando 1.415 m<sup>2</sup>.

A obra em questão foi acompanhada na fase de execução da laje, sendo assim desconsiderada a descrição de vigas e pilares.

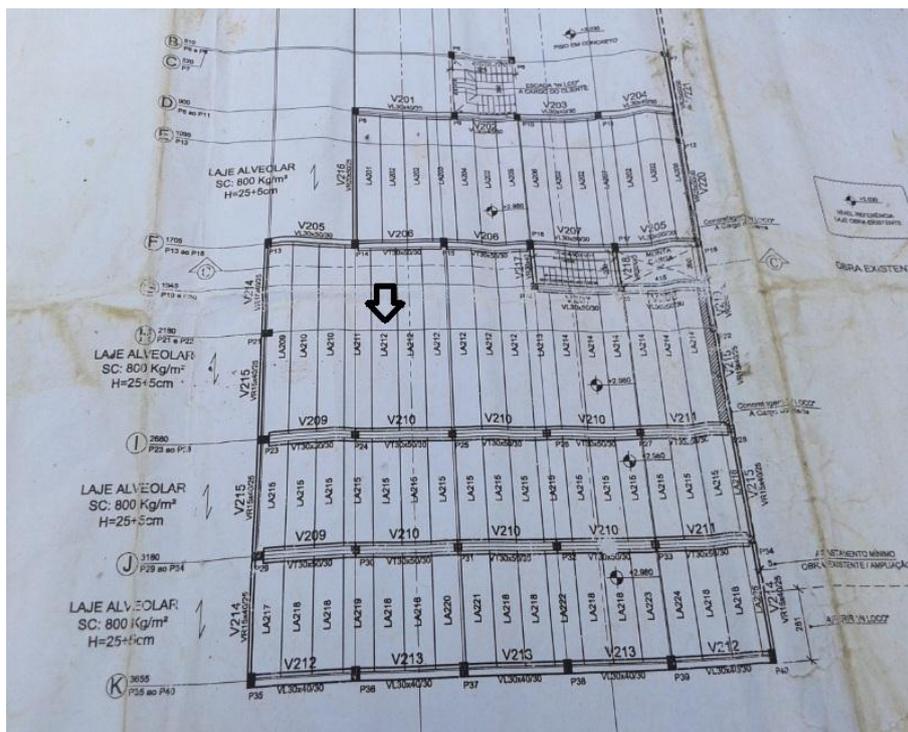
#### **4.1.2 Condições iniciais da obra**

Logo depois de concluído a montagem de pilares e vigas pré-moldadas da edificação, foi dado o início à execução dos processos para montagem da laje. Inicialmente foram verificados alguns tópicos, sendo eles:

- a) Disponibilização de projetos executivos;
- b) Equipamentos e ferramentas necessários para o período de execução da etapa;
- c) Treinamentos realizados.

Na Figura 34, é verificado o projeto executivo da laje alveolar acompanhada, os painéis são enumerados de acordo com cada laje. A seta está apontando para um painel que constitui a LA 212, que poderá ser vista com maior nitidez na figura 35.

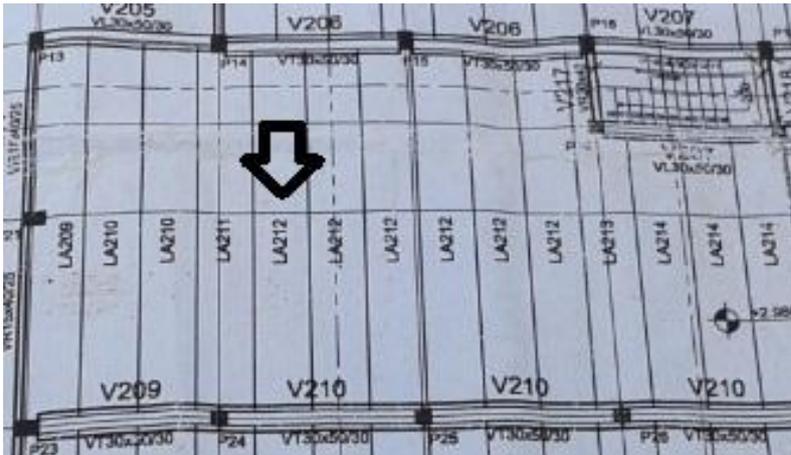
Figura 34 – Projeto de lajes pavimento térreo



Fonte: Elaborada pelo autor.

As lajes normalmente são formadas por painéis de mesmo tamanho. Como pode ser visto na Figura 35, a laje 209, é formada por um único painel, à sua direita a laje 210 é formada por dois painéis de mesmo tamanho, mais à direita temos a laje 211, novamente composto por um painel, este, por sua vez diferencia-se pelo recorte do pilar.

Figura 35 – Detalhe Projeto executivo dos painéis



Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 4.1.3 Locação do guindaste

Dentro da relação de equipamentos necessários, por ordem de importância, tem-se em primeiro lugar o guindaste. Para a escolha deste equipamento foi necessário calcular o peso das peças e verificar junto ao terreno o local de sua posição, a fim de verificar a distância de deslocamento das peças. Para esta obra a empresa destinou um guindaste com um braço de 50 m de alcance, como demonstra a Figura 36.

Para determinação do guindaste a ser utilizado, faz-se um estudo do terreno para determinar os locais de posicionamento das carretas que trazem os elementos pré-fabricados até a obra e a posição do guindaste, desta forma determina-se o seu tamanho ideal.

Figura 36 – Guindaste



Fonte: Do autor.

#### 4.1.4 Chegada dos painéis até a obra

As peças foram recebidas na obra em uma carreta, conforme a Figura 37, que entrou no terreno pelo acesso principal e estacionou próximo ao guindaste. Os painéis estavam dispostos em ordem sobre a carreta, de acordo com o projeto executivo, facilitando a montagem da laje.

Os painéis estavam dispostos espaçadamente para o transporte por meio de barrotes de madeira.

Figura 37 – Transporte e recebimento das peças



Fonte: Do autor.

#### 4.1.5 Içamento das peças

Para o início da montagem, o guindaste aproximou os cabos de aço, e, com o auxílio dos montadores posicionou estes cabos a aproximadamente 30 cm de cada extremidade, com a finalidade de evitar qualquer dano ao elemento, como demonstra a Figura 38.

Figura 38 – Fixação do painel para içamento



Fonte: Do autor.

Na Figura 39, pode ser visualizado o painel alveolar sendo içado, para sua disposição na laje.

Figura 39 – Painel sendo içado



Fonte: Do autor.

Na Figura 40 pode ser visto o painel alveolar sendo içado para o fechamento de laje do segundo pavimento.

Figura 40 – Painel colocado na laje do segundo pavimento



Fonte: Do autor.

#### 4.1.6 Montagem dos painéis

A montagem dos painéis é iniciada com a aproximação da peça, com o auxílio do guindaste, que será colocada na laje indicada pelo projeto. Todas as peças montadas foram demarcadas na fábrica: no detalhe da figura verifica-se esta demarcação na extremidade do painel; nesta demarcação consta o número de identificação da obra junto à empresa fabricante e o número da laje, conforme Figura 41.

Figura 41 – Posicionamento da peça



Fonte: Do autor.

Após a aproximação do painel, ocorre sua disposição sobre as vigas niveladas com auxílio manual dos montadores.

Figura 42 – Posicionamento do painel sobre as vigas



Fonte: Do autor.

Este procedimento parece simples, porém exige extremo cuidado para não haver o impacto entre o painel e as vigas. Após o posicionamento definitivo da laje os cabos são retirados.

Conforme pode ser visto nas Figuras 42 e 43 as lajes alveolares protendidas dispõem qualquer tipo de escoramento para seu processo de montagem.

Figura 43 – Ausência de escoramento



Fonte: Do autor.

#### 4.1.7 Processo de equalização dos painéis

Após a disposição de todas as lajes, deve ser realizado o processo de equalização das lajes, uma vez que, algumas lajes apresentam desníveis em relação às outras. Para realizar este nivelamento, foram utilizados torniquetes na parte superior que foram travados com barrotes de madeira cortados na face inferior e colocados entre os painéis. Na figura 44 verifica-se a face inferior de um painel com os torniquetes fixado.

Figura 44 – Torniquetes



Fonte: Do autor.

#### 4.1.8 Chaveteamento

O chaveteamento é responsável pela nivelção dos painéis (conforme pode ser visto na Figura 44), posteriormente é realizado o chanfro. O chanfro é o rejuntamento da laje, e, para sua realização as juntas foram limpas com água. Posteriormente, foi disposta no fundo do friso uma argamassa seca, com a finalidade de selar a junta, de modo que a nata de concreto utilizada para realização do chanfro, não escorresse para baixo.

De acordo com o responsável pela montagem é expressamente proibido transitar com cargas sobre as lajes durante pelo menos 24 h.

Figura 45 – Chaveteamento



Fonte: Do autor.

Após 48 h da concretagem do chaveteamento os torniquetes foram removidos, liberando a obra para as etapas seguintes. De acordo com o engenheiro da obra o rejuntamento permite a distribuição das cargas entre as lajes, permitindo a uniformidade dos painéis mediante solicitações adjacentes. Solicitações adjacentes ocorrem em painéis de momentos negativos diferentes.

#### **4.1.9 Capa de concreto**

Nesta laje será executada uma capa de concreto com a utilização de uma tela eletro soldada, porém este procedimento não pode ser acompanhado, pelo fato de não ter sido executado a tempo. A espessura da capa de concreto varia de acordo com o vão e a carga para que foi dimensionado.

A capa de concreto tem a finalidade de transmitir as cargas uniformemente para as lajes e dar acabamento a superfície. Em vãos menores onde a força de protensão também é menor dispensa-se a capa de concreto, podendo ser executado diretamente o contrapiso.

#### **4.2 Processo para execução de laje composta por painéis treliçados**

Os próximos itens trazem a abordagem dos processos inerentes à execução de laje painel treliçado. Primeiramente é identificada a obra e suas condições iniciais para execução, e posteriormente os procedimentos de execução.

#### **4.2.1 Identificação da obra**

A obra estudada é uma edificação pré-moldada, localizada na cidade de Estrela (RS), e que está sendo executada, pela empresa Vigas Pré-Moldados e Construções. A edificação possui dois pavimentos e é caracterizada por um subsolo e um térreo totalizando 3.046 m<sup>2</sup>.

Nesta obra foi acompanhada a execução de uma laje do tipo painel treliçado, Sendo desconsiderada a descrição de vigas e pilares.

#### **4.2.2 Condições iniciais da obra**

Logo depois de concluída a montagem de pilares e vigas pré-moldadas da edificação, foi dado o início da execução aos processos para montagem da laje. Inicialmente foram verificados alguns tópicos, que devem estar de acordo, sendo eles:

- a) Disponibilização de projetos executivos e complementares;
- b) Equipamentos e ferramentas necessários para o período de execução da etapa;
- c) Treinamentos realizados.

#### **4.2.3 Chegada de materiais para execução da laje**

Para execução da laje treliçada, foram necessários alguns materiais que fazem parte do seu processo de montagem. Antes da colocação dos painéis, é necessário receber as escoras para realização do cimbramento, EPS para disposição sobre os painéis, barras de aço para realização da armadura complementar negativa e madeira.

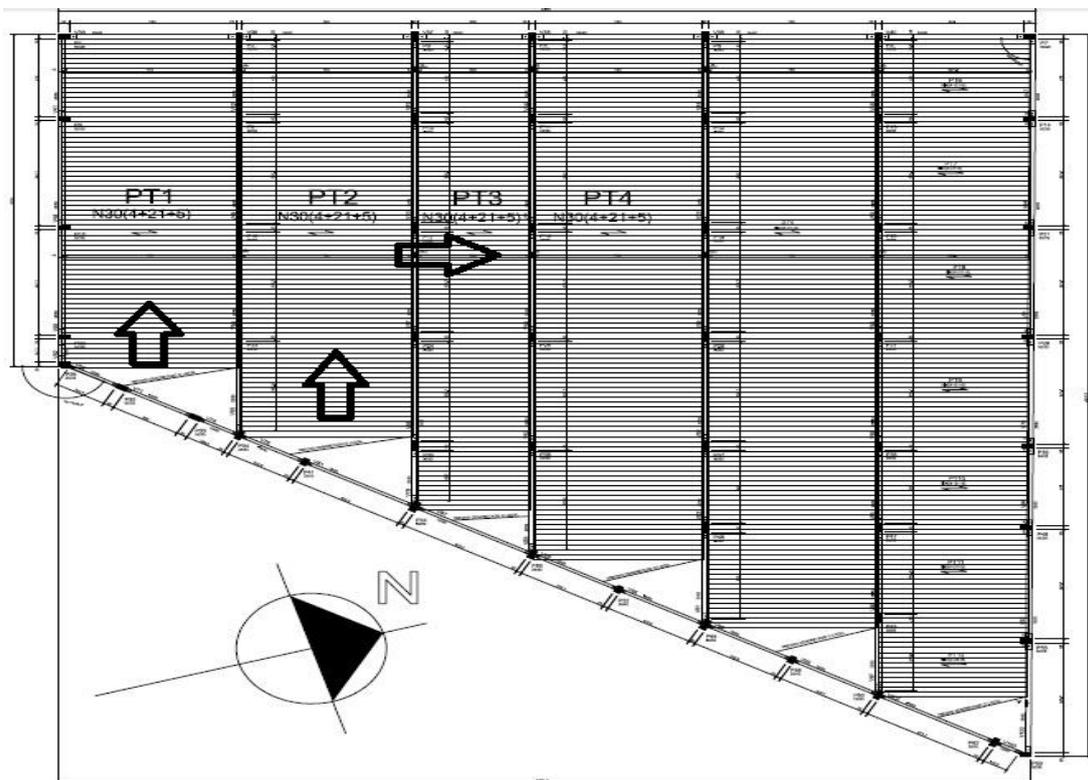
#### **4.2.4 Locação de guindaste**

Para execução desta laje a gerência da obra fez uso de um guindaste com alcance de 22 m.

#### 4.2.5 Montagem da laje

O início dos trabalhos se deu após um estudo da equipe de engenharia que traçou as diretrizes de montagem. Conforme as setas ilustradas na Figura 46 a montagem iniciou-se da esquerda para direita tomando como base a orientação da planta, sendo que primeiramente foi montado, escorado e concretado as duas lajes PT 1 e PT 2, e posteriormente PT 3 e PT 4. No entanto ao montar as lajes (PT 3 e PT 4) localizadas no meio do projeto, não foi possível remover o escoramento utilizado na primeira etapa. Somente para a execução da última etapa foi possível o reaproveitamento das escoras utilizadas na PT 1 e PT 2.

Figura 46 – Procedimento de execução da montagem



Fonte: Vigas Pré- moldados.

A montagem da laje teve início com a disposição do escoramento, a cada 1,5 m ao longo do menor vão da laje e ao longo do maior vão as escoras foram dispostas a cada 1,2 m.

Após o escoramento estar alinhado e fixado por meio de guias de madeira, ocorre o içamento dos painéis treliçados ou pré-lajes, conforme a Figura 47. De acordo com a aproximação da laje os movimentos do guindaste passam a ser auxiliado por montadores.

Figura 47 – Içamento dos painéis treliçados



Fonte: Do autor.

Os montadores aproximam a laje e alinham sobre as vigas niveladas, desta forma o guindaste inicia o encaixe do painel. Estes movimentos devem ser realizados com muito cuidado, tanto por parte do guindaste quanto pelos montadores, para que não haja impacto entre os dois elementos de concreto como pode ser identificado na Figura 48. Na mesma figura verifica-se que o painel treliçado sofreu algum impacto, que ocasionou o rompimento longitudinal do painel, o que não compromete o desempenho da laje, uma vez que, as armaduras treliçadas e complementares desempenham função individual, ou seja, por nervura.

Figura 48 – Disposição do painel sobre as vigas



Fonte: Do autor.

Após a colocação da laje entre os vãos, é realizado o ancoramento e posteriormente a disposição dos sistemas de enchimento. Na Figura 49, pode ser visto os painéis treliçados dispostos sobre o escoramento.

Figura 49 – Escoramento de laje treliçada



Fonte: Do autor.

#### 4.2.6 Preparação para concretagem da laje

Depois que as pré-lajes estão devidamente dispostas e o escoramento verificado, é iniciada a preparação para concretagem. As mestras foram colocadas nas extremidades da laje a ser concretada, com a função de reter o concreto sobre os painéis. A mestra neste caso, foi executada com uma tabua de 30 cm de largura, compondo a espessura da laje indicada no projeto, as mestras são demonstradas na Figura 50.

Figura 50 – Fixação das mestras



Fonte: Do autor.

Outra equipe ficou responsável pela colocação do EPS e a tela eletro soldada sobre os painéis, na Figura 51 pode ser visto o EPS disposto sobre os painéis.

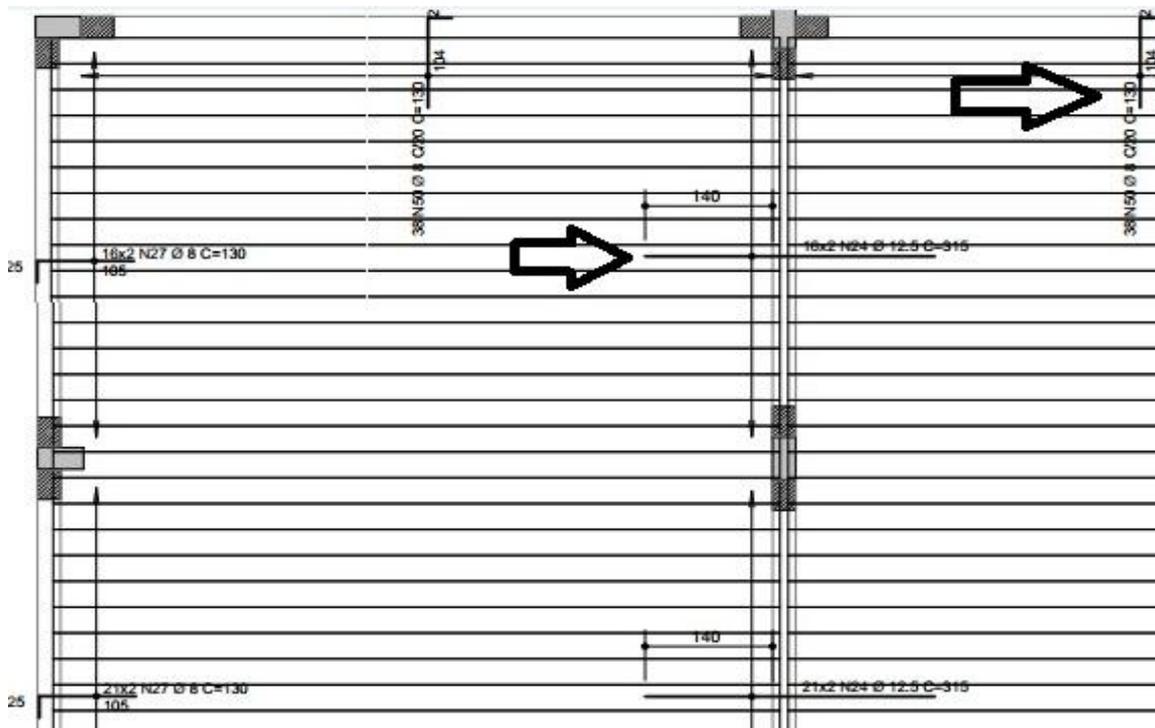
Figura 51 – Disposição do EPS



Fonte: Do autor.

O projeto estrutural indicou a necessidade da utilização de armadura negativa junto às extremidades da laje e nas continuidades. Esta armadura foi colocada sobre a tela eletro soldada e o EPS. Na Figura 52, verifica-se a indicação da armadura negativa.

Figura 52 – Projeto armadura negativa



Fonte: Vigas Engenharia

Depois de analisado o projeto por parte da equipe de montagem, as armaduras foram dispostas sobre o banzo superior das treliças, conforme a Figura 53.

Figura 53 – Armadura negativa



Fonte: Do autor.

#### 4.2.7 Concretagem da laje

Antes da concretagem foi realizada uma verificação da armadura negativa e disposição de passagens de esgoto pluvial. O concreto foi nivelado com o auxílio de uma régua vibratória. Na Figura 54 verifica-se o momento da concretagem.

Figura 54 – Concretagem da laje



Fonte: Do autor.

#### 4.2.8 Cura do concreto

No período de cura do concreto, foi necessário que a laje fosse molhada até formação de lamina de água, e assim, evitar trincas na superfície da laje concretada.

#### 4.3 Comparativo dos processos de executivos

Neste item realiza-se de forma resumida uma análise comparativa entre os processos executivos das lajes acompanhadas nesse estudo.

Quadro 2 – Comparativo dos processos de execução.

LAJES ALVEOLARES PROTENDIDAS	LAJES TRELIÇADAS COM PAINÉIS OU PRÉ-LAJE.	PROCESSOS IDENTIFICADOS PARA EXECUÇÃO DE CADA LAJE
X	X	Produção requer mão de obra especializada
X	X	Projeto executivo (fabricação e montagem)
X	X	Identificação das condições preliminares
	X	Estoque de materiais na obra
X	X	Necessidade de guindaste para montagem
	X	Elevador de carga
	X	Necessidade de escoramento
X	X	Necessidade de contratação de equipes terceirizadas
	X	Armadura complementar
X		Chaveteamento
X	X	Concretagem
X		Velocidade de execução/produtividade
X		Redução de processos no canteiro
X		Redução de resíduos na obra
X	X	Garantia de qualidade no produto final

Fonte: Elaborado pelo autor.

Alguns procedimentos de execução das duas lajes são semelhantes sendo eles: o projeto executivo, identificação das condições iniciais da obra, o transporte e o içamento das peças, contratação de equipes terceirizadas.

Verifica-se que ao executar lajes alveolares, o processo de escoramento e posteriormente a retirada do escoramento é dispensado, desta forma, ocorre uma economia de

materiais. Ainda referente a este processo, verifica-se que a dispensa de escoramento proporciona redução de entulhos na obra. Para execução dos painéis treliçados, é necessário que seja realizado um estoque de materiais na obra para armazenamento de aço, EPS e madeira.

No acompanhamento dos dois métodos executivos, ambos com vãos de até 8m, constatou-se que, foi dispensado o uso de qualquer tipo de armadura negativa *in loco* para execução da laje alveolar protendida. Entretanto, a laje composta por painéis treliçados necessita de armadura complementar disposta sobre a treliça para conter o momento negativo nas extremidades.

Para a execução das lajes compostas por treliças, foi utilizado um sistema de enchimento para redução do seu peso próprio. A colocação do EPS sobre a laje ocorreu manualmente.

Nos sistemas de laje alveolar protendido haverá a necessidade da concretagem *in loco* para regularização da laje. Neste processo, serão dispostas telas eletro soldadas para distribuição das cargas. Nos painéis treliçados estas telas eletro soldadas são dispostas sobre o EPS.

O sistema estrutural composto por lajes alveolares proporciona além de agilidade na execução, um elevado nível de industrialização, causando uniformidade no projeto, possibilitando vencer grandes vãos (graças à protensão, que é constituída de uma armadura ativa, aliada a um elemento de maior resistência e de peso próprio reduzido - alvéolos).

#### **4.4 Pesquisa de preço das lajes: Comparativo**

Foi realizada uma pesquisa de mercado para aquisição de lajes alveolares protendidas e painéis treliçados. Esta pesquisa foi realizada no mês de outubro de 2014 e buscou propostas para execução de uma laje, com a finalidade de estabelecer um comparativo de custos entre os dois sistemas estruturais. Foram consideradas para orçamento as seguintes condições:

- a) Localização na cidade de Lajeado/RS;
- b) Pé direito de 6 m;
- c) Área de 600 m<sup>2</sup>;

- d) Considera-se que no terreno existe espaço para locação e posicionamento do guindaste para montagem;
- e) No preço composto referente ao fornecimento de painéis treliçados estão inclusos o dimensionamento (projeto estrutural da laje), o frete, montagem com guindaste, EPS, armadura negativa, tela eletro soldada, colocação das mestras e todo o escoramento necessário, o concreto utilizado *in loco*, todos os equipamentos e ferramentas necessários para execução desta laje, bem como, a mão de obra necessária para montagem;
- f) No preço da aquisição das lajes alveolares para este projeto estão inclusos o dimensionamento (projeto estrutural da laje), o frete, a montagem com guindaste, o chaveteamento e rejuntamento para equalização das lajes, bem como, a mão de obra para execução destes serviços. Não está incluso caso for necessário, o fornecimento da armadura negativa e tela eletrosoldada, bem como o concreto do capeamento e mão de obra inerente a este serviço, pois nenhuma empresa procurada executa este serviço *in loco*.

Para a pesquisa realizada o autor procurou fabricantes dois sistemas estruturais estudados. Foram fixadas algumas condicionantes para que não haja diferença de um caso para o outro, considerando os mesmos agravantes para ambas e proporcionando assim um cenário adequado para pesquisa de custos. Nos orçamentos realizados foram solicitadas as seguintes situações de projeto:

Situação 1: Vãos de 6m, 8m e 10m, e uma carga accidental de 400 KN/m<sup>2</sup>.

Situação 2: Vãos de 6m, 8m e 10m, e uma carga accidental de 600KN/m<sup>2</sup>.

Desta forma obtiveram-se os seguintes resultados para cada situação, sendo que foram pesquisadas duas empresas para lajes alveolares e duas empresas para painéis treliçados, e assim, foi realizado o valor médio por m<sup>2</sup> para cada situação comparativa.

As pesquisas dos valores por m<sup>2</sup> do sistema estrutural lajes alveolares foram realizadas com as empresas Rotesma (Chapecó – SC, os dados foram fornecidos pelo Engenheiro Civil responsável pelas vendas) e Pré – concretos (Porto Alegre – RS, os dados foram fornecidos pelo Técnico em edificações, responsável pelo departamento de vendas). As pesquisas dos valores por m<sup>2</sup> do sistema estrutural painéis treliçados foram realizadas com as empresas

Vigas Pré – moldados (Lajeado – RS, os dados foram fornecidos pelo Engenheiro Civil responsável pelo departamento de vendas) e Vale Correa Pré – Moldados (São Leopoldo – RS, os dados foram fornecidos pelo Engenheiro Civil responsável pelo departamento de vendas). Nas tabelas comparativas abaixo, as empresas foram nominadas por “A” e “B” para preservar a imagem das mesmas.

Tabela 1 – Situação 1: Carga de serviço 400Kg/m<sup>2</sup> - Laje alveolar custo por m<sup>2</sup>.

Vão	A	B	Média ( R\$/m <sup>2</sup> )
Vão de 6m	R\$ 199,33	R\$ 247,00	223,16
Vão de 8m	R\$ 215,25	R\$ 255,00	235,13
Vão de 10m	R\$ 215,40	R\$ 265,00	240,20

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 2 – Situação 2: Carga de serviço 600Kg/m<sup>2</sup> - Laje alveolar custo por m<sup>2</sup>.

Vão	A	B	Média ( R\$/m <sup>2</sup> )
Vão de 6m	R\$ 205,33	R\$ 255,00	230,00
Vão de 8m	R\$ 215,25	R\$ 265,00	240,12
Vão de 10m	R\$ 231,40	R\$ 307,00	269,20

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 3 – Situação 1: Carga de serviço 400Kg/m<sup>2</sup> - Painel treliçado custo por m<sup>2</sup>.

Vão	A	B	Média ( R\$/m <sup>2</sup> )
Vão de 6m	R\$ 120,00	R\$ 152,35	R\$ 136,18
Vão de 8m	R\$ 135,00	R\$ 183,35	R\$ 159,18
Vão de 10m	R\$ 170,00	R\$ 217,35	R\$ 193,68

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 4 – Situação 2: Carga de serviço 600Kg/m<sup>2</sup> - Painel treliçado custo por m<sup>2</sup>.

Vão	A	B	Média ( R\$/m <sup>2</sup> )
Vão de 6m	R\$ 140,00	R\$ 162,35	151,17
Vão de 8m	R\$ 151,80	R\$ 202,35	177,07
Vão de 10m	R\$ 185,00	R\$ 233,35	209,17

Fonte: Elaborada pelo autor.

O autor destaca que existem vários fabricantes de painéis treliçados no Rio Grande do Sul, porém poucas as executam. Os valores para execução de laje painel treliçado montado conforme o cenário elaborado foi fornecido pelas empresas Vigas Pré – Moldados e Vale Correa Pré – Moldados Ltda. As demais empresas consultadas vendem o produto, mas não executam a montagem, desta forma, não seria parâmetro para o estudo comparativo

elaborado, bem como, estimar esta mão de obra para montagem proporcionaria uma pesquisa à parte.

Para realização do estudo comparativo, foi efetuada uma média aritmética do valor de Painéis treliçados, sendo assim, chega-se a tabela comparativa abaixo:

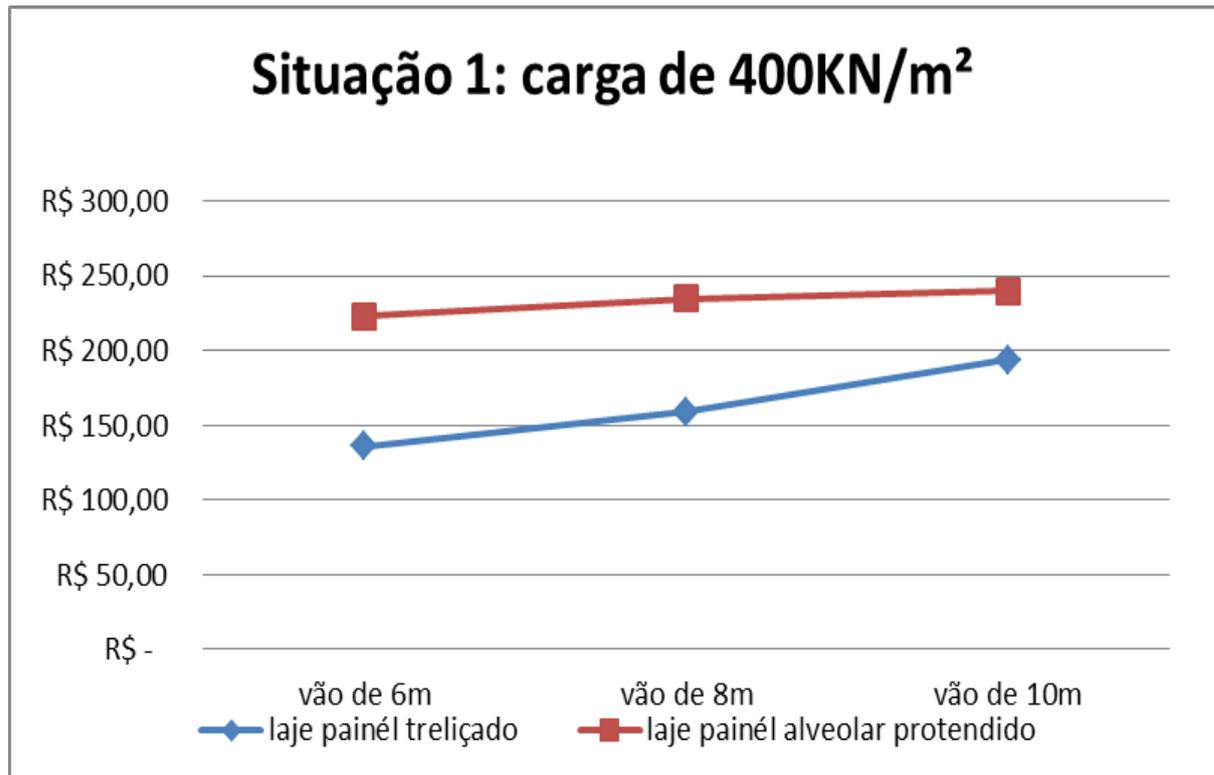
Tabela 5 – Situação 1: Carga de serviço 400Kg/m<sup>2</sup>

	Laje painel treliçado (R\$/m <sup>2</sup> )	Laje painel alveolar protendido (R\$/m <sup>2</sup> )
Vão de 6m	R\$ 136,18	R\$ 223,17
Vão de 8m	R\$ 159,18	R\$ 235,13
Vão de 10m	R\$ 193,68	R\$ 240,20

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na situação 1, verifica-se que a laje constituída de painéis alveolares teve um aumento de 7,6 % do vão de 10 m para o vão de 6 m. Por outro lado, a laje painel treliçado teve um aumento de 42% nesta relação. A evolução destes custos com o aumento dos vãos está ilustrada no gráfico 1.

Gráfico 1 – Comparativo dos custos para carga de 400KN/m<sup>2</sup>



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na segunda situação, a pesquisa apontou os seguintes valores médios, comparando os dois sistemas estruturais:

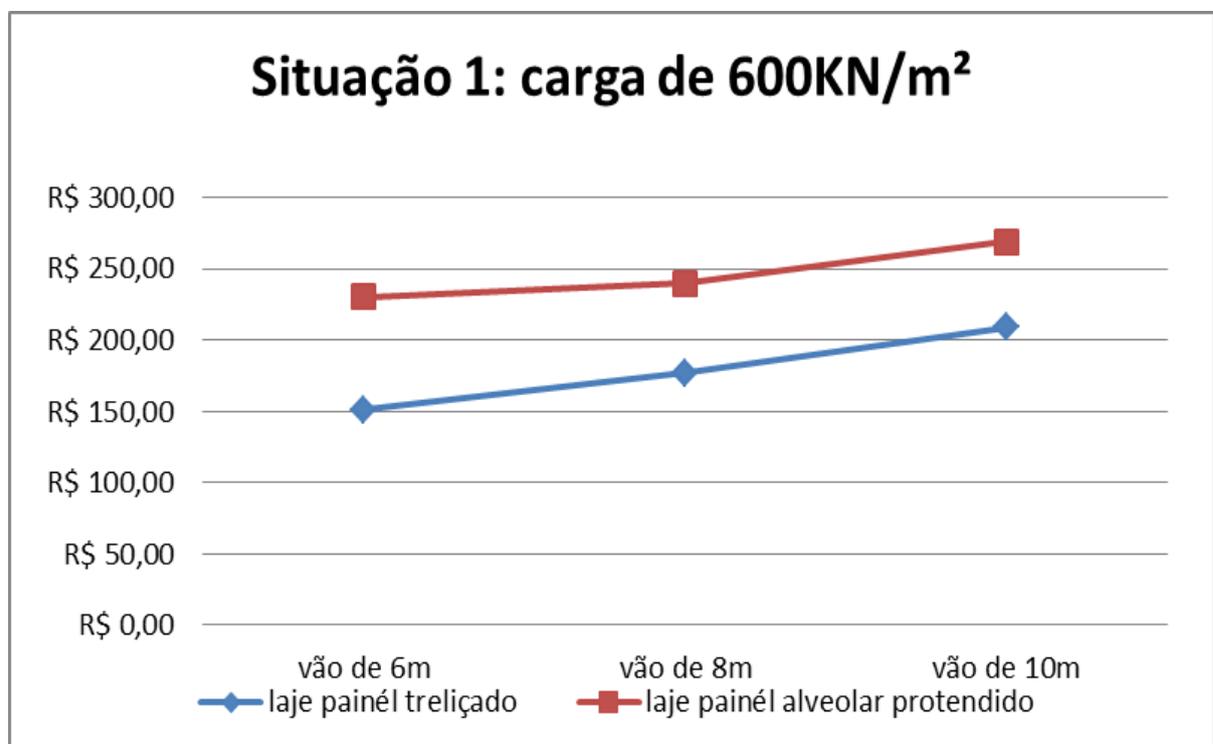
Tabela 6 – Situação 2: Carga de serviço 600Kg/m<sup>2</sup>

	Laje painel treliçado ( R\$/m <sup>2</sup> )	Laje painel alveolar protendido ( R\$/m <sup>2</sup> )
Vão de 6m	R\$ 151,18	R\$ 230,17
Vão de 8m	R\$ 177,08	R\$ 240,12
Vão de 10m	R\$ 209,18	R\$ 269,20

Fonte: Elaborada pelo autor.

Neste caso, verifica-se que a laje alveolar teve seu custo aumentado em 17% do vão de 10m em relação ao vão inicial, que era de 6m, já a laje painel treliçado teve um aumento de 38% nesta mesma relação. A evolução destes custos está demonstrado no gráfico 2.

Gráfico 2 – Comparativo dos custos para carga de 600KN/m<sup>2</sup>



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a pesquisa realizada e resultado da análise, verifica-se que as lajes compostas por painéis treliçados têm o custo mais baixo de modo geral. Porém o seu custo aumenta com o aumento dos vãos, e assim a diferença entre o custo por m<sup>2</sup> entre os dois sistemas estruturais fica menor.

É de suma relevância considerar que, o orçamento de painel treliçado considera a laje pronta, entretanto o painel alveolar necessita da capa de concreto que não foi considerada por nenhuma empresa consultada. Desta forma é relevante citar que, independente de qualquer vício e carga accidental, citada neste trabalho, deve ser considerado além dos valores nos quadros comparativos um acréscimo de R\$ 25,00/m<sup>2</sup> no custo dos painéis alveolares.

Apesar do custo da laje alveolar ser maior, o seu prazo de execução é reduzido em relação aos painéis treliçados. De acordo com as informações fornecidas pelas empresas, o prazo estimado para montagem de uma laje de 600 m<sup>2</sup> conforme a situação estabelecida é:

- a) Lajes painéis treliçados 20 dias incluindo a concretagem, desconsiderando a retirada do escoramento;
- b) Laje alveolar protendida 10 dias incluindo a retirada do chaveteamento. Caso necessário a capa de concreto, acrescenta-se a este prazo 2 dias.

Verifica-se que a definição para utilização de um sistema estrutural, ou outro, demanda uma análise minuciosa, e não pode ser considerados única e exclusivamente custos, estas decisões deverão ser tomadas juntamente com o cliente, verificando suas necessidades.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verifica-se que as duas técnicas possuem vantagens e desvantagens, porém, a execução de lajes alveolares reduz o número de processos construtivos *in loco*, proporcionando agilidade e assim, redução do prazo de entrega de uma obra.

As lajes painéis treliçados têm semelhanças no processo de execução, em relação às lajes alveolares, porém a necessidade de cimbramento e a preparação para concretagem *in loco*, tornam este processo menos eficiente.

Em relação aos custos, a pesquisa de mercado apontou que os painéis treliçados são a opção menos onerosa para realização da obra, entretanto, isto nem sempre deve ser levado em conta. Para execução de obras com cronogramas reduzidos, sugere-se a execução de laje alveolar protendida, principalmente na necessidade de vãos maiores, geralmente ocasionados em edificações comerciais ou industriais. Com o aumento dos vãos a diferença entre os custos diminuiu, desta forma, verifica-se que, para vãos de 10 m ou mais a laje alveolar torna-se a opção mais interessante.

A pesquisa foi considerada satisfatória, pois contemplou o processo de fabricação de cada sistema estrutural estudado, estabeleceu um comparativo dos processos de execução, proporcionando uma avaliação qualitativa, verificando vantagens e desvantagens das duas técnicas construtivas, indicando detalhes construtivos de cada método. E assim, aos profissionais e acadêmicos da área, proporcionou o entendimento necessário para opinar, escolher e executar projetos com estes sistemas.

As duas técnicas demonstram estar em fase de aprimoramento, sugere-se, que sejam elaborados manuais executivos para padronizar os processos de montagem estabelecendo parâmetros técnicos de montagem de cada sistema estrutural. Desta forma, o presente trabalho, não finda com as possibilidades de estudo entre estes sistemas estruturais, pelo contrário, muitos trabalhos poderão ser realizados e voltados para esta área. Sugere-se um estudo de dimensionamento para lajes treliçadas e alveolares verificando seu desempenho para diferentes vãos e cargas acidentais, a fim de complementar as conclusões já obtidas.

## REFERÊNCIAS

ACKER, Arnold Van. Entrevista: torres pré-moldadas. Publicado na revista *Téchne: A revista do engenheiro civil*. São Paulo: Ed PINI, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA DE CONCRETO (ABCIC). **Manual de sistemas pré-fabricados de concreto**. São Paulo, 2003. 129 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇO DE CONCRETAGEM DO BRASIL (ABESC). **Manual do Concreto Dosado em Central**. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.abesc.org.br/assets/files/manual-cdc.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2014.

\_\_\_\_\_. **Concreto auto adensável: fluidez plasticidades e custos reduzidos**. São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.abesc.org.br/tecnologias/concreto-auto-adensavel.html>>. Acesso em: 09 abr. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-14859-2: laje pré-fabricada – Requisitos Parte 1 Lajes Unidirecionais**. Rio de Janeiro, 2002. 15 p.

\_\_\_\_\_. **NBR-14859-2: laje pré-fabricada – Requisitos Parte 2 Lajes Bidirecionais**. Rio de Janeiro, 2002. 2 p.

\_\_\_\_\_. **NBR-14861: laje pré-fabricada – Pannel alveolar de concreto protendido - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2002. 5 p.

\_\_\_\_\_. **NBR-15575-2: edificações habitacionais – desempenho parte 2: requisitos para sistemas estruturais**. Rio de Janeiro, 2013. 32 p.

\_\_\_\_\_. **NBR-15575-3: edificações habitacionais – desempenho parte 3: requisitos para o sistema de pisos**. Rio de Janeiro, 2013. 40 p.

\_\_\_\_\_. **NBR-6118: projetos de estruturas de concreto - procedimento**. Rio de Janeiro, 2004. 221 p.

\_\_\_\_\_. **NBR-6120:** cargas para cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980. 5 p.

\_\_\_\_\_. **NBR-9062:** projeto e execução de estruturas em concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2001. 36 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (ABRAPEX). **O que é o EPS.** São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.abrapex.com.br/01OqueeEPS.html>>. Acesso em: 18 out. 2014.

BRUMATTI, Dioni O. **Uso de pré-moldados – Estudo e viabilidade.** Universidade Federal de Minas Gerais, 2008. Disponível em: <<http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/Monografia%20Dioni%20O.%20Brumatti.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2014.

CARVALHO, Roberto Chust. **Estruturas em concreto protendido:** cálculo e detalhamento. São Paulo: Ed PINI, 2012.

CASSOL pré-fabricados. São Paulo. Disponível em: <<http://www.cassolprefabricados.com.br/produtos.html>>. Acesso em: 05 mar. 2014.

CHARMAZ, Kathy. **A construção da teoria fundamentada:** guia prático para análise qualitativa. Porto Alegre: ARTMED, 2009.

DAL MOLIN, Denise Carpena; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. **Concreto Auto-adensável.** São Paulo: Ed PINI, 2008.

DINIZ, J. Z. F. Instituto Brasileiro de concreto. **Concreto e construções:** personalidade entrevistada. 2009. Disponível em: <[http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas\\_ibracon/rev\\_construcao/pdf/Revista\\_Concreto\\_53.pdf](http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf)>. Acesso em: 18 mai. 2014.

DUARTE, Jorge; BARROS, Antonio. **Métodos e técnicas de pesquisa em comunicação.** São Paulo: Atlas, 2008.

EL DEBS, Mounir Kalil. **Concreto pré-moldado:** fundamentos e aplicações. São Carlos-SP: Ed. EESC – USP, 2000.

FARIA, Renato. Estruturas prontas. Publicado na Revista Técnica: **A revista do engenheiro civil.** São Paulo: Ed PINI, 2008.

\_\_\_\_\_. Garantia de boa estrutura. Publicado na revista Técnica: **A revista do engenheiro civil.** São Paulo: Ed PINI, 2006.

FLICK, Uwe. **Introdução à pesquisa qualitativa.** Porto Alegre: ARTMED, 2009.

FÔRMA E FORMA, Indústria e fôrmas, moldes e equipamentos de movimentação. Jaraguá do Sul/SC. Disponível em: <<http://www.formaeforma.com.br/contato.html>> . Acesso em: 23 ago. 2014.

FRANÇA, Alessandra Aparecida Vieira. **Estudo das lajes alveolares pré-fabricadas em concreto protendido submetidas a ensaios de cisalhamento**. Curitiba, 2012. 136p. Dissertação (mestrado). – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil. Disponível em: <<http://www.prppg.ufpr.br/ppgcc/sites/www.prppg.ufpr.br/ppgcc/files/dissertacoes/d0174.pdf>> . Acesso em: 09 abr. 2014.

KILAJE, Lajes pré-fabricadas. **Montagem de lajes**. Lajes pré-fabricadas. Tanguá/RJ. Disponível em: <<http://www.kilaje.com.br/>>. Acesso em: 14 mai. 2014.

KUPERMAN, Selmo Chapira. Considerações sobre fluência dos concretos. Publicado na revista *Téchne*: **A revista do engenheiro civil**. São Paulo: Ed PINI, 2007.

LAJES PAULISTA: Manual técnico de lajes treliçadas. São Luiz-SP. Disponível em: <<http://www.lajespaulista.com.br/manual-tecnico>>. Acesso em: 07 set. 2014.

LAJES PAULISTA: Painéis treliçados. São Luiz-SP. Disponível em: <<http://www.lajespaulista.com.br/contato.php>>. Acesso em: 07 mai. 2014.

LEONARDI pré-fabricados: Aspectos gerais do sistema pré-moldado. Atibaia-SP, 2009. Disponível em: <<http://www.leonardi.com.br/aspectos-pre-moldado.html>>. Acesso em: 08 abr. 2014.

LOTURCO, Bruno. Fôrmas metálicas: industrialização máxima. Publicado na revista *Téchne*: **A revista do engenheiro civil**. São Paulo: Ed PINI, 2007.

MANUAL de vibração do concreto. Multiquip do Brasil, Rio de Janeiro-RJ, 2014. Disponível em: <[http://www.multiquip.com.br/download/2192010132234\\_788.pdf](http://www.multiquip.com.br/download/2192010132234_788.pdf)>. Acesso em: 18 out.2014.

MANUAL GERDAU DE LAJES. **Lajes com qualidade são construídas com produto Gerdau**. Disponível em: <[file:///E:/Meus%20documentos/Downloads/Gibi%20de%20Lajes%20Trel%C3%A7adas%20\(1\).pdf](file:///E:/Meus%20documentos/Downloads/Gibi%20de%20Lajes%20Trel%C3%A7adas%20(1).pdf)>. Acesso em: 18 out. 2014.

MARIN, Marcelo Cuadrado et al. 3º Encontro Nacional de Pesquisa-projeto-produção em concreto pré-moldado 16 p, 2013. **Aspectos técnicos referente a sistemática de controle e produção de laje alveolar de concreto pré-fabricado**. Disponível em: <<http://www.leonardi.com.br/resources/pdf/artigo-3enppp.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2014.

MELHADO, Silvio Burratino; SOUZA, Ana Lúcia Rocha de. **Projeto e execução de lajes racionalizadas de concreto armado**. São Paulo: Ed. O nome da Rosa, 2002.

NAKAMURA, Juliana. Economia concreta: elevar a resistência do concreto pode gerar ganhos de espaço, prazo e dinheiro. **Revista Eletrônica Pini Téchné**, São Paulo, Edição 115, nov. 2006. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/115/economia-concreta-apesar-da-falta-de-estudos-construtoras-acreditam-286357-1.aspx>>. Acesso em: 29 out. 2010.

ORDÓÑEZ, F. D. Instituto Brasileiro de Concreto v.59, p 22 a xx, 2010. **Concreto e Construções**. Disponível em: <[http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas\\_ibracon/rev\\_construcao/pdf/Revista\\_Concreto\\_59.pdf](http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_59.pdf)>. Acesso em: 25 fev. 2014.

PEDROSO, Fábio Luis. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. Publicado na revista Técnica: **A revista do engenheiro civil**. São Paulo: Ed PINI, 2007.

PETRUCELLI, Natalia Savieto. Programa de pós-graduação em construção civil. Universidade federal de São Carlos. **Considerações sobre projeto e fabricação de laje alveolar protendida**. São Carlos/SP. Dissertação de mestrado 106 f, 2009. Disponível em <[http://www.bdt.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=2829](http://www.bdt.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=2829)> . Acesso em: 25 mai. 2014.

PUMA, Armação Treliçada. **Manual de Fabricação de 1977 a 2002**. São Paulo/SP. 44 p, 2002. Disponível em: <<http://www.treliart.com.br/downloads/Manual%20de%20Fabricacao.pdf>> . Acesso em 27 ago. 2014.

ROMANINI, Lajes. **Montagem de lajes**. Indústria de lajes treliçadas. Piracicaba-SP. Disponível em: <<http://www.lajesromanini.com.br/montagemlajes.html>>. Acesso em: 17 mai. 2014.

SALVADOR, Paulo Fernando. **Alvenaria Estrutural**. Centro Universitário Univates Ciências Exatas e Tecnológicas – CETEC 4660 – Engenharia Civil, Lajeado, 2013. Disponível em: <[http://www.univates.br/virtual/file.php/8927/Notas\\_de\\_aula/Notas\\_de\\_aula\\_Alvenaria\\_Estrutural\\_2013-B.pdf](http://www.univates.br/virtual/file.php/8927/Notas_de_aula/Notas_de_aula_Alvenaria_Estrutural_2013-B.pdf)>. Acesso em: 30 out. 2014.

SERRA, S. M. B. et al. **Evolução dos pré-fabricados em concreto**. Universidade de São Paulo, 2005. Disponível: <[http://www.set.eesc.usp.br/1enppcpm/cd/conteudo/trab\\_pdf/164.pdf](http://www.set.eesc.usp.br/1enppcpm/cd/conteudo/trab_pdf/164.pdf)>. Acesso em: 09 set. 2013.

TATU pré-moldados. São Paulo. Disponível em: <<http://www.tatu.com.br/>>. Acesso em: 01 abr. 2014.

TRELIÇAS Nervuradas Belgo. Disponível em: <[https://www.belgo.com.br/produtos/construcao\\_civil/trelicas\\_nervuradas/pdf/trelicas\\_nervuradas.pdf](https://www.belgo.com.br/produtos/construcao_civil/trelicas_nervuradas/pdf/trelicas_nervuradas.pdf)>. Acesso em: 18 mai. 2014.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, 2010.

VIEIRA, Helio Flavio. **Logística aplicada à construção civil**: como melhorar o fluxo de produção nas obras. São Paulo: Editora Pini, 2006.