CENTRO UNIVERSITÁRIO DO CERRADO PATROCÍNIO
UNICERP
Graduação em Engenharia Civil

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJES MISTAS *STEEL DECK* E LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO

Rafael Henrique Assunção

PATROCÍNIO - MG
2018

RAFAEL HENRIQUE ASSUNÇÃO

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJES MISTAS *STEEL DECK* E LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do grau de Bacharelado em Engenharia Civil, pelo Centro Universitário do Cerrado Patrocínio.

Orientador: Me. Daniel Flávio Pires de Lima.

PATROCÍNIO - MG
2018

UNICERP
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO CERRADO PATROCÍNIO

ATA DE DEFESA PÚBLICA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 12 dias do mês de dezembro de 2018, às 19:00 horas, em sessão pública na sala 701-05 deste Campus Universitário, na presença da Banca Examinadora presidida pelo Professor Daniel Flávio Pires de Lima e composta pelos examinadores:

1. Prof. Ibrahim Abdallah Daura Neto
2. Prof.ª Ma. Érika Maria de Souza Vissoci,

o aluno Rafael Henrique Assunção apresentou o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: Estudo comparativo entre lajes mistas *steel deck* e lajes maciças de concreto armado como requisito curricular indispensável para a integralização do Curso de Engenharia Civil. Após reunião em sessão reservada, os professores decidiram da seguinte forma: O Avaliador 01 decidiu pela aprovação e a Avaliadora 02 decidiu pela aprovação, sendo resultado final da Banca Examinadora, a decisão final pela aprovação do referido trabalho, divulgando o resultado formalmente ao aluno e demais presentes e eu, na qualidade de Presidente da Banca, lavrei a presente ata que será assinada por mim, pelos demais examinadores e pelo aluno.

Daniel Flávio Pires de Lima
Prof. Daniel Flávio Pires de Lima
Presidente da Banca Examinadora

Ibrahim Abdallah Daura Neto
Prof. Ibrahim Abdallah Daura Neto
Examinador 01

Érika Maria de Souza Vissoci
Prof.ª Ma. Érika Maria de Souza Vissoci
Examinadora 02

Rafael Henrique Assunção
Rafael Henrique Assunção
Aluno

DEDICO *este estudo à minha mãe, Adriana Cristina de Oliveira, à minha avó, Oraide Maria de Oliveira, ao meu padrasto, Lázaro Faria da Fonseca, ás minhas tias Tânia Aparecida de Oliveira e Maria José de Oliveira, à minha namorada, Ana Carolina Aparecida Pereira, aos meus demais parentes e amigos que de alguma forma contribuíram para este momento.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, presente em todos os momentos, mas que principalmente nos instantes mais conturbados não me permitiu desanimar.

De igual modo, agradeço a minha avó, mãe, tias, namorada, professores e todos os familiares e amigos que tiveram paciência pelos momentos de estresse e ausência, mas que acima de tudo depositaram em mim sua confiança e compartilharam o seu apoio, alegria, carinho e conhecimento.

Aos meus colegas de classe, em especial Andressa e Alice, que tanto fizeram para tornar a caminhada menos extenuante.

Ao meu orientador, Me. Daniel Flávio Pires de Lima, pelo apoio, colaboração e pelas sugestões feitas no trabalho.

Saibam que a minha felicidade é a felicidade de vocês, as minhas lutas e os meus sonhos são por vocês, e a todos vocês, muito obrigado!

RESUMO

Introdução: O presente estudo teve como objetivo comparar os custos diretos envolvidos na execução de dois sistemas de lajes, o primeiro de lajes maciças de concreto armado e o segundo de lajes mistas *steel deck*. **Material e métodos:** O estudo foi desenvolvido a partir do dimensionamento dos dois sistemas de lajes, após esta etapa foram levantados os quantitativos de materiais para cada sistema. Através de índices de custos de materiais e serviços, fizeram-se as composições de custos para cada situação de projeto, chegando-se aos valores totais e por insumos para cada modelo de laje. **Resultados:** O trabalho mostrou um custo total menor das lajes *steel deck* em todas as configurações avaliadas. No entanto, os melhores resultados para a configuração de *steel deck* se deram na laje armada em uma direção. **Considerações finais:** As lajes maciças tiveram um custo total 22,09% maior que as lajes mistas *steel deck*. Devido à multifuncionalidade do *steel deck*, o que contribui também para a redução dos custos com mão de obra, o sistema de lajes mistas se mostrou economicamente mais vantajoso em relação ao sistema de lajes maciças.

Palavras-chave: *Steel Deck.* Laje Maciça. Composições de custos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Laje mista *steel deck*..... 21
Figura 2 - Conjunto de lajes adotado 23

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Custos totais das lajes L1, L2 e L3..... 31

Gráfico 2 - Custo total por metro quadrado das lajes L1, L2 e L3..... 32

Gráfico 3 - Custos totais por insumos agrupados..... 34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vãos teóricos das lajes..... 24
Tabela 2 - Dimensionamento das lajes maciças..... 28
Tabela 3 - Quantitativo de materiais nas lajes maciças..... 29
Tabela 4 - Dimensionamento das lajes *steel deck*..... 29
Tabela 5 - Quantitativo das lajes *steel deck*..... 30
Tabela 6 - Custo dos insumos e mão de obra por laje..... 31
Tabela 7 - Percentual da diferença de custo das lajes maciças em relação às *steel deck*..... 32
Tabela 8 - Custo dos insumos por metro quadrado de laje..... 33
Tabela 9 - Percentual da diferença de custo por insumos das lajes *steel deck* em relação às maciças..... 35

LISTA DE SIGLAS

ABCEM	Associação Brasileira de Construção Metálica;
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
CA	Concreto Armado;
CBCA	Centro Brasileiro da Construção em Aço;
ELU	Estado Limite Último;
ELS	Estado Limite de Serviço;
MF	Metform;
MG	Minas Gerais;
NBR	Norma Brasileira;
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil;
TCPO	Tabela de Composições e Preços para Orçamentos – TCPO.

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Percentual;
ϕ	Diâmetro;
R$	Reais;
kg	Quilograma;
kN	Quilonewton;
MPa	Megapascal;
m	Metro;
m²	Metro quadrado;
m³	Metro cúbico;
cm	Centímetro;
mm	Milímetro;
h	Espessura total;
c	Comprimento;
c/	A cada;
s	Espaçamento;
b	Faixa linear de um metro;
d	Altura útil;
l_0	Vão livre;
l_x	Vão teórico na direção x;
l_y	Vão teórico na direção y;
T	Tonelada;
L1	Laje 1;
L2	Laje 2;
L3	Laje 3;
f_{ck}	Resistência característica do concreto à compressão aos 28 dias;
f_c	Valor que corresponde a 85% da resistência característica do concreto minorada pelo coeficiente de ponderação da resistência do concreto;
f_{yd}	Tensão de escoamento do aço;
p	Carregamento total;

$\rho_{mín}$	Taxa de armadura mínima;
M	Momento positivo característico máximo;
M_x	Momento positivo característico máximo na direção x;
M_y	Momento positivo característico máximo na direção y;
M_d	Momento fletor solicitante de cálculo;
<	Menor;
≥	Maior ou igual;
m_x	Multiplicador para cálculo do momento na direção x;
m_y	Multiplicador para cálculo do momento na direção y;
k	Parâmetro adimensional que mede a intensidade do momento fletor solicitante de cálculo;
k_{lim}	Parâmetro adimensional verificador da necessidade de armadura de compressão;
k'	Parâmetro adimensional que mede a intensidade do momento fletor resistente de cálculo devido ao concreto comprimido;
γ_f	Coeficiente de ponderação de ações;
γ_c	Coeficiente de ponderação da resistência do concreto;
γ_s	Coeficiente de ponderação da resistência do aço;
$A_{s,\,mín}$	Área de aço mínima;
$A_{s,x}$	Área de aço na direção x;
$A_{s,y}$	Área de aço na direção y;
$A_{s,dist}$	Área de aço de distribuição.

SUMÁRIO

1.	**INTRODUÇÃO**.....	14
2.	**OBJETIVO GERAL**.....	15
2.1	Objetivos Específicos.....	15
3.	**DESENVOLVIMENTO**.....	15
3.1	**INTRODUÇÃO**.....	15
3.2	**REVISÃO DE LITERATURA**.....	17
3.2.1	Concreto armado.....	18
3.2.2	Lajes.....	19
3.2.3	Lajes maciças.....	19
3.2.4	5.2.4 Lajes mistas steel deck.....	20
3.3	**MATERIAIS E MÉTODOS**.....	20
3.3.1	Definição das lajes.....	21
3.3.2	Parâmetros de projeto das lajes maciças.....	23
3.3.2.1	Dimensionamento das lajes maciças.....	24
3.3.2.2	Quantitativo das lajes maciças.....	25
3.3.3	Dimensionamento e quantitativos das lajes steel deck.....	26
3.3.4	Composições de custo.....	29
3.4	**RESULTADOS E DISCUSSÃO**.....	30
3.5	**CONSIDERAÇÕES FINAIS**.....	31
3.6	**REFERÊNCIAS**.....	31
4.	**CONSIDERAÇÕES FINAIS**.....	36
	REFERÊNCIAS.....	37
	APÊNDICES.....	39
	ANEXOS.....	40
		42
		51

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas estruturais de aço e de concreto são utilizados em grande escala pela humanidade desde os fins do século XIX, quando em consequência da Revolução Industrial houve uma série de avanços no setor de construção civil. A junção do cimento Portland e o aço estrutural, formando o concreto armado, permitiu que esse setor ascendesse a grandes proporções no século passado, contribuindo para o crescimento e desenvolvimento econômico de muitos países.

O constante intuito de racionalizar e aperfeiçoar a construção civil fez com que se desenvolvessem novas concepções, técnicas e materiais capazes de melhorar o desempenho e reduzir os custos dos sistemas estruturais existentes, além de ampliar as alternativas de projeto e execução.

Desse modo, surgiram procedimentos e técnicas construtivas que possibilitaram o uso em conjunto de aço e concreto armado, dando origem ao que se denomina de sistema misto aço-concreto. Neste sistema, o aço está presente na forma de perfis (laminados, soldados, ou formados a frio) que, segundo Queiroz, Pimenta e Martins (2012), interagem com o concreto principalmente por meios mecânicos (conectores, mossas, ressaltos, etc.) e por atrito (quando os cantos das formas de aço são reentrantes), formando elementos mistos como: pilar misto, viga mista, laje mista e ligações mistas.

A viabilidade da aplicação de elementos mistos aço-concreto em uma estrutura está condicionada a uma análise prévia das características do empreendimento e das condições de projeto e execução, sendo que o fator custo é preponderante para determinar sua efetividade. Surgiu então a necessidade de avaliar sob diferentes aspectos o impacto financeiro ocasionado a partir da adoção desses elementos mistos em detrimento a outros elementos mais tradicionais no mercado.

As lajes mistas de aço-concreto, chamadas de Lajes *Steel Deck* (termo da língua inglesa que corresponde a “plataforma de aço”), são formadas por chapas de aço que atuam como fôrma e armadura positiva para o concreto armado. Estas lajes podem ser construídas sem uso de escoras e simultaneamente em pavimentos sucessivos, além disso, vêm competir com outras tecnologias construtivas, como as lajes maciças de concreto armado.

A escolha do sistema estrutural é, na maioria das vezes, baseada no custo, na qualidade do produto final e na eficiência do método executivo. De acordo com a Associação Brasileira de Construção Metálica – ABCEM e o Centro Brasileiro da Construção em Aço –

CBCA (2018), para 44% dos fabricantes de *steel deck*, a principal dificuldade encontrada para o crescimento da empresa é a não valorização do produto de melhor qualidade pelo mercado.

O *steel deck* pode ser utilizado em praticamente todos os tipos de obras, porém segundo dados da ABCEM e do CBCA (2018), apenas em 23% das obras comerciais o seu uso se torna mais competitivo. Diante do exposto, tornou-se necessário traçar uma análise comparativa capaz de identificar em quais condições é menos oneroso utilizar lajes *steel deck* em relação às lajes maciças de concreto armado. Para tanto, buscou-se realizar uma pesquisa bibliográfica englobando o dimensionamento desses dois sistemas estruturais a fim de estabelecer os custos de cada um para um mesmo conjunto de lajes.

2. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi levantar o quantitativo de materiais e serviços para se executar três lajes específicas, sob a forma de laje maciça de concreto armado e de laje mista *steel deck*. O presente estudo delimitou-se em comparar os custos totais de execução e materiais das duas soluções estruturais com base nos índices de custo da região de Belo Horizonte – MG. A cidade de Belo Horizonte foi escolhida para garantir igualdade de mercado entre as duas situações.

2.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste estudo foram os seguintes:

- Dimensionamento das lajes para as condições de se adotar lajes maciças e lajes *steel deck*;
- Levantamento do quantitativo de aço, concreto, escoras, fôrmas e mão de obra para cada sistema de laje;
- Cálculo do custo total para cada sistema de lajes adotado.

3. DESENVOLVIMENTO

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJES MISTAS *STEEL DECK* E LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO

RAFAEL HENRIQUE ASSUNÇÃO[1]
DANIEL FLÁVIO PIRES DE LIMA[2]

RESUMO

Introdução: O presente estudo teve como objetivo comparar os custos diretos envolvidos na execução de dois sistemas de lajes, o primeiro de lajes maciças de concreto armado e o segundo de lajes mistas *steel deck*. **Material e métodos:** O estudo foi desenvolvido a partir do dimensionamento dos dois sistemas de lajes, após esta etapa foram levantados os quantitativos de materiais para cada sistema. Através de índices de custos de materiais e serviços, fizeram-se as composições de custos para cada situação de projeto, chegando-se aos valores totais e por insumos para cada modelo de laje. **Resultados:** O trabalho mostrou um custo total menor das lajes *steel deck* em todas as configurações avaliadas. No entanto, os melhores resultados para a configuração de *steel deck* se deram na laje armada em uma direção. **Considerações finais:** As lajes maciças tiveram um custo total 22,09% maior que as lajes mistas *steel deck.* Devido à multifuncionalidade do *steel deck,* o que contribui também para a redução dos custos com mão de obra, o sistema de lajes mistas se mostrou economicamente mais vantajoso em relação ao sistema de lajes maciças.

Palavras-chave: *Steel Deck.* Laje Maciça. Composições de custos.

ABSTRACT

Introduction: The present study aimed to compare the direct costs involved in the execution of two slab systems, the first of solid reinforced concrete slabs and the second of steel deck mixed slabs. **Material and methods:** The study was developed from the sizing of the two slab systems, after which the quantitative materials were collected for each system. Through material and service cost indexes, cost compositions were made for each project situation, reaching the total and input values for each slab model. **Results:** The work showed a lower total cost of steel deck slabs in all configurations evaluated. However, the best results for the steel deck configuration were given on the armored slab in one direction. **Final considerations:** The massive slabs had a total cost of 22.09% higher than the mixed steel deck slabs. Due to the multifunctionality of the steel deck, which also contributes to the

1 Autor, Graduando em Engenharia Civil pelo UNICERP.
2 Orientador, Professor da Faculdade Politécnica de Uberlândia e da Graduação do UNICERP, mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Uberlândia.

reduction of labor costs, the mixed slab system was economically more advantageous than the solid slab system.

Keywords: Steel Deck. Solid slab. Costs compositions.

3.1 INTRODUÇÃO

A junção do cimento Portland com o aço estrutural, formando o concreto armado, foi responsável pelo grande crescimento e expansão do setor de construção civil no mundo, o que por sua vez contribuiu para o desenvolvimento econômico e social de várias nações. Com os avanços tecnológicos, cada vez mais sob um viés financeiro, a construção civil está em uma constante busca pelo aumento do desempenho e redução dos custos através do desenvolvimento dos seus sistemas estruturais.

O surgimento de novos procedimentos e técnicas construtivas possibilitou o uso em conjunto de aço e concreto armado, originando o que se denomina de sistema misto aço-concreto. Neste sistema, perfis de aço (laminados, soldados, ou formados a frio) interagem com o concreto principalmente por meios mecânicos (conectores, mossas, ressaltos) e por atrito (quando os cantos das formas de aço são reentrantes), formando elementos mistos como: pilar misto, viga mista, laje mista e ligações mistas (QUEIROZ; PIMENTA; MARTINS, 2012).

A viabilidade de se aplicar elementos mistos aço-concreto em uma estrutura está condicionada a análises prévias das características do empreendimento e das condições de projeto e execução, sendo que o fator custo é preponderante na determinação de sua efetividade. Surgiu então a necessidade de se avaliar sob diferentes aspectos e parâmetros o custo financeiro da adoção de elementos mistos em detrimento aos demais elementos mais tradicionais no mercado.

As lajes mistas de aço-concreto, chamadas de Lajes *Steel Deck* (termo da língua inglesa que corresponde a “plataforma de aço”), são formadas por chapas de aço que atuam como fôrma e armadura positiva para o concreto armado. Estas lajes podem ser construídas sem uso de escoras e simultaneamente em pavimentos sucessivos, além disso, vêm competir com outras tecnologias construtivas, como as lajes maciças de concreto armado.

A escolha do sistema estrutural é, na maioria das vezes, baseada no custo, na qualidade do produto final e na eficiência do método executivo. De acordo com a Associação Brasileira de Construção Metálica – ABCEM e o Centro Brasileiro da Construção em Aço –

CBCA (2018), para 44% dos fabricantes de *steel deck*, a principal dificuldade encontrada para o crescimento da empresa é a não valorização do produto de melhor qualidade pelo mercado.

O *steel deck* pode ser utilizado em praticamente todos os tipos de obras, porém segundo dados da ABCEM e do CBCA (2018), apenas em 23% das obras comerciais o seu uso se torna mais competitivo. Diante do exposto, tornou-se necessário traçar uma análise comparativa capaz de identificar em quais condições é menos oneroso utilizar lajes *steel deck* em relação às lajes maciças de concreto armado.

Na análise comparativa, objetivou-se levantar o quantitativo de materiais e serviços para se executar três lajes específicas, sob a forma de laje maciça de concreto armado e de laje mista *steel deck*. Com a finalidade de se alcançar tal objetivo, se teve como objetivos específicos o dimensionamento das lajes, o levantamento de quantitativos e cálculo do custo total para cada sistema com base nos índices de custo da região de Belo Horizonte – MG. A cidade de Belo Horizonte foi escolhida para garantir igualdade de mercado entre as duas situações.

3.2 REVISÃO DA LITERATURA

3.2.1 Concreto Armado

Os elementos fletidos apresentam tensões de tração e de compressão simultaneamente em sua seção transversal, a depender da intensidade desses esforços pode ocorrer fissuração da parte tracionada, o que segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2015) acabam contribuindo para a diminuição da capacidade resistente do elemento.

Torna-se então necessário utilizar um material para trabalhar em conjunto com o concreto que seja resistente à tração, que tenha uma boa deformabilidade e que tenha coeficientes de dilatação semelhantes, sendo que o aço é o material comumente utilizado para essa finalidade. Portanto, segundo Araújo (2010, p. 1), “o concreto armado é o material composto, obtido pela associação do concreto com barras de aço, convenientemente colocadas em seu interior”.

Carvalho e Figueiredo Filho (2015) salientam que são as forças de aderência entre o concreto e o aço que permitem aos dois materiais trabalharem solidariamente, transformando o concreto armado em um material estrutural. Araújo (2010) explica que a partir da fissuração

da zona tracionada a armadura fica responsável pela absorção dos esforços de tração, impedindo a ruptura brusca da estrutura.

Comparado aos demais materiais estruturais, o concreto armado apresenta como principais vantagens: economia; trabalhabilidade; resistência ao fogo e durabilidade; construção de estruturas monolíticas; facilidade na execução e pré-moldagem. Destaca-se entre as desvantagens o alto peso específico dos elementos (2500 kgf/m³), dificuldade de reformas e necessidade de sistema de fôrmas e por vezes escoramentos (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2015).

3.2.2 Lajes

De acordo com Araújo (2014), no modelo estrutural básico de uma edificação, as lajes têm por finalidade receber e transmitir às vigas as cargas de utilização da edificação, e estas por sua vez repassarem essas cargas aos pilares que descarregam finalmente nas fundações. Ainda segundo Araújo (2014, p.1), "as lajes são elementos bidimensionais planos, cuja espessura h é bem inferior às outras duas dimensões (*lx*, *ly*)".

O carregamento das lajes é basicamente composto por ações normais a seu plano, porém, Araújo (2014, p.1) acrescenta que "as lajes também servem para distribuir as ações horizontais entre os elementos estruturais de contraventamento, além de funcionarem como mesas de compressão das vigas T".

Existem diversos tipos de lajes que podem ser executadas, como as lajes maciças, as lajes nervuradas, as lajes cogumelo e inúmeras lajes pré-moldadas. O tipo de laje a ser definido, de acordo com Araújo (2014, p.2), "depende de considerações econômicas e de segurança, sendo uma função do projeto arquitetônico em análise".

3.2.3 Lajes Maciças

De acordo com Carvalho e Figueiredo Filho (2015), as lajes maciças têm como característica distribuir suas reações em todas as vigas de contorno, o que contribui para um melhor aproveitamento das vigas do pavimento, uma vez que estas, a depender do vão e das condições de contorno, podem ter cargas da mesma ordem de grandeza.

A variável fundamental para o cálculo e dimensionamento das lajes é o vão ao qual elas estarão submetidas, Araújo (2014) define como sendo vão teórico (ou vão de cálculo) a

distância de eixo a eixo entre os apoios, e no caso de lajes em balanço, o comprimento do centro do apoio até a extremidade livre da laje. Ao se referir ao vão livre (l_0), Araújo (2014, p.4) o determina como "a distância entre as faces internas dos apoios".

A relação entre o vão maior e o menor de uma laje estabelece um parâmetro muito importante para a classificação das lajes maciças. Esta classificação se baseia no modo como as lajes são solicitadas e consequentemente armadas, Carvalho e Figueiredo Filho (2015, p.320) explicam da seguinte maneira:

> Quando a relação entre o vão maior e o menor da laje é menor ou igual a dois, costuma-se considerar, para efeito de cálculo, que essa laje trabalha em duas direções ou é armada em duas direções; quando essa relação é maior que dois, a laje é considerada trabalhando em apenas uma direção (a do menor vão) e é armada apenas nessa direção (sem levar em conta armaduras construtivas ou mínimas exigidas).

Nas lajes armadas em duas direções a relação entre o maior e o menor vão é igual ou inferior a dois. Isto significa que os momentos fletores que atuam nas duas direções devem ser calculados e para cada um deles devem ser dimensionadas armaduras de flexão (ARAÚJO, 2014).

As lajes cuja relação entre os vãos é maior que dois são calculadas em apenas uma direção. Nessas situações, o momento fletor que ocorre na direção do maior vão é desprezível devendo ser arbitrada apenas uma armadura de distribuição (ARAÚJO, 2014).

Diante da dificuldade de se determinar os esforços solicitantes nas lajes, normalmente se faz uso de modelos simplificados de cálculo com o auxílio de quadros e tabelas que levam em consideração as condições de contorno e a geometria de cada laje isolada, a respeito disso, Carvalho e Figueiredo Filho (2015, p.330) escreveu o seguinte:

> O processo de cálculo de placas por séries é bastante adequado para a confecção de quadros que facilmente possibilitam determinar momentos fletores máximos e deslocamentos máximos (flechas) a partir da geometria e das condições de vinculação da placa. Para isso, o pavimento deve ser discretizado, ou seja, cada laje deve ser tratada individualmente, de acordo com sua vinculação às demais (só são possíveis bordas – contorno – simplesmente apoiadas ou engastadas). De maneira geral considera-se que as lajes menores e menos rígidas são engastadas nas maiores e mais rígidas.

Existem várias tabelas para o cálculo de esforços e reações de apoio. Para fins deste trabalho, foram utilizadas as tabelas de Kalmanok (1961) modificadas por Araújo (2014) para

atender as recomendações da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, por meio da Norma Brasileira NBR-6118 (2014).

3.2.4 Lajes mistas *steel deck*

O *steel deck*, também conhecido como fôrma colaborante (Figura 1), de acordo com Cichinelli (2014), surgiu na década de 1950 nos Estados Unidos principalmente em edifícios de estrutura metálica com múltiplos andares. No Brasil ele começou a se difundir na década de 1970, onde seu uso crescente se justifica pela versatilidade, relação custo e benefício e rapidez na execução (CICHINELLI, 2009).

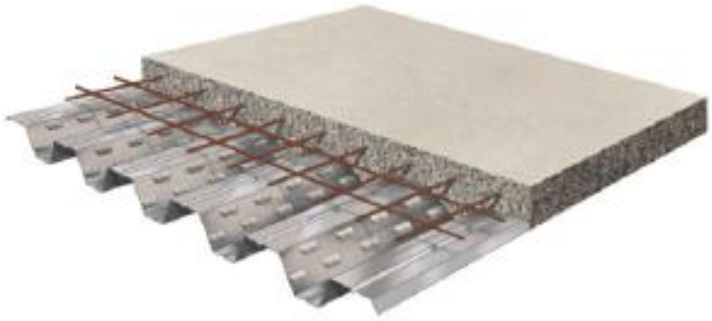


Figura 1 – Laje mista *steel deck*.
Fonte: ARCELOR MITTAL PERFILOR, 2018.

Nakamura (2007) define o sistema de *steel deck* da seguinte maneira:

> O sistema consiste na utilização de uma fôrma permanente de aço galvanizado, perfilada e formada a frio, com nervuras (mossas). Antes da cura do concreto, essa chapa metálica atua como plataforma de serviço e suporte para o concreto. Depois, os dois materiais (aço e concreto) solidarizam-se, formando o sistema misto que atua como armadura positiva.

Uma vez que o sistema de *steel deck* atua simultaneamente como fôrma e armadura positiva, Cichinelli (2011) elenca os seguintes benefícios de sua aplicação:

> Redução no prazo de execução e no número de operários envolvidos são alguns dos benefícios do *steel deck*, também conhecido como fôrma para laje mista. Além da leveza e praticidade de transporte e montagem, o sistema permite diminuir em até 40% o custo com mão de obra e executar 2 mil m², por exemplo, em cerca de três dias. A economia proporcionada pelo sistema também envolve aspectos como

> dispensa de fôrmas de madeira e de escoramento em situações nas quais os vãos entre vigas variam de 2 m a 4 m e ainda redução no consumo de concreto.

De acordo com Nakamura (2007), a depender dos vãos, o *steel deck* pode suportar sobrecargas de utilização de 1 t/m² a 2 t/m², o que permite a dispensa parcial ou total de escoramentos. Os reflexos disso no cronograma da obra são grandes, pois se torna possível o "trabalho em vários pavimentos ao mesmo tempo e a execução das lajes deixa de estar condicionada ao tempo de endurecimento do piso de concreto" (NAKAMURA, 2007).

Nas lajes mistas de aço e concreto, a fôrma de aço deve resistir às ações e sobrecargas construtivas antes da cura do concreto, e após a cura do mesmo funcionar como armadura para os esforços de tração na laje (QUEIROZ; PIMENTA; MARTINS, 2012).

O cisalhamento longitudinal na interface aço-concreto, com base em Queiroz, Pimenta e Martins (2012), deve ser transmitido pela fôrma de aço por meio de mossas nas fôrmas trapezoidais, por meio de atrito, no caso de fôrmas reentrantes, e através de conectores de cisalhamento compartilhados com as vigas de suporte da laje.

O cálculo das lajes mistas, segundo Queiroz, Pimenta e Martins (2012), deve contemplar sua análise tanto na fase de construção, quanto na fase mista, quando o concreto atinge resistência de $0{,}75x f_{ck}$, sendo f_{ck} a resistência característica do concreto à compressão aos 28 dias. Na fase de construção, o cálculo da fôrma de aço deve ser feito com base na Norma Brasileira NBR 14762 (2010), que trata do dimensionamento de seções de aço formadas a frio (QUEIROZ; PIMENTA; MARTINS, 2012).

No dimensionamento da laje mista na fase final, quando está sujeita a todas as ações de cálculo, devem ser verificados os seguintes estados limites últimos (ELU) apontados por Queiroz, Pimenta e Martins (2012):

a) Plastificação da seção devido ao momento fletor;
b) Cisalhamento longitudinal;
c) Cisalhamento vertical;
d) Punção

Além das verificações para os estados limites últimos apontados, as lajes mistas também devem ser verificadas quanto aos estados limites de serviço (ELS) no que diz respeito à deformação excessiva e fissuração (QUEIROZ; PIMENTA; MARTINS, 2012).

Usualmente, os fabricantes de *steel deck* fornecem tabelas com a capacidade de carga da fôrma para um determinado vão, ou o vão admissível da fôrma para uma dada carga, sendo que o dimensionamento das lajes mistas é feito basicamente a partir dessas tabelas.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de se comparar os custos diretos dos principais insumos envolvidos na adoção de sistemas de lajes maciças e de lajes *steel deck*. Para isso foi necessário definir um conjunto de lajes que se aplicassem aos dois sistemas e a partir do dimensionamento das mesmas levantar o quantitativo de concreto, aço, fôrmas, escoras, mão de obra e encargos sociais.

Os custos finais para cada laje, bem como para o seu conjunto, seriam então calculados a partir de composições de preços e serviços retirados das tabelas do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI e Tabela de Composições e Preços para Orçamentos – TCPO.

3.3.1 Definição das lajes

A fim de dar início ao estudo, determinou-se como base para comparação um conjunto composto por três lajes de piso com características distintas que foram nomeadas, respectivamente, de L1, L2 e L3. A representação gráfica das lajes, assim como suas dimensões, podem ser vistas na Figura 2.

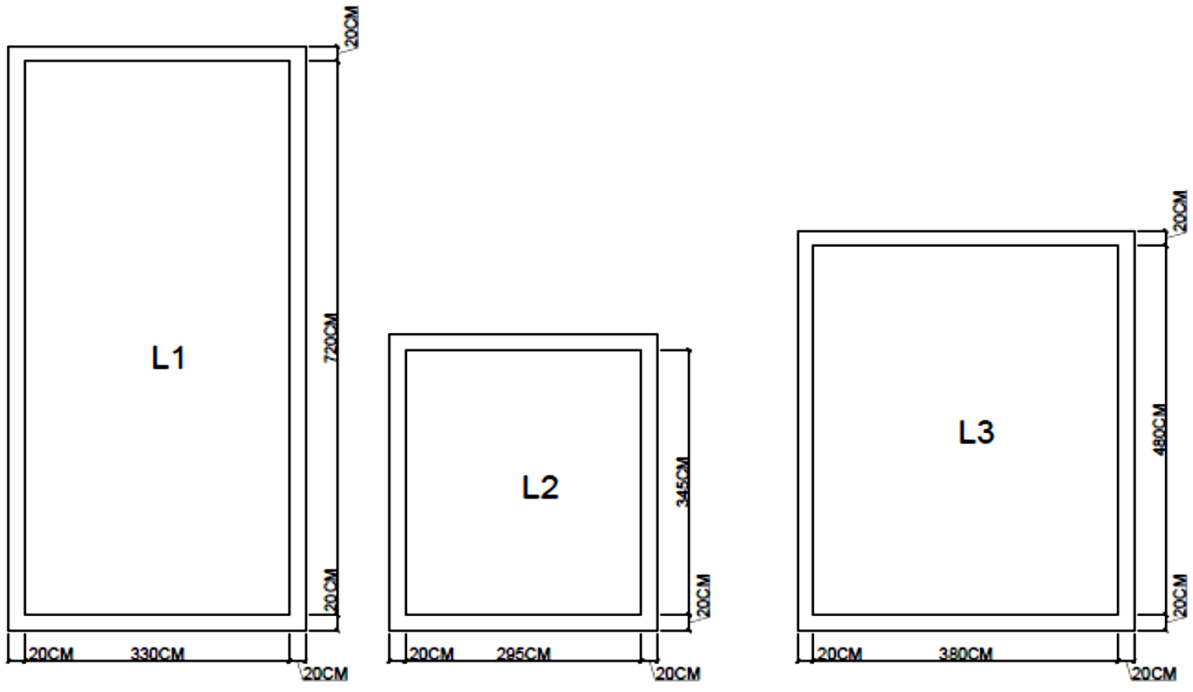


Figura 2 – Conjunto de lajes adotado.
Fonte: AUTOR, 2018.

No intuito de se resumir os cálculos e estabelecer um padrão para comparação, todas as três lajes foram consideradas apoiadas em seus bordos sobre vigas de 20 cm de base. Para efeito dos cálculos e quantitativos foram utilizadas como medidas padrão os vãos teóricos l_x e l_y (Tabela 1) de cada painel em análise.

Tabela 1 – Vãos teóricos das lajes

LAJE	l_x (m)	l_y (m)
L1	3,50	7,40
L2	3,65	3,15
L3	4,00	5,00

Fonte: Autor, 2018.

3.3.2 Parâmetros de projeto das lajes maciças

No dimensionamento das lajes para a situação de se utilizar o sistema de lajes maciças, considerou-se uma sobrecarga de 4,0 kN/m², o que segundo a Norma Brasileira NBR 6120 (1980) representa a carga vertical mínima atuante em lojas, isto pois, desejou-se comparar o uso dos dois sistemas em edifícios comerciais.

Além da sobrecarga supracitada, adotou-se também uma carga de revestimento de 1,0 kN/m² e a espessura das lajes foi definida como sendo de 0,10 m para todos os casos. Sabendo-se que o peso específico do concreto armado de acordo com a Norma Brasileira NBR 6120 (1980) é de 25,0 kN/m³, a carga permanente devido ao concreto armado seria portanto de 2,5 kN/m².

O carregamento total (p) corresponde à soma de todas as cargas atuantes sobre a laje, desse modo chegou-se no seguinte valor da carga total por área:

$$p = 4{,}0 + 1{,}0 + 2{,}5$$

$$p = 7{,}5 \ kN/m^2$$

O concreto utilizado neste estudo foi o concreto dosado em central com resistência característica à compressão (f_{ck}) de 2,5 kN/cm². Em relação às barras de aço, foi utilizado o aço CA-60 para o diâmetro de 6,3 mm e aço CA-50 para o diâmetro de 8,0 mm.

Neste estudo, considerou-se que aos elementos estruturais seriam construídos em ambiente urbano o que, segundo a Norma Brasileira NBR 6118 (2014), implica em uma classe de agressividade ambiental moderada (II). Isto exigiria um cobrimento nominal da

armadura de 25 mm, porém a referida norma permite admitir uma classe de agressividade mais branda em ambientes internos secos, como é o caso. Sendo assim, adotou-se um cobrimento nominal de 20 mm, o que corresponde à classe de agressividade ambiental I.

3.3.2.1 Dimensionamento das lajes maciças

A laje L1 possui a relação entre o vão maior e o menor superior a 2, e portanto foi classificada como armada em uma direção. Por se tratar de uma laje apoiada nos dois lados, o momento positivo máximo, *M*, segundo Araújo (2014) para este caso foi dado por:

$$M = \frac{pl_x^2}{8}$$

Em que:

- p é o carregamento total atuante;
- l_x é o menor vão.

As demais lajes do estudo, L2 e L3, possuem a relação entre o maior e o menor vão inferior a 2, e portanto foram classificadas como armadas nas duas direções. Consideradas como apoiadas em todos os bordos, os momentos característicos em cada direção (M_x ; M_y) das lajes L2 e L3 foram calculados por meio da Tabela A2.1 (Anexo I).

Para fazer uso da referida tabela, observou-se os seguintes casos de acordo com Araújo (2014):

1) Caso 1: $l_x/l_y<1$. Neste caso, utilizou-se a parte superior da Tabela A2.1 (Anexo I) para encontrar o valor dos esforços solicitantes por meio da seguinte expressão:

$$M_x = 0{,}001 m_x p l_x^2$$
$$M_y = 0{,}001 m_y p l_x^2$$

Em que:

- M_x, M_y são os momentos positivos no centro da laje, respectivamente nas direções de l_x e l_y;
- m_x, m_y são multiplicadores extraídos da Tabela A2.1 (Anexo I).
- p é o carregamento total atuante;

- l_x, l_y são os vãos das lajes.

2) Caso 2: $l_y/l_x<1$. Neste caso, utilizou-se a parte inferior da Tabela A2.1 (Anexo I) para encontrar o valor dos esforços solicitantes por meio da seguinte expressão:

$$M_x = 0{,}001 m_x p l_y^2$$
$$M_y = 0{,}001 m_y p l_y^2$$

Em que:

- M_x, M_y são os momentos positivos no centro da laje, respectivamente nas direções de l_x e l_y;
- m_x, m_y são multiplicadores extraídos da Tabela A2.1 (Anexo I);
- p é o carregamento total atuante;
- l_x, l_y são os vãos das lajes.

A partir do valor do momento característico, *M*, calculou-se o parâmetro adimensional *k*, que mede a intensidade do momento fletor solicitante de cálculo. O valor de *k* foi obtido pela seguinte fórmula:

$$k = \frac{M_d}{f_c b d^2}$$

Em que:

- M_d é o momento fletor de cálculo, obtido pela multiplicação do momento fletor característico (*M*) com o coeficiente de ponderação de ações (γ_f), que para as combinações normais de ações é de 1,4 (ABNT NBR 6118, 2014);
- f_c corresponde a 85% do valor de f_{ck} , dividido pelo coeficiente de ponderação da resistência do concreto (γ_c), que para as combinações normais de ações é de 1,4 (ABNT NBR 6118, 2014);
- *b* corresponde à faixa de concreto que está sendo dimensionada, no caso de lajes é conveniente adotar b=100 cm;
- *d* é a altura útil média, descontando-se o cobrimento e metade do diâmetro das barras da altura total.

Após a obtenção de *k*, comparou-se este valor com o parâmetro adimensional k_{lim}, que é um parâmetro utilizado para verificar se há necessidade de armadura de compressão. O

valor de k_{lim} para concretos com $f_{ck} \leq 50$ MPa, com seção pertencente ao Domínio 3 de deformação, é de 0,295.

Sendo $k < k_{lim}$, o elemento não precisa de armadura de compressão, e a área de aço para combater os esforços de tração nas direções de l_x e l_y (A_{sx} ; A_{sy}) foi calculada através da seguinte fórmula:

$$A_{s\,x,y} = \frac{f_c b d}{f_{yd}} x\,(1 - \sqrt{1 - 2k'}\,)$$

Em que:

- f_c corresponde a 85% do valor de f_{ck} , dividido pelo coeficiente de ponderação da resistência do concreto (γ_c), que para as combinações normais de ações é de 1,4 (ABNT NBR 6118, 2014).
- b corresponde à faixa de concreto que está sendo dimensionada, no caso de lajes é conveniente adotar b=100 cm.
- d é a altura útil média, descontando-se o cobrimento e metade do diâmetro das barras da altura total.
- f_{yd} é o valor da resistência do aço dividido pelo coeficiente de ponderação da resistência do aço (γ_s), que para as combinações normais de ações é de 1,15 (ABNT NBR 6118, 2014).
- k' é o parâmetro adimensional que mede a intensidade do momento fletor resistente de cálculo devido ao concreto comprimido. No caso, por se tratar de $k < k_{lim}$, $k' = k$.

As lajes devem possuir uma armadura mínima ($A_{s,min}$) a qual deve ser menor ou igual à armadura calculada (A_{sx} ; A_{sy}). O valor de $A_{s,min}$ foi calculado por meio da fórmula a seguir:

$$A_{s,min} = \rho_{min} 100 h$$

Em que:

- ρ_{min} é a taxa mínima de armadura, que, para concretos com f_{ck} = 25 MPa e aço CA-50 ou CA-60, é de 0,15% (ABNT NBR 6118, 2014);
- h é a altura total da laje.

As lajes armadas em apenas uma direção, caso da laje L1, de acordo com Araújo (2014) devem possuir uma armadura de distribuição ($A_{s,dist}$) que deve ser igual ou superior a:

a) $A_{sx}/5$
b) 0,9 cm²/m
c) $A_{s,min}$
d) 3 barras por metro

Finalmente, o detalhamento das armaduras foi feito por meio da Tabela A3.1 (Anexo II). O comprimento e a quantidade das barras foram calculados em função dos vãos e dos espaçamentos adotados entre barras. Os dados do dimensionamento das lajes foram sintetizados na Tabela 2 abaixo:

Tabela 2 – Dimensionamento das lajes maciças

Laje	*Mx (kN.m/m)*	*My (kN.m/m)*	*Asx (cm²/m)*	*Asy (cm²/m)*	*As,min (cm²/m)*	*As,dist (cm²/m)*	*Detalhamento*
L1	11,48	-	5,41	-	1,5	1,5	*Asx* = 83 ϕ 8,00 mm c/9cm - c = 350 cm *As,dist* = 18 ϕ 6,30 mm c/20 cm - c = 740 cm
L2	3,34	4,29	1,5	1,62	1,5	-	*Asx* = 16 ϕ 6,30 mm c/20cm - c = 365 cm *Asy*= 20 ϕ 6,30 mm c/19 cm - c = 315 cm
L3	7,52	5,352	2,94	2,05	1,5	-	*Asx* = 50 ϕ 6,30 mm c/10cm - c = 400 cm *Asy*= 27 ϕ 6,30 mm c/15 cm - c = 500 cm

Fonte: Autor, 2018.

3.3.2.2 Quantitativo das lajes maciças

A partir dos dados das Tabelas 1 e 2, levantou-se o quantitativo de aço, concreto, e área de fôrmas e escoras para as lajes em estudo. A quantidade de aço demandada, em quilogramas, foi obtida multiplicando-se a massa específica do aço (7850 kg/m³) pela área da seção transversal de cada barra e pelo comprimento total das barras em cada laje.

O volume de concreto foi calculado subtraindo-se o volume do aço do volume total da laje, sendo que o volume de aço é igual à sua massa dividida por sua massa específica. As áreas de fôrmas e escoramento foram calculadas pelo simples produto dos vãos l_x e l_y. Na Tabela 3 estão representados estes quantitativos.

Tabela 3 – Quantitativo de materiais nas lajes maciças

Laje	Aço CA-60 (kg)	Aço CA-50 (kg)	Volume de concreto (m^3)	Área de fôrmas (m^2)	Área de escoramento (m^2)
L1	32,37	114,75	2,57	25,9	25,9
L2	29,5	-	1,146	11,5	11,5
L3	81,41	-	1,99	20	20

Fonte: Autor, 2018.

3.3.3 Dimensionamento e quantitativos das lajes *steel deck*

As lajes L1, L2 e L3 em *steel deck* foram dimensionadas a partir das tabelas fornecidas pelo fabricante, Metform. Esta empresa oferece dois modelos de perfis de *steel deck*, o MF-75 e o MF-50, respectivamente com alturas de 75 mm e 50 mm.

Neste trabalho, optou-se por utilizar o MF-75 que, segundo o fabricante, é mais recomendado para cargas elevadas. Isto se justifica por ter sido feito uso da mesma sobrecarga de serviço utilizada nas lajes maciças, ou seja, 1,0 kN/m² de revestimento e 4,0 kN/m² de sobrecarga, totalizando uma carga total sobreposta de 5,0 kN/m².

A partir da tabela de cargas e vão máximos do MF-75 (Anexo III) buscou-se verificar, de acordo com o menor vão simples de cada laje, a espessura total necessária da laje e a espessura do *steel deck* de modo a resistir à carga sobreposta atuante e, se possível, evitar a necessidade de escoramento.

Uma vez tendo sida escolhida a altura da laje, o próprio fabricante fornece em tabelas o consumo de concreto da mesma e o tipo de armadura para retração necessária, conforme pode ser visto no Anexo IV.

O resultado do dimensionamento e o quantitativo de materiais se encontram nas Tabelas 4 e 5. Como poderá ser visto, a laje L3 necessitou de escoramento, para isso foi arbitrada uma linha de escoramento perpendicular ao centro do vão, de comprimento l_y =5,00 metros e largura de 0,20 metros, equivalendo a uma área de 1,0 m².

Tabela 4 – Dimensionamento das lajes *steel deck*

Laje	Vão simples (mm)	Altura (mm)	Espessura do *Steel Deck* MF-75 (mm)	Vão máximo simples sem escoramento (mm)	Carga sobreposta máxima (kN/m²)	Necessidade de escoramento (sim/não)	Verificação (sim/não)
L1	3500	140	1,25	3500	5,59	não	sim
L2	3150	140	1,25	3500	7,36	não	sim
L3	4000	180	1,25	3050	5,35	sim	sim

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 5 – Quantitativo das lajes *steel deck*

Laje	Altura (mm)	Consumo de concreto (m3/m²)	Armadura em tela soldada para retração			Área de escoramento (m²)
			Denominação	Composição	Peso (kg/m²)	
L1	140	0,1025	Q-75	ϕ3,8xϕ3,8 - 150x150	1,21	0,0
L2	140	0,1025	Q-75	ϕ3,8xϕ3,8 - 150x150	1,21	0,0
L3	180	0,1425	Q-113	ϕ3,8xϕ3,8 - 100x100	1,8	1,0

Fonte: Autor,2018.

3.3.4 Composições de custo

Diante dos dados quantitativos, a composição de custos de materiais e mão de obra para cada laje foi elaborada a partir de índices consultados nas tabelas do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI, e na plataforma digital da Tabela de Composições e Preços para Orçamentos – TCPOweb.

Os índices e preços consultados tiveram como data referência o mês de Agosto de 2018, na região de Belo Horizonte – MG. Este trabalho visou comparar apenas os custos diretos envolvidos na execução das lajes, portanto não foi considerado na elaboração das composições a Bonificação de Despesas Indiretas – BDI. Os encargos sociais incidentes sobre a mão de obra (LS – Leis Sociais) tiveram seu valor estipulado em 127%, índice este de acordo com os dados do TCPOweb.

As composições de custo das lajes L1, L2 e L3, tanto para utilização de lajes maciças, quanto para *steel deck*, estão nos Apêndices de A a F.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Baseando-se nos dados levantados nos Apêndices de A a F, chegou-se nos resultados totais e por insumos para o custo total de cada laje, assim como também para o conjunto das três lajes. Na Tabela 6 estão representados os custos diretos totais levantados para as lajes L1, L2 e L3 para cada situação de projeto, sendo que os insumos de mão de obra e encargos sociais se referem à soma de todos os itens.

Tabela 6 – Custo dos insumos e mão de obra por laje

	L1 – Maciça (R$)	L1 - *Steel Deck* (R$)	L2 – Maciça (R$)	L2 - *Steel Deck* (R$)	L3 – Maciça (R$)	L3 - *Steel Deck* (R$)
Fôrmas/ Fôrma colaborante	R$ 916,47	R$ 2.435,38	R$ 406,92	R$ 1.081,35	R$ 707,70	R$ 1.880,60
Escoramento	R$ 1.612,50	R$ 0,00	R$ 715,98	R$ 0,00	R$ 1.245,18	R$ 51,38
Armadura	R$ 843,62	R$ 226,58	R$ 174,97	R$ 100,61	R$ 482,84	R$ 151,83
Concreto/ Aplicação	R$ 766,53	R$ 751,83	R$ 341,81	R$ 333,82	R$ 593,54	R$ 809,95
Mão-de-obra	R$ 532,37	R$ 297,03	R$ 209,77	R$ 131,89	R$ 416,21	R$ 252,76
Leis Sociais	R$ 681,17	R$ 380,05	R$ 268,40	R$ 168,75	R$ 532,54	R$ 323,41
TOTAL	R$ 5.352,66	R$ 4.090,87	R$ 2.117,85	R$ 1.816,42	R$ 3.978,01	R$ 3.469,93

Fonte: Autor, 2018.

A partir de uma análise básica da Tabela 6 já é possível verificar que o sistema de lajes *steel deck*, para as condições impostas neste trabalho, se mostrou economicamente mais vantajoso em relação ao sistema de lajes maciças. Os valores totais e o custo por metro quadrado de cada painel de laje podem ser vistos nos Gráfico 1 e 2, respectivamente.

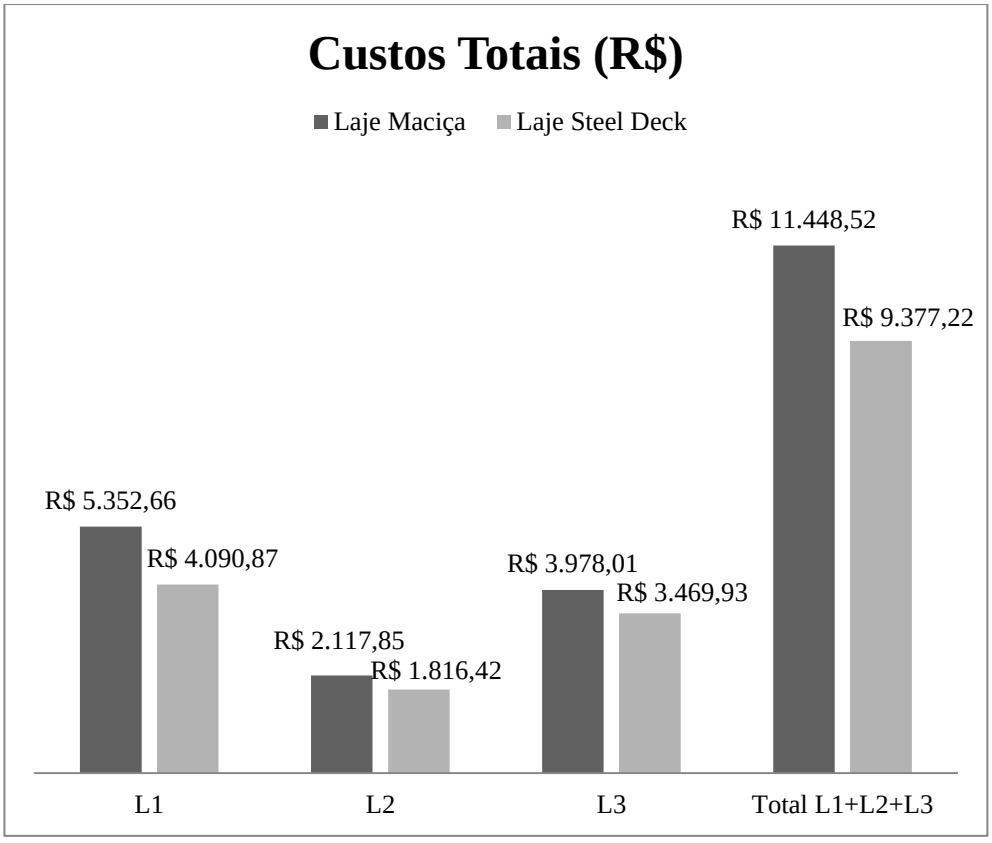


Gráfico 1 – Custos totais das lajes L1, L2 e L3.

Fonte: Autor, 2018.

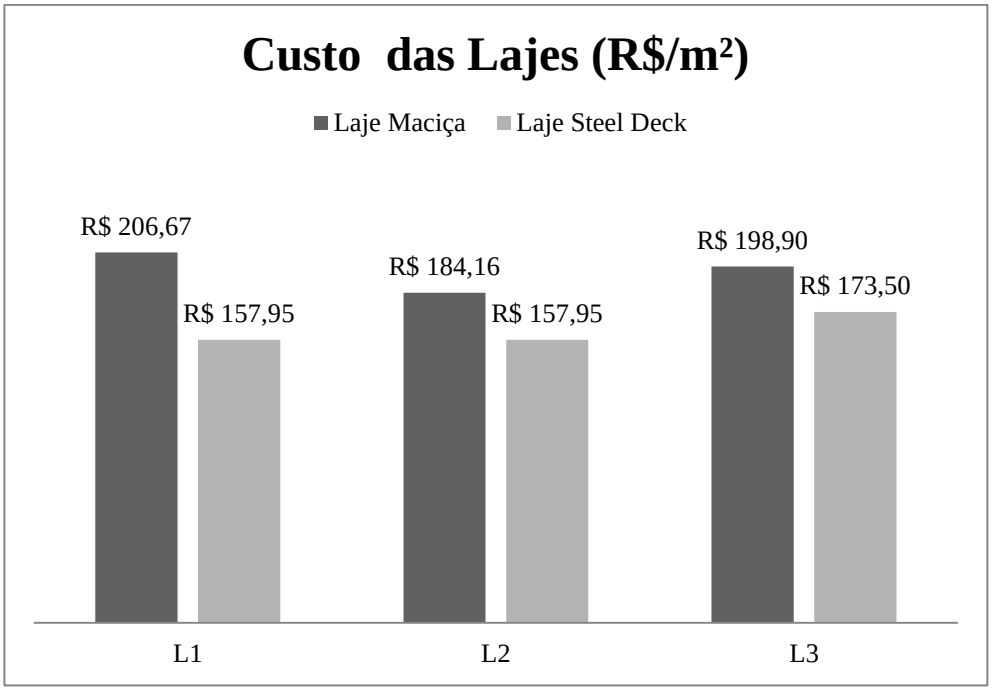


Gráfico 2 – Custo total por metro quadrado das lajes L1, L2 e L3.

Fonte: Autor, 2018.

Comparando-se os valores totais dos dois sistemas de forma percentual nota-se, através da Tabela 7, que o conjunto de lajes maciças custou 22,09% a mais que o conjunto de lajes *steel deck*. Ao se analisar individualmente as três lajes, em relação às lajes mistas *steel deck*, percebe-se que a laje L1 apresentou a maior diferença entre as duas situações de projeto (30,84%), seguida de L2 (16,59%) e L3 (14,64%).

Tabela 7 – Percentual da diferença de custo das lajes maciças em relação às *steel deck*

Laje	Laje maciça - Custo total (R$)	Laje *steel deck* - Custo total (R$)	Diferença de custo da Laje Maciça em relação à *Steel Deck* (%)
L1	R$ 5.352,66	R$ 4.090,87	30,84%
L2	R$ 2.117,85	R$ 1.816,42	16,59%
L3	R$ 3.978,01	R$ 3.469,93	14,64%
L1+L2+L3	R$ 11.448,52	R$ 9.377,22	22,09%

Fonte: Autor, 2018.

A maior diferença de custos entre os dois sistemas, apresentada na laje L1, se explica pelas características de projeto da mesma. A laje L1 possui uma área relativamente muito maior que as demais lajes do estudo (25,9 m²), porém um de seus vãos é proporcionalmente

muito menor que o outro ($l_y/l_x \geq 2$), tão logo a mesma foi classificada como armada em uma direção.

Estas características conferiram ao *steel deck* uma vantagem sobre a laje maciça, pois o mesmo pôde ser colocado na direção do vão menor, e como foi no caso em questão, não necessitou de escoramento e demandou uma espessura total da laje mínima de 140 mm. Ao mesmo tempo em que a área relativamente grande exigiu um alto custo com escoras na situação de laje maciça.

Os resultados das lajes L2 e L3 demonstram que, nas lajes armadas em duas direções, o *steel deck* também leva vantagem sobre as lajes maciças, porém com uma margem bem menor. Nestes casos, essa redução na diferença dos dois sistemas pode ser explicada através da Tabela 8, que mostra o custo de cada insumo por metro quadrado de laje.

Tabela 8 – Custo dos insumos por metro quadrado de laje

Insumos	L1 - Maciça (R$/m²)	L1 - *Steel Deck* (R$/m²)	L2 - Maciça (R$/m²)	L2 - *Steel Deck* (R$/m²)	L3 - Maciça (R$/m²)	L3 - *Steel Deck* (R$/m²)
Fôrmas/Fôrma colaborante	R$ 35,38	R$ 94,03	R$ 35,38	R$ 94,03	R$ 35,38	R$ 94,03
Escoramento	R$ 62,26	R$ 0,00	R$ 62,26	R$ 0,00	R$ 62,26	R$ 2,57
Armadura	R$ 32,57	R$ 8,75	R$ 15,21	R$ 8,75	R$ 24,14	R$ 7,59
Concreto/Aplicação	R$ 29,60	R$ 29,03	R$ 29,72	R$ 29,03	R$ 29,68	R$ 40,50
Mão-de-obra	R$ 20,55	R$ 11,47	R$ 18,24	R$ 11,47	R$ 20,81	R$ 12,64
LS	R$ 26,30	R$ 14,67	R$ 23,34	R$ 14,67	R$ 26,63	R$ 16,17
TOTAL	R$ 206,67	R$ 157,95	R$ 184,16	R$ 157,95	R$ 198,90	R$ 173,50

Fonte: Autor, 2018.

A partir da observação da Tabela 8, fica notória a redução do custo por metro quadrado de armadura nas lajes maciças L2 e L3 em relação à Laje L1. Este fato, juntamente com o aumento do custo por metro quadrado de concreto na laje *steel deck* L3, explicam a redução da diferença de custo entre os dois sistemas nestas lajes.

Com a intenção de reduzir o escoramento, as lajes mistas *steel deck* foram dimensionadas para uma espessura de chapa de 1,25 mm e espessura total da laje de 140 mm (L1 e L2) e 180 mm (L3). No entanto, o escoramento representou uma parcela muito pequena dos custos totais das lajes mistas, dessa forma, provavelmente haveria sido mais vantajoso utilizar uma espessura de chapa inferior, com espessura total mínima da laje (140 mm) em todos os casos, ainda que fosse necessário para esta situação utilizar escoras.

Ao se comparar o custo por metro quadrado de cada insumo, fica evidente que o escoramento é preponderante na formação do custo total das lajes maciças, assim como o *steel deck* nas lajes mistas. No entanto, não devem ser comparados individualmente entre cada sistema. O *steel deck* desempenha, simultaneamente, a função de fôrma para o concreto, armadura positiva e, por vezes, supre a necessidade de escoramento. Considerando-se este fato, a melhor forma encontrada para se comparar os dois sistemas foi agrupando os insumos de acordo com sua função, como pode ser visualizado no Gráfico 3.

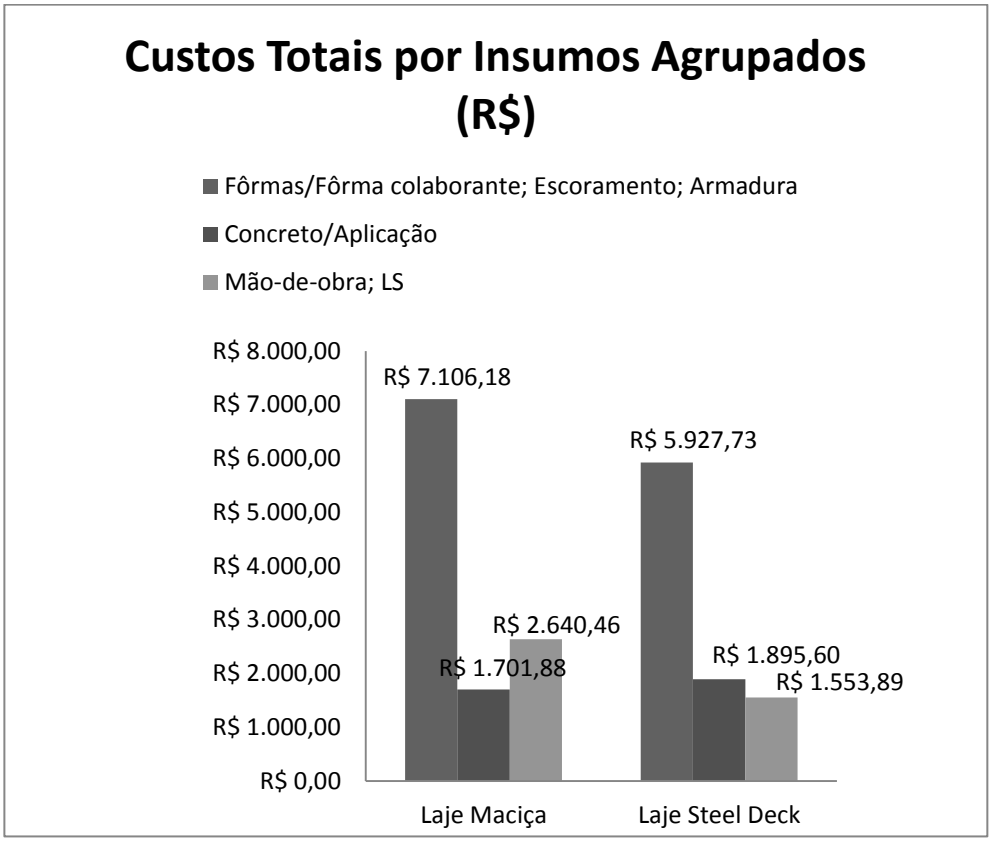


Gráfico 3 – Custos totais por insumos agrupados.

Fonte: Autor, 2018.

Os dados do Gráfico 3, convertidos em percentuais na Tabela 9, elucidam que o uso do *steel deck*, por ser multifuncional, gerou uma economia de 16,58% em relação ao custo total demandado em fôrmas, escoramento e armadura nas lajes maciças. De igual modo, o conjunto de mão de obra e encargos sociais (LS) nas lajes *steel deck*, geraram juntos uma economia de 41,15 % em relação às lajes maciças.

O custo referente ao concreto e à aplicação do mesmo, por sua vez, demonstrou uma vantagem das lajes maciças sobre as lajes *steel deck*. Neste caso, as lajes mistas custaram

11,38 % a mais que as lajes maciças, o que se deve basicamente à laje L3. Como foi dito, na situação de laje mista, a laje L3 foi dimensionada com espessura total de 180 mm, elevando assim o seu consumo de concreto.

A Tabela 9, por fim, certifica que o sistema de laje mista *steel deck* gerou uma economia total de 18,09% em relação ao sistema de laje maciça. Isso se deveu principalmente à multifuncionalidade do *steel deck* e à economia gerada na mão de obra.

Tabela 9 – Percentual da diferença de custo por insumos das lajes *steel deck* em relação às maciças.

Insumos agrupados	Laje Maciça	Laje *Steel Deck*	Diferença de custo das Lajes *Steel Deck* em relação às Lajes maciças (%)
Fôrmas/Fôrma colaborante; Escoramento; Armadura	R$ 7.106,18	R$ 5.927,73	-16,58%
Concreto/Aplicação	R$ 1.701,88	R$ 1.895,60	11,38%
Mão-de-obra; LS	R$ 2.640,46	R$ 1.553,89	-41,15%
TOTAL	R$ 11.448,52	R$ 9.377,22	-18,09%

Fonte: Autor, 2018.

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As lajes maciças tiveram um custo total 22,09% maior que as lajes mistas *steel deck*, os principais motivos que levaram a isso se devem ao fato do *steel deck* exercer múltiplas funções, o que contribui também para a redução dos custos com mão de obra. Os insumos de escoramento e fôrmas nas lajes maciças representam uma grande parcela do custo total das mesmas, uma alternativa para isso seria testar a utilização de outros sistemas de fôrmas e escoras, diferente do tradicional de madeira.

Portanto, a partir da avaliação dos resultados elencados, conclui-se que o sistema de lajes *steel deck*, para as condições impostas neste estudo, se mostrou economicamente mais vantajoso em relação ao sistema de lajes maciças, tanto ao se analisar individualmente as lajes L1, L2 e L3, quanto ao se analisar o conjunto das três.

3.6. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. M. de. **Curso de Concreto Armado**. Volume 1. 3.ed. Rio Grande: Dunas, 2010.

_____. **Curso de Concreto Armado**. Volume 2. 4.ed. Rio Grande: Dunas, 2014.

ARCELOR MITTAL PERFILOR. **Polydeck 59S: O *Steel Deck* da Arcelor Mittal**. São Paulo, 2018.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-6118: Projeto de Estruturas de Concreto.** Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR-6120: Cargas Para o Cálculo de Estruturas de Edificações.** Rio de Janeiro, 1980.

_____. **NBR-14762: Dimensionamento de Estruturas de Aço Constituídas Por Perfis Formados a Frio.** Rio de Janeiro, 2010.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. de. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado: Segundo a NBR 6118:2014**. São Carlos: EdUFSCar, 2015.

CICHINELLI, G. Construção Rápida. **Revista Téchne**. 179. Ed. Dez. 2011. Disponível em: <http:// techne17.pini.com.br/engenharia-civil/179/artigo287917-1.aspx>. Acesso em: 15 de Maio de 2018.

_____. Lajes em *Steel Deck* . **Revista Téchne**. Out. 2014. Disponível em: <http:// www.cbca-acobrasil.org.br/noticias-detalhes.php?cod=6415>. Acesso em: 15 de Maio de 2018.

_____. *Steel Deck*. **Revista Téchne**. 147. Ed. Jun. 2009. Disponível em: <http:// techne17.pini.com.br/engenharia-civil/147/steel-deck-287665-1.aspx>. Acesso em: 15 de Maio de 2018.

KALMANOK, A. S. **Manual Para Cálculo de Placas**. Montevideo: Editora Inter Ciência, 1961.

NAKAMURA, J. Fôrma Colaborante. **Revista Téchne**. 129. Ed.. Dez. 2007. Disponível em: <http:// techne17.pini.com.br/engenharia-civil/129/artigo285419-1.aspx>. Acesso em: 15 de Maio de 2018.

QUEIROZ, G.; PIMENTA, R. J.; MARTINS, A. G. **Estruturas Mistas**. Volume 1. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/CBCA, 2012.

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. Disponível em: < http:// www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 16 de Outubro de 2018.

TCPO – Tabela de Composições de Preços para Orçamentos. Disponível em: <http://tcpoweb.pini.com.br/home/home.aspx>. Acesso em: 26 de Outubro de 2018.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As lajes maciças tiveram um custo total 22,09% maior que as lajes mistas *steel deck*, os principais motivos que levaram a isso se devem ao fato do *steel deck* exercer múltiplas funções, o que contribui também para a redução dos custos com mão de obra. Os insumos de escoramento e fôrmas nas lajes maciças representam uma grande parcela do custo total das mesmas, uma alternativa para isso seria testar a utilização de outros sistemas de fôrmas e escoras, diferente do tradicional de madeira.

Portanto, a partir da avaliação dos resultados elencados, conclui-se que o sistema de lajes *steel deck*, para as condições impostas neste estudo, se mostrou economicamente mais vantajoso em relação ao sistema de lajes maciças, tanto ao se analisar individualmente as lajes L1, L2 e L3, quanto ao se analisar o conjunto das três.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. M. de. **Curso de Concreto Armado**. Volume 1. 3.ed. Rio Grande: Dunas, 2010.

_____. **Curso de Concreto Armado**. Volume 2. 4.ed. Rio Grande: Dunas, 2014.

ARCELOR MITTAL PERFILOR. **Polydeck 59S: O *Steel Deck* da Arcelor Mittal**. São Paulo, 2018.

ABCEM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSTRUÇÃO METÁLICA; CBCA – CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Cenário dos Fabricantes de Telhas de Aço e *Steel Deck*.** Brasil, 2017.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-6118: Projeto de Estruturas de Concreto.** Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR-6120: Cargas Para o Cálculo de Estruturas de Edificações.** Rio de Janeiro, 1980.

_____. **NBR-14762: Dimensionamento de Estruturas de Aço Constituídas Por Perfis Formados a Frio.** Rio de Janeiro, 2010.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. de. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado: Segundo a NBR 6118:2014**. São Carlos: EdUFSCar, 2015.

CICHINELLI, G. Construção Rápida. **Revista Téchne**. 179. Ed. Dez. 2011. Disponível em: <http:// techne17.pini.com.br/engenharia-civil/179/artigo287917-1.aspx>. Acesso em: 15 de Maio de 2018.

_____. Lajes em *Steel Deck* . **Revista Téchne**. Out. 2014. Disponível em: <http:// www.cbca-acobrasil.org.br/noticias-detalhes.php?cod=6415>. Acesso em: 15 de Maio de 2018.

_____. *Steel Deck*. **Revista Téchne**. 147. Ed. Jun. 2009. Disponível em: <http:// techne17.pini.com.br/engenharia-civil/147/steel-deck-287665-1.aspx>. Acesso em: 15 de Maio de 2018.

KALMANOK, A. S. **Manual Para Cálculo de Placas**. Montevideo: Editora Inter Ciência, 1961.

NAKAMURA, J. Fôrma Colaborante. **Revista Téchne**. 129. Ed.. Dez. 2007. Disponível em: <http:// techne17.pini.com.br/engenharia-civil/129/artigo285419-1.aspx>. Acesso em: 15 de Maio de 2018.

QUEIROZ, G.; PIMENTA, R. J.; MARTINS, A. G. **Estruturas Mistas**. Volume 1. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/CBCA, 2012.

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. Disponível em: < http:// www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 16 de Outubro de 2018.

TCPO – Tabela de Composições de Preços para Orçamentos. Disponível em: <http://tcpoweb.pini.com.br/home/home.aspx>. Acesso em: 26 de Outubro de 2018.

APÊNDICE A – Composição de custo da laje maciça L1

Data de referência de preços: 2018/08							
Região de preços: Belo Horizonte - MG.							
Descrição: Forma para lajes com chapa compensada plastificada # 12 mm, 3 reaproveitamentos							
Quantidade: 25,9m² LS(%): 127,95 BDI(%): 0							
Fonte	**Descrição**	**Class**	**Un**	**Coef**	**Preço unitário (R$) sem taxas**	**Total (R$) sem taxas**	**Consumo**
TCPOweb	Forma para lajes com chapa compensada plastificada # 12 mm - fabricação	SER	m²	0,333	103,18	889,88	8,6247
TCPOweb	Forma para lajes com chapa compensada plastificada # 12 mm - montagem	SER	m²	1	7,17	185,67	25,9
TCPOweb	Forma para lajes com chapa compensada plastificada # 12 mm - desmontagem	SER	m²	1	1,12	29,04	25,9
					Total mão-de-obra, sem taxas (R$):	188,12	
					Total outros itens, sem taxas (R$):	916,47	
					Total geral, sem taxas (R$):	1.104,59	
Descrição: Escoramento em madeira para lajes de edificação, com pontaletes 7,5 x 7,5cm para altura de 2,7 a 3 m							
Quantidade: 25,9m² LS(%): 127,95 BDI(%): 0							
Fonte	**Descrição**	**Class**	**Un**	**Coef**	**Preço unitário (R$) sem taxas**	**Total (R$) sem taxas**	**Consumo**
TCPOweb	Fabricação de escoramento em madeira para lajes de edificação, com pontaletes	SER	m²	1	63,87	1654,24	25,9
TCPOweb	Montagem de escoramento em madeira para lajes de edificação, com pontaletes	SER	m²	1	1,17	30,26	25,9
TCPOweb	Desmontagem de escoramento em pontaletes	SER	m²	1	0,05	1,3	25,9
					Total mão-de-obra, sem taxas (R$):	73,3	
					Total outros itens, sem taxas (R$):	1.612,50	
					Total geral, sem taxas (R$):	1.685,80	
Descrição: Armadura de aço CA-50 para lajes Ø 8,0 mm, corte, dobra e montagem							
Quantidade: 114,75kg LS(%): 127,95 BDI(%): 0							
Fonte	**Descrição**	**Class**	**Un**	**Coef**	**Preço unitário (R$) sem taxas**	**Total (R$) sem taxas**	**Consumo**
TCPOweb	Armador	MOD	h	0,051	7,42	43,42	5,85225
TCPOweb	Ajudante de armador	MOD	h	0,08925	5,59	57,25	10,241438
TCPOweb	Espaçador plástico para armadura de peças de concreto com cobrimento 3 cm	MAT	un	0,264	0,3	9,09	30,294
TCPOweb	Aço CA-50 Ø 8,0 mm em barra, massa nominal 0,395 kg/m	MAT	kg	1,1	4,58	578,11	126,225
TCPOweb	Arame recozido 18 BWG, Ø 1,25 mm, 0,010 kg/m	MAT	kg	0,02	10,73	24,63	2,295
TCPOweb	Dobradora para ferro, elétrica, 5 hp - 3,7 kW, capacidade de dobra, CA-25 até Ø 32 mm e CA-50 até Ø 25 mm	EQH	h prod	0,02805	17,96	57,8	3,2187375
					Total mão-de-obra, sem taxas (R$):	118,66	
					Total outros itens, sem taxas (R$):	651,64	
					Total geral, sem taxas (R$):	770,3	

APÊNDICE A – Composição de custo da laje maciça L1

Descrição: Armadura de aço CA-60 para estruturas de concreto armado, Ø de 5,00 até 7,00 mm, corte, dobra e montagem							
Quantidade: 32,37kg LS(%): 127,95 BDI(%): 0							
Fonte	**Descrição**	**Class**	**Un**	**Coef**	**Preço unitário (R$) sem taxas**	**Total (R$) sem taxas**	**Consumo**
TCPOweb	Armador	MOD	h	0,08	7,42	19,21	2,5896
TCPOweb	Ajudante de armador	MOD	h	0,14	5,59	25,33	4,5318
TCPOweb	Espaçador plástico para armadura de peças de concreto com cobrimento 3 cm	MAT	un	0,264	0,3	2,56	8,54568
TCPOweb	Aço CA-60 Ø 7,00 mm em barra, massa nominal 0,302 kg/m	MAT	kg	1,1	4,45	158,45	35,607
TCPOweb	Arame recozido 18 BWG, Ø 1,25 mm, 0,010 kg/m	MAT	kg	0,02	10,73	6,95	0,6474
TCPOweb	Dobradora para ferro, elétrica, 5 hp - 3,7 kW, capacidade de dobra, CA-25 até Ø 32 mm e CA-50 até Ø 25 mm	EQH	h prod	0,06	17,96	34,88	1,9422
					Total mão-de-obra, sem taxas (R$):	55,4	
					Total outros itens, sem taxas (R$):	191,98	
					Total geral, sem taxas (R$):	247,38	

Descrição: Concreto dosado em central C25 S50							
Quantidade: 2,57 m³ LS(%): 127,95 BDI(%): 0							
Fonte	**Descrição**	**Class**	**Un**	**Coef**	**Preço unitário (R$) sem taxas**	**Total (R$) sem taxas**	**Consumo**
TCPOweb	Concreto dosado em central C25 S50	MAT	m³	1,05	283,2	764,2152	2,6985
					Total mão-de-obra, sem taxas (R$):	0	
					Total outros itens, sem taxas (R$):	764,22	
					Total geral, sem taxas (R$):	764,22	

Descrição: Concreto - aplicação e adensamento com vibrador de imersão com motor elétrico							
Quantidade: 2,57m³ LS(%): 127,95 BDI(%): 0							
Fonte	**Descrição**	**Class**	**Un**	**Coef**	**Preço unitário (R$) sem taxas**	**Total (R$) sem taxas**	**Consumo**
TCPOweb	Pedreiro	MOD	h	1,65	7,42	31,46	4,2405
TCPOweb	Servente	MOD	h	4,5	4,85	56,09	11,565
TCPOweb	Vibrador de imersão elétrico, 2 CV, mangote Ø 45 mm	EQH	h prod	0,65	6,98	11,65	1,6705
					Total mão-de-obra, sem taxas (R$):	96,89	
					Total outros itens, sem taxas (R$):	2,31	
					Total geral, sem taxas (R$):	99,2	

Valores Totais (R$)	
Sem taxas	**4.671,49**
LS:	**681,17**
Com taxas	**5.352,65**

APÊNDICE B – Composição de custo da laje maciça L2

Data de referência de preços: 2018/08							
Região de preços: Belo Horizonte - MG.							
Descrição: Forma para lajes com chapa compensada plastificada # 12 mm, 3 reaproveitamentos							
Quantidade: 11,5m² LS(%): 127,95 BDI(%): 0							
Fonte	**Descrição**	**Class**	**Un**	**Coef**	**Preço unitário (R$) sem taxas**	**Total (R$) sem taxas**	**Consumo**
TCPOweb	Forma para lajes com chapa compensada plastificada # 12 mm - fabricação	SER	m²	0,333	103,18	395,12	3,8295
TCPOweb	Forma para lajes com chapa compensada plastificada # 12 mm - montagem	SER	m²	1	7,17	82,44	11,5
TCPOweb	Forma para lajes com chapa compensada plastificada # 12 mm - desmontagem	SER	m²	1	1,12	12,89	11,5
					Total mão-de-obra, sem taxas (R$):	83,53	
					Total outros itens, sem taxas (R$):	406,92	
					Total geral, sem taxas (R$):	490,45	
Descrição: Escoramento em madeira para lajes de edificação, com pontaletes 7,5 x 7,5cm para altura de 2,7 a 3 m							
Quantidade: 11,5m² LS(%): 127,95 BDI(%): 0							
Fonte	**Descrição**	**Class**	**Un**	**Coef**	**Preço unitário (R$) sem taxas**	**Total (R$) sem taxas**	**Consumo**
TCPOweb	Fabricação de escoramento em madeira para lajes de edificação, com pontaletes	SER	m²	1	63,87	734,51	11,5
TCPOweb	Montagem de escoramento em madeira para lajes de edificação, com pontaletes	SER	m²	1	1,17	13,43	11,5
TCPOweb	Desmontagem de escoramento em pontaletes	SER	m²	1	0,05	0,58	11,5
					Total mão-de-obra, sem taxas (R$):	32,55	
					Total outros itens, sem taxas (R$):	715,98	
					Total geral, sem taxas (R$):	748,52	

APÊNDICE B – Composição de custo da laje maciça L2

Descrição: Armadura de aço CA-60 para estruturas de concreto armado, Ø de 5,00 até 7,00 mm, corte, dobra e montagem

Quantidade: 29,5 kg LS(%): 127,95 BDI(%): 0

Fonte	Descrição	Class	Un	Coef	Preço unitário (R$) sem taxas	Total (R$) sem taxas	Consumo
TCPOweb	Armador	MOD	h	0,08	7,42	17,51	2,36
TCPOweb	Ajudante de armador	MOD	h	0,14	5,59	23,09	4,13
TCPOweb	Espaçador plástico para armadura de peças de concreto com cobrimento 3 cm	MAT	un	0,264	0,3	2,34	7,788
TCPOweb	Aço CA-60 Ø 7,00 mm em barra, massa nominal 0,302 kg/m	MAT	kg	1,1	4,45	144,4	32,45
TCPOweb	Arame recozido 18 BWG, Ø 1,25 mm, 0,010 kg/m	MAT	kg	0,02	10,73	6,33	0,59
TCPOweb	Dobradora para ferro, elétrica, 5 hp - 3,7 kW, capacidade de dobra, CA-25 até Ø 32 mm e CA-50 até Ø 25 mm	EQH	h prod	0,06	17,96	31,79	1,77
					Total mão-de-obra, sem taxas (R$):	50,49	
					Total outros itens, sem taxas (R$):	174,97	
					Total geral, sem taxas (R$):	225,46	

Descrição: Concreto dosado em central C25 S50

Quantidade: 1,146 m³ LS(%): 127,95 BDI(%): 0

Fonte	Descrição	Class	Un	Coef	Preço unitário (R$) sem taxas	Total (R$) sem taxas	Consumo
TCPOweb	Concreto dosado em central C25 S50	MAT	m³	1,05	283,2	340,77456	1,2033
					Total mão-de-obra, sem taxas (R$):	0	
					Total outros itens, sem taxas (R$):	340,77	
					Total geral, sem taxas (R$):	340,77	

Descrição: Concreto - aplicação e adensamento com vibrador de imersão com motor elétrico

Quantidade: 1,146 m³ LS(%): 127,95 BDI(%): 0

Fonte	Descrição	Class	Un	Coef	Preço unitário (R$) sem taxas	Total (R$) sem taxas	Consumo
TCPOweb	Pedreiro	MOD	h	1,65	7,42	14,03	1,8909
TCPOweb	Servente	MOD	h	4,5	4,85	25,01	5,157
TCPOweb	Vibrador de imersão elétrico, 2 CV, mangote Ø 45 mm	EQH	h prod	0,65	6,98	5,2	0,7449
					Total mão-de-obra, sem taxas (R$):	43,2	
					Total outros itens, sem taxas (R$):	1,04	
					Total geral, sem taxas (R$):	44,24	

Valores Totais (R$)	
Sem taxas:	**1.849,44**
LS:	**268,40**
Com taxas:	**2.117,85**

APÊNDICE C – Composição de custo da laje maciça L3

Data de referência de preços: 2018/08							
Região de preços: Belo Horizonte - MG.							
Descrição: Forma para lajes com chapa compensada plastificada # 12 mm, 3 reaproveitamentos							
Quantidade: 20,0 m² LS(%): 127,95 BDI(%): 0							
Fonte	**Descrição**	**Class**	**Un**	**Coef**	**Preço unitário (R$) sem taxas**	**Total (R$) sem taxas**	**Consumo**
TCPOweb	Forma para lajes com chapa compensada plastificada # 12 mm - fabricação	SER	m²	0,333	103,18	687,17	6,66
TCPOweb	Forma para lajes com chapa compensada plastificada # 12 mm - montagem	SER	m²	1	7,17	143,37	20
TCPOweb	Forma para lajes com chapa compensada plastificada # 12 mm - desmontagem	SER	m²	1	1,12	22,42	20
					Total mão-de-obra, sem taxas (R$):	145,26	
					Total outros itens, sem taxas (R$):	707,7	
					Total geral, sem taxas (R$):	852,96	
Descrição: Escoramento em madeira para lajes de edificação, com pontaletes 7,5 x 7,5cm para altura de 2,7 a 3 m							
Quantidade: 20,0 m² LS(%): 127,95 BDI(%): 0							
Fonte	**Descrição**	**Class**	**Un**	**Coef**	**Preço unitário (R$) sem taxas**	**Total (R$) sem taxas**	**Consumo**
TCPOweb	Fabricação de escoramento em madeira para lajes de edificação, com pontaletes	SER	m²	1	63,87	1277,41	20
TCPOweb	Montagem de escoramento em madeira para lajes de edificação, com pontaletes	SER	m²	1	1,17	23,36	20
TCPOweb	Desmontagem de escoramento em pontaletes	SER	m²	1	0,05	1,01	20
					Total mão-de-obra, sem taxas (R$):	56,6	
					Total outros itens, sem taxas (R$):	1.245,18	
					Total geral, sem taxas (R$):	1.301,78	

APÊNDICE C – Composição de custo da laje maciça L3

Descrição: Armadura de aço CA-60 para estruturas de concreto armado, Ø de 5,00 até 7,00 mm, corte, dobra e montagem							
Quantidade: 81,41 kg LS(%): 127,95 BDI(%): 0							
Fonte	**Descrição**	**Class**	**Un**	**Coef**	**Preço unitário (R$) sem taxas**	**Total (R$) sem taxas**	**Consumo**
TCPOweb	Armador	MOD	h	0,08	7,42	48,32	6,5128
TCPOweb	Ajudante de armador	MOD	h	0,14	5,59	63,71	11,3974
TCPOweb	Espaçador plástico para armadura de peças de concreto com cobrimento 3 cm	MAT	un	0,264	0,3	6,45	21,49224
TCPOweb	Aço CA-60 Ø 7,00 mm em barra, massa nominal 0,302 kg/m	MAT	kg	1,1	4,45	398,5	89,551
TCPOweb	Arame recozido 18 BWG, Ø 1,25 mm, 0,010 kg/m	MAT	kg	0,02	10,73	17,47	1,6282
TCPOweb	Dobradora para ferro, elétrica, 5 hp - 3,7 kW, capacidade de dobra, CA-25 até Ø 32 mm e CA-50 até Ø 25 mm	EQH	h prod	0,06	17,96	87,72	4,8846
					Total mão-de-obra, sem taxas (R$):	139,33	
					Total outros itens, sem taxas (R$):	482,84	
					Total geral, sem taxas (R$):	622,17	

Descrição: Concreto dosado em central C25 S50							
Quantidade: 1,99 m³ LS(%): 127,95 BDI(%): 0							
Fonte	**Descrição**	**Class**	**Un**	**Coef**	**Preço unitário (R$) sem taxas**	**Total (R$) sem taxas**	**Consumo**
TCPOweb	Concreto dosado em central C25 S50	MAT	m³	1,05	283,2	591,7464	2,0895
					Total mão-de-obra, sem taxas (R$):	0	
					Total outros itens, sem taxas (R$):	591,75	
					Total geral, sem taxas (R$):	591,75	

Descrição: Concreto - aplicação e adensamento com vibrador de imersão com motor elétrico							
Quantidade: 1,99 m³ LS(%): 127,95 BDI(%): 0							
Fonte	**Descrição**	**Class**	**Un**	**Coef**	**Preço unitário (R$) sem taxas**	**Total (R$) sem taxas**	**Consumo**
TCPOweb	Pedreiro	MOD	h	1,65	7,42	24,36	3,2835
TCPOweb	Servente	MOD	h	4,5	4,85	43,43	8,955
TCPOweb	Vibrador de imersão elétrico, 2 CV, mangote Ø 45 mm	EQH	h prod	0,65	6,98	9,02	1,2935
					Total mão-de-obra, sem taxas (R$):	75,02	
					Total outros itens, sem taxas (R$):	1,79	
					Total geral, sem taxas (R$):	76,81	

Valores Totais (R$)	
Sem taxas:	**3.445,47**
LS:	**532,54**
Com taxas:	**3.978,01**

APÊNDICE D – Composição de custo da laje *steel deck* L1

Data de referência de preços: 2018/08							
Região de preços: Belo Horizonte - MG.							
Descrição: Laje pré-fabricada steel deck para piso com capa de concreto C25 S50, espessura da laje 14 cm, chapa # 1,25 mm							
Quantidade: 25,9 m² LS(%): 127,95 BDI(%): 0							
Fonte	**Descrição**	**Class**	**Un**	**Coef**	**Preço unitário (R$) sem taxas**	**Total (R$) sem taxas**	**Consumo**
TCPOweb	Pedreiro	MOD	h	0,82	7,42	157,59	21,24
TCPOweb	Servente	MOD	h	0,85	4,85	106,77	22,02
TCPOweb	Montador	MOD	h	0,17	7,42	32,67	4,40
TCPOweb	Concreto dosado em central C25 S50	MAT	m³	0,1025	283,2	751,83	2,65
TCPOweb	Chapa de aço com nervuras trapezoidais para laje # 1,25 mm	MAT	m²	1	94,03	2.435,38	25,90
TCPOweb	Tela de aço CA-60 soldada Q 75, Ø 3,80 mm, malha 15 x 15 cm, 1,21 kg/m²	MAT	kg	1,21	7,23	226,58	31,34
				Total mão-de-obra, sem taxas (R$):		297,03	
				Total outros itens, sem taxas (R$):		3.413,78	
				Total geral, sem taxas (R$):		3.710,81	

Valores Totais (R$)	
Sem taxas:	**3.710,81**
LS:	**380,05**
Com taxas:	**4.090,86**

APÊNDICE E – Composição de custo da laje *steel deck* L2

Data de referência de preços: 2018/08							
Região de preços: Belo Horizonte - MG.							
Descrição: Laje pré-fabricada steel deck para piso com capa de concreto C25 S50, espessura da laje 14 cm, chapa # 1,25 mm							
Quantidade: 11,5 m² LS(%): 127,95 BDI(%): 0							
Fonte	**Descrição**	**Class**	**Un**	**Coef**	**Preço unitário (R$) sem taxas**	**Total (R$) sem taxas**	**Consumo**
TCPOweb	Pedreiro	MOD	h	0,82	7,42	69,97	9,43
TCPOweb	Servente	MOD	h	0,85	4,85	47,41	9,78
TCPOweb	Montador	MOD	h	0,17	7,42	14,51	1,96
TCPOweb	Concreto dosado em central C25 S50	MAT	m³	0,1025	283,2	333,82	1,18
TCPOweb	Chapa de aço com nervuras trapezoidais para laje # 1,25 mm	MAT	m²	1	94,03	1.081,35	11,50
TCPOweb	Tela de aço CA-60 soldada Q 75, Ø 3,80 mm, malha 15 x 15 cm, 1,21 kg/m²	MAT	kg	1,21	7,23	100,61	13,92
				Total mão-de-obra, sem taxas (R$):		131,89	
				Total outros itens, sem taxas (R$):		1.515,77	
				Total geral, sem taxas (R$):		1.647,66	

Valores Totais (R$)	
Sem taxas:	**1.647,66**
LS:	**168,75**
Com taxas:	**1.816,41**

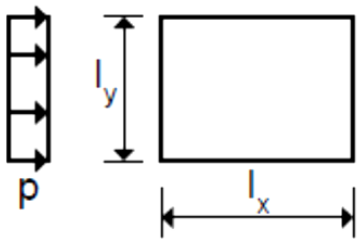
APÊNDICE F – Composição de custo da laje *steel deck* L3

Data de referência de preços: 2018/08							
Região de preços: Belo Horizonte - MG.							
Descrição: Laje pré-fabricada steel deck para piso com capa de concreto C25 S50, espessura da laje 18 cm, chapa # 1,25 mm							
Quantidade: 11,5 m² LS(%): 127,95 BDI(%): 0							
Fonte	**Descrição**	**Class**	**Un**	**Coef**	**Preço unitário (R$) sem taxas**	**Total (R$) sem taxas**	**Consumo**
TCPOweb	Pedreiro	MOD	h	0,82	7,42	121,69	16,4
TCPOweb	Servente	MOD	h	0,93	4,85	90,21	18,6
TCPOweb	Montador	MOD	h	0,25	7,42	37,1	5
TCPOweb	Concreto dosado em central C25 S50	MAT	m³	0,1425	283,2	809,95	2,85
TCPOweb	Chapa de aço com nervuras trapezoidais para laje # 1,25 mm	MAT	m²	1	94,03	1880,6	20
SINAPI	Tela de aço CA-60 soldada Q 113, Ø 3,80 mm, malha 10 x 10 cm, 1,80 kg/m²	MAT	kg	1,8	6,33	151,83	36
					Total mão-de-obra, sem taxas (R$):	249,00	
					Total outros itens, sem taxas (R$):	2.842,38	
					Total geral, sem taxas (R$):	3.091,38	
Descrição: Escoramento em madeira para vigas de edificação, com escoras em eucalípto Ø 10cm para altura entre 2,2 e 3 m							
Quantidade: 1,0 m² LS(%): 127,95 BDI(%): 0							
Fonte	**Descrição**	**Class**	**Un**	**Coef**	**Preço unitário (R$) sem taxas**	**Total (R$) sem taxas**	**Consumo**
TCPOweb	Fabricação de escoramento em madeira para vigas de edificação, com escoras em eucalípto	SER	m²	1	52,14	52,14	1
TCPOweb	Montagem de escoramento em madeira para vigas de edificação, com escoras em eucalípto	SER	m²	1	2,73	2,73	1
TCPOweb	Desmontagem de escoramento em eucalipto	SER	m²	1	0,27	0,27	1
					Total mão-de-obra, sem taxas (R$):	3,76	
					Total outros itens, sem taxas (R$):	51,38	
					Total geral, sem taxas (R$):	55,14	

Valores Totais (R$)	
Sem taxas:	**3.146,52**
LS:	**323,41**
Com taxas:	**3.469,93**

ANEXO I – Tabela A2.1

Tabela A2.1 - Laje retangular simplesmente apoiada no contorno com carga uniformemente distribuída



l_x/l_y	w_c	m_x	m_y	m_{xy}	r_x	r_y	β_x	β_y
0,50	10,13	100,0	36,7	52,8	269	366	1,00	0,73
0,55	9,38	93,4	38,8	51,8	268	353	1,00	0,72
0,60	8,65	86,9	40,7	50,6	267	340	1,00	0,70
0,65	7,94	80,5	42,3	49,4	266	326	0,97	0,69
0,70	7,26	74,3	43,5	47,9	265	315	0,91	0,68
0,75	6,62	68,3	44,2	46,3	263	303	0,85	0,68
0,80	6,03	62,7	44,6	44,6	261	291	0,81	0,67
0,85	5,48	57,6	44,9	42,8	259	281	0,78	0,68
0,90	4,98	52,8	45,0	41,0	256	270	0,75	0,69
0,95	4,51	48,3	44,7	39,1	253	260	0,72	0,70
1,00	4,06	44,2	44,2	37,1	250	250	0,71	0,71

l_y/l_x	w_c	m_x	m_y	m_{xy}	r_x	r_y	β_x	β_y
1,00	4,06	44,2	44,2	37,1	250	250	0,71	0,71
0,95	4,51	44,7	48,3	39,1	260	253	0,70	0,72
0,90	4,98	45,0	52,8	41,0	270	256	0,69	0,75
0,85	5,48	44,9	57,6	42,8	281	259	0,68	0,78
0,80	6,03	44,6	62,7	44,6	291	261	0,67	0,81
0,75	6,62	44,2	68,3	46,3	303	263	0,68	0,85
0,70	7,26	43,5	74,3	47,9	315	265	0,68	0,91
0,65	7,94	42,3	80,5	49,4	326	266	0,69	0,97
0,60	8,65	40,7	86,9	50,6	340	267	0,70	1,00
0,55	9,38	38,8	93,4	51,8	353	268	0,72	1,00
0,50	10,13	36,7	100,0	52,8	366	269	0,73	1,00

ANEXO II – Tabela A3.1

Tabela A3.1 - Área da seção de armadura por metro de largura (cm^2/m)

espaçamento	Bitola ϕ					
s (cm)	**4,2**	**5**	**6,3**	**8**	**10**	**12,5**
7,0	1,98	2,80	4,45	7,18	11,22	17,53
7,5	1,85	2,62	4,16	6,70	10,47	16,36
8,0	1,73	2,45	3,90	6,28	9,82	15,34
8,5	1,63	2,31	3,67	5,91	9,24	14,44
9,0	1,54	2,18	3,46	5,59	8,73	13,64
9,5	1,46	2,07	3,28	5,29	8,27	12,92
10	1,39	1,96	3,12	5,03	7,85	12,27
11	1,26	1,78	2,83	4,57	7,14	11,16
12	1,15	1,64	2,60	4,19	6,54	10,23
13	1,07	1,51	2,40	3,87	6,04	9,44
14	0,99	1,40	2,23	3,59	5,61	8,77
15	0,92	1,31	2,08	3,35	5,24	8,18
16	0,87	1,23	1,95	3,14	4,91	7,67
17	0,81	1,15	1,83	2,96	4,62	7,22
18	0,77	1,09	1,73	2,79	4,36	6,82
19	0,73	1,03	1,64	2,65	4,13	6,46
20	0,69	0,98	1,56	2,51	3,93	6,14
21	0,66	0,93	1,48	2,39	3,74	5,84
22	0,63	0,89	1,42	2,28	3,57	5,58
23	0,60	0,85	1,36	2,19	3,41	5,34
24	0,58	0,82	1,30	2,09	3,27	5,11
25	0,55	0,79	1,25	2,01	3,14	4,91
26	0,53	0,76	1,20	1,93	3,02	4,72
27	0,51	0,73	1,15	1,86	2,91	4,55
28	0,49	0,70	1,11	1,80	2,80	4,38
29	0,48	0,68	1,07	1,73	2,71	4,23
30	0,46	0,65	1,04	1,68	2,62	4,09

ANEXO III – Tabela de cargas e vãos máximos MF-75

	Altura total da laje (mm)	Espessura Seel Deck (mm)	Vãos Máximos sem Escoramento Simples (mm)	Duplos (mm)	Triplos (mm)	Balanço (mm)	Peso Próprio (kN/m²)	M. Inércia Laje Mista (10⁴mm⁴/m)	Vãos Máximos Carga sobreposta 2.000	2.100	2.200	2.300	2.400	2.500	2.600	2.700	sem Escoramento 2.800 máxima (kN/m²)	2.900	3.000	3.150	3.300	3.500	3.750	4.000
Lajes de Forro	130	0,80	2.350	3.200	3.300	1.150	2,27	10,66	11,87	10,56	9,42	8,43	7,56	6,79	6,11	5,51	4,96	4,47	4,03	3,45	2,94	2,37	1,77	1,29
		0,95	3.000	3.650	3.750	1.350	2,28	11,34	14,19	12,69	11,38	10,25	9,25	8,36	7,58	6,88	6,25	5,69	5,18	4,51	3,92	3,26	2,56	2,00
		1,25	3.650	4.300	4.400	1.650	2,32	12,74	18,83	16,94	15,31	13,88	12,62	11,50	10,51	9,63	8,84	8,13	7,48	6,63	5,88	5,03	4,15	3,42
Lajes de Piso	140	0,80	2.200	3.100	3.200	1.150	2,50	13,17	13,16	11,71	10,45	9,35	8,39	7,54	6,78	6,11	5,51	4,97	4,48	3,83	3,27	2,63	1,98	1,44
		0,95	2.850	3.500	3.600	1.350	2,52	13,99	15,74	14,07	12,63	11,37	10,26	9,28	8,41	7,64	6,94	6,32	5,76	5,01	4,36	3,62	2,85	2,23
		1,25	3.500	4.150	4.250	1.600	2,55	15,68	20,00	18,79	16,98	15,39	14,00	12,76	11,67	10,69	9,81	9,02	8,31	7,36	6,53	5,59	4,61	3,81
	150	0,80	2.000	3.000	3.100	1.100	2,74	16,06	14,46	12,86	11,48	10,28	9,22	8,28	7,45	6,72	6,06	5,46	4,93	4,22	3,60	2,90	2,18	1,59
		0,95	2.650	3.400	3.500	1.300	2,75	17,04	17,28	15,45	13,87	12,49	11,27	10,20	9,24	8,39	7,63	6,95	6,33	5,51	4,80	3,98	3,14	2,45
		1,25	3.400	4.000	4.100	1.550	2,79	19,05	20,00	20,00	18,65	16,91	15,38	14,02	12,82	11,75	10,78	9,91	9,13	8,09	7,18	6,15	5,07	4,19
	160	0,80	1.850	2.900	3.000	1.100	2,97	19,35	15,75	14,02	12,51	11,20	10,04	9,03	8,12	7,32	6,60	5,95	5,37	4,60	3,93	3,17	2,38	1,73
		0,95	2.500	3.300	3.400	1.250	2,99	20,51	18,83	16,84	15,11	13,61	12,28	11,11	10,07	9,15	8,32	7,57	6,90	6,01	5,23	4,35	3,43	2,68
		1,25	3.250	3.900	4.000	1.500	3,02	22,90	20,00	20,00	20,00	18,42	16,76	15,28	13,97	12,80	11,75	10,81	9,95	8,82	7,83	6,71	5,54	4,58
	170	0,80	1.700	2.800	2.900	1.050	3,21	23,07	17,04	15,17	13,54	12,12	10,87	9,77	8,80	7,93	7,15	6,45	5,82	4,98	4,26	3,43	2,58	1,88
		0,95	2.350	3.200	3.300	1.250	3,23	24,44	20,00	18,22	16,36	14,72	13,29	12,03	10,91	9,90	9,01	8,20	7,47	6,51	5,67	4,71	3,72	2,91
		1,25	3.150	3.800	3.900	1.450	3,26	27,24	20,00	20,00	20,00	19,94	18,14	16,54	15,12	13,86	12,72	11,70	10,78	9,55	8,49	7,27	6,00	4,96
	180	0,80	1550	2.750	2.850	1.050	3,44	27,25	18,34	16,32	14,57	13,04	11,70	10,52	9,47	8,53	7,69	6,94	6,26	5,37	4,59	3,70	2,78	2,03
		0,95	2.200	3.100	3.200	1.200	3,46	28,84	20,00	19,61	17,60	15,84	14,30	12,94	11,74	10,66	9,69	8,83	8,04	7,00	6,10	5,07	4,01	3,14
		1,25	3.050	3.700	3.800	1.450	3,50	32,10	20,00	20,00	20,00	20,00	19,51	17,80	16,28	14,92	13,70	12,60	11,60	10,28	9,14	7,83	6,47	5,35
	190	0,80	1.450	2.650	2.750	1.000	3,68	31,92	19,63	17,47	15,60	13,96	12,53	11,26	10,14	9,14	8,24	7,44	6,71	5,75	4,91	3,96	2,98	2,18
		0,95	2.100	3.050	3.150	1.200	3,70	33,75	20,00	20,00	18,84	16,96	15,32	13,86	12,57	11,41	10,38	9,45	8,62	7,50	6,54	5,44	4,30	3,36
		1,25	3.000	3.600	3.700	1.400	3,73	37,52	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	19,06	17,43	15,97	14,67	13,49	12,43	11,02	9,79	8,39	6,93	5,73
	200	0,80	1.400	2.600	2.650	1.000	3,91	37,10	20,00	18,62	16,63	14,88	13,35	12,00	10,81	9,74	8,79	7,93	7,16	6,13	5,24	4,23	3,19	2,33
		0,95	1.950	2.950	3.050	1.150	3,93	39,19	20,00	20,00	20,00	18,08	16,33	14,78	13,40	12,17	11,07	10,08	9,19	8,00	6,97	5,80	4,59	3,59
		1,25	2.900	3.500	3.650	1.400	3,97	43,51	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	18,58	17,03	15,64	14,38	13,25	11,75	10,44	8,94	7,39	6,12

ANEXO IV – Tabela de consumo de concreto e tipo de armadura para retração MF-75

Altura total da laje (mm)	Consumo de Concreto (m^3/m^2)	Tipo de armadura para retração, em tela soldada		
		Denominação	Composição	Peso (kg/m^2)
130	0,0925	Q - 75	ø3,8 x ø3,8 - 150x150	1,21
140	0,1025	Q - 75	ø3,8 x ø3,8 - 150x150	1,21
150	0,1125	Q - 75	ø3,8 x ø3,8 - 150x150	1,21
160	0,1225	Q - 92	ø4,2 x ø4,2 - 150x150	1,48
170	0,1325	Q - 113	ø3,8 x ø3,8 - 100x100	1,80
180	0,1425	Q - 113	ø3,8 x ø3,8 - 100x100	1,80
190	0,1525	Q - 138	ø4,2 x ø4,2 - 100x100	2,20
200	0,1625	Q - 138	ø4,2 x ø4,2 - 100x100	2,20