

ESTUDO DE CASO: COMPARATIVO DE CUSTO ENTRE LAJES TRELIÇADAS E MACIÇAS

FÁBIO HENRIQUE PAGLIARI¹
PEDRO MATIAZZI DA SILVA²

RESUMO: Historicamente, a Construção Civil vem se desenvolvendo e, com as novas práticas, surgem também as demandas por novas tecnologias construtivas bem como materiais e procedimentos modernos. Com o passar dos anos, a Arquitetura exigiu espaços modernos, com maiores vãos, redução de pilares, acrescentando, assim, esforços adicionais ao longo da estrutura e, portanto, o modelo tradicional de laje passou a não ser viável em todas as condições, uma vez que esta era, habitualmente, empregada para vão pequenos e de forma maciça. No presente trabalho, foi desenvolvido um estudo comparativo entre os dois principais métodos construtivos de laje, sendo a laje maciça e a laje treliçada, buscando identificar em quais condições, o parâmetro custo definirá o método construtivo mais viável. O estudo, inicialmente, realizou uma abordagem literária sobre os dois métodos construtivos, no intuito de levantar cada característica específica e técnica dos tipos de laje. O presente estudo caracteriza-se a partir do levantamento de dados quantitativos e qualitativos, os quais foram obtidos através de cálculos realizados por *softwares* e planilhas técnicas de fundamentação específica para o tema. Após todos os estudos, chegou-se à conclusão de que a laje treliçada é mais viável frente à maciça, uma vez que aquela apresenta uma redução de custos na ordem de 25% e uma redução no período de execução de 33%.

PALAVRAS-CHAVE: Orçamento; Lajes; Métodos Construtivos.

CASE STUDY: COST OF COMPARISON BETWEEN TRANSITTED AND MASSIVE SLABS

ABSTRACT: Historically, Civil Construction has been developing, and with the new practices, there is a need for new construction technologies as well as modern materials and procedures. Over the years, architecture has demanded modern spaces, with greater spans, reduced pillars and thus adding additional efforts throughout the structure, and soon, the traditional slab model is no longer viable in all conditions, since the it was usually used for small and massive spaces. In the present work, a comparative study will be developed between the two main slab construction methods, being the solid slab and the lattice slab, seeking to identify under what conditions the parameter. Cost will define which construction method will be most viable. The study will initially carry out a literary approach regarding both construction methods, in order to raise each specific and technical characteristic of the slab types. The present study still has how. Characteristic is a study with survey of quantitative and qualitative data, where they will be obtained through calculations performed by software and technical spreadsheets of specific reasoning for the theme. After all the studies it was concluded that the

¹ Acadêmico de Graduação, Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Sinop – FASIPE, R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: fabio_pagliari@hotmail.com

² Professor Especialista em Gerenciamento de Projetos, Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Sinop – FASIPE, R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: eng.pedro@concreart.net.br

lattice slab is more viable compared to the solid one, since it presents a cost reduction of around 25% and a reduction in the execution period of 33%.

KEYWORDS: Budget; Slabs; Constructive methods.

1. INTRODUÇÃO

A Construção Civil, historicamente, revoluciona-se com rapidez, de acordo com as necessidades e fins a serem vencidos. Dentre essas diversas evoluções, estão as mais diversas variações que foram surgindo ao longo dos tempos, possibilitando, além de bom desempenho estrutural, a facilidade de execução e, primordialmente, as novas possibilidades arquitetônicas (DONIN, 2007).

Por volta dos anos 80, os tipos de lajes predominantes no mercado eram do tipo maciças e nervuradas e, como uma alternativa de inovação, surgiram as lajes pré-fabricadas, porém, de início diversos obstáculos frearam o seu desenvolvimento e aplicação, como por exemplo, a falta de *softwares* para facilitar os cálculos de dimensionamento e análise. Associado à falta de estudos consistentes, a participação das lajes pré-fabricadas no Brasil nos anos de 1990, era pouco mais de 5%; mas, com o passar dos anos e com os devidos avanços científicos e tecnológicos, passou a ocupar 40% do espaço na Construção Civil brasileira, considerando a agilidade e rapidez de sua execução fatores que impulsionaram esse avanço (ABILAJES, 1998).

As lajes são elementos com duas dimensões planas, tendo um formato plano de uma placa, apresentando largura e comprimento com tamanhos superiores à espessura. Logo, a espessura é a principal área encarregada de receber todos os esforços verticais atuantes na estrutura, com a finalidade de resistir e transmitir-los aos demais elementos inferiores, que são as vigas e, posteriormente, os pilares. Por sua vez, as dimensões não são padronizadas, permitindo diversas estruturas, sendo aplicada aquela que melhor responde para cada situação específica (DONIN, 2007).

Ao longo dos anos, foram criados e aprimorados os mais diversos modelos construtivos de formas e lajes, sempre buscando a melhora do seu desempenho estrutural bem como favorecer a arquitetura do projeto. A escolha do modelo e método construtivo mais adequado dá-se muito em virtude da necessidade momentânea do projeto, porém, a experiência e a vivência do profissional contam muito para a escolha acertada (DONIN, 2007).

O mercado brasileiro da Construção Civil, constantemente, passa por processos de modernização em seus mais diversos âmbitos, primordialmente no que diz respeito a materiais e métodos executivos. O desenvolvimento de novos produtos é essencial para que se possa ter uma indústria que seja lucrativa e eficiente, além de aprimorar as proteções para o meio ambiente e mitigar as possibilidades de erros na execução (MATTOS, 2006).

A laje é um importante elemento na Construção Civil, pois sua função estrutural pode estar relacionada à cobertura e à sustentação do telhado e, até mesmo, como suporte para o pavimento superior. A laje também é destinada a receber a maior parte das ações concentradas em uma obra, a exemplo, as ações de pessoas, paredes, pisos e os mais diversos tipos de cargas que possam existir em função do propósito arquitetônico do espaço de que a laje faz parte (BASTOS, 2015).

Uma das principais características da evolução das lajes está na busca de um *layout* mais limpo, com menos pilares e mais liberdade de locomoção, assim, necessita-se de elementos com um maior e melhor desempenho estrutural, que possibilite a eliminação e redução de vigas e pilares no ambiente, além da simplificação nos métodos executivos. (DONIN, 2007).

Conforme descrito por Caio (2014), o avanço da Construção Civil está diretamente ligado com a qualidade dos projetos elaborados, tendo o estrutural como um dos principais projetos de um empreendimento. O projeto estrutural tem esse papel de destaque, pois representa aproximadamente 20% do preço global de um empreendimento. Logo, justifica-se, então, um estudo prévio para a escolha do sistema estrutural a ser adotado, pois sabe-se que uma redução no custo da estrutura pode representar, no custo total, uma diminuição de aproximadamente 2%.

O principal objetivo deste estudo foi o de delimitar qual método construtivo consegue proporcionar um projeto que contemple o equilíbrio ideal entre as condições mínimas de segurança e durabilidade e, ao mesmo tempo, concilie com a maior economia de insumos, tempo de execução e mão de obra. Sendo assim, o presente estudo justifica-se pela oportunidade de investigar minuciosamente as correlações ideais entre custo/benefício e desempenho estrutural, buscando identificar qual método construtivo possibilita desempenho com segurança e durabilidade associados à redução de custos.

As análises técnicas foram realizadas a partir de informações coletadas dos projetos em estudo, desenvolvidos em *softwares* de dimensionamento estrutural e obediente às normativas vigentes. Atrelado a isto, foi realizado levantamento de insumos e mão de obra exigidos para cada tipo de laje em estudo, alcançando-se valores e tempo de execução, demonstrados através de planilhas orientativas.

Desta forma, esse artigo apresentou, como objetivo, analisar as diferenças entre lajes de concreto armado treliçadas e maciças, no que diz respeito a custo/benefício, utilizando *software* de dimensionamento para obter os quantitativos, além de planilhas orientativas para realizar o levantamento de custos de insumos e mão de obra. Essas análises foram realizadas através de bibliografias com consulta aos conceitos teóricos sobre lajes de concreto armado treliçadas e maciças para quantificar os insumos e verificar, dentre os sistemas adotados, qual deles apresenta melhor viabilidade de execução; também buscou identificar junto aos construtores locais, por meio da realização de entrevistas, qual a laje mais empregada por eles e comparar aos dados coletados na literatura, identificando, também, qual dos dois tipos de lajes apresenta menor tempo de execução.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 História da Construção Civil

A história da Construção Civil está diretamente ligada com a história da humanidade, visto que, desde os tempos antigos, o ser humano traça e engenha seus abrigos. Os povos antigos, muitas vezes, tinham que competir seus espaços com os animais que, anteriormente a chegada daqueles, utilizavam-nos como abrigo do frio e chuva. A descoberta do fogo, dentro deste contexto, favoreceu ao homem que passou a utilizá-lo, principalmente, para afastar estes animais e também para manter iluminados seus abrigos (MOURA e JUNIOR, 2013).

Com o passar do tempo, o homem percebeu que era possível dedicar-se mais ao desenvolvimento e à evolução de suas moradias, ou seja, alcançar mais conforto e segurança para sua família. Desta maneira, passaram a construir seus ambientes com outros materiais, como por exemplo, ossos, palhas, folhas de árvores, galhos entre outros. E, com a observação do potencial do recurso barro, surgiram as primeiras telhas e tijolos que são muito utilizados na Construção Civil até os dias de hoje (POUEY e LAROQUE, 2016).

Desde os primórdios, o aperfeiçoamento da arte de construir favoreceu, cada vez mais, segurança e conforto, além de garantir um importante marco na economia mundial. Para tal, foram desenvolvidos métodos e técnicas com o propósito de romper desafios na Engenharia, tendo, como exemplo, a intenção de vencer grande vãos, execução de pavimentos e suportar

cargas elevadas. Neste caso, ocorreu a necessidade de criação de novos sistemas de lajes, a fim de auxiliar as características das estruturas esperadas com os parâmetros de agilidade e economia da construção. Deste modo, as lajes ganharam espaço no mercado, tornando-se um sistema muito utilizado na Construção Civil atualmente, principalmente no Brasil (FONTES, PINHEIRO E SARTORTI, 2013).

2.2 Construção Civil no Brasil

Desde o descobrimento do Brasil, registra-se a presença de obras com materiais de pedras e taipa. Após alguns anos marcados por obras pequenas, no estado da Bahia, deu-se início a construção de obras de porte maior. No ano de 1549, houve um importante destaque, pois Portugal colonizou o país. Inicialmente, não existia elaboração prévia da edificação e o crescimento dos locais colonizados pelos portugueses era realizado de acordo com a necessidade da população. Posterior ao início da colonização, houve a necessidade da construção de vários fortes para proteger o território local contra invasores (TELLES, 1984).

Durante esse período colonial, muitos profissionais da Engenharia contribuíram com seus conhecimentos para obras realizadas aqui. Com isso, obtiveram o título de Engenheiro-mor do Brasil ou do Estado do Brasil, como por exemplo, o caso do ilustre engenheiro Francisco de Frias da Mesquita, autor de importantes trabalhos; Frias da Mesquita conquistou o título de Engenheiro-mor em 1603 e, durante algum tempo, foi o único engenheiro em atividade no Brasil (TELLES, 1984).

Segundo NAPPI (1993), a Construção Civil mostrou-se da seguinte maneira no decorrer dos anos:

- Década de 40: com o presidente Getúlio Vargas no poder do país, a Construção Civil estava no seu ápice e, com isso, o concreto armado tornou-se uma importante tecnologia;
- Década de 50: a Construção Civil passou a ter seu trabalho de forma hierárquica;
- Década de 70: as empresas da área da Construção Civil foram unicamente destinadas a executar prédios, sendo realizados financiamentos pelo Regime Militar, para tentar reduzir o déficit de moradia no país;
- Década de 80: o Regime Militar reduz gradativamente os financiamentos, motivo pelo qual as construtoras voltam a comercializar suas unidades;
- Década 90: o mercado passa a ser mais exigente, impondo às construtoras obrigação de qualificação, exigência por de mão de obra mais apurada, com o intuito de aprimoração do produto final;
- Em 2000: o foco da industrialização da Construção Civil começa a agregar outros tipos de valores, como a preservação do meio ambiente que se torna mais preocupante e, com isso, novas leis surgem com o intuito de reduzir os impactos que os resíduos da Construção Civil provocam.

2.3 Laje Treliçada

Medrano, Figueiredo e Carvalho (2005) reiteram que as lajes de vigotas pré-fabricadas treliçadas (LVPT) podem ser utilizadas em edifícios residenciais, edifícios comerciais, viadutos, pontes, fábricas, galpões, dentre outros; porém, são fortemente indicadas para obras comerciais e habitacionais de pequeno porte. Devido à facilidade de execução, as LVPT vêm se tornando uma opção bastante viável, se comparadas a outros tipos de lajes.

A laje treliçada foi criada para reduzir o peso próprio da estrutura. É um sistema constituído por vigotas com um espaçamento padronizado e, entre esses pequenos vãos nas vigotas, são introduzidas matérias inertes, fazendo com que a superfície inferior fique lisa. A vantagem da utilização de materiais inertes combinados com as vigotas é que eles proporcionam um peso específico reduzido em relação à laje maciça, podendo empregar tanto lajotas cerâmicas quanto blocos de EPS – Poliestireno Expandido (PEREIRA, 2000).

O surgimento da laje treliçada foi baseada no fato de que, para as lajes maciças, existe muito concreto abaixo da região da linha neutra; então, boa parte do concreto em uma laje maciça está trabalhando tracionada, enquanto apenas uma pequena parte está trabalhando sob compressão. Tendo em vista que a resistência do concreto à tração é na ordem de apenas 10% de sua resistência à compressão, foram introduzidos materiais inertes entre as vigotas, com a função exclusiva de enchimento para economizar concreto (CARVALHO E PINHEIRO, 2009).

As lajes treliçadas podem se dispor como unidirecionais ou nervuradas; as lajes unidirecionais são produzidas com vigotas dispostas no sentido do menor vão; as lajes bidirecionais, além das vigotas, apresentam nervuras transversais moldadas no local e armadas com barras de aço para garantir a estabilidade da estrutura quando o vão em que a laje estiver sendo armada, exigir um peso maior, como por exemplo, em uma academia ou em uma biblioteca (FRANCA E FUSCO, 1997).

2.3.1. Vantagens e desvantagens da laje treliçada

De acordo com Brumatti (2008), o mercado oferece uma diversidade de alternativas de lajes pré-fabricadas e a laje treliçada apresenta excelente capacidade de moldagem; com isso, é possível reduzir a quantidade de formas e escoramentos utilizados. Quando essa laje treliçada é executada em forma de nervuras, reduz-se o volume de concreto e armaduras.

Para Nappi (1993), além disso, como vantagens, esse sistema estrutural apresenta maior inércia, possibilitando o aumento dos vãos entre os pilares, facilitando a arquitetura dos projetos. Além disso, apresenta baixo consumo de formas e escoras, visto que as lajotas de EPS funcionam como a forma, recebendo todo o concreto.

Consoante Vasconcellos (2004), as lajes treliçadas com lajotas de EPS também apresentam baixo desperdício de material, visto que o consumo de madeira na sua concepção é bem reduzido. Outro ponto importantíssimo diz a respeito ao conforto termo acústico que esse sistema proporciona em razão dos materiais empregados.

Conforme descrito por Caio (2014), como desvantagens, esse sistema requer mão de obra qualificada, visto que, caso não seja executada da maneira correta, o cronograma será afetado, prejudicando sua viabilidade econômica. Outro ponto refere-se à concretagem, visto que esta deve ser executada com calma e muito cuidado, considerando que as lajotas podem quebrar facilmente, dependendo do peso sobre ela, desperdiçando materiais e mão de obra.

Nappi (1993) adverte que, em lajes mais altas, deve-se atentar também para a dificuldade no içamento de materiais, uma vez que a vigota pré-moldada apresenta um peso considerável, dificultando o transporte do solo até o nível da laje. Em alguns casos, deve-se considerar, até mesmo, um pequeno guindaste para o transporte desses materiais para acelerar a produtividade.

2.3.2 Elementos de enchimento

Segundo a ABNT NBR 14589-1:2002, os elementos de enchimento são materiais pré-fabricados inertes, podendo ser maciços ou vazados, posicionados entre as vigotas, tendo função apenas de reduzir o volume de concreto, a quantidade de formas para a montagem e o peso próprio da laje. Por serem elementos de enchimento, eles não têm função estrutural, portanto não são considerados como colaboradores nos cálculos de resistência da laje. A resistência destes elementos de enchimento deve ser na ordem de 1,0kN, sendo suficiente para suportar as cargas sobre eles durante a montagem e concretagem da laje.

A escolha pelo tipo de material de enchimento depende unicamente da disponibilidade no local, sendo os mais comumente encontrados os blocos cerâmicos e blocos

de EPS (poliestireno expandido). As lajotas cerâmicas são melhores isolantes térmicos em relação à laje maciça, porém, como ponto negativo, ela apresenta um peso próprio elevado para um material de enchimento, além de proporcionar muitas avarias durante o transporte e montagem, visto que é um elemento com características similares ao tijolo cerâmico (PEREIRA, 2000).

A escolha pelos blocos de EPS como elementos de enchimento nas lajes está ganhando cada vez mais espaço, visto tratar-se de um material com um peso específico consideravelmente mais baixo em relação às lajotas. A vantagem da utilização dos blocos de EPS estão na facilidade de corte das lajotas, na boa resistência na montagem e concretagem, no baixo módulo de elasticidade, que permitem distribuição uniforme das cargas, isolamento termo acústico, material com boa uniformidade, favorecendo que as peças tenham bom encaixe na hora da montagem da laje (FRANCA e FUSCO, 1997).

2.4 Lajes Maciças

A laje é uma estrutura que é composta por elementos estruturais, na sua maioria é formada por duas dimensões com maiores valores e uma com um menor valor, sempre se encontram apoiadas sobre outros demais elementos estruturais como vigas, pilares e lajes. (CARVALHO, FIGUEIREDO 2007).

A NBR 6118 trata de toda e qualquer estrutura moldada em concreto, não sendo diferente para as lajes. Nesta norma, encontram-se todas as definições e parâmetros de cálculo para o dimensionamento de lajes maciças. Ainda se define que a laje maciça é todo e qualquer elemento de concreto armado que seja de dimensão plana na horizontal e vertical e a menor dimensão é sua espessura (FUSCO, 1981).

As lajes são elementos bidimensionais, formando um plano retangular e duas de suas dimensões são muito maiores que a terceira denominada de espessura. A principal função estrutural deste elemento está na resistência e transferência de esforços verticais oriundos de elementos acima dela. Geralmente, esta transmissão se dá para elementos logo abaixo como as vigas e pilares, os quais são considerados elementos fixos não deslocáveis (MUZARDO, PINHEIRO, SANTOS, 2010).

Lajes são elementos cujo cálculo deve considerar todas as possibilidades, para tal, tem-se por objetividade adotar valores uniformes para esforços e carregamentos verticais, como cargas pontuais, carregamentos lineares de paredes, pesos de revestimentos, entre outros. Toda e qualquer laje deve seguir alguns parâmetros para a definição de seus carregamentos reais, independentemente de sua aplicação podendo ser residencial, predial ou até mesmo pontes, quais sejam: peso próprio da laje; peso de eventual enchimento; revestimento; paredes sobre lajes; carregamento acidental (ALBUQUERQUE, 2019).

As lajes maciças possuem o formato de placa, não havendo variação de sua espessura, sendo inteiramente formado por concreto armado. Elas são totalmente apoiadas em todo o seu contorno, variando apenas o vínculo de ligação com os demais elementos sob o qual venha a se apoiar. Têm grande aplicação e viabilidade para pequenos vãos e, comumente são empregadas em residências e edifícios (FUSCO, 1981).

Com os fatos supracitados, pode-se observar que as lajes maciças não são viáveis para vencer grandes vãos, restringindo-se a vencer vãos menores com dimensões de até 5m, isto por que as lajes em edificações consomem altas taxas do volume de concreto total, elevando, assim, o seu peso próprio e alimentando os carregamentos permanentes da estrutura (ARDUINI, 1981).

As lajes desempenham papel de extrema importância na estrutura, pois associadas aos pórticos criados pelas vigas e pilares, possibilita maior rigidez à estrutura, diminuindo, assim, os deslocamentos destes elementos que, por sua vez, representam a estrutura encarregada de transmitir os esforços acima para as estruturas abaixo (ALBUQUERQUE, 1999).

2.4.1 Vantagens e desvantagens da laje maciça simples

De acordo com Carvalho e Pinheiro (2009), a laje maciça tem, como principal vantagem, a sua forma simples de execução, pelo fato de apresentar menor deformação e pequenos esforços. Como já foi dito, a laje maciça é utilizada em pequenos vãos, grande parte do concreto da laje maciça contribui pouco na resistência à flexão, pelo motivo de que a linha neutra apresenta pequena profundidade, o que resulta em concreto tracionado.

Conforme descrito por Bastos (2015), as lajes maciças possuem um bom desempenho em relação à capacidade de distribuição de esforços para as vigas subjacentes. Este sistema é menos susceptível ao surgimento de trincos e fissuras e é um dos sistemas mais antigos de lajes, sendo o mais empregado até o surgimento das lajes treliçadas.

Para Moura e Junior (2013), este sistema estrutural é muito recomendado em marquises ou em sacadas em balanço que possuem um, dois ou três bordos livres, pois apresenta grande capacidade de redistribuição dos esforços. O lançamento do concreto nesse sistema de laje é bem simples, visto que, com as formas colocadas, o adensamento torna-se mais fácil, além de que essa laje pode servir facilmente como o acabamento de forro, dependendo do seu acabamento final.

Como supracitado, Carvalho e Pinheiro (2009) descrevem que, apesar de todas as vantagens, as lajes maciças possuem grandes desvantagens que pesam na hora da escolha pelo melhor sistema estrutural. Uma delas está na grande quantidade de formas e escoras utilizadas, visto que esse tipo de laje possui um peso maior e requer maiores cuidados. Outro ponto está no elevado consumo de aço e concreto. Como não existem elementos de enchimento, o volume de concreto é bem elevado e, dependendo das solicitações da laje, o consumo de aço também aumenta consideravelmente.

Segundo Bastos (2015), além disso, esse sistema estrutural requer mão de obra maior, visto que é um serviço manual e muito detalhista, tendo que amarrar todas as barras de aço das malhas, fabricar as formas da laje e assegurar o seu travamento. Todos esses pontos citados requerem mão de obra mais específica, bem como maior quantidade de dias trabalhados para finalizá-la, tornando-a inviável em alguns casos, devido aos custos elevados.

2.5 Métodos e processos executivos

2.5.1 Sistema de execução de Lajes Maciças

Para a montagem e concretagem de uma laje maciça, é necessário que se tenha uma boa equipe de trabalho, visto que se trata de um serviço completamente manual e minucioso. O primeiro passo para a montagem da laje maciça é encontrar o nível para apoiar as escoras. Logo em seguida, deve-se iniciar a colocação das escoras e do assoalho para a base da estrutura (YAZIGI, 1999)

De acordo com Yazigi (1999), após a colocação de todo o assoalho, deve-se conferir se a forma está bem nivelada e completamente travada, visto que o peso que ela sustentará será bem elevado. Posteriormente, deve-se fazer a locação dos pontos elétricos e hidráulicos para, em seguida, iniciar a confecção da malha de aço.

As barras de aço obedecerão rigorosamente aos diâmetros e espaçamentos solicitados pelo projeto estrutural da edificação. A confecção da malha é um serviço manual e requer grande dedicação dos colaboradores, visto que a estrutura exige ser amarrada com arame para ficar no espaçamento correto e também deve-se garantir o afastamento do assoalho para garantir o cobrimento nominal mínimo estipulado por norma (BOTELHO 2004).

Com todas as etapas seguidas conforme citado acima, a laje pode ser concretada. A espessura da laje deve obedecer aos critérios da norma técnica vigente e também ao projeto estrutural fornecido pelo engenheiro responsável. Após a concretagem, as escoras poderão ser retiradas com 28 dias de cura, em casos de traços especiais também pode-se realizar a retirada das escoras aos 14 dias. Em sequência, serão retiradas as madeiras das formas do assoalho, de modo a garantir a cura integral do concreto e evitar quaisquer tipos de problemas estruturais (BOTELHO,2004).

De acordo com Pinheiro e Razente (2003), durante a concretagem, os profissionais devem assegurar que a laje será concretada em uma só etapa, visto que o concreto rígido não tem aderência com o concreto fresco. Em obras onde a laje exige grande demanda de concreto, a opção mais viável é a contratação de uma empresa que forneça o concreto usinado.

2.5.2 Sistema de execução de Lajes Treliçadas

Segundo a Arcelormittal (2016), faz parte da composição de uma vigota treliçada, uma armação treliçada de aço que é uma estrutura metálica a qual possui fios de aço CA-60 processados em siderúrgica, para formar um elemento com duas treliças, onde estas ficam inclinadas e unidas e sua extremidade acima.

Para a composição da laje, são utilizadas lajotas do tipo de EPS ou Cerâmica as quais são comumente denominadas peças de enchimento, também existem os caixões perdidos. Estes elementos são posicionados entre as vigotas treliçadas, atuando como elemento redutor de volume de concreto, diminuindo, assim, o peso próprio da laje, valendo ressaltar que, no cálculo estrutural, estes elementos são desconsiderados (PEREIRA 2000).

De acordo com a Arcelormittal (2016), para a produção de treliças pré-fabricadas necessita-se de formas compostas que, geralmente, são constituídas com chapas de aço em formato de “U”, formando pistas de diversas variações de tamanhos, devendo-se, porém, tomar cuidados expressivos quanto à cura do concreto, com o correto posicionamento da armadura.

Durante a execução, devem ser tomados cuidados básicos com o transporte, devendo-se zelar pelo içamento das peças para evitar que estas não venham a cair e danificar a peça, principalmente garantir a estrutura principal da treliça. Logo, não é fácil nem simples transportar as vigotas pela extremidade manualmente; mas sim, recomenda-se transportar através de içamento. As treliças devem ser escoradas e entre elas deve haver preenchimento por material seja cerâmico ou EPS (BOCHI, 1995)

Ainda durante a execução, o processo de escoramento é fundamental para que o resultado buscado seja de qualidade; os cuidados a serem tomados no posicionamento das vigotas estão no correto alinhamento das linhas das escoras das formas, estando na diagonal em relação à linha principal das vigotas (PINHEIRO, 2003).

De acordo coma a Arcelormittal (2016), um dos principais cuidados com as lajes treliçadas a ser observado durante a concretagem, tanto no âmbito da segurança para evitar quedas, quanto no âmbito de execução, consiste na adoção de medidas como molhar bem a superfície da laje, além da adoção da cura úmida.

2.6 Materiais Componentes das Lajes

De acordo com a NBR 6118:2007, a execução de uma laje pode ser dividida em sete etapas, iniciando com a confecção de formas, armaduras, elementos de enchimento, instalação de tubos, caixas e eletrodutos, preparo e lançamento do concreto, adensamento do concreto, a cura do concreto e a retirada das formas e escoras utilizadas nas lajes (BRANDALISE e WESSLING, 2015).

2.6.1 Formas e Escoras

Na execução de formas, é possível empregar, como matéria-prima, a madeira compensada plastificada ou também as chapas de aço, juntamente com cimbramento das longarinas, escoras e travessas, cujo objetivo consiste em prover sustentação e forma para receber o concreto (BRANDALISE e WESSLING, 2015).

Segundo Brandalise e Wessling (2015), conforme citado na NBR 14931/04 no item 7.2.2.3, o formato das formas deve obter dimensões dos planos das lajes que serão projetadas, devendo haver o estanque que precisa impedir ocorrência de perdas de pasta de cimento quando for realizada a concretagem, de modo que sejam obedecidas as recomendações da ABNT NBR 7190/1997.

2.6.2 Armadura

As armaduras têm função primordial dentro do comportamento global da estrutura da laje e diversas são as maneiras de se obter o cálculo destas. Alguns valores precisam ser conhecidos para se calcular a armadura de uma laje, sendo os momentos fletores e volventes (M_x , M_y e M_{xy}); de uma forma mais exemplar, calculam-se os momentos e dispõem-se as armaduras nas regiões com a bitola necessária para resistir aos esforços (PARSEKIAN E CORRÊA, 1998).

Associado à armadura, é essencial o papel desempenhado pelo concreto. Esta associação de ambos promove o desempenho necessário para a estrutura, desempenhando o concreto papel fundamental de resistência ao cisalhamento. Para tal, deve-se conhecer os valores de momentos torções e a máxima tensão de cisalhamento (GIONGO, 1994).

2.6.3 Concreto da Laje

A NBR 8953 – Concretos para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência (ABNT, 2015) estabelece os parâmetros que conceituam o concreto estrutural a partir da resistência acima de C20. As resistências à compressão seguem definições de acordo com as classes de Resistência, como exemplifica a Tabela 1.

Tabela 1: Classe de resistências de concreto estruturais

Classe de resistência Grupo I	Resistência característica à compressão MPa	Classe de resistência Grupo II	Resistência característica à compressão MPa
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: ABNT/NBR 8953 (2015)

Para a realização de uma concretagem de laje, normalmente se utiliza o concreto usinado, que deve ser fornecido por empresas devidamente especializadas, conforme expresso no item 9.1.2.1 da NBR 14931/04. Essa norma estabelece parâmetros a serem seguidos em projetos, como abatimento (*slump* teste), resistência característica, módulo de elasticidade do concreto e as condições corretas de adensamento. A cura do concreto deve ser realizada de acordo com a norma citada, para que se alcance boa durabilidade da estrutura (BOTELHO, 2004).

Antecedente à concretagem, é necessário seguir parâmetros estabelecidos pela norma NBR 14931/04, apresentando a necessidade de se realizar a remoção de quaisquer resíduos que não estejam associados à parte de instalações elétricas/hidráulicas ou armação, mantendo a superfície das formas totalmente limpas. Deve-se molhar as formas com o intuito de verificar se não há nenhum vazamento nas juntas, pois, se não verificar a estanqueidade, pode ocorrer perda de argamassas ou pastas. Além dos cuidados com as formas, deve haver cuidado semelhante com as armaduras, de modo que não haja deslocamentos destas, assim como na ancoragem e formas também (ABNT, 2004).

Segundo a NBR 14931/04 no item 9.5.1, o concreto deve ser lançado com adensamento adequado, de maneira que todas as armaduras estejam envolvidas na pasta do concreto, que todos os materiais da laje estejam cobertos e haja homogeneidade do concreto.

Para garantir o correto adensamento, é necessária a utilização de vibradores de forma que se garanta uma superfície completamente homogênea, com fim na redução do número de vazios, para se obter a resistência do concreto de acordo com o projeto (BRANDALISE e WESSLING, 2015).

O item 10.1 da norma 14931/04 estabelece parâmetros ao concreto que, antes de atingir seu endurecimento, precisa ser curado e protegido contra agentes que podem reduzir a sua resistência, como mudança de temperaturas, ventos, agentes químicos, a fim de evitar a retração, momento em que é possível ocorrer perda de água na superfície exposta. Sabendo-se que parte da água perde-se pela evaporação no meio ambiente, é necessário que haja uma reação química do concreto junto com água para haver o endurecimento desse concreto; com isso, assegura-se qualidade e durabilidade durante todo período de cura, garantindo que, sobre a laje, seja mantida uma lâmina d'água (BOCCHIJR e GIONGO, 2010).

3. MATERIAL E MÉTODOS

A abordagem da pesquisa estabeleceu, por caráter específico, realizar levantamentos qualitativos e quantitativos para analisar, de maneira detalhada, a laje maciça e a laje treliçada tanto no aspecto de tempo de execução quanto nos custos de insumos para a montagem. E para análise dentre as opções das lajes treliçadas foi escolhido o bloco de enchimento de EPS, uma vez que o mesmo é mais leve, possui grande oferta no mercado, tem melhor transporte e menor perda e maior conforto térmico. Em seguida, com todos os dados em mãos, foram realizadas pesquisas em planilhas orçamentárias para identificar os custos de cada insumo, bem como o tempo de execução, seguindo sempre a planilha orçamentária da região para evitar preços fora da realidade local.

A coleta de dados foi realizada com o auxílio de planilhas orçamentárias, em uma única etapa, com o que foi possível quantificar todos os insumos, bem como calcular o tempo de execução de cada uma das lajes para, posteriormente, definir qual delas apresenta menor custo de insumos e serviços de execução em menor prazo. As planilhas orçamentárias foram retiradas da Sinapi e o mês de referência foi o de abril de 2020, visto que este é o mais recente disponibilizado, sempre apresentando, como referência, a região para obter, de maneira mais aproximada, os custos dos insumos e mão-de-obra.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a análise entre ambos os métodos construtivos, foi considerado o mesmo projeto residencial com 55 m² de área, e 45 m² de laje e idênticas características de edificação, alterando-se apenas o modelo estrutural de laje. Para os dois modelos de laje foram consideradas as condições da normativa NBR 6118/2014, que estabelece suas características como residenciais com função de forro sem trânsito de pessoas, usando do coeficiente de cargas

acidentais na ordem de 0,5 kn/m² ou 50 kgf/m². Para as condições de engastamento, foram consideradas, na laje maciça, como biengastada; e, para a laje treliçada, unidirecional. Ao final do cálculo foram analisadas as melhores condições em ambos os casos quanto aos deslocamentos, flechas, punção entre outros efeitos estruturais, propondo-se, assim, a melhor solução técnica para cada modelo de laje.

Após dimensionados os dois modelos, foram encontrados os valores de referência dos materiais a serem empregados nas respectivas execuções. Os valores podem ser visualizados nos Quadros 1 e 2, exibidos abaixo.

Quadro 1: Laje Maciça

LAJE MACIÇA			
COMPOSIÇÕES	REF.	V. UNIT	V. TOTAL
FORMA (2,20mx1,1,0mx14 mm)	46,33	23,15	R\$ 1.072,54
CONCRETO fck 25 Mpa	3,7064	403,41	R\$ 1.495,20
ESCORAS METÁLICAS (locadas 30 dias)	73	7,21	R\$ 526,33
ARMADURAS CA-60 5mm	92,1	6,17	R\$ 568,26
MÃO DE OBRA (Hora)	12	55,73	R\$ 5.350,08
		Total	R\$ 9.012,41

Fonte: Própria (2020)

No Quadro 1, foram calculados os custos compostos entre material mais execução para a laje maciça. Para tal situação, foram considerados mão de obra de dois pedreiros e um ajudante trabalhando oito horas por dia, sendo necessários 12 dias para sua execução, visto que o trabalho realiza-se integralmente no modo manual. As escoras foram posicionadas a cada 80 cm, em uma razão de uma escora para cada 0,64 m². Sendo assim, pode se observar, no Quadro 1, que, para a execução da laje maciça, foram gastos R\$ 9.012,41, representando, portanto, um custo de R\$ 194,53 por metro quadro executado.

Quadro 2: Laje Treliçada

LAJE TRELIÇADA			
COMPOSIÇÕES	REF.	V. UNIT	V. TOTAL
BLOCOS DE ENCHIMENTO + VIGOTAS	46,33	41,17	R\$ 1.907,41
CONCRETO fck 25 Mpa	2,43	403,41	R\$ 980,29
ESCORAS METÁLICAS	40	7,21	R\$ 288,40
MÃO DE OBRA (Hora)	8	55,73	R\$ 3.566,72
		Total	R\$ 6.742,81

Fonte: Própria (2020)

No Quadro 2, foram calculados os custos compostos entre material mais execução para a laje treliçada. Para o cálculo desta laje, considerou-se a mesma mão de obra, variando apenas o período de execução que foi reduzido para oito dias, sendo executado totalmente de forma manual. As escoras foram posicionadas a cada 110 cm, em uma razão de uma escora para cada 1,21 m². O cálculo dos elementos da laje treliçada deu-se por unidade de área, porém sabe-se que exige emprego de 125 blocos de EPS mais 69 vigotas com comprimentos variáveis obedecendo à solicitação de cada vão. Chegou-se, assim, a um custo global de R\$ 6.742,81, favorecendo o valor de referência R\$ 145,54 por metro quadrado executado.

5. CONCLUSÃO

Chegou-se à conclusão de que o método construtivo por meio da laje treliçada é viável e mais econômico em comparação ao método de laje maciça, uma vez que a laje treliçada possibilita redução de 25% no custo total. O valor de R\$ 194,53 por metro quadrado foi o alcançado para a execução da laje maciça e, para a laje treliçada, implicou valor de R\$ 145,54, representando uma redução de custo na ordem de R\$ 48,99 por metro quadrado.

A opção pelo método construtivo de laje treliçada revela-se mais viável muito em função dos vãos livres encontrados no projeto arquitetônico e, também, devido às solicitações presentes nessa estrutura, os quais se exibem comumente em projetos residenciais térreos. Além disso, o fator prazo de execução também é um diferencial, uma vez que este pode ser reduzido em até 33%, visto que o processo de execução é simplificado devido aos insumos já serem pré-fabricados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, Augusto Teixeira. **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado**. Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo. São Carlos-SP. 1999.

ARDUINI, A.M.V. (1991). **Algumas diretrizes para a elaboração de um projeto de estruturas em concreto armado**. Dissertação (Mestrado) - EESC - USP.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859-1: 2002 Laje pré-fabricada – requisitos – Parte 1: Lajes unidirecionais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859/2: Laje pré-fabricada – Requisitos. Parte 2: Lajes bidirecionais**. 2 p. Rio de Janeiro: ABNT 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931/4: Execução de estruturas de concreto – procedimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953/2015: Concreto Para Fins Estruturais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190 DE 08/1997 Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

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

ARAÚJO, José Milton. **Curso de concreto armado**. V.4. 4.ed. Rio Grande: Dunas, 2014.

ARCELORMITTAL. **Manual técnico de treliças**. 2016. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/26982656/arcelormital-manual-tecnico-de-trelicas-1-pdf>>. Acesso em: 17 maio. 2020.

BARROS, M. S. B.; MELHADO, S. B. **Recomendações para a produção de estruturas de concreto armado em edifícios.** 1998. Disponível em: <http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/TT_00004.pdf>. Acesso em: 18 maio. 2020.

BASTOS, P. S. S. **Histórico e principais elementos estruturais de concreto armado.** 2006. Disponível em: <http://www.deecc.ufc.br/Download/TB798_Estruturas%20de%20Concreto%20I/HIST.pdf>. Acesso em: 17 maio. 2020.

BASTOS, P. S. S. **Lajes de concreto.** 2015. Disponível em: <<http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Lajes.pdf>>. Acesso em: 17 maio. 2020.

BOCCHI JÚNIOR, C.F. **Lajes nervuradas de concreto armado.** São Carlos. 183p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1995.

BOTELHO, M. H. C. **Concreto armado: eu te amo**, Volume II. 1ª Edição São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

BOCCHI JR., C. F.; GIONGO, J. S. **Concreto armado: projeto e construção de lajes nervuradas.** Universidade de São Carlos. São Carlos, 2010.

BOTELHO, M. H. C.; MARCHET. **Concreto armado eu te amo –Volume II.** 3ª Edição. São Paulo: Edgard Blücher, 2011.

BRANDALISE, G. M. S.; WESSLING, L. I. Estudo comparativo de custo entre laje maciça simples e laje de vigotas pré-fabricadas treliçadas em edifícios de até quatro pavimentos no município de Pato Branco, Paraná, Brasil. 2015. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5565/1/PB_COECI_2015_1_13.pdf>. Acesso em: 17 maio. 2020.

BRUMATTI, Dioni. **Uso de pré-moldados – estudo e viabilidade.** 20 nov/2008. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/35121146/estudo-deviabilidade-de-estruturas-pre-moldadas>>. Acesso em 21 de set de 2020 às 22:00.

CARVALHO, R. C., & FIGUEIREDO F., J. R. (2007). **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118.** São Carlos, SP: EdUFSCar 3ª Edição.

CARVALHO, R.C.; PINHEIRO, L. M. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado** - Volume 2. Editora Pini. São Paulo, 2009.

CUNHA, G. C. **A importância do setor de construção civil para o desenvolvimento da economia brasileira e as alternativas complementares para o fundindo crédito imobiliário no Brasil.** 2012. Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/1799/1/GCCunha.pdf>>. Acesso em: 17 maio. 2020.

DONIN, C. **Análise numérica de lajes nervuradas por meio do método dos elementos finitos.** 2002, 138f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

DORNELES, D. M. **Lajes na construção civil brasileira: estudo de caso em edifício residencial em Santa Maria-rs.** 2014. Disponível em: < http://www.ct.ufsm.br/engcivil/images/PDF/1_2014/TCC_DOUGLAS%20MEDEIROS%20DORNELES.pdf>. Acesso em: 17 junho. 2020.

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: 17 junho. 2020.

FONTES, A. C.; PINHEIRO, L. M.; SARTORTI, A. L. **Análise da fase de montagem de lajes treliçadas.** 2013. Disponível em: < https://www.scielo.br/pdf/riem/v6n4/pt_08.pdf>. Acesso em: 17 maio. 2020.

FRANCA, A.B.M.; FUSCO, P.B. **As lajes nervuradas na moderna construção de edifícios.** São Paulo, AFALA & ABRAPEX, 1997.

FUSCO, P.B. **Estruturas de concreto -Solicitações normais.** Rio de Janeiro, Ed. Guanabara Dois, 1981, 464p.

GERHARDT, T. E; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa.** 1ª Ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIONGO, J.S. (1994). **Concreto armado: vigas submetidas a esforços de torção.** São Carlos, EESC-USP.

LOPES, A. F. O. **Estudo técnico comparativo entre lajes maciças e nervuradas com diferentes tipos de materiais de enchimento.** Pernambuco. Caruaru, 2012. Disponível em: < https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/16648/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O_ANDR%c3%89%20LOPES.pdf>. Acesso em: 17 junho. 2020.

MARCONI, Maria Andrade, LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica.** 5º ed. São Paulo - 2003. Editora Atlas.

MATTOS, Aldo Dórea. **Como preparar orçamentos de obras: dicas para orçamentistas, Estudos de caso, exemplos / Aldo Dórea Mattos.** São Paulo: Editora Pini, 2006. Disponível em: < <https://engcivil20142.files.wordpress.com/2017/08/como-preparar-orc3a7amentos-de-obras-aldo-dc3b3rea-mattos.pdf> >. Acessado em: 29/04/2018 às 19:01 horas.

MEDRANO, M. L. O.; FIGUEIREDO FILHO, J. R.; CARVALHO, R. C. **Estudo de pavimentos de lajes formados por vigotas pré-moldadas: influência de nervuras transversais.** 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-Moldado, São Carlos, 2005.

MOURA, G. R.; JUNIOR, W. S. **Transformações e tendências na história da engenharia civil: do trabalho manual à sustentabilidade.** Maringá-PR. 2013. Disponível em: < http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2013/oit_mostra/Guilherme_Ribeiro_de_Moura_02.pdf >. Acesso em: 17 maio. 2020.

MUZARDO, Cassiane D., PINHEIRO, Libânio M., SANTOS, Sandro P. Santos. **Lajes maciças**. USP – EESC – Departamento de Engenharia de Estruturas. São Carlos - SP. 2010.

NAPPI, S. C. B. **Análise comparativa entre lajes maciças, com vigotes pré-moldados e nervuradas**. Florianópolis-SC. 1993. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/75976/94191.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 17 maio. 2020.

PARSEKIAN, Guilherme Aris., CORRÊA, Marcio Roberto Silva. **Cálculo e armação de lajes de concreto armado com a consideração do momento volvente**. Universidade de São Paulo Escola de Engenharia de São Carlos Departamento de Engenharia de Estruturas São Carlos-SP, 1998

PEREIRA, V. **Manual de projeto de lajes pré-moldadas treliçadas**. São Paulo. Associação dos fabricantes de lajes de São Paulo, 2000.

PEREIRA, C. **O que é concreto armado?**. 2019. Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/concreto-armado/>>. Acesso em: 17 maio. 2020.

PEREIRA, V. **Manual de projeto de lajes pré-moldadas treliçadas**. São Paulo. Associação dos fabricantes de lajes de São Paulo, 2000.

PINHEIRO, Libânio M.; RAZENTE, Julio A. **Estruturas de Concreto**. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Engenharia de Estruturas. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2003. Disponível em: <<http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/concreto/Textos/17%20Lajes%20nervuradas.pdf>>. Acesso em: 17 maio. 2020.

PINHEIRO, L.M.; BARALDI, L.T.; POREM, M.E. **Concreto Armado: Ábacos para flexão oblíqua**. São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos –USP, 1994.

POUEY, J. F. F.; LAROQUE, L. F. S. **Construção civil e meio ambiente: o homem versus necessidades básicas e suas contradições**. 2016. Disponível em: <<http://www.revistaea.org/pf.php?idartigo=2695> />. Acesso em: 17 maio. 2020.

SILVA, B. R.. **Contribuições à análise estrutural de lajes pré-fabricadas com vigotas treliçadas**. 2012. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7803/SILVA%2C%20BERNARD%20RIGA%20O%20DA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 19 maio. 2020.

TELLES, P. C. S. **História da Engenharia no Brasil: (séculos XVI a XIX)**. Rio de Janeiro: LTC, 1984.

UFRGS. **Métodos de pesquisa**, 2009. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>>. Acesso em: 17 maio. 2020.

VASCONCELLOS, J.C. **Concreto Armado, Arquitetura Moderna, Escola Carioca – Levantamento e Notas**. Porto Alegre. 2004. 313p.

ANEXO

PLANTA BAIXA



