

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

LUCAS GOBBATO GONZATTI

**LAJES ALVEOLARES PROTENDIDAS DE CONCRETO *VERSUS* LAJES
CONVENCIONAIS: VIABILIDADE ECONÔMICA**

**CASCABEL - PR
2016**

LUCAS GOBBATO GONZATTI

**LAJES ALVEOLARES PROTENDIDAS DE CONCRETO VERSUS LAJES
CONVENCIONAIS: VIABILIDADE ECONÔMICA**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Orientador: Prof. Me. Eduardo Miguel
Prata Madureira**

**CASCADEL - PR
2016**

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois sem ele eu não conseguiria.

Ao meu pai, Darci Gonzatti, por ter me possibilitado essa jornada, e à minha mãe, Siloa Gonzatti, por ter sido o combustível durante o percurso.

Aos meus fiéis amigos Amauri Folmann Junior, Eduardo Celso e Leonardo Celso, por serem os irmãos que eu não tive.

Ao professor Eduardo Madureira, que me orientou e me incentivou desde o início a realizar este trabalho.

Aos meus colegas de classe, em especial ao meu parceiro Jeferson Zonin, que nunca mediu esforços para estar comigo nessa jornada, me ajudando, caminhando ao meu lado, tornando-se um amigo verdadeiro, o qual jamais esquecerei.

Aos engenheiros Paulo Daradda, Henrique Catuzzo e Lennon Ruhnke, da empresa Diarc Engenharia e Pré-moldados, por tudo que fizeram por mim, como também pelo presente trabalho. Também a cada funcionário da empresa com quem fiz amizade, pelo carinho e pelos bons momentos que passamos juntos.

Mas em todas as coisas somos mais do que vencedores, por meio d'Aquele que nos amou.

Romanos 8:37

RESUMO

A crescente evolução da construção civil, bem como suas técnicas construtivas possibilitaram ao homem desenvolver edifícios melhores, mais racionais e em menor tempo. Atrelado a essa evolução dos métodos construtivos, desenvolveram-se recursos computacionais através de *softwares* que propiciaram ao profissional engenheiro um ganho considerável em eficiência e confiabilidade quanto à análise estrutural; todavia, a definição quanto ao tipo de sistema estrutural como também as peculiaridades para cada projeto em questão ainda repousam sobre a responsabilidade do engenheiro de estruturas. Entre a ampla gama de opções atualmente disponíveis no mercado, este trabalho enseja proporcionar ao leitor uma análise quanto à viabilidade econômica de um edifício originalmente construído com o sistema de lajes alveolares protendidas de concreto comparado com outros dois sistemas largamente utilizados na esfera da construção civil brasileira: as lajes maciças de concreto e pré-moldada treliçada. Este edifício serviu como modelo de análise para os três sistemas citados. Primeiramente, os sistemas de lajes destacados neste trabalho foram citados individualmente, abordando as principais características, seu método executivo, vantagens e desvantagens. Posteriormente, foi realizada uma readequação estrutural do edifício através de um *software* de cálculo estrutural, objetivando a viabilização para os sistemas de lajes maciças e treliçadas e a obtenção dos respectivos materiais envolvidos tanto para as lajes quanto para os elementos estruturais adicionais. Isso possibilitou a realização de uma composição de custos que, por fim, serviu como referência para comparar os custos entre os sistemas entre as lajes. Após a realização da análise comparativa entre os sistemas abordados, concluiu-se que as lajes alveolares apresentaram um custo maior; no entanto, parâmetros envolvendo o Custo de Oportunidade devem ser levados em consideração quando se trata de uma tomada de decisão final.

PALAVRAS-CHAVE: Laje alveolar. laje maciça de concreto. laje pré-moldada treliçada. custos. viabilidade econômica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema estrutural	10
Figura 2 – Corte transversal de um exemplo de painel alveolar	11
Figura 3 – Fôrma deslizante	12
Figura 4 – a) Máquina extrusora b) Detalhe das hélices	13
Figura 5 – Exemplos de seções transversais dos elementos de laje alveolar	13
Figura 6 – Aplicação de desmoldante com pulverizador	14
Figura 7 – a) Cordoalhas ancoradas b) Protensão dos cabos.....	15
Figura 8 – Cura do concreto	16
Figura 9 – Serra de corte.....	17
Figura 10 – a) Içamento b) Posicionamento de um painel alveolar	18
Figura 11 – Detalhe de um torniquete	18
Figura 12 – Chave de cisalhamento entre dois painéis.....	19
Figura 13 – Capa estrutural de concreto moldado <i>in loco</i>	19
Figura 14 – Representação esquemática de um sistema estrutural com lajes maciças.....	21
Figura 15 – Fôrmas colocadas e limpeza geral.....	23
Figura 16 – Armaduras da laje e vigas	24
Figura 17 – Concretagem da laje maciça.....	25
Figura 18 – a) Lajes unidirecionais b) Lajes bidirecionais.....	28
Figura 19 – Vigota treliçada	28
Figura 20 – Laje com armação treliçada	29
Figura 21 – Detalhes do escoramento das lajes pré-moldadas treliçadas.....	31
Figura 22 – Ilustração de execução da contraflecha.....	32
Figura 23 – Locação dos elementos de enchimento	33
Figura 24 – Ilustração da nervura transversal de travamento	34
Figura 25 – Disposição da armadura de distribuição	34
Figura 26 – Detalhamento da armadura superior de tração.....	35
Figura 27 – Exemplo de armadura superior de tração.....	35
Figura 28 – Concretagem da laje pré-moldada treliçada	36
Figura 29 – Corte longitudinal da edificação	42
Figura 30 – a) Projeto de formas original b) Projeto de formas modificado.....	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparativo do volume de concreto (m^3) entre lajes maciça e treliçada	51
Gráfico 2 - Comparativo do peso do aço (Kg) entre as lajes maciça e treliçada.....	52
Gráfico 3 - Comparativo da área de fôrmas (m^2) entre as lajes maciça e treliçada.....	52
Gráfico 4 - Comparativo entre materiais entre os Sistemas 1 e 2.....	53
Gráfico 5 - Custos percentuais por material do Sistema 1	55
Gráfico 6 - Custos percentuais com o Sistema 2: lajes treliçadas	56
Gráfico 7 - Custos percentuais com o Sistema 3: lajes alveolares	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Simplificada de contraflecha para lajes treliçadas	32
Tabela 2 - Resumo dos quantitativos de materiais das lajes maciças.....	48
Tabela 3 - Resumo dos quantitativos das vigas adicionais do Sistema 1	48
Tabela 4 - Resumo dos quantitativos dos pilares adicionais do Sistema 1	49
Tabela 5 - Insumos totais utilizados no Sistema 1	49
Tabela 6 - Resumo dos quantitativos de materiais das lajes treliçadas	50
Tabela 7 - Resumo dos quantitativos das vigas adicionais do Sistema 2.....	50
Tabela 8 - Resumo dos quantitativos dos pilares adicionais do Sistema 2	50
Tabela 9 - Insumos totais utilizados no Sistema 2	51
Tabela 10 - Comparativo percentual entre os materiais dos dois Sistemas.....	53
Tabela 11 - Custos totais com o Sistema 1: lajes maciças.....	55
Tabela 12 - Custos totais com o Sistema 2: lajes treliçadas	56
Tabela 13 - Custos totais com o Sistema 3: lajes alveolares	57
Tabela 14 - Tempo necessário à execução do Sistema 1.....	58
Tabela 15 - Tempo necessário à execução do Sistema 2.....	59
Tabela 16 - Tempo necessário à execução do Sistema 3.....	59

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	4
1.1 INTRODUÇÃO	6
1.2 OBJETIVOS	6
1.2.1 OBJETIVO GERAL	6
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.3 JUSTIFICATIVA	6
1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	7
1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	7
CAPÍTULO 2	8
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1.1 Conceitos fundamentais para elaboração de projeto estrutural	8
2.1.2 Sistemas e elementos estruturais	9
2.1.3 Lajes alveolares	10
2.1.3.1 Definição e características do sistema	10
2.1.3.2 Processo construtivo	12
2.1.3.3 Processo de montagem em obra	17
2.1.3.4 Vantagens	20
2.1.3.5 Desvantagens	20
2.1.4 Laje maciça de concreto	21
2.1.4.1 Definição e características do sistema	21
2.1.4.2 Processo construtivo	22
2.1.4.3 Vantagens	26
2.1.4.4 Desvantagens	26
2.1.5 Laje treliçada pré-moldada	27
2.1.5.1 Definição e características do sistema	27
2.1.5.2 Processo construtivo	30
2.1.5.3 Vantagens	37
2.1.5.4 Desvantagens	37
2.1.6 A determinação dos Custos	37
2.1.6.1 Custos variáveis totais	38
2.1.6.2 Custos fixos totais	39
2.1.6.2 Custos de Oportunidade	39
CAPÍTULO 3	40
3.1 METODOLOGIA	40
3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa	41
3.1.2 Caracterização da amostra	41
3.1.3 Coleta de dados	43
3.1.4 Análise dos dados	43
CAPÍTULO 4	45
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
4.1.1 Descrição dos elementos estruturais e materiais utilizados	45
4.1.2 Dimensionamento das lajes maciça e lajes treliçadas pelo <i>software</i> de cálculo estrutural Eberick V8	46

4.1.2.1	<i>Software</i> de cálculo estrutural Eberick	46
4.1.2.2	Readequação estrutural	46
4.1.3	Verificação do consumo de insumos requeridos pelas duas lajes.....	48
4.1.3.1	Sistema 1: Lajes maciças	48
4.1.3.2	Sistema 2: Lajes treliçadas	49
4.1.4	Análise dos resultados obtidos	51
4.1.5	Levantamento dos custos por meio de composição unitária	54
4.1.5.1	Especificações adotadas para o cálculo dos custos	54
4.1.5.2	Custos do Sistema 1: Lajes maciças	54
4.1.5.3	Custos do Sistema 2: Lajes treliçadas	35
4.1.5.4	Custos do Sistema 3: Lajes alveolares	56
4.1.6	Estimativa do tempo de execução	57
CAPÍTULO 5		60
5.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
CAPÍTULO 6		62
6.1	SUJESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	62
REFERÊNCIAS		63

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

Vive-se um período de incertezas por todo o País, marcado por uma grave crise econômica em que diversos segmentos industriais demonstram preocupação quanto ao futuro. O ano de 2016 está se tornando um tempo de indefinições políticas, inflação e desemprego crescentes, recessão econômica, deterioração fiscal, entre outros. Em um cenário conturbado como este, o Produto Interno Bruto (PIB) da construção civil registrou, em 2015, a maior queda em doze anos, cerca de 7,6%, considerada a segunda mais expressiva, atrás apenas do ano de 2003 (-8,9%) (CBIC, 2016).

Segundo a CBIC (2016), para que a economia volte a crescer, é necessário poder contar com o retorno da confiança dos empresários e consumidores, mas para tanto, é preciso uma sinalização efetiva de que a economia voltará ao rumo certo, com as contas públicas e inflação controladas, em uma esfera macroeconômica. Keynes (1996) evidencia a importância das expectativas na atividade econômica – boas expectativas motivam os empresários a investir e consumidores a adquirir produtos. Para o renomado economista, cabe aos governos, em todas as suas esferas, gerar boas expectativas para que o mercado faça a sua parte.

Trazendo para o âmbito da construção civil, talvez uma das melhores maneiras de driblar todo esse cenário adverso no Brasil se dê pelo investimento e estudos referentes ao tema da produtividade. Novas tecnologias vêm sendo criadas e evoluídas nesse segmento, rompendo a dependência do usual para métodos mais rápidos e racionais. Um bom exemplo é a indústria de pré-fabricados.

De acordo com Vasconcelos (2002), não é possível ter com exatidão a data em que se começou a usar elementos pré-moldados. O próprio nascimento do concreto armado ocorreu com a pré-moldagem de elementos, fora do local de seu uso, logo é possível afirmar que a pré-moldagem começou com a invenção do concreto armado. Contudo Salas (1988) evidencia que tal tecnologia foi amplamente usada no período após a Segunda Guerra Mundial, oriunda da necessidade de reconstrução massiva, de forma rápida.

Nos últimos anos, muito se tem investido no mercado da construção civil. A busca por um padrão de qualidade mais rigoroso, com maior produtividade e redução dos desperdícios são fatores que impulsionam o crescimento das indústrias de pré-fabricados no País. Estas constituem alternativas para acabar com os problemas dos elementos moldados *in*

loco, que, em função da lentidão dos processos e de uma preocupante falta de mão de obra especializada, torna-se, por vezes, ineficiente.

Cada vez mais as construções vêm evoluindo, sobretudo em tamanho. Um dos problemas enfrentados nesse avanço é a necessidade de vencer grandes vãos, no que a utilização das lajes convencionais maciças se mostrava inviável, antieconômica. Isso foi o pontapé para o surgimento de novos sistemas estruturais, acompanhados de modernos *softwares* que tornam os dimensionamentos mais refinados e precisos. Importa ressaltar também a evolução tecnológica que os materiais empregados na construção civil vêm sofrendo, em especial o aço e o concreto, que passaram a ter maior resistência, possibilitando-lhes um significativo aumento em eficiência.

O setor dos pré-fabricados vem ganhando força no Brasil não apenas por sua eficiência, mas também pela qualidade empregada nos produtos que só uma indústria moderna, dotada de tecnologia computadorizada e trabalhadores especializados é capaz de fornecer. Assim o produto final é otimizado mediante a racionalidade das tarefas, resultando em ganho de durabilidade, desempenho estrutural e versatilidade (SERRA, FERREIRA e PIGOZZO, 2005).

Um ditado popular afirma que “tempo é dinheiro”, e quando se trata de reduzir o tempo de execução de um serviço, os pré-fabricados podem ser uma ótima solução. Neste trabalho, o destaque será para a laje alveolar protendida, escolhida entre a ampla gama de opções atualmente presentes no mercado. É uma laje constituída de painéis de concreto protendido que possuem seção transversal com altura constante e alvéolos longitudinais, responsáveis pela redução do peso da peça. Esse tipo de estrutura traz consigo diversas vantagens, como facilidade de transporte, eliminação do cimbramento, simplicidade e rapidez de montagem, maior qualidade e confiabilidade e economia. Tal perspectiva fica ainda mais interessante pois dispensa quase totalmente os serviços de armação, carpintaria, revestimentos e estocagem, favorecendo, assim, até o canteiro de obras com uma logística mais precisa.

Por meio deste trabalho, pretende-se verificar a viabilidade econômica deste tipo inovador de laje comparando-a com os sistemas de lajes maciças de concreto e lajes treliçadas.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Comparar os custos entre o emprego de estrutura de lajes maciças de concreto, laje pré-moldada treliçada e lajes alveolares protendidas.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar quantitativamente os materiais empregados nos sistemas convencionais, dando subsídios para uma composição de custos;
- Verificar alternativa mais vantajosa, considerando os três sistemas de lajes propostos.

1.3 JUSTIFICATIVA

A necessidade de acompanhar a evolução das edificações fez com que muitos recursos fossem investidos no desenvolvimento de novos métodos construtivos, tecnologias e melhoramento dos materiais, com o intuito de atender às necessidades de edificação. As lajes alveolares protendidas, por se tratarem de um sistema relativamente novo em âmbito brasileiro, ainda carregam consigo dúvidas quanto ao seu emprego. À vista disso, houve interesse em realizar um comparativo financeiro entre este tipo de laje e outros dois tipos tradicionais, as lajes maciças de concreto e as pré-moldadas treliçadas, ambas muito utilizadas no País.

Para fins científicos, espera-se com este trabalho remover dúvidas sobre o sistema estrutural de lajes alveolares e romper alguns paradigmas quanto ao seu uso, uma vez que o conhecimento sobre essa tecnologia ainda é pouco difundido.

Para a realização da pesquisa, foi utilizado como base um edifício modelo, no qual foram analisados os quesitos quantitativos e a viabilidade econômica das três estruturas citadas anteriormente, de modo a evidenciar as diferenças entre os sistemas estruturais, servindo como referencial para a escolha mais adequada.

Como se trata de assunto pouco explorado na esfera de trabalhos acadêmicos, o autor almeja contribuir com conhecimentos técnicos, científicos e informativos, contemplando a comunidade e a instituição de ensino.

1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Até que ponto é economicamente viável o emprego de técnicas tradicionais como a laje maciça de concreto e a pré-fabricada treliçada em relação a soluções inovadoras como a laje alveolar protendida?

1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Para a elaboração da análise econômica, foi utilizado, como modelo, um edifício cedido pela empresa Diarc Engenharia e Pré-Moldados. Localizado no centro da cidade de Cascavel, no Paraná, fora edificado originalmente para fins comerciais. Compõe-se de dois pavimentos, térreo e primeiro pavimento, totalizando uma área equivalente a 556,88 metros quadrados (m²).

O edifício foi construído com lajes alveolares protendidas, servindo de referência econômica e quantitativa dos insumos empregados. Com base nos dados apurados, parte-se para as estimativas com lajes maciças de concreto e com as pré-moldadas treliçadas, ambas vastamente empregadas nas obras brasileiras.

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram considerados os quantitativos de materiais empregados com os sistemas de lajes maciça e treliçada, bem como dos elementos estruturais adicionais necessários para a readequação estrutura, desconsiderando os blocos de fundação e a fundação propriamente dita.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Conceitos fundamentais para elaboração de projeto estrutural

A finalidade primária do esqueleto humano é sustentar o organismo. De modo análogo, atribui-se à estrutura de uma edificação responsabilidade semelhante, a qual deve garantir, de acordo com a destinação do imóvel, atributos como eficiência e resistência, capazes de absorver os esforços originários das ações atuantes na estrutura. Corrêa (1991) aponta que a questão da estrutura tem como característica principal a complexidade, que decorre do número de variáveis presentes e da multiplicidade de soluções possíveis.

É por isso que Albuquerque (1999) esclarece que, de posse do projeto arquitetônico, faz-se um estudo preliminar das soluções estruturais cabíveis, sendo estas analisadas por uma equipe multidisciplinar. O arquiteto então apresentará as restrições que devem ser observadas para que não se percam aspectos como a funcionalidade e estética do seu projeto, o engenheiro de instalações posicionará as tubulações, o construtor informará os recursos técnicos disponíveis para a construção e, por fim, o incorporador estabelecerá a viabilidade financeira do investimento. Albuquerque (1999) afirma ainda que tais prerrogativas importantíssimas surgiram recentemente com a introdução do conceito de qualidade total denominado compatibilização de projetos.

De maneira geral, a estruturação de um edifício se dá pelo pavimento-tipo, iniciando-se com a locação dos pilares, que deve seguir a seguinte ordem: pilares de canto, pilares nas áreas comuns a todos os pavimentos (área de elevadores e escadas, se houver) e onde estarão localizados, no pavimento de cobertura, a casa de máquinas (se houver) e reservatório, pilares de extremidade e, por último, os pilares internos (NERVO, 2012).

Deve-se atentar ainda para a disposição dos pilares com relação aos demais pavimentos, verificando se estes não entram em conflito com a arquitetura – caso haja, é necessário um estudo de possibilidade a fim de sanar as necessidades estruturais relacionadas com a arquitetura. Esse é um problema muito encontrado em garagens de edifícios, onde se deve ser garantir ao usuário condições para manobrar seu veículo.

Passando para as vigas, Nervo (2012) nos diz ainda que a colocação delas vai depender do tipo de laje que será empregada, uma vez que as vigas delimitam o contorno das lajes. Devem-se colocar as vigas no alinhamento das alvenarias e começar a definir as vigas externas do pavimento. Além daquelas que ligam os pilares que constituem os pórticos, outras vigas podem ser necessárias para dividir um painel de laje com grandes dimensões (ALBUQUERQUE, 1999).

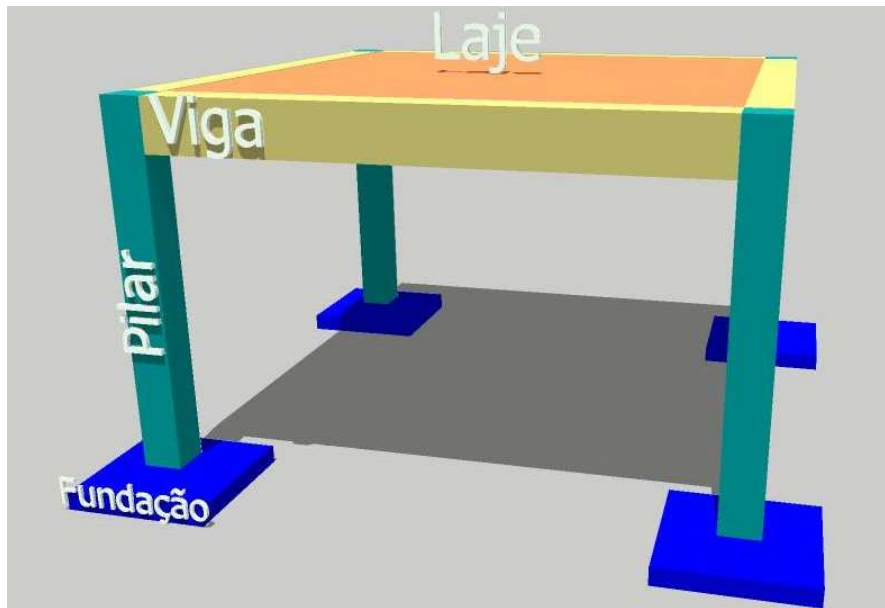
2.1.2 Sistemas e elementos estruturais

Um sistema estrutural pode, de modo geral, ser definido como a disposição racional e adequada de diversos elementos estruturais. Estes, por sua vez, são corpos sólidos, deformáveis, com capacidade de receber e transmitir solicitações em geral (BARALDI, 2010).

A análise de uma estrutura como um todo é, de certa forma, complexa e difícil. Por essa razão, para montar modelos físicos e matemáticos para uma análise estrutural, emprega-se a técnica de discretização (CARVALHO e PINHEIRO, 2013).

Tal conceito pode ser observado na Figura1, uma representação bem usual de um esquema estrutural tradicional. Nela podemos observar, num primeiro momento, a laje suportando seu peso e as demais cargas acidentais, transmitindo os esforços para as vigas. As vigas então descarregam os esforços (inclusive seu peso próprio) para os pilares, que por sua vez, recebem todas as cargas, transmitindo-as para a fundação.

Figura 1 – Esquema estrutural



Fonte: Caio (2014), adaptado pelo autor.

2.1.3 Lajes alveolares

2.1.3.1 Definição e características do sistema

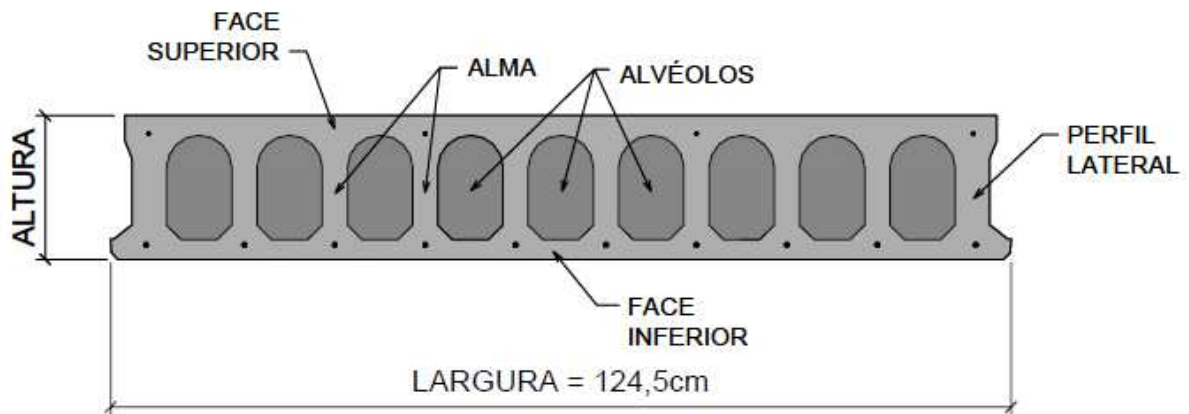
A NBR 14861 (ABNT, 2011) define laje alveolar como uma peça de concreto produzida industrialmente, fora do local de utilização definitiva, sob rigorosas condições de qualidade. Para França (2012), ela pode ser caracterizada por presença de armadura longitudinal ativa, que engloba totalmente a armadura inferior de tração necessária, e por ausência de armadura transversal de cisalhamento. A seção transversal é alveolar, com a presença de almas de concreto e alvéolos.

As lajes alveolares são produzidas em fôrmas metálicas com comprimentos que podem chegar a 200 m, muito em razão do espaço disponível na fábrica. Nelas há trilhos para que a máquina possa se deslocar (FRANÇA, 2012).

Catoia (2011) explica que os cabos de protensão inicialmente são dispostos sobre as pistas e, a seguir, são protendidos com tensão previamente estipulada em projeto. Com esta etapa concluída, realiza-se a ancoragem das cordoalhas nas cabeceiras das pistas, próprias para essa finalidade.

Pode-se perceber, então, que a pré-tração nas armaduras é feita anteriormente à concretagem, de modo que a protensão se dá pela aderência do concreto com a armadura, após seu endurecimento (PETRUCELLI, 2009).

Figura 2 – Corte transversal de um exemplo de painel alveolar



Fonte: Tatu Pré-Moldados (2005).

As primeiras lajes alveolares foram desenvolvidas na década de 1950 na Alemanha, quando evoluíram as técnicas de proteção em longas pistas, todavia, nos trinta anos subsequentes, os métodos construtivos pouco mudaram. Foi então que, no ano de 1980, diversas pesquisas relacionadas ao tema começaram a ser realizadas na Europa, e elas conduziram a um avanço tecnológico que resultou em um processo de produção mais econômico, com espessuras maiores que 300 milímetros. Não demorou muito para a produção desse tipo de laje se espalhar pelos Estados Unidos (CATOIA, 2011).

Nos dias de hoje, a tecnologia que envolve a produção das lajes alveolares é bem desenvolvida e consolidada. Fato é que corresponde a um dos mais avançados tipos de unidades pré-moldadas, com milhões de metros quadrados produzidos anualmente, sendo a América do Norte e Europa Ocidental seus maiores mercados.

Tamanho sucesso pode ser atribuído às inúmeras vantagens que esse sistema traz consigo – não apenas no âmbito estrutural, já que o mais significativo se dá no âmbito temporal. A Tatu Pré-Moldados, empresa que atua no segmento de fabricação desse tipo de laje, traz um dado interessante; segundo a empresa uma equipe de três operários pode chegar, sem dificuldade, a 50 m² por hora, o que equivaleria a 400 m² em oito horas de trabalho. Some-se a isso a extrema adaptabilidade desse tipo de laje aos mais diversos sistemas estruturais, como estruturas metálicas, de madeira, de concreto moldado *in loco*, entre outros (TATU PRÉ-MOLDADOS 2005).

Trazendo para o âmbito brasileiro, Catoia (2011) observa que as lajes alveolares começaram a surgir por aqui em meados dos anos 1980, obtendo sua consolidação em 2001, acompanhando o crescente emprego das estruturas pré-moldadas.

2.1.3.2 Processo construtivo

De acordo com a NBR 14861 (ABNT, 2011) as lajes alveolares são executadas basicamente por dois métodos: por fôrmas fixas ou produzidas por equipamentos como máquinas extrusoras ou moldadoras, sendo a execução com máquina o processo mais utilizado.

A produção por meio de máquinas se divide em dois tipos: por fôrmas deslizantes ou por extrusão. Na primeira, as unidades de laje alveolar são feitas a partir do deslizamento da fôrma (Figura 3). A fabricação ocorre em várias camadas de concreto, lançado em dois ou quatro estágios, e sua compactação se dá por vibradores localizados externamente à máquina. O concreto utilizado nesse processo tem maior trabalhabilidade em comparação com o da extrusão (CATOIA, 2011).

Figura 3 – Fôrma deslizante



Fonte: Catoia (2011)

De acordo com Costa (2009), na fabricação por extrusão, o concreto é empurrado para a pista pela máquina, de modo que é necessário apenas um estágio de lançamento e compactação do concreto. Os alvéolos formam-se pela compactação do concreto por tubos

helicoidais. O concreto utilizado nesse processo tem o seu *slump* baixo, ou seja, pouca presença de água em sua composição.

Figura 4 – a) Máquina extrusora b) Detalhe das hélices



a)

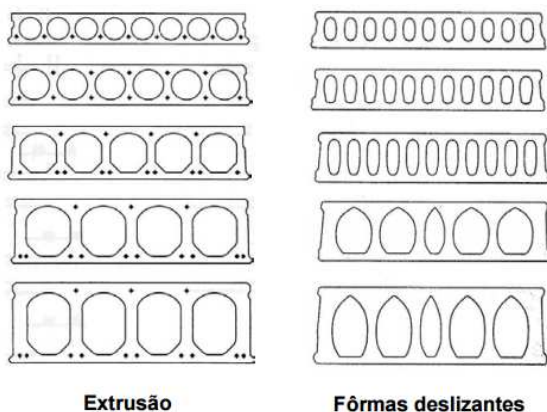


b)

Fonte: Edekling (2006 *apud* Costa 2009).

Existem variações quanto ao formato da seção transversal das lajes alveolares. As principais características que diferem cada tipo são: altura, largura, quantidade de cordoalhas e formato dos alvéolos, sendo que este é definido em função do tipo de máquina utilizada no processo produtivo. Essas variações podem ser observadas na Figura 5.

Figura 5 – Exemplos de seções transversais dos elementos de laje alveolar



Fonte: Costa (2009)

Por ser o processo de extrusão o processo mais utilizado na fabricação das unidades das lajes alveolares, descrevem-se as etapas fundamentais de sua fabricação. Petrucelli (2009) delimita algumas das principais etapas, que serão citadas a seguir:

Etapa 1: Preparação das pistas

As fôrmas devem estar isentas de qualquer tipo de sujeira para que se possa aplicar o desmoldante. Este pode ser aplicado de várias maneiras, podendo ser espalhado com enceradeira, rolos com espuma ou pulverizadores (Figura 6).

Figura 6 – Aplicação de desmoldante com pulverizador



Fonte: Petrucelli (2009)

Ao se optar pela aplicação do desmoldante com pulverizador, é muito importante que as cordoalhas fiquem protegidas do produto, uma vez que a presença deste na cordoalha pode afetar a aderência entre aço e concreto.

Etapa 2 – Posicionamento dos cabos e Protensão

Após a pista estar apta, os cabos de protensão podem ser posicionados. As bitolas das cordoalhas bem como a tensão a ser aplicada devem respeitar os preceitos estipulados em projeto (Figura 7).

Os cabos então são presos através de cunhas, localizadas nas extremidades das cabeceiras. São chamadas de “cunhas ativas” aquelas que recebem a protensão, as quais são responsáveis pela ancoragem e, na outra extremidade, alocam-se as “cunhas passivas”.

Figura 7 – a) Cordoalhas ancoradas b) Protensão dos cabos



a)



b)

Fonte: Catoia (2011)

Etapa 3 – Lançamento do concreto e Produção das lajes

A produção das lajes se dá de forma contínua por meio de equipamentos específicos. Cada método construtivo apresenta suas próprias peculiaridades. Vale ressaltar que o sistema abordado será o processo por meio de máquina extrusora.

O processo de vibração e compactação permite que o concreto seja expulso pelo equipamento e comprimido nas paredes do molde.

No processo por extrusão, o concreto utilizado possui uma relação água/cimento (a/c) muito baixa, em torno de 0,30 a 0,40, garantindo elevadas resistências. Por se tratar de um concreto considerado seco, existe a necessidade de se fazer um estudo bem detalhado de seu comportamento.

Os ensaios empregando corpos-de-prova devem atender ao item 5.2.4.2 da NBR 14861 (ABNT, 2011), especificando que os ensaios têm de ser realizados com o concreto destinado à concretagem de cada pista e sempre que houver alteração no proporcionamento dos materiais, ou paralisação e posterior retomada dos trabalhos.

Geralmente a empresa fabricante desse tipo de laje conta com uma central própria de produção do concreto. Depois de ser produzido, o concreto é depositado em caçambas que, por sua vez, são levadas à máquina por carrinhos ou por pontes rolantes.

Etapa 4 – Marcação dos painéis, Recortes e Cura

Os recortes são feitos ainda na pista, com o concreto ainda fresco, se for preciso. Geralmente o recorte ocorre junto aos pilares e também quando há necessidade de adequá-los ao projeto arquitetônico.

A cura das lajes pode ser cura a vapor, cura térmica ou cura simples, sendo a última o processo geralmente adotado pelas empresas, que se dá pelo uso de uma lona plástica (Figura 8).

Figura 8 – Cura do concreto



Fonte: Mizumoto, Marin e Silva (2013)

Etapa 5 – Liberação da protensão e Corte

Só se pode permitir a liberação da protensão se os corpos-de-prova executados para a pista em questão apresentam o valor mínimo de resistência estipulado em projeto. Essa etapa merece atenção especial, uma vez que, se tal valor de resistência não for respeitado, corre-se o risco de haver escorregamento das cordoalhas e, principalmente, problemas com tração nas peças.

Os cortes são feitos por serras potentes (Figura 9), dotadas de disco adiamantado.

Figura 9 – Serra de corte



Fonte: Mizumoto, Marin e Silva (2013)

Etapa 6 – Içamento e Estocagem

Depois de prontas, as lajes podem ser retiradas da pista por meio de um sistema de garras acopladas à ponte rolante, podendo ser encaminhadas à estocagem ou carregadas em caminhões para entrega na obra.

Não devem ser depositadas diretamente sobre o solo, mas sim sobre apoios de madeira. É preciso atentar para a disposição desses calços, que devem ser alinhados para que as lajes não descarreguem seu peso próprio nas demais.

No empilhamento, é importante respeitar seu limite máximo, que varia de acordo com o peso e espessura das lajes.

2.1.3.3 Processo de montagem em obra

A montagem das lajes alveolares na obra é considerada a mais simples e rápida dentre os elementos pré-fabricados (PETRUCELLI, 2009).

Some-se a isso a simplicidade de montagem. Segundo a empresa Tatu Pré-Moldados (2005), atuante no segmento, serviços como carpintaria, armação, além do recebimento, estoque, transporte e manuseio de todos os materiais envolvidos nessas etapas, são eliminados quase totalmente.

Geralmente quem faz a montagem das lajes é a própria empresa fabricante, disponibilizando até mesmo o guindaste para seu içamento. Depois de o caminhão chegar à obra, as lajes são içadas e posicionadas sobre as vigas previstas (Figura 10), respeitando a medida de apoio, conforme o projeto estrutural.

Figura 10 – a) Içamento b) Posicionamento de um painel alveolar



a)



b)

Fonte: Petrucelli (2009)

Posteriormente à sua deposição nas vigas, há a necessidade de equalizar as lajes; para tanto, utiliza-se um sistema de torniquetes, como ilustrado na Figura 11.

Figura 11 – Detalhe de um torniquete

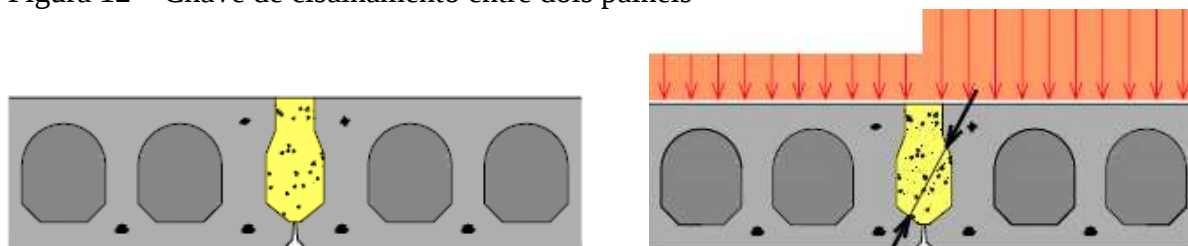


Fonte: Catoia (2011)

As juntas longitudinais devem ser preenchidas com concreto, grout ou argamassa (Figura 12). A tal procedimento se dá o nome de chaveteamento, cujo objetivo é efetivar a solidarização e a transmissão dos esforços cortantes entre as lajes (ABNT 2011).

A Tatu Pré-Moldados (2005) complementa que o chaveteamento estabelece uma colaboração entre as lajes, bem como uma redistribuição de cargas das mais carregadas para as menos carregadas, além de fornecer o acabamento e a estanqueidade necessária.

Figura 12 – Chave de cisalhamento entre dois painéis



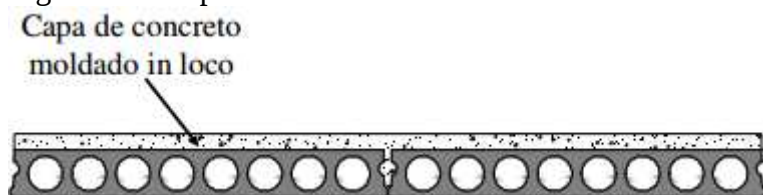
Fonte: Tatu Pré-Moldados (2005)

As lajes alveolares apresentam uma contraflecha natural quando protendidas, decorrente de suas características intrínsecas. Tal característica está diretamente interligada com o processo de cura da laje, o que não ocorre de forma igualitária ao longo do ano, em razão das variações térmicas e climáticas (CATOIA, 2011).

Por vezes, mesmo após a equalização, a superfície das lajes continua, mesmo que pouco, não homogênea. Essa não conformidade é oriunda das contraflechas. Para corrigir essas irregularidades e otimizar as características estruturais das lajes, faz-se então o capeamento estrutural (Figura 13), sendo esse procedimento recomendado para lajes de piso.

Todas as especificações sobre a armadura empregada na capa bem como a concretagem e método executivo devem constar em projeto (ABNT, 2011).

Figura 13 – Capa estrutural de concreto moldado *in loco*



Fonte: Catoia (2011)

2.1.3.4 Vantagens

Segundo Catoia (2011) e Petrucelli (2009), algumas vantagens das lajes alveolares podem ser citadas, como:

- Ampla gama de opções de utilização, tais como pisos, coberturas e paredes;
- Processo de produção altamente mecanizado e automatizado;
- Mão de obra específica, treinada e qualificada, mediante a repetitividade dos processos;
- Emprego de materiais controlados por ensaios laboratoriais;
- Possibilidade de vencer grandes vãos em razão de seu baixo peso próprio e fabricação com concretos de alta resistência aliados a alta taxa de protensão;
- Montagem simples e rápida em obra;
- Bom isolamento térmico e acústico.

2.1.3.5 Desvantagens

Petrucelli (2009) apresenta como desvantagens:

- Inflexibilidade em alguns projetos, incompatíveis com a largura padrão, necessitando recortes;
- Resistência à flexão transversal limitada, uma vez que não apresenta armadura nesse sentido;
- Diferentes deformações;
- Demanda de equipamentos especiais para sua produção.

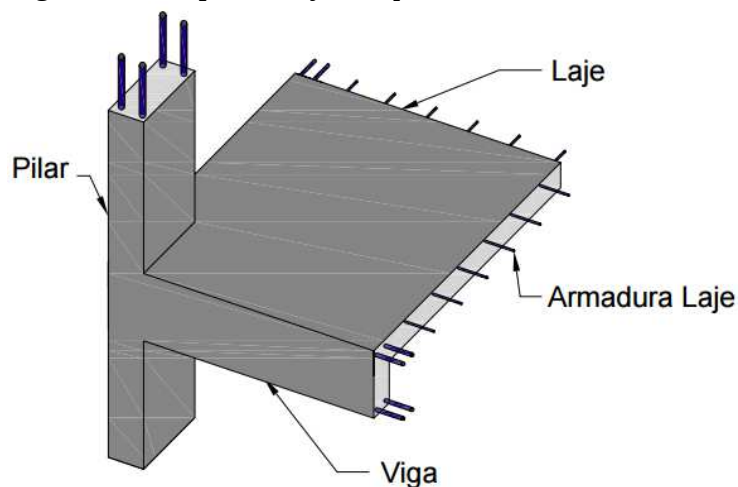
2.1.4 Laje maciça de concreto

2.1.4.1 Definição e características do sistema

Araújo (2014) explica que as lajes maciças são placas de espessura uniforme, apoiadas ao longo do seu contorno. Os apoios podem ser constituídos por vigas ou por alvenarias, sendo este o tipo de laje predominante nos edifícios residenciais, onde os vãos são relativamente pequenos.

Pode-se entender como um sistema de estrutura convencional de concreto armado, uma vez que é constituído basicamente por lajes maciças, vigas e pilares, onde as lajes recebem os carregamentos decorrentes da sua utilização. Os carregamentos, oriundos de pessoas, móveis e equipamentos, são transmitidos para as vigas, que, por sua vez, descarregam nos pilares, e esses, às fundações (SPOHR, 2008).

Figura 14 – Representação esquemática de um sistema estrutural com lajes maciças



Fonte: Spohr (2008)

Albuquerque (1999) salienta que as lajes maciças não podem vencer grandes vãos em virtude de seu peso próprio. É prática usual adotar-se como vão médio econômico das lajes um valor entre 3,5 m e 5 m.

Algumas características interessantes desse sistema podem ser citadas conforme expõe Spohr (2008):

- Grande consumo de fôrmas;

- Apresenta grande quantidade de vigas, formando muitos pórticos, que, por sua vez garantem boa rigidez à estrutura;
- Sistema estrutural muito utilizado nas construções de concreto armado, fato que conta com a facilidade em achar mão de obra treinada.

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), as lajes maciças devem respeitar os seguintes valores limites mínimos para a espessura:

- a) 7 cm para cobertura não em balanço;
- b) 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- c) 10 cm para lajes em balanço;
- d) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- e) 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- f) 15 cm para lajes com protensão apoiadas em vigas, com o mínimo de $l/42$ para lajes de piso biapoiadas e $l/50$ para lajes de piso contínuas;
- g) 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel.

2.1.4.2 Processo construtivo

O processo para se executar as lajes maciças é relativamente simples e bem difundido. A sequência construtiva apresentada a seguir foi proposta por Lopes (2012):

Etapa 1 – Colocação das fôrmas e dos escoramentos

As fôrmas utilizadas em estruturas de concreto armado basicamente têm como finalidade servir como molde e dar sustentação para elementos estruturais até que estes atinjam resistência suficiente para se autossuportar. Destacam-se para as lajes maciças de concreto as fôrmas de madeira compensada e chapas de aço.

Inicia-se com a confecção das fôrmas seguida por seu posicionamento, de modo que o cimbramento é dado mediante escoras, longarinas, travessas e assoalhos.

A NBR 14931 (ABNT, 2004) afirma que o escoramento deve ser projetado de modo a não sofrer, sob a ação de seu próprio peso, do peso da estrutura e das cargas acidentais que possam atuar durante a execução da estrutura de concreto, deformações prejudiciais ao formato da estrutura ou que possam causar esforços não previstos no concreto.

É importante salientar que, com uso adequado e racional, há possibilidade de reaproveitamento das fôrmas. No entanto, para utilizações sucessivas, deve-se atentar para questões como a capacidade resistente da fôrma e do material que a constitui, uma vez que estes sofrem desgaste gradativo (ABNT NBR 14931, 2004).

Figura 15 – Fôrmas colocadas e limpeza geral



Fonte: Caio (2014)

Etapa 2 – Colocação das armaduras

Uma vez posicionadas as fôrmas e os cimbramentos, lançam-se as armaduras principais e secundárias. Posteriormente são colocados os espaçadores popularmente conhecidos por “caranguejos”, com a função de evitar que a armadura negativa empregada nas regiões dos apoios ceda durante a execução da laje. Também nesta fase se colocam espaçadores, que servem para garantir o recobrimento mínimo da estrutura necessário à proteção contra a corrosão.

Figura 16 – Armaduras da laje e vigas



Fonte: Caio (2014)

Etapa 3 – Preparação e lançamento do concreto

De acordo com a NBR 14931 (ABNT, 2004), alguns cuidados preliminares têm de ser atendidos. Devem ser devidamente conferidas as dimensões e a posição (nivelamento e prumo) das fôrmas, a fim de assegurar que a geometria dos elementos estruturais e da estrutura como um todo estejam conforme o estabelecido no projeto. As fôrmas devem ser conferidas quanto à sua estanqueidade das juntas, de modo a não permitir perda de pasta ou argamassa. Deve-se atentar ainda para fôrmas construídas com materiais que absorvem umidade ou que favoreçam a evaporação, para que estas estejam saturadas com água, para minimizar a perda de água do concreto.

O escoramento deve ser conferido a fim de assegurar as condições de suporte para quando o concreto for lançado, garantindo que as dimensões e posições das fôrmas sejam mantidas conforme o especificado em projeto. O escoramento precisa ainda ser capaz de oferecer condições seguras de suporte para o tráfego de pessoas bem como de equipamentos necessários à operação da concretagem (ABNT NBR 14931, 2004).

Bocchi Jr. e Giongo (2007) complementam dizendo que o lançamento do concreto deve ocorrer após o amassamento, de modo que o fim deste não ultrapasse uma hora, uma vez que este prazo é contabilizado a partir do fim da agitação na betoneira ao pé da obra. Pode-se utilizar aditivos retardadores de pega para prorrogar este prazo, de acordo com as propriedades do aditivo e recomendações do fabricante.

Figura 17 – Concretagem da laje maciça



Fonte: Caio (2014)

Etapa 4 – Adensamento do concreto

A NBR 14931 (ABNT, 2004) prescreve que o concreto deve ser lançado e adensado de modo que toda a armadura, além dos componentes embutidos previstos no projeto, seja adequadamente envolvida na massa de concreto. Isto tem como finalidade reduzir o número de vazios, garantindo maior homogeneidade, assegurando assim a resistência mínima do concreto prevista no projeto.

Etapa 5 – Cura do concreto

A reação química de endurecimento do concreto necessita de água. A água presente no concreto, por sua vez, é perdida por evaporação no ambiente, logo, para que a reação se processe de maneira completa, deve-se manter o concreto permanentemente umedecido durante o período da cura. Cuidados como este permitem que se atinja a resistência desejada do concreto. (BOCCHI JR.; GIONGO, 2007).

A NBR 14931 (ABNT, 2004) complementa estabelecendo que, enquanto não se atingir o endurecimento satisfatório, o concreto deve ser curado e protegido contra agentes prejudiciais, tais como: mudanças bruscas de temperatura, secagem rápida, chuva forte, agentes químicos, e outros, para evitar a perda de água de amassamento pela superfície

exposta, assegurar uma superfície com resistência adequada e a formação de uma capa superficial durável.

2.1.4.3 Vantagens

Como vantagens da utilização dos sistemas compostos por lajes maciças, Albuquerque (1999), Lopes (2012) e Nervo (2012) citam:

- Durante muito tempo foi o sistema estrutural de concreto armado mais empregado, consequentemente a mão de obra é bem treinada;
- Bom desempenho em relação à capacidade de redistribuição dos esforços;
- Há existência de muitas vigas, que, por sua vez, formam vários pórticos, garantindo assim boa rigidez à estrutura de contraventamento;
- Facilidade no lançamento e adensamento do concreto;
- Depois de seco, o concreto torna-se um monobloco que dilata e contrai de maneira uniforme, tornando-se menos suscetível a trincas e fissuras.

2.1.4.4 Desvantagens

Como desvantagens da utilização do sistema estrutural composto com lajes maciças, Albuquerque (1999), Lopes (2012) e Nervo (2012) citam:

- Demanda um alto consumo de fôrmas, escoras, concreto e aço;
- Elevado consumo de concreto para vencer grandes vãos;
- Os grandes números de recortes diminuem o reaproveitamento das fôrmas;
- Tempo de execução das fôrmas e do processo de desforma muito grandes
- Maiores reações nos apoios devido ao elevado peso próprio;
- Não apresenta boas características quanto ao desempenho acústico.

2.1.5 Laje treliçada pré-moldada

2.1.5.1 Definição e características do sistema

De acordo com Bastos (2015), as lajes treliçadas começaram a surgir na Europa com o propósito de ser uma opção mais econômica que as lajes maciças de concreto. Droppa Jr (1999) complementa que esse sistema estrutural muito contribuiu para a reconstrução dos países destruídos pela Segunda Grande Guerra, e para a grave crise habitacional consequente.

As lajes treliçadas no Brasil são utilizadas há mais de 25 anos, porém sua difusão, bem como seu crescimento ascendente, se deu por meados da década de 1990 (DROPPA JR, 1999).

Droppa Jr (1999) caracteriza este sistema estrutural como sendo uma estrutura monolítica, em função da grande solidarização da armadura com o concreto moldado no local.

As lajes treliçadas podem ser classificadas como unidirecionais ou bidimensionais.

A norma que trata sobre as lajes unidirecionais é a NBR 14869-1 (ABNT, 2002a), que as conceitua como constituídas por nervuras principais longitudinais dispostas em uma única direção. Podem ser empregadas algumas nervuras transversais perpendiculares às nervuras principais para fazer o travamento lateral.

Em se tratando de lajes bidimensionais, deve-se atender aos preceitos estipulados pela NBR 14859-2 (2002b), que as conceitua como constituídas por nervuras principais nas duas direções, com espaçamentos regulares entre si.

Ambos os casos podem ser observados na Figura 18:

Figura 18 – a) Lajes unidirecionais b) Lajes bidirecionais



a)



b)

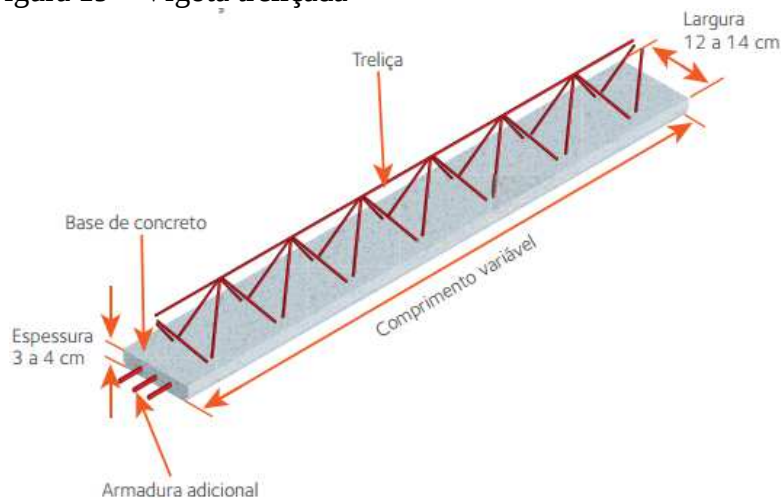
Fonte: Nervo (2012)

Conforme relata Nervo (2012), em princípio, estas lajes têm o mesmo funcionamento estrutural de uma laje projetada da forma convencional (maciças de concreto), todavia o emprego dos elementos pré-moldados proporciona racionalização na sua execução, dando à obra, de modo geral, atributos como rapidez e economia.

Os componentes constituintes desse sistema de laje basicamente são as vigotas treliçadas e os elementos de enchimento.

As vigotas treliçadas (Figura 19) são constituídas por uma armadura em forma de treliça, cujo banzo inferior é envolto por uma placa de concreto estrutural de boa resistência e fácil manuseio. Com a presença do concreto complementar, vão se formar as nervuras longitudinais da laje (NAKAO *et al.*, 2005).

Figura 19 – Vigota treliçada



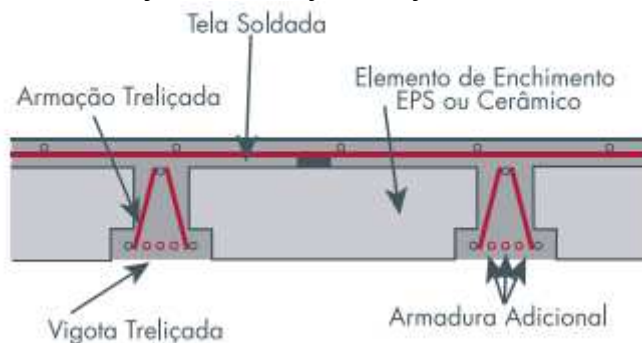
Fonte: ArcelorMittal (2010)

Bastos (2015) salienta que as vigotas, em conjunto com a capa de concreto, fornecem a resistência necessária à laje, atuando para resistir aos momentos fletores e às forças cortantes. Elas também servem como apoio aos blocos cerâmicos ou de isopor (poliestireno expandido - EPS). As vigotas treliçadas constituem as nervuras principais da laje treliça.

Nakao *et al.* (2005) esclarece que os elementos de enchimento são componentes pré-fabricados com materiais inertes diversos. Podem ser maciços ou vazados, destacando-se na construção civil brasileira o emprego dos blocos cerâmicos (conhecidos também por tabelas cerâmicas) e o EPS. Esses componentes têm a função de reduzir o volume de concreto, consequentemente o peso próprio da laje diminui, além de servir como fôrma para o concreto complementar.

O corte esquemático pode ser observado na Figura 20:

Figura 20 – Laje com armação treliçada



Fonte: Rede Belgo (2016).

Albuquerque (1999) refere que esses materiais são leves, não tendo função estrutural. A solidarização é feita com a concretagem da capa juntamente com as nervuras.

As lajes treliçadas têm sua altura variando entre 10 cm e 30 cm, com vãos usuais de 4 m a 7 m, podendo chegar a vãos de até 12 m (ALBUQUERQUE, 1999).

2.1.5.2 Processo construtivo

O processo de execução das lajes treliçadas também é bastante difundido. O processo de execução a ser abordado aqui é de Heidtmann Junior (2009).

As prescrições normativas – bem como os demais autores citados no item 2.1.4.2, principalmente no tocante à NBR 14931 (2004) – referentes ao escoramento, concretagem e cura do concreto também são válidas para o processo executivo das lajes treliçadas, portanto, não serão citadas novamente.

Quanto ao preparo inicial da obra:

Etapa 1 – Base do escoramento

Existem basicamente dois tipos mais comuns de escoramentos: no solo e no contrapiso de concreto simples ou armado.

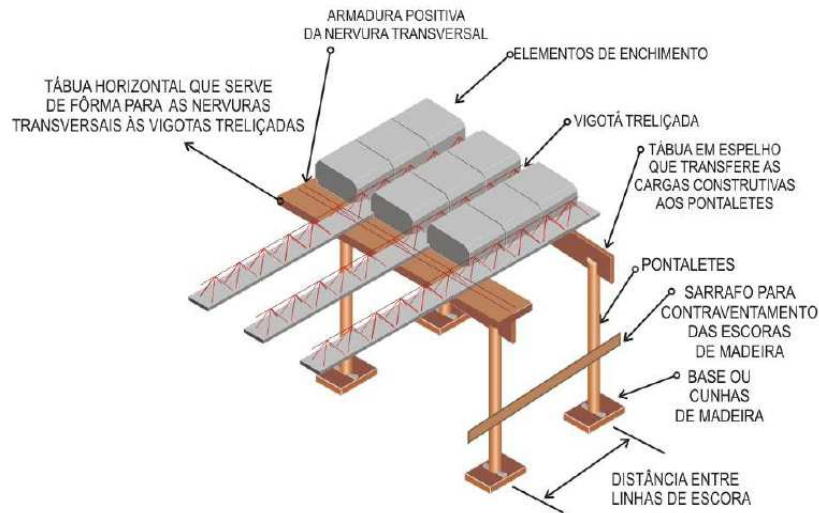
No primeiro, exige-se que o solo onde as escoras serão apoiadas seja previamente compactado. Utilizam-se tábuas de madeira como base para escoras e pontaletes.

No segundo, permite-se que as escoras sejam apoiadas sobre a base de concreto. Todavia, caso o apoio seja realizado sobre uma laje preexistente, recomenda-se consultar o projetista estrutural.

Etapa 2 – Escoramento (Cimbramento)

É a estrutura provisória que permite às vigotas treliçadas pré-moldadas suportar a carga que sofrem na fase de montagem e concretagem da laje e na cura do concreto (Figura 21). Esta fase requer bastante cautela, atentando sempre ao projeto de fôrmas. Pode ser executado em madeira ou com uso de escoras metálicas reguláveis, atentando para que se tenha altura que possibilite a contraflecha da laje treliçada a ser regulada através do corpo regulador ou das cunhas de madeira.

Figura 21 – Detalhes do escoramento das lajes pré-moldadas treliçadas

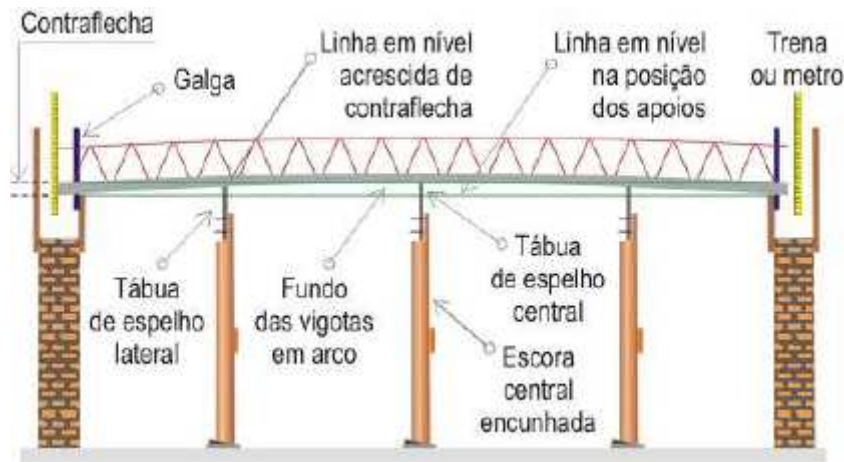


Fonte: Heidtmann Júnior (2009)

Importa mencionar um detalhe relevante referente à contraflecha. Ela deve ser aplicada na fase de execução do escoramento (Figura 22), de acordo com o projeto de montagem da laje ou das medidas de contraflecha aplicadas.

Utiliza-se a contraflecha com o intuito de compensar consequências indesejáveis das deformações devidas à ação das cargas nas lajes. Por meio das galgas auxiliares, suspende-se a linha que se encontra na medida determinada em projeto. Em seguida, posiciona-se a escora central de modo que a face superior da tábua de espelho toque a linha nivelada acrescida da contraflecha. Posteriormente se colocam as demais escoras, de modo que toquem a parte inferior da vigota.

Figura 22 – Ilustração de execução da contraflecha



Fonte: Heidtmann Júnior (2009)

Pode-se determinar a contraflecha necessária de acordo com a Tabela 1:

Tabela 1 - Simplificada de contraflecha para lajes treliçadas

TABELA SIMPLIFICADA PARA DIMENSIONAMENTO DE CONTRA-FLECHA						
Vão livre (m)	2,5 a 3,95	4,0 a 4,95	5,0 a 5,95	6,0 a 7,95	8,0 a 10,0	10,0 a 12,0
Contra-flecha (cm)	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5

Fonte: Heidtmann Júnior (2009)

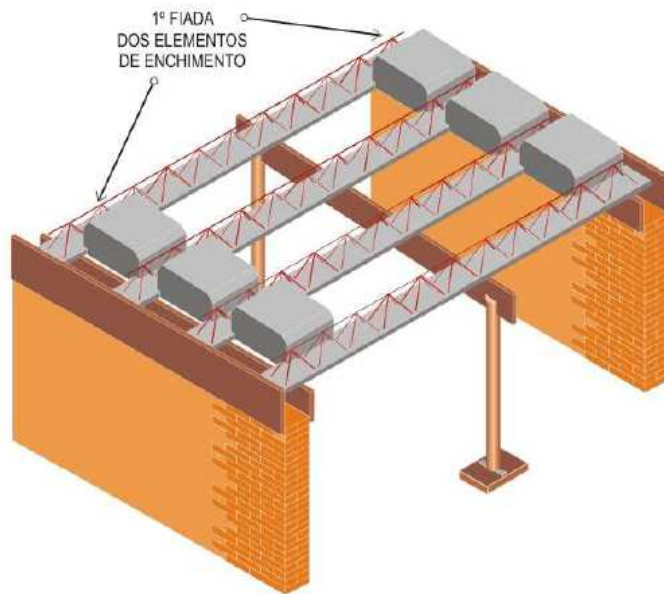
Quanto à execução das lajes em obra:

Etapa 1 – Montagem das vigotas e dos elementos de enchimento

Para que o posicionamento das vigotas seja correto, é preciso colocar o conjunto das peças nas posições aproximadas em que serão montadas. Deve-se atentar para as condições de apoio das vigotas, obedecendo às dimensões mínimas.

Com as vigotas em seus devidos lugares, prossegue-se com a colocação das duas primeiras fiadas dos elementos de enchimento, nas extremidades de cada vigota, como é possível verificar na Figura 23.

Figura 23 – Locação dos elementos de enchimento



Fonte: Heidtmann Júnior (2009)

Em seguida, os demais elementos de enchimento podem ser alocados.

Etapa 2 – Montagem das armaduras complementares

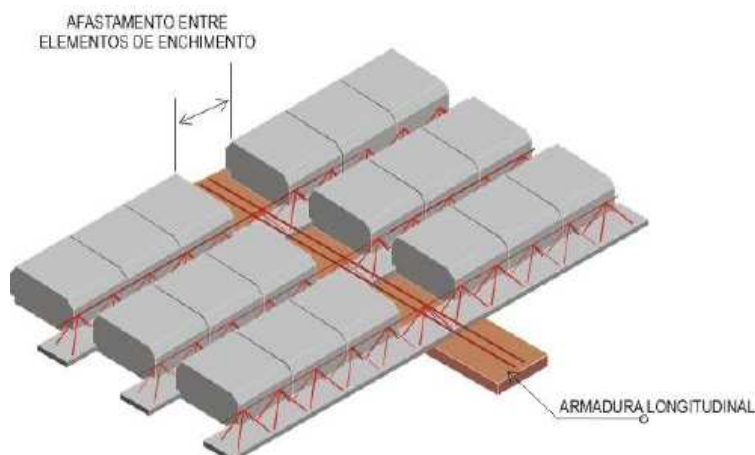
A necessidade de armaduras complementares difere de obra para obra. Elas se dividem em três categorias.

Etapa 2.1 – Nervura transversal de travamento

Armadura construtiva montada transversalmente em relação às vigotas, na parte inferior do espaço formado pelo afastamento dos elementos de enchimento, e apoiada (Figura 24) na base de concreto estrutural de cada vigota.

De acordo com Bastos (2015), as nervuras transversais têm como função exercer o travamento lateral das nervuras principais, levando a uma melhor uniformidade do comportamento estrutural das nervuras, conseqüentemente contribuindo para uma melhor distribuição dos esforços solicitantes.

Figura 24 – Ilustração da nervura transversal de travamento

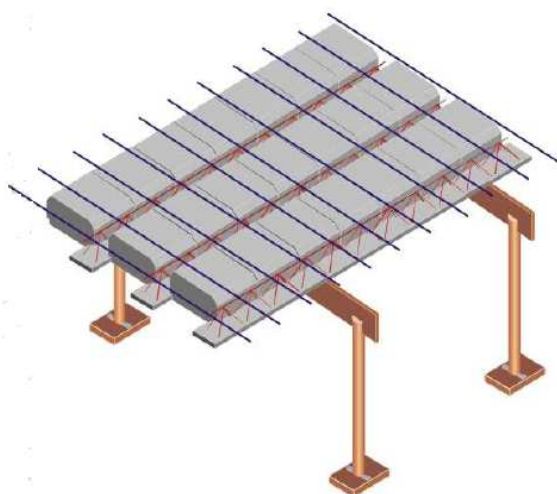


Fonte: Heidtmann Júnior (2009)

Etapa 2.2 – Armadura de distribuição

Após a instalação das nervuras transversais, coloca-se a armadura de distribuição no banzo superior das treliças (Figura 25). Esta armadura tem como função aumentar a resistência da capa de concreto (mesa) à flexão e à força cortante, fazendo com que as nervuras trabalhem em conjunto (BASTOS, 2015).

Figura 25 – Disposição da armadura de distribuição



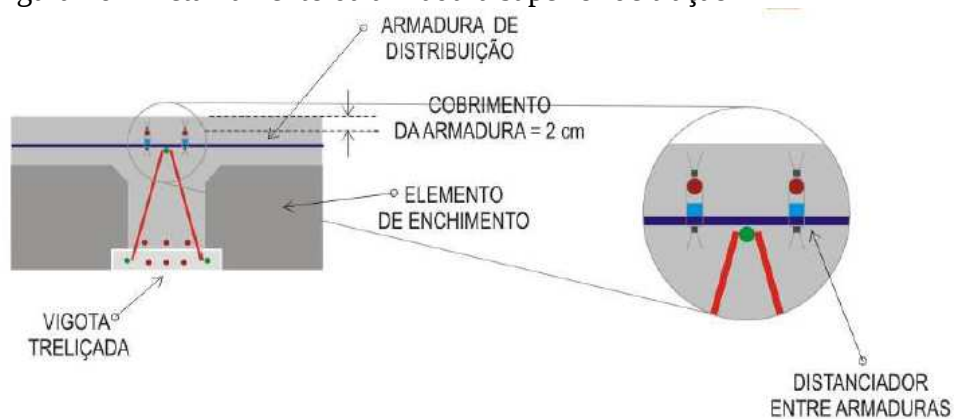
Fonte: Heidtmann Júnior (2009)

Etapa 2.3 – Armadura superior de tração (negativo)

O posicionamento dessas armaduras deve ser sempre nas regiões das vigotas (Figura 26). Elas devem ser detalhadas no projeto e sua função é reforçar as regiões aonde existem momentos negativos. A Figura 27 ilustra o detalhamento dessa armadura.

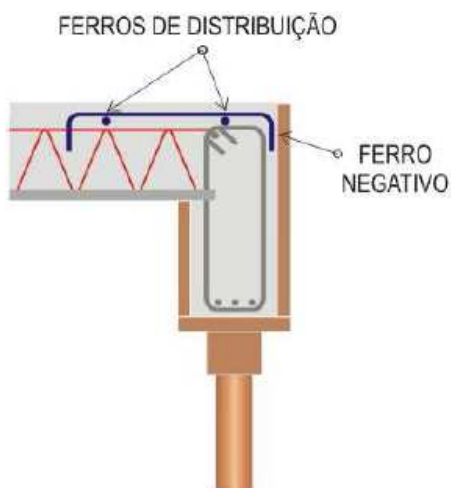
De acordo com Bastos (2015), sua principal função é resistir aos momentos solicitantes negativos.

Figura 26 – Detalhamento da armadura superior de tração



Fonte: Heidtmann Júnior (2009)

Figura 27 – Exemplo de armadura superior de tração



Fonte: Heidtmann Júnior (2009)

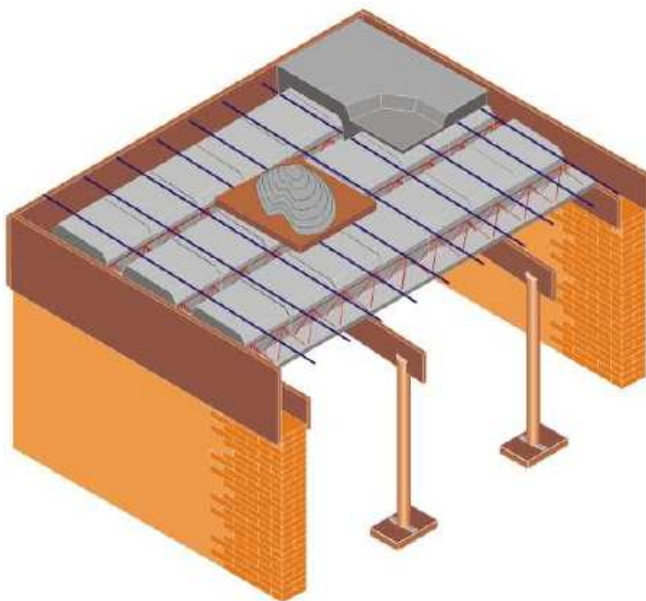
Etapa 3 – Concretagem e cura da laje

O concreto deve ser especificado conforme o projeto estrutural, sendo lançado sobre os componentes anteriormente citados. Vale ressaltar que, anteriormente à concretagem, faz-se necessário saturar a superfície com água, de modo a evitar que as peças absorvam a água do concreto.

Para garantir homogeneidade ao conjunto, o concreto deve ser espalhado de modo a preencher todos os vazios, principalmente nas junções entre as vigas e as lajotas. Assim garante-se solidez ao total dos elementos (Figura 28).

A correta cura do concreto é parte crucial para assegurar qualidade ao conjunto da laje. A água de amassamento, ao ser constantemente reposta, evita a ocorrência de fissuras e outras patologias. A cura pode ser efetuada molhando-se a laje na primeira semana após sua concretagem. Molha-se a laje após o início da pega do concreto, que ocorre poucas horas depois do lançamento e adensamento.

Figura 28 – Concretagem da laje pré-moldada treliçada



Fonte: Heidtmann Júnior (2009)

2.1.5.3 Vantagens

O emprego das lajes treliçadas proporciona algumas vantagens, de acordo com Bastos (2015) e Droppa Jr (1999):

- Opção mais econômica quando comparadas com as lajes maciças de concreto;
- Redução na quantidade de escoramentos, logo há um ganho em economia de mão de obra e materiais;
- Possibilidade de vencer grandes vãos;
- Pela grande aderência do concreto de capeamento com as vigotas, é menor a possibilidade de ocorrência de fissuras;
- Menor peso próprio;
- Não demanda tanta mão de obra para sua execução, quando comparadas com as lajes maciças.

2.1.5.4 Desvantagens

Nas diversas bibliografias e artigos consultados, houve dificuldade em encontrar citações como desvantagens da utilização do sistema treliçado. Desse modo, sintetizou-se de Muniz (1991) apud Droppa Jr. (1999), as principais desvantagens:

- Aumentam as dificuldades de compatibilização com outros subsistemas (instalações, vedação, entre outros);
- Os elementos de enchimento podem se movimentar durante a concretagem;
- A disposição das nervuras, uma vez que nem sempre é possível projetar uma modulação única para o pavimento todo.

2.1.6 A determinação de custos

A palavra “custo” norteia todo o conceito de viabilidade econômica de um empreendimento. Dentre os vários tipos de custos existentes, Vasconcellos e Garcia (2008) definem custo total de produção como sendo o total das despesas realizadas pela firma ou empreendedor, usando-se das combinações mais econômicas dos fatores, obtendo-se determinada quantidade de produto.

É notório que uma empresa ou empreendedor busque sempre a maximização de seus resultados dentro de sua atividade produtiva. Vasconcellos e Garcia (2008) nos afirma que a otimização dos resultados poderá ser obtida quando um dos dois preceitos forem atingidos, são eles:

- a) Maximizar a produção para um dado custo total;
- b) Minimizar o custo total para um dado nível de produção.

Um fator interessante dentro da composição dos custos que geralmente não é considerado, diz respeito ao custo de oportunidade, a qual será dado maior enfoque posteriormente. De maneira geral, são custos implícitos no processo, que não caracterizam em um primeiro momento o desembolso monetário.

2.1.6.1 Custos variáveis totais

Também denominados de custos diretos, estão relacionados com a parcela dos custos totais que dependem da produção, ou seja, representam as despesas obtidas com os fatores variáveis de produção. Pode-se citar como por exemplo os gastos com matéria prima, folhas de pagamento, etc. (VASCONCELLOS; GARCIA, 2008).

Essa parcela de custos totais varia em função do volume produzido.

2.1.6.2 Custos fixos totais

Para Vasconcellos e Garcia (2008), estes correspondem à parcela dos custos totais que independem da produção. São decorrentes dos gastos com fatores fixos de produção. Portanto não importa o quanto for produzido de produtos, à venda de mercadorias ou prestações de serviços, tais custos continuarão a serem os mesmos.

Como ilustração podemos imaginar uma empresa a qual realiza suas atividades em um local alugado, logo, se a mesma produzir um total de “x” ou “y” de unidades, o valor com o aluguel ali permanecerá o mesmo.

2.1.6.3 Custos de oportunidade

O custo de oportunidade está relacionado com as decisões tomadas e o tempo empreendido sobre uma determinada coisa. Tudo está intimamente relacionado com as escolhas que um indivíduo há de tomar e se estas são as melhores alternativas a serem adotadas levando-se em consideração o tempo e os recursos gastos.

Do ponto de vista econômico, os custos de oportunidade são custos implícitos, os quais são estimados a partir do que poderia ser ganho no melhor uso alternativo dos recursos (VASCONCELLOS; GARCIA, 2008).

Um exemplo de fácil compreensão e corriqueiro que pode ser mencionado se diz respeito à compra de imóveis como bem de investimento. Talvez por questões culturais ou até mesmo falta de conhecimentos econômicos, não permitem ao indivíduo discernir se este de fato é o melhor meio de somar ao seu patrimônio, uma vez que se o mesmo investisse em algum título público por exemplo, poderia ser a opção mais vantajosa do ponto de vista econômico.

Para os economistas, cada decisão é temperada pelo conhecimento daquilo de que se deve abrir mão para fazer o que se deseja. Sabendo exatamente o que está recebendo e o que está deixando de lado, pode-se tomar decisões mais racionais e embasada (CONWAY, 2015).

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

Para a realização de um trabalho sólido e coerente, deve-se ter como alicerce uma revisão bibliográfica bem fundamentada. Para Cervo e Bervian (2002, p.66), a pesquisa bibliográfica constitui parte da pesquisa descritiva ou experimental, quando é feita com o intuito de recolher informações e conhecimentos prévios acerca de um problema, para o qual se procura resposta ou acerca de uma hipótese que se quer experimentar; e complementam: “sendo um meio de formação por excelência e constitui o procedimento básico para estudos monográficos, pelos quais se busca o domínio do estado da arte sobre determinado tema”.

Segundo Cervo e Bervian (2002) toda investigação nasce de algum problema observado ou sentido, de tal modo que não pode prosseguir, a menos que se faça uma seleção da matéria a ser tratada. De fato a escolha do método trata-se de um aspecto crucial quando na elaboração de um projeto de pesquisa, pois norteará o pesquisador através de um conjunto de processos ou etapas cabíveis obstinando-se chegar a um resultado desejado. Essa seleção requer alguma hipótese ou pressuposição que vai guiar e, ao mesmo tempo, delimitar o assunto a ser investigado.

Daí o conjunto de processos ou etapas de que se serve o método científico, tais como a observação e coleta de todos os dados possíveis, a hipótese que procura explicar provisoriamente todas as observações de maneira simples e viável, a experimentação que dá ao método científico também o nome de método experimental, a indução da lei que fornece a explicação ou o resultado de todo o trabalho de investigação, a teoria que insere o assunto tratado num contexto mais amplo (CERVO; BERVIAN, 2002).

Pode-se então definir, de acordo com os renomados autores Cervo e Bervian (2002), método científico como sendo a ordenação que se deve impor aos diferentes processos necessários para atingir um certo fim ou resultado almejado, ou ainda, no campo das ciências, como conjunto de processos empregados na investigação e na demonstração da verdade.

Neste projeto de pesquisa, utilizou-se do método comparativo, definido por Andrade (2010) como a realização de comparações com a finalidade de verificar semelhanças e explicar divergências. O método comparativo é usado tanto para comparações de grupos no

presente, no passado, ou entre os existentes e os do passado, quanto entre sociedades de iguais ou de diferentes estágios de desenvolvimento.

Outra parte fundamental é a análise dos dados que serão levantados, os quais devem ser organizados sistematicamente para que possibilitem o fornecimento de respostas ao problema de investigação (GIL, 1999).

De posse de todos os dados e informações necessárias e pertinentes ao estudo proposto, será feita a análise de viabilidade econômica, utilizando-se tabelas e recursos gráficos para melhor compreensão, tendo em vista o pressuposto de Hirschfeld (2000): para que haja viabilidade econômica, os benefícios resultantes dos instantes verificados deverão ser superiores aos custos empregados.

3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa

Tratou-se de uma análise de custos dos sistemas estruturais de lajes já abordadas anteriormente, realizado a partir do projeto de um edifício comercial, localizado na cidade de Cascavel-PR, projeto este cedido pela empresa Diarc Engenharia, como descrito anteriormente.

Foram também analisadas outras alternativas estruturais de lajes para o edifício, que, em sua concepção, fora edificado com lajes alveolares protendidas. Portanto, de acordo com Cervo e Bervian (2002), trata-se de uma pesquisa do tipo quantitativa experimental, uma vez que o estudo a ser realizado interfere diretamente na realidade, manipulando-se a variável independente a fim de observar o que acontece com a dependente.

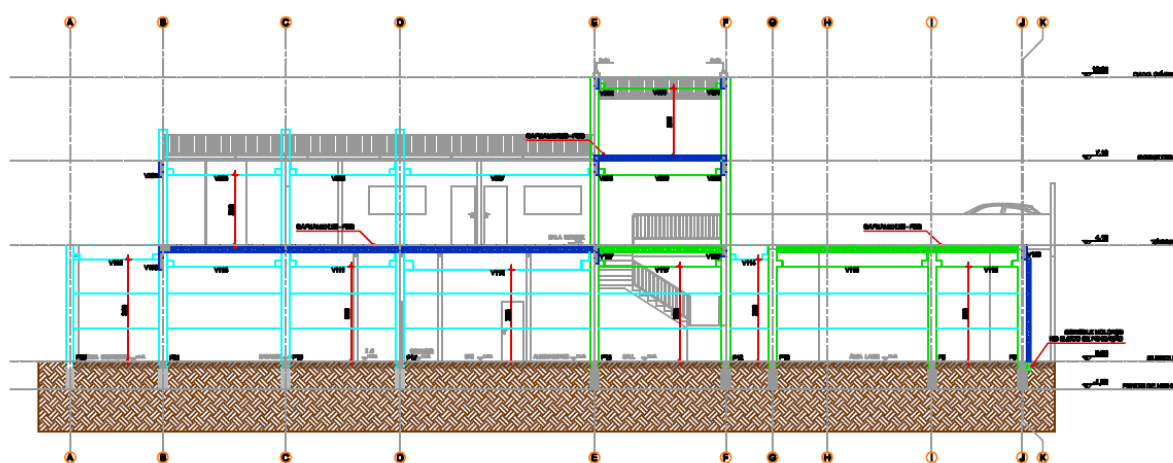
As informações sobre o projeto bem como a composição dos custos serão obtidas com os engenheiros da empresa Diarc Engenharia.

3.1.2 Caracterização da amostra

O estudo de caso desta pesquisa foi realizado em um edifício comercial de dois pavimentos, que se localiza na cidade de Cascavel, região oeste do Estado do Paraná. O espaço contém quatro salas administrativas na parte térrea, as quais totalizam uma área de

310,55 m². No piso superior, consta área de lazer, sala de treinamentos, almoxarifados, entre outros, totalizando uma área de 246,33 m². No edifício em questão, as lajes alveolares encontram-se no primeiro pavimento. A área total da edificação é de 556,88 m², ressaltando que a obra em questão já foi edificada (Figura 29).

Figura 29 – Corte longitudinal da edificação



Fonte: Dados da Pesquisa (2016).

3.1.3 Coleta de dados

Os dados referentes à edificação foram coletados juntamente com a empresa responsável, com acesso ao projeto. Para o auxílio no desenvolvimento deste trabalho, utilizou-se de artigos, revistas, normas técnicas, dissertações de mestrado e teses de doutorado, pesquisas em livros e em sites da internet.

Para levantar quantitativamente os insumos empregados para a futura composição de custos, foi utilizado o *software* de cálculo estrutural Eberick V8.

O principal objetivo desta pesquisa foi o de realizar uma análise comparativa de custos entre o emprego de estruturas de laje maciça de concreto e laje pré-moldada treliçada, muito usuais na construção civil brasileira, com a solução empregada no edifício.

O procedimento, *a priori*, seguirá as seguintes prescrições:

- Descrição dos elementos estruturais e materiais utilizados;
- Dimensionamento das lajes maciças de concreto e lajes treliçadas, pelo *software* de cálculo estrutural Eberick V8;
- Verificação do consumo de insumos requeridos pelas duas lajes;
- Levantamento dos custos por meio da composição unitária;
- Comparação da viabilidade econômica das lajes relacionando-as com as alveolares protendidas;
- Análise final e conclusões.

3.1.4 Análise dos dados

De posse dos insumos requeridos, realizou-se uma análise de dados com o intuito de obter parâmetros de viabilidade econômica entre os tipos de lajes. Para tanto, para compor os custos, o autor contará com o auxílio da Tabela de Composições de Preços para Orçamentos – TCPO (PINI, 2010), como também do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), a fim de levantar os custos dos insumos.

Os resultados obtidos foram retratados em gráficos de consumo para cada sistema estrutural empregado, dando subsídio para que se possa realizar uma comparação com a alternativa originalmente adotada.

Vale ressaltar que os quantitativos, bem como o custo total com a proposta empregada na edificação, foram fornecidos pela empresa responsável (Diarc Engenharia), servindo como base de comparação sobre viabilidade econômica para as outras propostas de lajes.

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1.1 Descrição dos elementos estruturais e materiais utilizados

Para que se pudesse chegar ao resultado mais fidedigno possível, os elementos estruturais foram dimensionados de acordo com as configurações adotadas no projeto original. Portanto, procurou-se manter as mesmas dimensões para pilares e vigas, sendo que, para a última, apenas a altura variava, de acordo com o vão em questão.

Adotou-se a resistência do concreto como sendo de 30 MPa na totalidade da estrutura, ou seja, para pilares, vigas e lajes, de acordo com o projeto estrutural original.

Os cobrimentos mínimos para as armaduras são determinados em função da classe de agressividade na qual a obra está inserida. Nesse caso, trata-se de um edifício enquadrado na classe de agressividade II, sendo considerada moderada. Os valores mínimos estão estipulados na Tabela 7.2 da NBR 6118 (2014), os quais foram atendidos nos critérios de dimensionamento.

Com relação as cargas presentes na estrutura, utilizou-se:

Para a estrutura exceto garagem:

- Carga acidental: 2,0 kN/m²;
- Cargas de revestimento: 2,75 kN/m²;

Para garagem:

- Carga acidental: 5,0 kN/m²;
- Cargas de revestimento: 2,75 kN/m².

O aço utilizado para esta análise foi o CA-50 e CA-60.

4.1.2 Dimensionamento das lajes maciças e lajes treliçadas pelo *software* de cálculo estrutural Eberick V8

4.1.2.1 *Software* de cálculo estrutural Eberick

Com o avanço tecnológico na área computacional, surgiram *softwares* cujos quais auxiliam o profissional engenheiro no cálculo de estruturas. Isso foi um avanço muito grande tratando-se de qualidade e eficiência na arte de se projetar. O elevado tempo antes empreendido para se calcular uma estrutura a mão, passível de diversos erros, quase não é mais praticado.

Um desses *softwares* é o Eberick. Desenvolvido pela empresa AltoQI, é um programa para projeto estrutural de concreto armado moldado *in-loco* e concreto pré-moldado, englobando as etapas de lançamento, análise da estrutura, dimensionamento e o detalhamento final dos elementos.

O Eberick trabalha com um sistema gráfico de entrada de dados associado à análise da estrutura em um pórtico espacial, bem como outros recursos valiosos de dimensionamento e detalhamento alicerçados na NBR 6118 (ABNT, 2014), que fundamentam as tomadas de decisões do engenheiro de estruturas.

O programa atualmente está em sua décima versão (Eberick V10), porém, neste trabalho, utilizou-se o Eberick V8 Gold.

4.1.2.2 Readequação estrutural

As lajes alveolares protendidas de concreto possuem uma característica a ser destacada: a capacidade de vencer grandes vãos. Por isso, fez-se necessária uma readequação da estrutura, de modo a possibilitar o lançamento das lajes maciças e treliçadas.

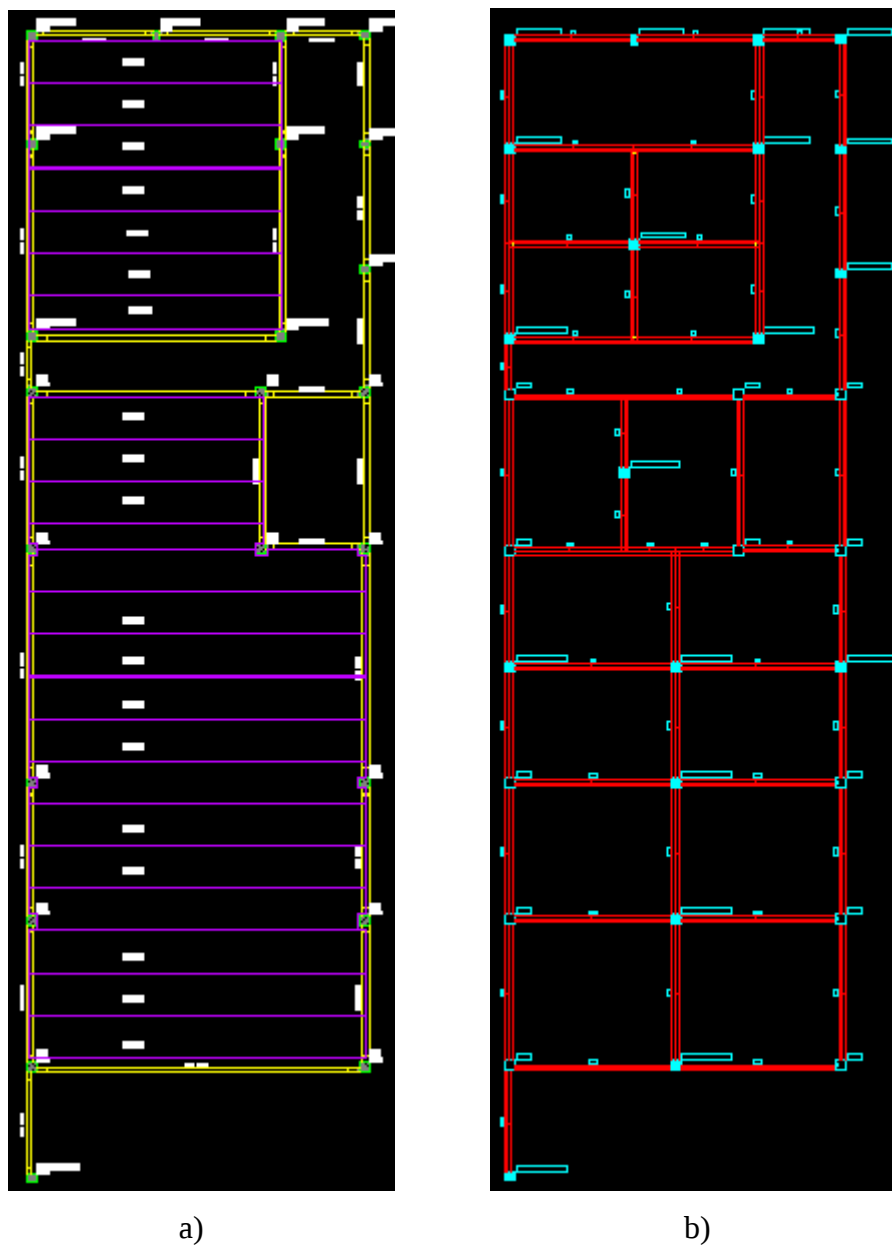
Este estudo para a remodelagem da estrutura foi efetuado pelo autor, sob orientação e conferência do engenheiro de estruturas da empresa Diarc Engenharia.

A remodelagem estrutural foi efetuada de modo a atender às necessidades de ambos os tipos de laje; assim, procurou-se com este modelo possibilitar uma visão mais igualitária e

justa para a futura análise. Os vãos compreendidos na estrutura chegam a no máximo 5m, o que, para Spohr (2008), configura como um bom valor para as lajes maciças.

As mudanças mais significativas ocorreram no térreo e no primeiro pavimento. No primeiro, foram inseridos pilares; já no segundo, as vigas, que delimitariam as lajes. O antes e o depois da readequação podem ser observados através da Figura 30, bem como as faixas em roxo que mostram a disposição das lajes alveolares; neste caso, chegando a vencer vãos de 9,90m.

Figura 30 – a) Projeto de formas original b) Projeto de formas modificado



Fonte: Autor (2016)

4.1.3 Verificação do consumo de insumos requeridos para as duas lajes

4.1.3.1 Sistema 1: Lajes maciças

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para o sistema de lajes maciças e, em seguida, as Tabelas 3 e 4 retratam o consumo requerido pelos elementos estruturais adicionais (pilares e vigas). Com o intuito de facilitar a visualização, a Tabela 5 traz uma compilação de todos os resultados obtidos para o Sistema 1.

Tabela 2 - Resumo dos quantitativos de materiais das lajes maciças

RESUMO	LAJES MACIÇAS						
	Aço	Diam (mm)	C. Total (m)	Peso + 10% (kg)	Peso total (kg)	Vol. Concreto (m³)	Área de fôrma (m²)
	CA 50	6,3	376,5	101,4	1438,6	22,75	227,5
		8,0	825,9	358,5			
		10,0	833,4	565,2			
		12,5	390,2	413,5			
	CA 60	5,0	2133,6	361,7	361,7		
Laje maciça h = 10cm							
Área da laje = 227,26 m²							

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Tabela 3 - Resumo dos quantitativos das vigas adicionais do Sistema 1

RESUMO							
	Aço	Diam (mm)	C. Total (m)	Peso + 10% (kg)	Peso total (kg)	Vol. Concreto (m³)	Área de fôrma total (m²)
	CA50	6,3	119,9	32,3	426,9	8,2	98,0
		8,0	133,5	58,0			
		10,0	196,7	133,5			
		12,5	137,5	145,7			
		16,0	12,4	21,6			
		20,0	13,2	35,8			
	CA60	5,0	582,2	98,8	98,8		

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Tabela 4 - Resumo dos quantitativos dos pilares adicionais do Sistema 1

RESUMO							
	Aço	Diam (mm)	C. Total (m)	Peso + 10% (kg)	Peso total (kg)	Vol. Concreto (m³)	Área de fôrma total (m²)
	CA50	10,0	76,5	51,8	132,8	2,80	36,96
		12,5	76,5	81,0			
	CA60	5,0	354,6	59,8	59,8		

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Tabela 5 - Insumos totais utilizados no Sistema 1

	Volume de concreto	Aço (Kg)		Área de fôrmas
	(m³)	CA-50	CA-60	(m²)
VIGAS	8,2	426,9	98,8	98
PILARES	2,8	132,8	59,8	36,96
LAJES	22,75	1438,6	361,7	227,5
TOTAL	33,75	1998,3	520,3	362,46

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

4.1.3.2 Sistema 2: Lajes treliçadas

De igual forma, os resultados obtidos para as lajes treliçadas serão exibidos a seguir. A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos para o sistema de lajes treliçadas, seguidos pelos consumos requeridos pelas vigas e pilares adicionais (Tabela 7 e Tabela 8). O resumo total para o Sistema 2 pode ser visualizado através da Tabela 9.

Tabela 6 - Resumo dos quantitativos de materiais das lajes treliçadas

RESUMO	LAJES TRELIÇADAS						
	Aço	Diam (mm)	C. Total (m)	Peso + 10% (kg)	Peso total (kg)	Vol. Concreto (m³)	Área de fôrma (m²)
	CA 50	6,3	532,0	143,2	263,6	16,13	0
		8,0	172,0	74,7			
		10,0	67,4	45,7			
	CA 60	5,0	695,1	117,8	117,8		
Laje pré-moldada treliçada h = 20cm							
Área da laje = 227,26 m²							

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Tabela 7 - Resumo dos quantitativos das vigas adicionais do Sistema 2

RESUMO							
	Aço	Diam (mm)	C. Total (m)	Peso + 10% (kg)	Peso total (kg)	Vol. Concreto (m³)	Área de fôrma total (m²)
	CA50	6,3	122,1	32,9	442,3	8,21	97,96
		8,0	193,3	83,8			
		10,0	244,6	165,9			
		12,5	60,5	64,1			
		16,0	41,0	71,2			
		20,0	9,0	24,4	180,2		
	CA60	5,0	585,0	180,2			

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Tabela 8 - Resumo dos quantitativos dos pilares adicionais do Sistema 2

RESUMO							
	Aço	Diam (mm)	C. Total (m)	Peso + 10% (kg)	Peso total (kg)	Vol. Concreto (m³)	Área de fôrma total (m²)
	CA50	10,0	61,2	41,4	138,6	2,80	36,96
		12,5	129,6	97,2			
	CA60	5,0	354,6	59,8	59,8		

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

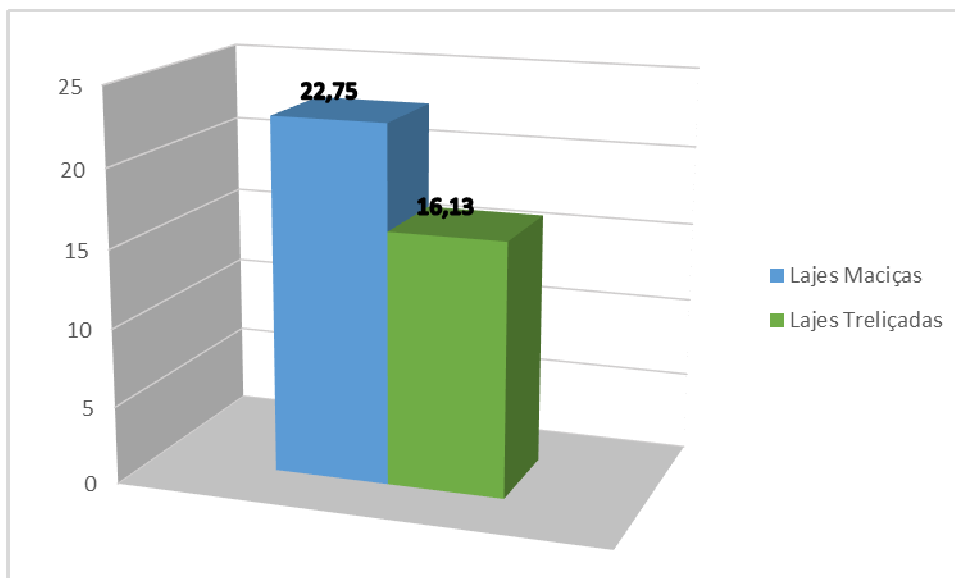
Tabela 9 - Insumos totais utilizados no Sistema 2

	Volume de concreto	Aço (Kg)		Área de fôrmas
	(m ³)	CA-50	CA-60	(m ²)
VIGAS	8,91	442,3	180,2	97,96
PILARES	2,8	138,6	59,8	36,96
LAJES	16,13	263,6	117,8	0
TOTAL	27,84	844,5	357,8	134,92

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

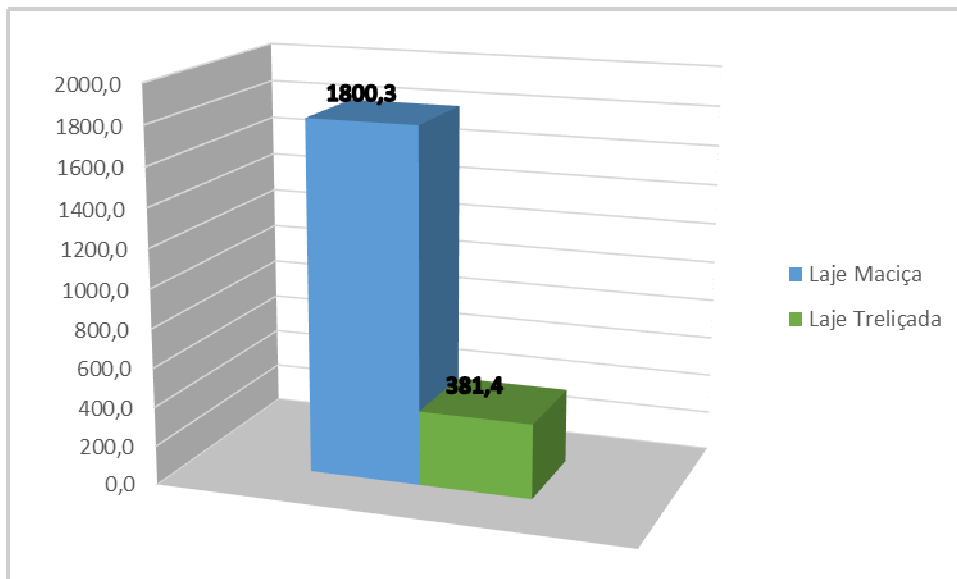
4.1.4 Análise dos resultados obtidos

Com o objetivo de obter uma visualização mais intuitiva dos materiais requeridos, serão exibidos gráficos comparativos, em primeiro momento, apenas para as lajes (Gráficos 1, 2 e 3).

Gráfico 1 - Comparativo do volume de concreto (m³) entre lajes maciça e treliçada

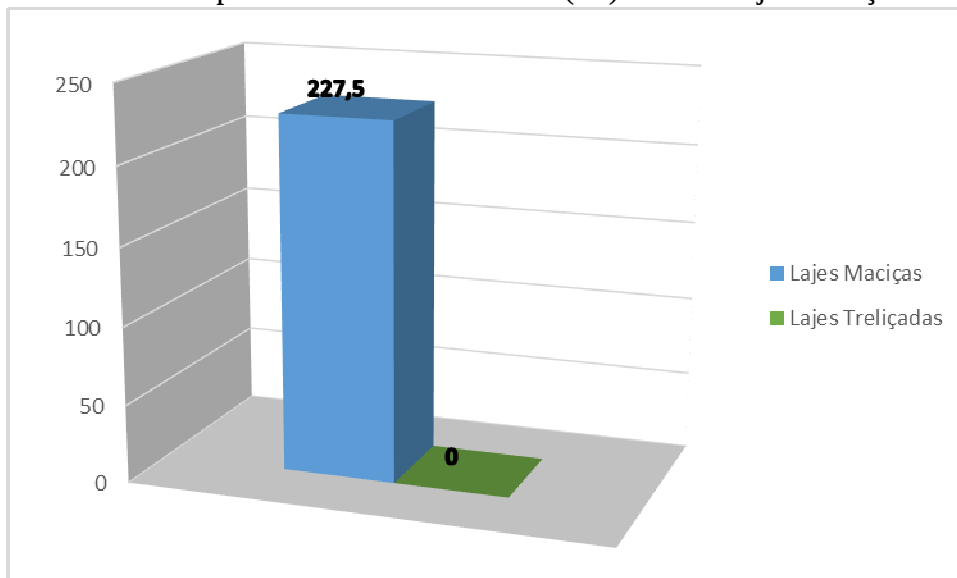
Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Gráfico 2 - Comparativo do peso do aço (Kg) entre as lajes maciça e treliçada



Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Gráfico 3 - Comparativo da área de fôrmas (m²) entre as lajes maciça e treliçada



Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Um fato pertinente que merece destaque é com relação às fôrmas das lajes treliçadas. Aqui cabe lembrar que o conjunto vigota + elemento de enchimento constitui a base para o lançamento do concreto; em outras palavras, a fôrma propriamente dita. Logo, para as lajes treliçadas, faz necessário apenas a utilização dos escoramentos.

Demonstra-se através da Tabela 10 o comparativo dos materiais, bem como suas porcentagens. Cabe ressaltar que tal comparativo foi efetuado analisando o sistema como um todo, isto é, lajes, vigas e pilares. O Gráfico 4 retrata os dados contidos na Tabela 10, comparando de forma intuitiva a relação em porcentagem dos dois Sistemas.

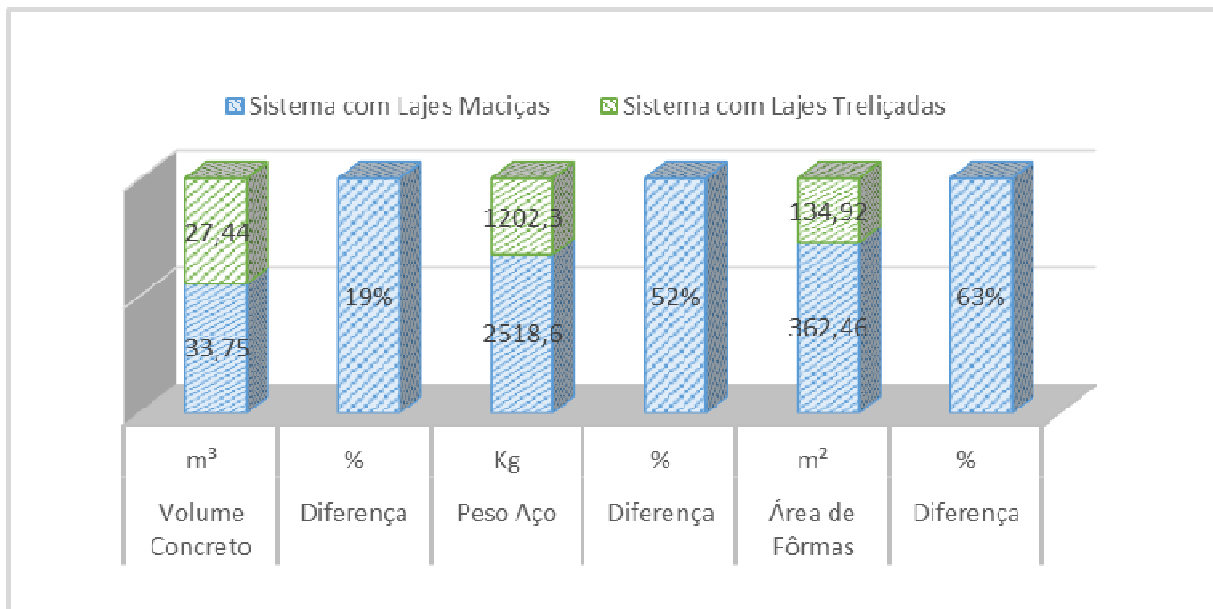
Tabela 10 - Comparativo percentual entre os materiais dos dois Sistemas

Sistema Estrutural	Volume Concreto		Peso Aço		Área de Fôrmas	
	m ³	%	Kg	%	m ²	%
Sistema com Lajes Maciças	33,75	100%	2518,6	100%	362,46	100%
Sistema com Lajes Trelaçadas	27,44	81%	1202,3	48%	134,92	37%

- Adotado valor de referência = 100%

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Gráfico 4 - Comparativo entre materiais entre os Sistemas 1 e 2



Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

4.1.5 Levantamento dos custos por meio da composição unitária

4.1.5.1 Especificações adotadas para o cálculo dos custos

Para o levantamento dos custos, utilizou-se de composições usuais para os serviços considerados, os quais foram retirados da “Tabela de Composições de Preços para Orçamentos” – TCPO (PINI, 2010).

Esta ferramenta é de grande valia no auxílio para a elaboração de um orçamento. Nela, estão contidos índices de consumo de materiais e mão de obra para a execução de uma determinada atividade específica; todavia, a TCPO (PINI, 2010) não apresenta os custos dos insumos.

Os custos para as composições foram obtidos de modo unitário através do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI, para o estado do Paraná, a partir da última versão disponível (julho de 2016).

De modo geral, cabe salientar que não estão inclusos nessa composição os custos referentes aos blocos de fundação, uma vez que, para determiná-los, seria necessária uma análise do terreno através de investigações geotécnicas. O cálculo dos custos considerou apenas as composições para os serviços propriamente ditos, de modo que os serviços preliminares como limpeza do terreno, instalação de canteiro de obras etc não se incluem.

Note que, até aqui, o Capítulo 4 não vem tratando das lajes alveolares, isto porque, como já mencionado, fez-se necessário um levantamento de subsídios objetivando-se uma futura análise de viabilidade econômica dos outros dois sistemas de lajes com a mesma.

4.1.5.2 Custos do Sistema 1: Lajes maciças

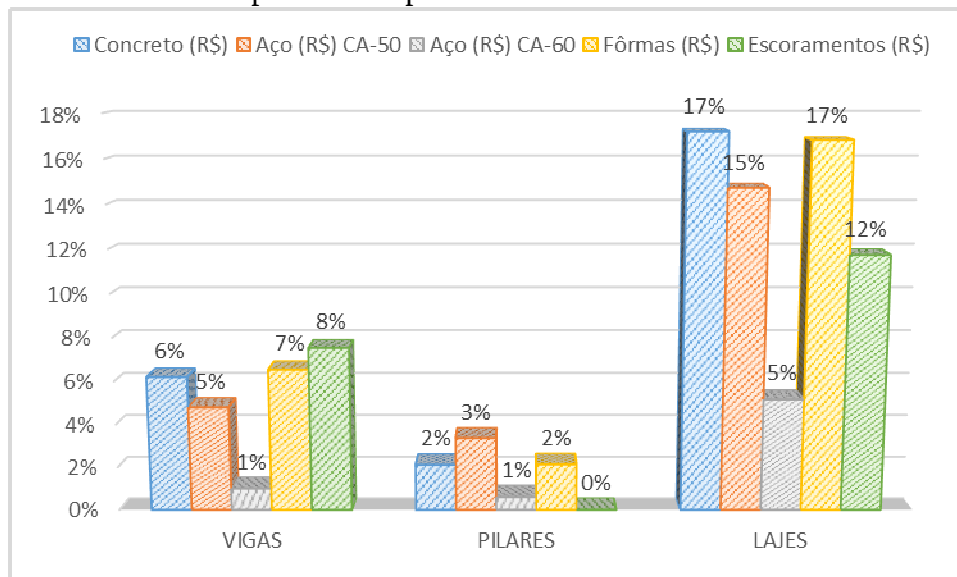
Os valores obtidos com o Sistema 1, bem como o valor total da estrutura são retratados através da Tabela 11. Pode ser visto através do Gráfico 5 o custo percentual por material utilizado.

Tabela 11 - Custos totais com o Sistema 1: lajes maciças

	Concreto (R\$)	Aço (R\$)		Fôrmas (R\$)	Escoramentos (R\$)
		CA-50	CA-60		
VIGAS	R\$ 3.410,51	R\$ 2.641,49	R\$ 553,07	R\$ 3.599,50	R\$ 4.145,45
PILARES	R\$ 1.164,72	R\$ 1.854,75	R\$ 334,81	R\$ 1.180,45	0
LAJES	R\$ 9.462,11	R\$ 8.102,44	R\$ 2.844,27	R\$ 9.260,66	R\$ 6.458,48
TOTAL	R\$ 14.037,34	R\$ 12.598,68	R\$ 3.732,15	R\$ 14.040,61	R\$ 10.603,93
TOTAL DA ESTRUTURA		R\$ 55.012,71			

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Gráfico 5 - Custos percentuais por material do Sistema 1



Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

4.1.5.3 Custos do Sistema 2: Lajes treliçadas

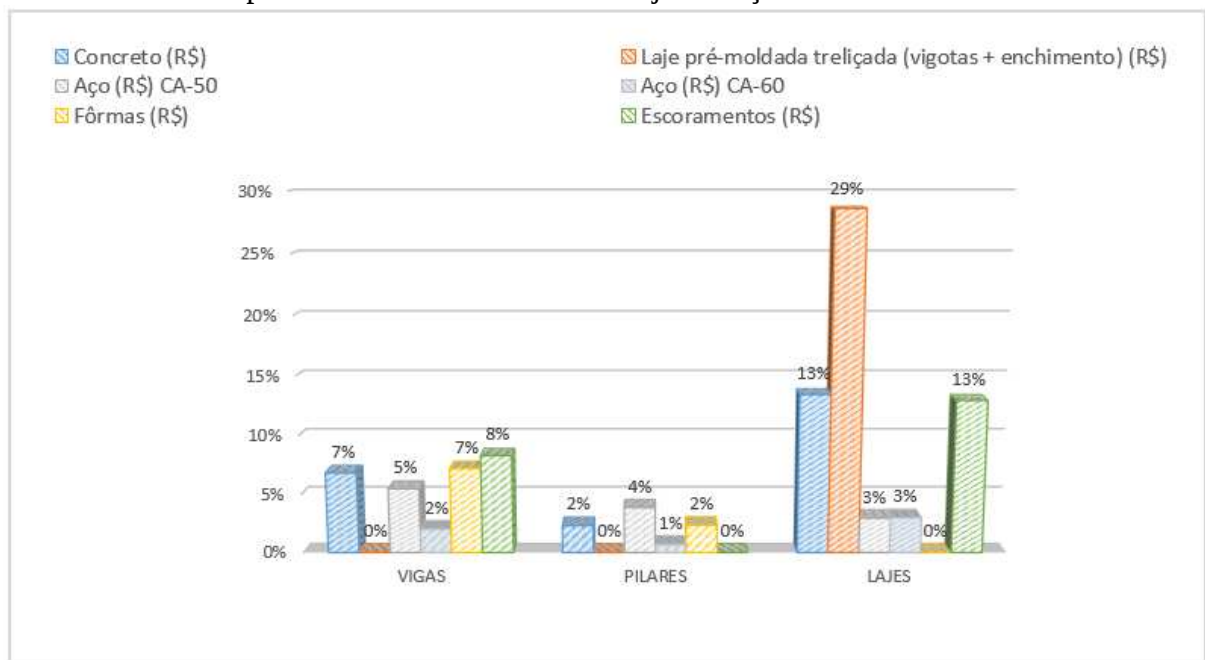
Os valores obtidos com o Sistema 2 e o valor total da estrutura podem ser vistos através da Tabela 12. O Gráfico 6 mostra o custo percentual por material utilizado.

Tabela 12 - Custos totais com o Sistema 2: lajes treliçadas

	Concreto (R\$)	Laje pré-moldada treliçada (vigotas + enchimento)	Aço (R\$)		Fôrmas (R\$)	Escoramentos (R\$)
			CA-50	CA-60		
VIGAS	R\$ 3.414,38	0	R\$ 2.736,73	R\$ 1.008,33	R\$ 3.598,04	R\$ 4.143,73
PILARES	R\$ 1.164,72	0	R\$ 1.935,62	R\$ 343,81	R\$ 1.180,45	0
LAJES	R\$ 6.708,35	R\$ 14.287,21	R\$ 1.484,64	R\$ 1.498,23	0	R\$ 6.458,48
TOTAL	R\$ 11.287,45	R\$ 14.287,21	R\$ 6.156,99	R\$ 2.850,37	R\$ 4.778,49	R\$ 10.602,21
TOTAL DA ESTRUTURA	R\$					49.962,72

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Gráfico 6 - Custos percentuais com o Sistema 2: lajes treliçadas



Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

4.1.5.4 Custos do Sistema 3: Lajes alveolares

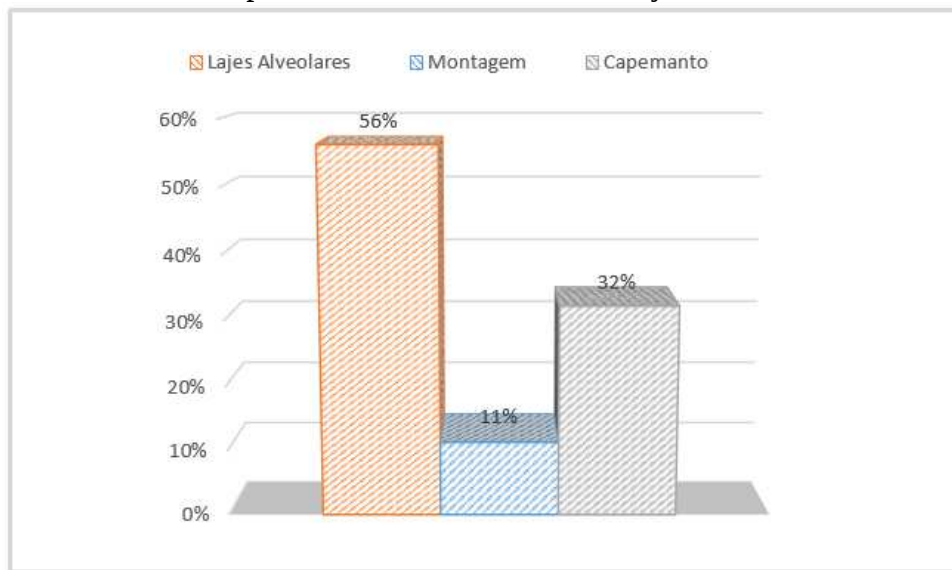
Na Tabela 13, são expostos os custos envolvendo o sistema com lajes alveolares. Cabe salientar que não estão incluídos gastos com material – como aço, concreto etc – mas sim a composição final dos serviços. Esses dados foram levantados junto à empresa Diarc Engenharia e Pré-Fabricados Ltda. O Gráfico 7 expõe o percentual dos custos envolvendo o Sistema 3.

Tabela 13 - Custos totais com o Sistema 3: lajes alveolares

LAJES ALVEOLARES (R\$)	Montagem (R\$)	Capejamento (R\$)
R\$ 35.120,00	R\$ 7.103,20	R\$ 20.151,00
TOTAL DA ESTRUTURA		R\$ 62.374,20

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Gráfico 7 - Custos percentuais com o Sistema 3: lajes alveolares



Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

4.1.6 Estimativa de tempo de execução

Como um requisito complementar, optou-se por realizar um comparativo quanto ao tempo de execução dos três sistemas. Esse comparativo leva em conta as quantidades de horas necessárias para oficial e ajudante, baseados nos índices da TCPO.

Aqui cabe salientar que o tempo de execução é muito relativo, uma vez que caminha paralelamente com a quantidade de mão de obra que está sendo empregada. Neste caso, como se trata de uma ilustração hipotética, considerou-se para os Sistemas 1 e 2:

Oficiais:

- 2 pedreiros;
- 1 armador;
- 1 Carpinteiro.

Ajudantes:

- 2 serventes de pedreiro;
- 1 auxiliar de armador;
- 1 auxiliar de carpinteiro.

Essa configuração não se aplica para o sistema envolvendo as lajes alveolares por se tratar de uma concepção de serviços diferentes. Geralmente, o contratante de uma empresa de pré-fabricados não adquire apenas os elementos estruturais desejados, mas também sua instalação em obra. Logo, a empresa contratada possui sua própria equipe de montagem, peculiar para cada etapa de serviços.

Quanto à composição do tempo para o Sistema 3 (lajes alveolares), foi utilizado o tempo real envolvido na instalação das lajes, valor esse também obtido com a empresa responsável.

As Tabelas 14, 15 e 16 mostram, para cada respectivo Sistema, a estimativa do tempo de execução. Considerando uma jornada de trabalho de 8,8 horas/dia, cinco dias por semana, sem interrupção dos trabalhos por intempéries climáticas e feriados, obtiveram-se os seguintes resultados:

Tabela 14 - Tempo necessário à execução do Sistema 1

	Oficial	Ajudante
	Horas	Horas
Sistema 1: lajes maciças	911,3	687,34
TOTAL EM SEMANAS	5,18	

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Tabela 15 - Tempo necessário à execução do Sistema 2

	Oficial	Ajudante
	Horas	Horas
Sistema 2: lajes treliçadas	561,8	760,35
TOTAL EM SEMANAS	3,19	

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

Tabela 16 - Tempo necessário à execução do Sistema 3

	Montagem	Capeamento e cura
	Dias	Dias
Sistema 3: lajes alveolares	2	7
TOTAL EM SEMANAS	1,28	

Fonte: Dados da Pesquisa (2016)

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer da elaboração deste trabalho, pode-se perceber o quanto os sistemas de lajes diferem-se entre si, cada qual com suas peculiaridades. Em razão disso, a análise de viabilidade econômica não deve se ater apenas ao consumo de materiais, mas abrangendo em um contexto global todas as características relevantes ao processo construtivo, como: tempo de execução, mão de obra empregada, recursos e materiais necessários.

A utilização de tabelas objetivou expor ao leitor de forma clara todas as etapas compreendidas, desde o levantamento de subsídios como a composição final dos custos. Também foram expostos gráficos cujo intuito era o de expressar os resultados obtidos de forma mais intuitiva e de fácil compreensão.

Foi interessante notar que o custo total envolvendo as lajes alveolares foi maior do que os sistemas envolvendo as lajes maciças e treliçadas, acrescidos dos respectivos valores dos elementos estruturais adicionais. O custo com as lajes alveolares foi cerca de 12% maior para o sistema de lajes maciças e 20% para as lajes treliçadas; todavia, o custo sozinho nesse caso não pode ser tomado como o fator norteador para a viabilidade econômica.

É notório que o custo quanto ao emprego das lajes alveolares foi maior, porém, o Custo de Oportunidade entra em cena para questionar se esses resultados, em um primeiro momento, são de fato os mais verdadeiros, ainda mais se tratando de um edifício comercial como nesse caso.

Com o emprego das lajes alveolares, seriam eliminados os serviços de armação, carpintaria, revestimentos e estocagem, favorecendo, como já dito, o canteiro de obras com uma logística mais precisa.

Sua capacidade de vencer grandes vãos é uma vantagem que merece destaque em virtude de reduzir sensivelmente a presença de elementos estruturais necessários à sua implementação, favorecendo também a arquitetura e a estética. Em consequência disso, propicia-se ter mais liberdade para realizar a modelagem dos ambientes internos, bem como futuras reformas.

Todavia, o fator mais evidente se dá em âmbito temporal. Se tomarmos o tempo de execução para análise, percebe-se que as lajes alveolares são muito mais rápidas que as

demais aqui comparadas; logo, o quão antes o edifício for concluído, mais rapidamente o proprietário começará a obter lucro.

A escolha da alternativa estrutural a ser adotada depende de muitas variáveis. Por isso, é necessário sintonia entre contratante e os profissionais responsáveis, de modo a optar pela opção mais vantajosa para uma determinada realidade, tendo como alicerce o Custo de Oportunidade.

CAPITULO 6

6.1 SUJESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Seria interessante analisar o custo de implementação para uma fábrica de lajes alveolares de concreto protendido, incluindo o custo com equipamentos necessários para sua produção.

Promover um estudo quanto ao desempenho estrutural das lajes alveolares em comparação com as lajes maciças e as treliçadas pré-moldadas.

Realização de um estudo na cidade de Cascavel-PR para aferir os tipos de sistemas de lajes mais empregados.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A.T. **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado**. 1999. Disponível em http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/1999ME_AugustoTeixeiradeAlbuquerque.pdf > Acesso 16 maio de 2016.
- ANDRADE, M. M. **Introdução à Metodologia do Trabalho Científico**. 10.ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- ARAÚJO, J.M. **Curso de concreto armado**. 4 ed. v.4. Rio Grande: Dunas 2014.
- ARCELORMITTAL. **Manual técnico de lajes treliçadas**. 2010. Disponível em <http://longos.arcelormittal.com.br/pdf/produtos/construcao-civil/outros/manual-tecnico-trelicas.pdf>>. Acesso em 1º jun. 2016.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 6118:2014 versão corrigida**: requisitos básicos exigíveis para o projeto de estruturas de concreto simples, armado e protendido, excluídas aquelas em que se empregam concreto leve, pesado ou outros especiais. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- _____. **NBR 14859-1**: laje pré-fabricada – requisitos – parte 1: lajes unidirecionais. Rio de Janeiro: ABNT, 2002a.
- _____. **NBR 14859-2**: laje pré-fabricada – requisitos – parte 2: lajes bidirecionais. Rio de Janeiro: ABNT, 2002b.
- _____. **NBR 14861**: lajes alveolares pré-moldadas de concreto protendido – requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2011.
- _____. **NBR 14931**: execução de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- BARALDI, L.T. **Sistemas estruturais**. 2010. Disponível em: http://civilnet.com.br/Files/Sistemas%20Estruturais/1_Elementos%20estruturais.pdf>. Acesso em: 2 maio 2016.
- BASTOS, P.S.S. **Lajes de concreto**. 2015. Disponível em: <http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Lajes.pdf>>. Acesso em: 5 jun. 2016.
- BOCCHI JR, C.F; GIONGO, J. S. **Concreto armado**: projeto e construção de lajes nervuradas. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2007.

CBIC – CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO – CBIC. **PIB 2015**. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/menu/home/pib-2015>>. Acesso em: 21 mar. 2016.

CAIO, F. **Análise comparativa entre sistemas estruturais de lajes maciças e nervuradas treliçadas**. 2014. Disponível em: <<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/575/1/2014FelipeCaio.pdf>> Acesso em: 16 maio 2016.

CARVALHO, R.C; PINHEIRO, L.M. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: segundo NBR 6118/2003. 3. ed. São Carlos: Edufscar, 2013.

CATOIA, B. **Lajes alveolares protendidas**: cisalhamento em região fissurada por flexão. 2011. Disponível em: <http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/2011DO_BrunaCatoia.pdf>. Acesso em: 16 maio 2016.

CERVO, A.L; BERVIAN, P.A. **Metodologia científica**. São Paulo: Pearson, 2002.

CONWAY, E. **50 ideias de economia que você precisa conhecer**. 1. ed. São Paulo: Planeta, 2015.

CORRÊA, M.R.S. **Aperfeiçoamento de modelos usualmente empregados no projeto de edifícios**. 1991. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

COSTA, O.O. **“Avaliação de desempenho de elementos de lajes alveolares protendidas pré-fabricadas”**. 2009. Disponível em: <livros01.livrosgratis.com.br/cp122093.pdf> Acesso em: 16 de maio de 2016.

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

FRANÇA, A.V.P. **Estudo das lajes alveolares pré-fabricadas em concreto protendido submetidas a ensaios de cisalhamento**. 2012. Disponível em: <<http://www.prppg.ufpr.br/ppgcc/sites/www.prppg.ufpr.br/ppgcc/files/dissertacoes/d0174.pdf>> Acesso em: 16 maio 2016.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas em pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.

HEIDTMANN JÚNIOR, D. **Sistema treliçado espacial pré-molde**. 2009. Disponível em: <<http://www.pelotascenter.com.br/premolde/arquivos/pre-molde.pdf>> Acesso em: 5 jun. 2016.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia econômica e análise de custos**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

KEYNES, J. M. **A teoria geral do emprego, do juro e da moeda**. São Paulo: Nova Cultural, 1996.

LOPES, A.F.O. **Estudo técnico comparativo entre lajes maciças e nervuradas com diferentes tipos de materiais de enchimento**. 2012. Disponível em: <https://www.ufpe.br/eccaa/images/documentos/TCC/2012.1/tcc2_versaofinal201201%20-%20andre%20felipe%20de%20oliveira%20lopes.pdf> Acesso em: 23 maio 2016.

MIZUMOTO, C; MARIN, M.C; SILVA, M.C. **Aspectos técnicos referente a sistemática de controle e produção da laje alveolar de concreto pré-fabricado**. 2013. Disponível em: <<http://www.maisqueprefabricados.com.br/resources/pdf/artigo-3enppp.pdf>> Acesso em: 16 maio 2016.

NAKAO, R. et al. **Lajes pré-fabricadas treliçadas: uma análise experimental regional segundo a NBR 14859**. 2005. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/conteudo/trab_pdf/120%20.pdf> Acesso em: 5 jun. 2016.

NERVO, R. **Análise comparativa dos sistemas estruturais de lajes convencionais e lajes nervuradas**. 2012. Disponível em <http://www.unisc.br/portal/upload/com_arquivo/analise_comparativa_dos_sistemas_estruturais_de_lajes_conven.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2016.

PETRUCELLI, N.S. **Considerações sobre projeto e fabricação de lajes alveolares protendidas**. 2009. Disponível em: <http://www.bdt.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=2829> Acesso em: 16 maio 2016.

SALAS, S. J. **Construção industrializada: pré-fabricação**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1988.

SPOHR, V.H. **Análise comparativa: sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas**. 2008. Disponível em < http://cascavel.ufsm.br/tede/tde_arquivos/20/TDE-2008-09-02T112928Z-1707/Publico/VALDIHENRIQUESPOHR.pdf> Acesso em: 16 maio 2016.

SERRA, S.M.B.; FERREIRA, M.de A.; PIGOZZO, B. N. **Evolução dos pré-fabricados de concreto**. 2005. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/conteudo/trab_pdf/164.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2016.

TATU PREMOLDADOS LTDA. **Laje alveolar protendida**. 2005. Disponível em: <http://www.tatu.com.br/pdf_novo/lajes_alveolares.pdf> Acesso em: 16 maio 2016.

TCPO. **Tabelas de Composições de Preços para Orçamento**. 13ª Edição, São Paulo: PINI, 2010.

VASCONCELOS, A. C. **O concreto no Brasil**: pré-fabricação, monumentos, fundações. Vol. III. São Paulo: Studio Nobel, 2002.

VASCONCELLOS, M. A. S.; GARCIA, M. E. **Fundamentos Economia**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2008.