

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LUCAS FELIPE DE SOUZA

MARCELO HENRIQUE DE MELO

ESTUDO DO USO DE LAJES MISTAS STEEL DECK

ANÁPOLIS / GO

2017

LUCAS FELIPE DE SOUZA
MARCELO HENRIQUE DE MELO

ESTUDO DO USO DE LAJES MISTAS STEEL DECK

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA

ORIENTADOR: ROGÉRIO SANTOS CARDOSO

ANÁPOLIS / GO: 2017

FICHA CATALOGRÁFICA

SOUZA, LUCAS FELIPE DE / MELO, MARCELO HENRIQUE DE

Estudo do uso de lajes mistas Steel Deck

56P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2017).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Steel Deck

2. NBR 8800

3. Lajes Mistas

4. Dimensionamento

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SOUZA, Lucas Felipe de ; MELO, Marcelo Henrique de. Uso de lajes mistas Steel Deck. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 56p. 2017.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Lucas Felipe de Souza

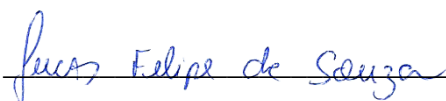
Marcelo Henrique de Melo

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Uso de lajes mistas Steel Deck

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

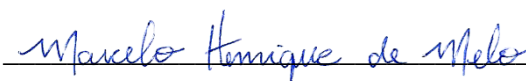
ANO: 2017

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Lucas Felipe de Souza

E-mail: lucas_felipe5@hotmail.com



Marcelo Henrique de Melo


E-mail: mhqmelo@gmail.com

LUCAS FELIPE DE SOUZA
MARCELO HENRIQUE DE MELO

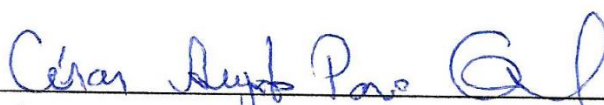
ESTUDO DO USO DE LAJES MISTAS STEEL DECK

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL

APROVADO POR:



ROGÉRIO SANTOS CARDOSO, Mestre (UniEvangélica)
(ORIENTADOR)



CÉSAR AUGUSTO PAIVA GONÇALVES, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)



PAULO ALEXANDRE DE OLIVEIRA, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: ANÁPOLIS/GO, 27 de NOVEMBRO de 2017.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por minha vida e pela oportunidade de concluir uma etapa tão importante, por colocar um propósito em meu caminho e me ajudar em cada passo.

Agradeço a minha mãe, Rosa, que sempre me incentivou a seguir em frente e a realizar os meus sonhos.

Agradeço a minha esposa, Rávilla, que mesmo em todas as dificuldades sempre me apoiou e esteve ao meu lado, com toda paciência e carinho.

Agradeço ao professor Msc. Rogério Santos Cardoso que nos orientou e colaborou para que esse trabalho se tornasse possível.

Lucas Felipe de Souza

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela saúde e força para concluir essa importante etapa da minha vida.

Agradeço a toda minha família, especialmente meus pais e irmã, que mesmo estando longe, me ajudaram de forma extraordinária, sem essa ajuda nada seria alcançado, minha filha pela paciência e compreensão.

Agradeço ao Professor Msc. Rogério Santos Cardoso pelo tempo, disposição e conhecimento transmitido.

Marcelo Henrique de Melo

RESUMO

Estruturas metálicas, de um modo geral, sempre fizeram parte da construção civil, nos últimos 100 anos, contudo, seu uso têm se intensificado bastante. Aliado ao concreto armado faz uma parceria de sucesso possibilitando construções maiores e mais seguras. Em virtude do crescimento das grandes cidades e pela busca sempre do maior custo-benefício possível, a velocidade na execução das obras no modelo atual da construção civil torna-se um fator vital, ou seja, quanto menor o tempo gasto na execução dos projetos, maior será os lucros e menores serão os desperdícios e as perdas. Dentro deste contexto, o uso de Steel Deck ou ainda chamadas Lajes Mistas, é uma solução a mais para esse ganho de tempo. O sistema Steel Deck basicamente consiste em lajes formadas por uma malha metálica que pode ser usada como fôrma e ao mesmo tempo armadura positiva, dispensando na maioria das vezes o uso de escoramento. Como referencial teórico, usou-se a NBR 8800 (ABNT, 2008) – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, o objetivo principal é apresentar uma solução que venha trazer ganhos na velocidade de execução projetos.

PALAVRAS-CHAVE:

Steel Deck; Aço; Estruturas; Lajes Mistas; ABNT NBR 8800.

ABSTRACT

Metallic structures, in general, have always been part of the civil construction, in the last 100 years its use has been greatly intensified. Allied to reinforced concrete, they make a successful partnership allowing bigger and safer constructions. Due to the growth of large cities and the search for the highest cost-benefit ratio, the speed of execution in the current civil construction model becomes a vital factor, that is, the shorter the time spent executing the projects, the greater the profits and the smaller will be the losses. Within this context, the use of Steel Deck Flooring or called Mixed Slabs, come to be an additional solution for that time gain. The Steel Deck Flooring system basically consists of slabs formed by a metallic mesh that can be used as a formwork and at the same time positive reinforcement, most often dispensing the use of shoring slabs. As bibliographical reference, we are using the Brazilian Standards NBR 8800 (ABNT, 2008) - Design of steel structures and mixed structures of steel and concrete of buildings, the main objective is to present a solution that will bring gains in the speed of execution projects.

KEYWORDS:

Steel Deck. Steel Deck Flooring. Steel Usage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Conceito de Sistema Estrutural	14
Figura 2 - Perfis laminados de abas com faces paralelas de padrão europeu	18
Figura 3 - Perfis compostos de chapas (perfis soldados) ou de perfis laminados	19
Figura 4 - Perfis de chapa dobrada	19
Figura 5 - Sistema de Lajes Steel Deck	23
Figura 6 - Lajes mistas de aço e concreto.....	24
Figura 7 - Sistema Misto - Variação de deformação na viga	25
Figura 8 - Exemplos de formas geométricas do sistema Steel Deck.....	26
Figura 9 - Telha-fôrma MF-75	27
Figura 10 - Posição da armadura complementar na laje.....	28
Figura 11 - Detalhe do conector de cisalhamento soldado à viga	29
Figura 12 - Deslocamentos elásticos em vigas.....	32
Figura 13 - Tensões para momento positivo - linha neutra acima da fôrma de aço	34
Figura 14 - Tensões para momento positivo - linha neutra na fôrma de aço	35
Figura 15 - Largura plana dos elementos da fôrma	36
Figura 16 - Dimensões da fôrma de aço e da laje de concreto	38
Figura 17 - Perímetro crítico para punção	42
Figura 18 - Pavimento tipo (dimensões em mm)	44
Figura 19 - Esquema estático pavimento tipo	46
Figura 20 - Diagrama esforço cortante (kN).....	46
Figura 21 - Seção da telha fôrma MF-75.....	46

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Chapas Grossas e Chapas Finas	18
Tabela 2 - Propriedades físicas telha-fôrma MF-75	27
Tabela 3 - Chapas finas de aço especificadas por Normas Brasileiras para uso estrutural	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 CONTEXTO HISTÓRICO.....	11
1.2 JUSTIFICATIVA.....	12
1.3 OBJETIVOS	12
1.3.1 Objetivo geral	12
1.3.2 Objetivos específicos.....	12
1.4 METODOLOGIA	12
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	13
2 SISTEMAS ESTRUTURAIS EM AÇO	14
2.1 INTRODUÇÃO	14
2.2 MATERIAIS	15
2.2.1 Aço	15
2.2.1.1 Histórico.....	15
2.2.1.2 Propriedades do Aço	16
2.2.1.2.1 <i>Elasticidade</i>	16
2.2.1.2.2 <i>Ductilidade</i>	16
2.2.1.2.3 <i>Fragilidade</i>	16
2.2.1.2.4 <i>Tenacidade</i>	17
2.2.1.2.5 <i>Dureza</i>	17
2.2.1.2.6 <i>Efeito de temperatura elevada</i>	17
2.2.1.2.7 <i>Fadiga</i>	17
2.2.1.2.8 <i>Corrosão</i>	17
2.2.1.3 Aço dos Perfis Estruturais.....	17
2.2.1.3.1 <i>Perfis laminados</i>	18
2.2.1.3.2 <i>Perfis soldados</i>	19
2.2.1.3.3 <i>Perfis formados a frio</i>	19
2.2.2 Concreto	20
2.3 ELEMENTOS ESTRUTURAIS	20
2.3.1 Lajes.....	20
2.3.1.1 Lajes Maciças.....	20
2.3.1.2 Lajes Pré-Moldadas	21
2.3.1.3 Lajes Steel Deck	21

2.3.2	Vigas	21
2.3.3	Pilares	21
2.3.4	Fundações.....	22
3	SISTEMA DE LAJES STEEL DECK	23
3.1	INTRODUÇÃO	23
3.2	VANTAGENS	25
3.3	FORMAS GEOMÉTRICAS	26
3.4	ARMADURAS	27
3.5	CONECTORES DE CISALHAMENTO.....	28
3.6	CRITÉRIOS E VERIFICAÇÕES	30
3.6.1	Verificação da fôrma de aço em sua fase inicial.....	30
3.6.1.1	Estados-limites	30
3.6.1.2	Deslocamento Máximo	31
3.6.1.3	Ações Consideradas Fase Inicial.....	32
3.6.2	Verificação da fôrma de aço em sua fase final.....	33
3.6.2.1	Momento Fletor	33
3.6.2.2	Cisalhamento Longitudinal	37
3.6.2.3	Cisalhamento Vertical.....	38
3.6.2.4	Punção.....	40
3.6.3	Aços utilizados para fôrma e revestimento	42
3.7	DESCARGA E ARMAZENAMENTO.....	43
4	EXEMPLO NUMÉRICO E ANÁLISE DE RESULTADOS	44
4.1	EXEMPLO NUMÉRICO DE DIMENSIONAMENTO.....	44
4.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	51
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
	REFERÊNCIAS	54
	ANEXO A.....	56

1 INTRODUÇÃO

Estruturas metálicas são, atualmente, indispensáveis na construção civil, sejam como uma estrutura totalmente feita em aço ou como complemento à estrutura de concreto. Um fator predominante em relação ao aço é possuir diversas aplicações como edifícios, pontes, passarelas e escadas.

Métodos construtivos utilizando estruturas metálicas possuem uma padronização e qualidade muito superior aos métodos tradicionais utilizando somente o concreto. Essa padronização e qualidade, geralmente acompanhada de uma mão de obra mais especializada, aumenta a velocidade e confiabilidade da obra em um contexto geral.

As lajes, no contexto estrutural, são elementos estruturais que recebem às cargas, sejam elas pontuais ou distribuídas e transmitem esses esforços às vigas, que por sua vez transmitem aos pilares que, por fim, transmitem às fundações. Existem diversos tipos de lajes atualmente no cenário da construção civil, elas variam de acordo com o projeto e o uso específico.

Com um tempo de execução menor e sem a necessidade de escoramento, na maioria dos casos, o sistema Steel Deck surge como uma solução capaz de atender todos os requisitos de confiabilidade, rapidez e segurança para se tornar referência do sistema de lajes atual nas estruturas metálicas.

Embora o uso desse tipo de sistema de laje no Brasil está apenas no começo, em países como Estados Unidos, Japão, Canadá e Inglaterra, o uso de lajes no sistema Steel Deck é praticamente padrão há vários anos.

1.1 CONTEXTO HISTÓRICO

Ainda uma novidade no Brasil, o sistema Steel Deck foi usado pela primeira vez nos Estados Unidos no começo da década de 1920 pelos engenheiros Loucks e Giller (Sputo *et al.* 2012) e teve sua patente publicada em 1926. Em meados da década de 1960, o processo de produção já era padronizado, já existia também, o Steel Deck Institute, uma espécie de órgão padronizador das normas técnicas utilizadas na época, com isso difundiu-se o uso do sistema Steel Deck em países como Canadá, Japão, Inglaterra, além, é claro, dos Estados Unidos.

Na década de 1970, enfim o sistema Steel Deck chega ao Brasil, embora o uso fosse restrito a pouquíssimas empresas, as inúmeras vantagens desse tipo de laje já despontava como um sistema de ótimo custo-benefício. Uma das primeiras empresas a utilizar o Steel Deck no

Brasil foi a Metform, empresa que é hoje referência no mercado brasileiro possuindo inclusive, várias tabelas com valores de pré-dimensionamento prontos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Em busca de uma produtividade maior dentro do canteiro de obras, novos modelos construtivos e tecnologias surgem a cada momento. O sistema Steel Deck, quando bem projetado e executado, traz um ganho considerável de velocidade em relação ao tradicional uso de lajes, sejam elas, maciças, pré-moldadas ou moldadas na obra.

Utilizando sua base de metal como própria fôrma, sendo dispensado o uso de armaduras positivas e também o uso de escoras, deixa o canteiro de obras mais limpo possibilitando que níveis inferiores sejam liberados para outras atividades.

Esse ganho de velocidade na conclusão de projetos fica mais evidenciado em construções de grande porte, como shoppings centers, hospitais, pontes, etc., onde a velocidade é um fator primordial para a obra.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

O trabalho de conclusão de curso apresentado tem como objetivo exemplificar o uso do sistema de lajes Steel Deck, seguindo os critérios e normas vigentes.

1.3.2 Objetivos específicos

Dimensionar uma laje Steel Deck verificando a Flexão, Cisalhamento Longitudinal, Cisalhamento Transversal tal como o deslocamento. Assim, expondo suas qualidades frente aos métodos usuais de lajes.

1.4 METODOLOGIA

Seguindo as normas técnicas existentes, utilizou-se a NBR 8800 (ABNT, 2008) – Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios e também o Manual Técnico: Especificação para Projeto, Manuseio e Montagem, disponibilizado pela

empresa fabricante das telhas-fôrmas usadas nesse trabalho de conclusão de curso, a Metform S/A.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho de conclusão de curso foi organizado em cinco capítulos. O capítulo um consiste em descrever a estrutura do trabalho como, elementos e normas obedecidas. O capítulo dois consiste em falar sobre a base teórica, tipos de lajes e informações necessárias para um dimensionamento correto.

No capítulo três, o sistema de lajes Steel Deck é exemplificado, expondo as normas regulamentadoras e cálculo das situações reais de uso.

O capítulo quatro está o dimensionamento propriamente dito, com uma laje tipo em Steel Deck, adequada ao uso e com resultados apresentados.

Por fim, no capítulo cinco, foi apresentado nossas conclusões finais sobre esse interessante sistema de lajes.

2 SISTEMAS ESTRUTURAIS EM AÇO

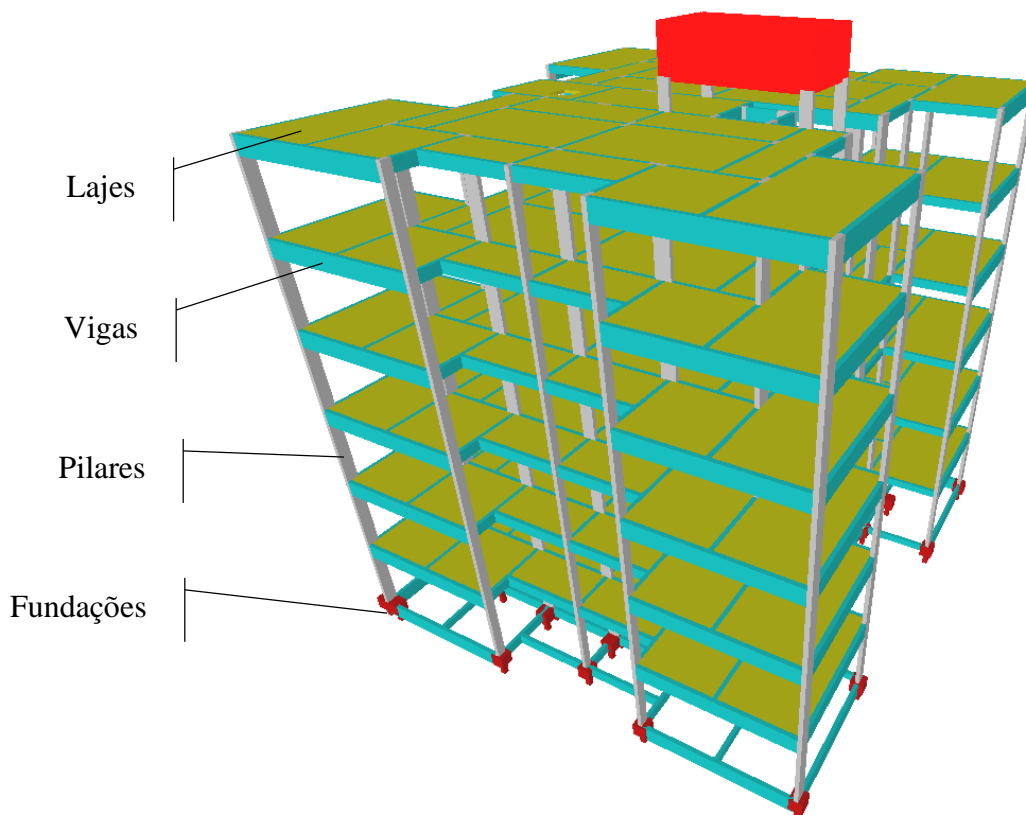
2.1 INTRODUÇÃO

Antes de falar sobre estruturas em aço, deve-se primeiramente entender o que é uma estrutura. Estrutura é um conjunto de elementos projetados para resistir uma determinada carga e transmiti-la com segurança ao solo (figura 1).

Os principais elementos de uma estrutura são: lajes, vigas, pilares e fundações. Será explicado no final deste capítulo, mais detalhadamente, o que é cada elemento.

Como mencionado anteriormente, a norma brasileira utilizada como base do nosso trabalho de conclusão de curso é a NBR 8800 (ABNT, 2008) – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.

Figura 1 – Conceito de Sistema Estrutural



Fonte: Próprios Autores, 2017

2.2 MATERIAIS

De uma forma geral, os materiais utilizados em estruturas metálicas possuem um controle de qualidade superior às estruturas de concreto convencional. Esse maior controle possibilita que o conjunto estrutural trabalhe de uma maneira mais econômica e segura.

2.2.1 Aço

O aço é a liga ferro-carbono em que o teor de carbono varia desde 0,008% até 2,11% (Chiaverini, 1996). Geralmente a taxa de carbono presente nessa liga é inferior a 1%. O aço também contém outros elementos químicos como o silício, manganês, enxofre e fósforo, provenientes da matéria prima extraída da natureza.

De maneira simplificada, o processo de fabricação do aço consiste na retirada de impurezas presentes no minério de ferro, para depois na sua forma líquida receber adições de compostos químicos e por fim, receber sua forma desejada de acordo com o tipo de uso.

2.2.1.1 Histórico

O ferro fundido foi o primeiro material siderúrgico utilizado na construção civil. Foi usado em pontes em arco ou treliçadas entre 1780 e 1820. Oferecendo uma maior segurança, o ferro forjado começou a ser utilizado também na construção civil na década de 1850.

Em virtude dos altos preços, provocados pela falta de um processo industrial de fabricação, o aço só começou a substituir o ferro fundido e o ferro forjado a partir da década de 1870, com o desenvolvimento de fornos que permitiram a produção em larga escala do aço.

No Brasil, após a Segunda Guerra Mundial, foi construída em Volta Redonda – RJ, a Usina Presidente Vargas da CSN – Companhia Siderúrgica Nacional, dando início à indústria siderúrgica brasileira.

Pode-se destacar duas obras emblemáticas no cenário das estruturas metálicas no Brasil, o Edifício Avenida Central, no Rio de Janeiro, primeiro edifício alto a ser construído em estrutura metálica e a Ponte Rio-Niterói, com vão central de 300m, sendo até hoje, o maior vão em viga reta do mundo (PFEIL; PFEIL, 2009).

2.2.1.2 Propriedades do Aço

Algumas características do aço conhecidas utilizadas no nosso projeto de conclusão de curso são:

- Módulo de elasticidade $E = 200.000$ MPa (Mega Pascal)
- Coeficiente de Poisson $\nu = 0,3$
- Coeficiente de dilatação térmica $\beta = 12 \times 10^{-6}$ por °C
- Massa específica $\rho_a = 7850$ kg/m³

2.2.1.2.1 Elasticidade

Elasticidade é a capacidade de um material voltar ao seu estado original após sofrer uma deformação causada por tração ou compressão. Essas deformações podem ser, elástica ou plástica. Na deformação elástica, o material consegue voltar ao seu estado original sem nenhum tipo de alteração, já na deformação plástica, o material não volta mais ao seu estado original, ficando permanentemente deformado.

2.2.1.2.2 Ductilidade

Ductilidade é a capacidade do material em deformar-se sem se romper. Quanto mais dúctil for o aço, maior será a diminuição de sua área da seção transversal. Essa propriedade é muito importante nas estruturas metálicas, pois através da ductilidade, pode-se perceber os avisos de onde estão concentradas as maiores cargas, podendo assim fazer uma redistribuição das cargas.

2.2.1.2.3 Fragilidade

Quando um material rompe bruscamente sem se deformar, ou seja, sem nenhum tipo de aviso, pode-se afirmar que é um material frágil. Alguns fatores podem influenciar na fragilidade do aço, como baixas temperaturas ambientes ou uma solda feita de forma inadequada.

2.2.1.2.4 *Tenacidade*

Tenacidade é a energia total que o material pode absorver por unidade de volume até sua ruptura (medida em Joules por metro cúbico – J/m³).

2.2.1.2.5 *Dureza*

Dureza é a capacidade que o material tem de resistir à penetração de uma peça de dureza maior, ou seja, resistência ao risco ou abrasão.

2.2.1.2.6 *Efeito de temperatura elevada*

O aço quando exposto a temperaturas elevadas, pode sofrer algumas modificações nas suas propriedades físicas, sua resistência a escoamento e ruptura é reduzida. Se a temperatura superar os 250°C pode provocar fluência no aço, ou seja, sofrem deformações plásticas.

2.2.1.2.7 *Fadiga*

Quando o material é submetido a um grande número de esforços repetidos, pode ocorrer uma ruptura em tensões inferiores às obtidas nos ensaios estáticos.

2.2.1.2.8 *Corrosão*

Corrosão é o processo de reação que ocorre com o aço quando é exposto a alguns elementos presentes no ambiente que se encontra.

O principal problema da corrosão em relação ao aço é a perda de seção das peças podendo causar um colapso da própria peça e conseqüentemente de toda a estrutura.

2.2.1.3 *Aço dos Perfis Estruturais*

Com a grande difusão do aço no Brasil, em especial o aço estrutural utilizado na confecção de estruturas metálicas nos últimos anos, existe uma grande oferta de tipos e formas de aço disponíveis no mercado. No âmbito da construção civil, o foco é em torno dos aços estruturais, que são utilizados como elementos que recebem carga.

Conforme com a NBR 8800 (ABNT, 2008), é aceito o uso de normas internacionais que fornecem alguns tipos de aço a serem especificados nos projetos estruturais, como por exemplo, do AISC/LRFD – American Institute of Steel Construction, do AISI/LRFD – American Iron and Steel Institute e do JIS – Japanese Industrial Standards (PFEIL; PFEIL, 2009).

Ainda de acordo com a norma NBR 8800 (ABNT, 2008), o uso desses aços, contudo, não podem ultrapassar o valor máximo de 450 MPa para a resistência de escoamento e não ser inferior à 1,18 entre a relação de resistência à ruptura e ao escoamento.

2.2.1.3.1 Perfis laminados

Produzidos pelos laminadores, processo que ocorre a deformação mecânica a quente ou a frio, dos blocos de aço, os perfis laminados possuem uma grande eficiência estrutural, geralmente em forma de H, I, C e L (figura 2), algumas características das chapas estão descritas a seguir na tabela 1.

Tabela 1 - Chapas Grossas e Chapas Finas

Chapas	Fabricação	Espessuras	Utilização em construção
Grossas	A quente	> 5,0 mm	Estruturas metálicas em geral
	A quente	1,2 – 5,0 mm	Perfis de chapas dobradas
Finas	A frio	0,3 – 2,65 mm	Acessórios de construção como calhas, rufos etc.

Fonte: PFEIL; PFEIL, 2009

Figura 2 - Perfis laminados de abas com faces paralelas de padrão europeu

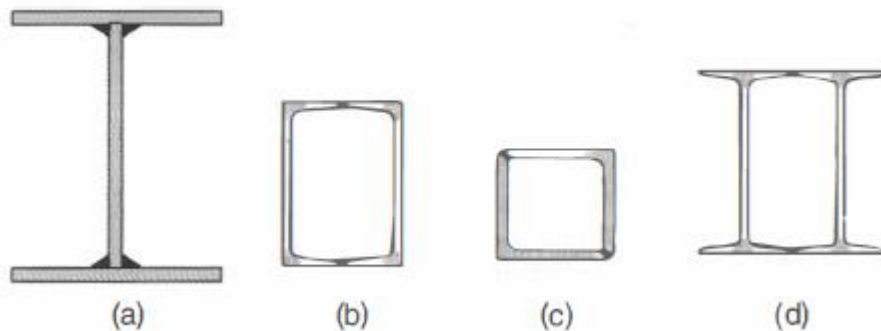


Fonte: PFEIL; PFEIL, 2009

2.2.1.3.2 Perfis soldados

São perfis formados pelo corte, composição e soldagem das chapas de aço, são ligadas geralmente por solda (figura 3).

Figura 3 - Perfis compostos de chapas (perfis soldados) ou de perfis laminados

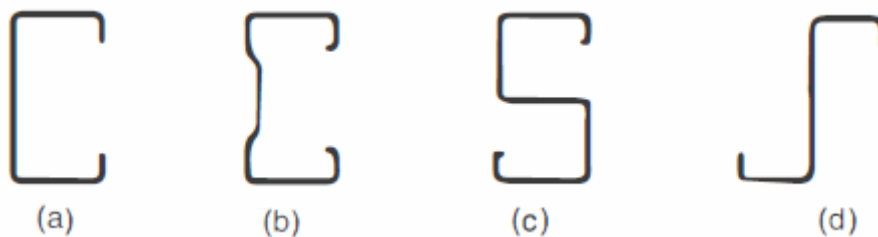


Fonte: PFEIL; PFEIL, 2009

2.2.1.3.3 Perfis formados a frio

O perfil formado a frio é formado por dobradeiras ou perfiladeiras. São geralmente usados em construções leves, como barras de treliça, tirantes, entre outros (figura 4). Este tipo de perfil é, inclusive, utilizado pela empresa Metform para a utilização do sistema Steel Deck.

Figura 4 - Perfis de chapa dobrada



Fonte: PFEIL; PFEIL, 2009

Sendo:

a = perfil U;

b = perfil complexo;

c = perfil S;

d = perfil Z.

2.2.2 Concreto

O concreto é uma mistura composta basicamente de areia, pedra, cimento e água. A principal característica do concreto é a sua grande resistência à compressão. Essa resistência, denominada f_{ck} , pode ser alterada de acordo com as proporções da mistura, principalmente, entre o cimento e a areia.

O f_{ck} , ou seja, sua resistência, pode variar de acordo com o projeto e uso específico. Em edificações residenciais o f_{ck} varia geralmente entre 20 a 35MPa. No sistema de lajes Steel Deck o mínimo recomendado é 20MPa com densidade de 24kN/m³, afim de garantir a qualidade final da laje, evitando fissuras ou problemas maiores.

Conforme as recomendações da Metform S/A, não devem ser utilizados nenhum tipo de aditivo à base de cloretos, por agredirem o revestimento da telha-fôrma (galvanização Z-275).

2.3 ELEMENTOS ESTRUTURAIIS

2.3.1 Lajes

De uma forma bem simplificada, pode-se dizer que as lajes são elementos que recebem as primeiras cargas da estrutura, sejam elas concentradas ou distribuídas (pessoas, vento, paredes, móveis, etc.) e transmitem esses esforços para as vigas. O tipo de cada laje pode variar de acordo com cada projeto estrutural, vamos falar a seguir de alguns tipos de lajes.

2.3.1.1 Lajes Maciças

As lajes tradicionais de concreto armado são denominadas maciças, possuem uma espessura uniforme que é apoiada ao longo do seu contorno, seja esse apoio, vigas ou apoiada diretamente nos pilares, “[...] Elas formam, juntamente com as vigas e os pilares de uma estrutura, um conjunto monolítico com transmissão, entre todos os seus elementos, de esforços, deslocamentos e deformações.” (ADÃO & HEMERLY, 2010). Com espessura, geralmente, de 7 cm a 15 cm podem ser de concreto armado ou concreto protendido e são executadas sobre formas, sendo necessário escoramento adequado até o final da fase de cura do concreto.

2.3.1.2 Lajes Pré-Moldadas

As lajes pré-moldadas ou pré-fabricadas, são produzidas fora no canteiro de obra e trazidas já prontas para o seu uso. Esse tipo de laje dispensa o escoramento em toda a extensão da laje, sendo necessário apenas nas vigotas pré-moldadas. É importante ficar atento ao local de compra desse tipo de laje, pois se ela não for fabricada de acordo com os requisitos na norma NBR 14859 (ABNT, 2002), pode ocorrer sérios problemas estruturais.

2.3.1.3 Lajes Steel Deck

As lajes Steel Deck são compostas por um perfil de aço e concreto armado. Esse perfil de aço é usado também como própria fôrma e armadura positiva da laje. Esse sistema de lajes também dispensa o uso de escoramento, aumentando a produtividade e redução do tempo de execução do projeto.

O detalhamento sobre este sistema de lajes será apresentado no capítulo 3.

2.3.2 Vigas

Segundo ADÃO & HEMERLY (2010) “São as vigas que servem de apoio para as lajes ou para as vigas que não possuem pilar em sua extremidade.”. Portanto, podem ser submetidas a esforços como: momento fletor, força cortante, força normal, e momento torsor. É um elemento estrutural usado para transferir os esforços recebidos das lajes para os pilares.

2.3.3 Pilares

São responsáveis em receber e transmitir as solicitações da superestrutura aos elementos de fundação. “Os pilares visam absorver, principalmente, todas as cargas verticais que atuam sobre um pavimento (teto ou piso) de um prédio. As cargas são, de uma maneira geral, transmitidas por ações de vigas.” (ADÃO & HEMERLY, 2010). Em alguns casos, podem receber diretamente os esforços provenientes das lajes.

2.3.4 Fundações

Últimos elementos estruturais, as fundações são responsáveis por transmitir ao solo os esforços recebidos pelos pilares. Dividem-se em dois grupos, fundações rasas (com profundidade menor que 3 metros) e fundações profundas (com profundidade maior que 3 metros) conforme a NBR 6122 (ABNT, 2010).

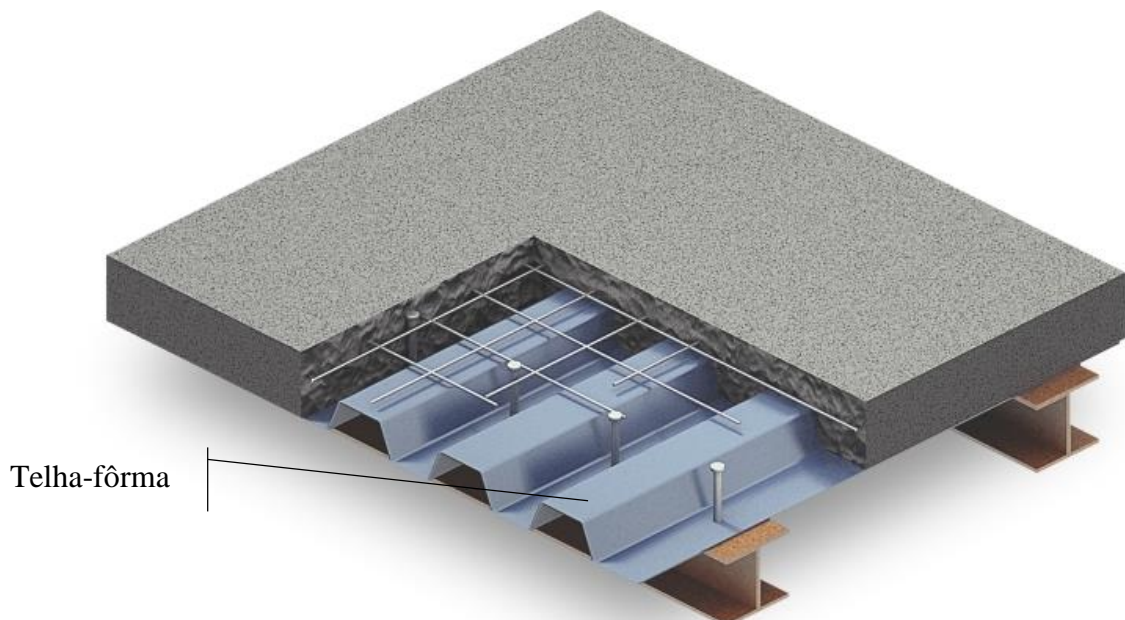
3 SISTEMA DE LAJES STEEL DECK

3.1 INTRODUÇÃO

O sistema de lajes Steel Deck, também chamado de lajes mistas de concreto e aço ou ainda lajes com telha-fôrma, basicamente consiste em lajes formadas por uma malha metálica que pode ser usada como fôrma para o concreto, plataforma de trabalho durante a construção e armadura positiva, dispensando, na maioria das vezes, o uso de escoramento.

Depois de montada essa malha metálica, também chamada de fôrma de aço (ou ainda, telha-fôrma), ela em sua fase inicial suporta isoladamente as cargas provenientes do peso do concreto fresco, ou seja, antes de o concreto atingir 75% da resistência à compressão. Quando o concreto atinge, finalmente, sua resistência máxima a compressão, em torno de 28 dias na maioria dos projetos (esse tempo pode ser reduzido à três dias dependendo do cimento utilizado), atua estruturalmente em conjunto com a fôrma de aço, dando início à interação entre os elementos e funcionando como armadura positiva da laje (figura 5), conforme NBR 8800 (ABNT, 2008).

Figura 5 - Sistema de Lajes Steel Deck

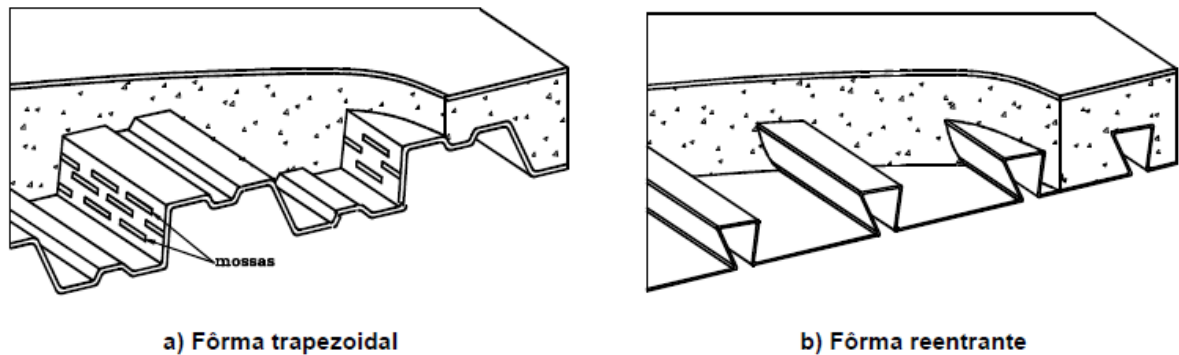


Fonte: <https://engenhariaeetc.wordpress.com>

Além do peso do concreto, a fôrma de aço também precisa suportar os efeitos de eventuais sobrecargas, como armazenamento de materiais, se necessário. Essa verificação do comportamento das fôrmas de aço em sua fase inicial deverá ser feita com base na NBR 14762 (ABNT, 2010).

Como a aderência natural entre o aço e o concreto não é considerada ideal para esse tipo de sistema de lajes, se faz necessário uma ligação mecânica por meio de mossas nas fôrmas de aço trapezoidais (figura 6a) ou ligação por meio do atrito devido ao confinamento do concreto nas fôrmas de aço reentrantes (figura 6b) (ABNT, 2008).

Figura 6 - Lajes mistas de aço e concreto

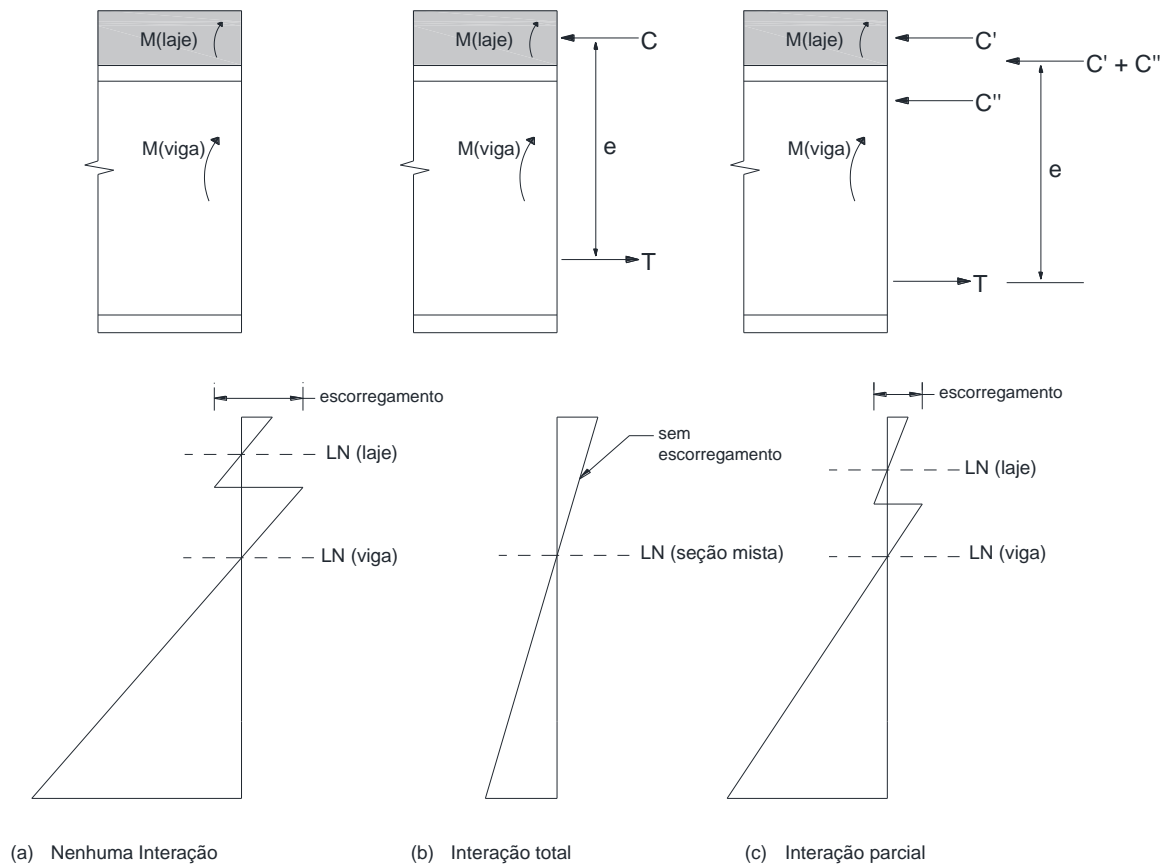


Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008)

A variação de deformação na viga é exemplificado na figura 7, tendo nenhuma interação, interação total ou interação parcial.

Figura 7 - Sistema Misto - Variação de deformação na viga

$$\sum M_{\text{isol}} = M_{\text{laje}} + M_{\text{viga}}$$



Fonte: Adaptada de Queiroz *et al.*, 2012

3.2 VANTAGENS

O sistema de lajes Steel Deck possui várias vantagens quando comparado ao sistema de lajes usualmente utilizado em estruturas metálicas. Dentre elas, pode-se destacar (TELHA-FÔRMA: Manual Técnico – Especificações para Projeto, Manuseio e Montagem, 2017):

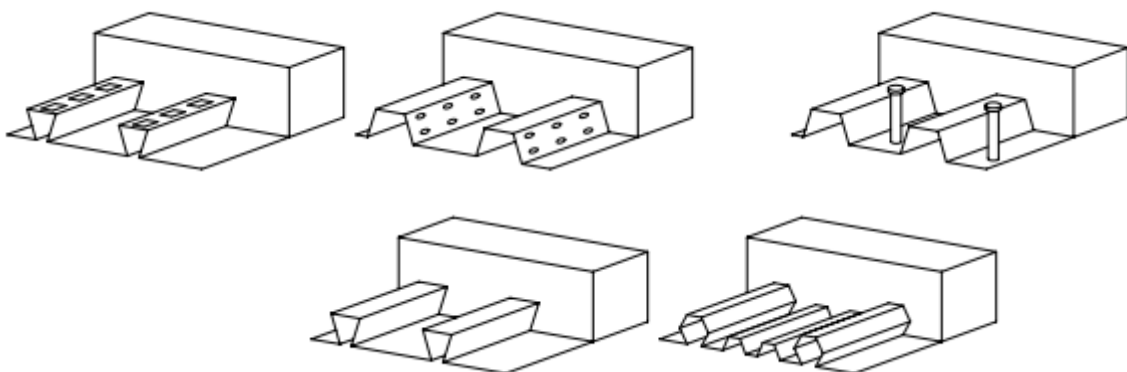
- Rapidez de execução da estrutura;
- Redução de peso dos perfis de apoio obtido com a utilização de vigas mistas;
- Agilidade de manuseio e instalação, devido ao peso leve ($8,5\text{kg/m}^2$ a $14,5\text{kg/m}^2$), consequentemente, aumentando a produtividade;
- Dispensa o uso de escoramento durante a concretagem, ganhando tempo com a montagem e retirada das fôrmas;

- Utilizada como plataforma de trabalho durante a montagem, oferece uma proteção aos operários em serviço nos andares inferiores;
- Trava a estrutura, funcionando como um diafragma horizontal depois de ser fixada;
- Depois de curado o concreto, a fôrma de aço funciona como armadura de tração para os momentos fletores positivos;
- Permite uma fácil execução dos sistemas elétrico, hidráulico e de ar condicionado;
- Em caso de incêndio, não é necessário o uso de material para proteção térmica superficial das lajes;
- Acabamento da face interna de alta qualidade.

3.3 FORMAS GEOMÉTRICAS

Como mencionado anteriormente, o Steel Deck funciona de forma conjunta entre a fôrma de aço e o concreto. E para que a fôrma tenha um desempenho dentro dos padrões recomendados, sua forma geométrica exerce um papel primordial para a obtenção dos resultados esperados. A geometria da fôrma de aço (figura 8) varia de acordo com o projeto, geralmente definido pelo vão da laje e/ou peso que será suportado.

Figura 8 - Exemplos de formas geométricas do sistema Steel Deck



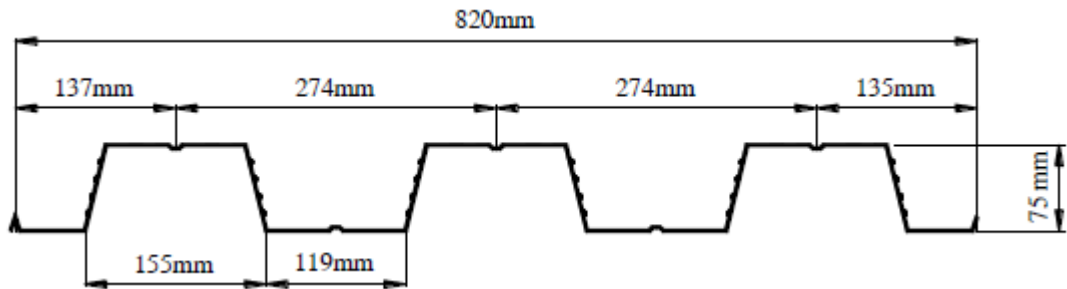
Fonte: EUROCODE, 2004

No Brasil, a empresa de maior relevância na produção de fôrmas de aço é a Metform S/A, sediada em Betim – MG. Os padrões seguidos pela empresa estão de acordo com as normas NBR 8800 (ABNT, 2008), NBR 14762 (ABNT, 2010), CSSBI – Canadian Sheet Steel Building

Institute, EUROCODE 4 – Env-1994 e também especificações do SDI – Steel Deck Institute (Manual Técnico Metform S/A, 2017).

No dimensionamento, será utilizado a telha-fôrma MF-75 (figura 9), fabricada pela Metform S/A, com as suas propriedades detalhadas na tabela 2.

Figura 9 - Telha-fôrma MF-75



Fonte: Manual técnico Metform, 2017

Tabela 2 - Propriedades físicas telha-fôrma MF-75

Esp. Final (t _f) mm	Esp. Projeto mm	Altura Total (hF) mm	Peso kg/m ²	Reações Máximas de Apoio		Módulo de Resistência mm ³	Inércia p/ Deformação mm ⁴	Área de Aço mm ²	Centro Gravidades mm
				Externo kN	Interno kN				
0,80	0,76	74,98	9,37	6,76	21,01	22.710	1.017.138	1.112	37,49
0,95	0,91	75,13	11,12	8,90	29,70	28.788	1.254.749	1.332	37,57
1,25	1,21	75,43	14,62	14,62	49,53	40.599	1.666.741	1.771	37,72

Propriedades para largura de 1.000 mm;

Material: aço **ZAR-280** (ASTM A-653 gr.40), limite de resistência ao escoamento: **280MPa**, galvanização **Z-275**.

Fonte: Adaptada do manual técnico Metform, 2017

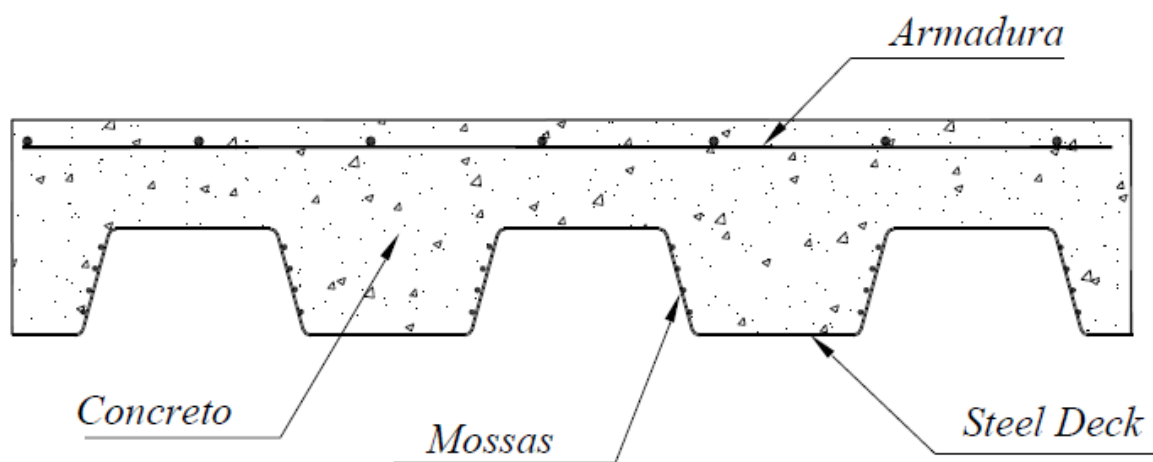
3.4 ARMADURAS

Embora um dos principais diferenciais do sistema Steel Deck em relação ao método das lajes convencionais é a possibilidade de uso da própria forma de aço como armadura

positiva da laje, é, importante o uso das armaduras complementares. Essas armaduras impedem o aparecimento de fissuras no concreto provenientes da variação térmica e retração no concreto.

Essa armadura complementar nada mais é do que uma malha de aço com formato quadrado e de diâmetro pequeno (figura 10), que têm como objetivo atuar como uma armadura transversal que impede a fissuração ao longo do alinhamento de conectores, ajuda a reduzir a fissuração nos apoios, obtenção de resistência à flexão nos apoios da laje no caso de incêndio como explica Saúde *et al.* (2006).

Figura 10 - Posição da armadura complementar na laje



Fonte: Manual técnico Metform S/A, 2017

Ainda de acordo com Saúde *et al.* (2006), é necessário a colocação de armadura suplementar nos seguintes casos:

- pela resistência em caso de incêndio, barras no fundo das nervuras;
- armadura transversal na zona de conectores;
- reforço em grandes aberturas.

3.5 CONECTORES DE CISALHAMENTO

Os conectores de cisalhamento, também chamados de Stud Bold, são pinos soldados (o método recomendado é por eletrofusão) diretamente nas vigas de suporte da laje para garantir que haja uma interação, ou seja, uma unificação entre a telha de aço e o concreto armado. A verificação da solda é feita de forma manual, conforme figura 11.

De acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008), o cobrimento superior mínimo do conector é de 10 mm e deverá ficar totalmente embutido no concreto da laje.

Figura 11 - Detalhe do conector de cisalhamento soldado à viga



Fonte: Metform S/A, 2015

Conforme Queiroz *et al.* (2012):

[...] Não existindo qualquer ligação ou atrito na interface, os dois elementos se deformarão independentemente e cada superfície da interface estará submetida a diferentes tensões: enquanto a superfície superior da viga apresenta tensões de compressão, encurtando-se, a superfície inferior da laje, por outro lado, está sujeita a tensões de tração e se alonga; haverá desta forma um deslizamento relativo entre as superfícies na região de contato.

Ainda segundo Queiroz *et al.* (2012), somente conectores dúcteis devem ser utilizados (a diferença entre um aço dúctil e frágil foi explicado anteriormente nos itens 2.2.1.2.2 e 2.2.1.2.3 respectivamente).

O modelo de pino utilizado neste trabalho de conclusão de curso será o disponibilizado pela empresa Metform S/A, que recomenda uma altura nominal do conector de 110 mm para Steel Deck MF 50 e 137 mm de altura nominal para o Steel Deck MF 75 (Recomendações Básicas – Stud Bold Metform S/A, 2017).

3.6 CRITÉRIOS E VERIFICAÇÕES

Embora não tenha um roteiro predefinido para as verificações, para um dimensionamento correto, o sistema de lajes Steel Deck exige a necessidade de ser analisado em suas duas fases distintas: durante a construção, sendo utilizada como plataforma de serviço, suportando as cargas iniciais exigidas e após a cura do concreto, atuando como armadura positiva da laje.

3.6.1 Verificação da fôrma de aço em sua fase inicial

De acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008), a verificação da fôrma de aço deverá ser feita com base na NBR 14762 (ABNT, 2010), considerando o efeito das mossas nas resistências de cálculo e deverá também ser utilizada análise elástica. Ainda de acordo com a norma, quando a fôrma for calculada como contínua, os esforços solicitantes são determinados sem consideração de variação de rigidez, ainda que ocorra flambagem local em partes comprimidas da seção.

3.6.1.1 Estados-limites

Conforme a NBR 14762 (ABNT, 2010), os estados-limites últimos (ELU) estão relacionados com a segurança da estrutura, onde estará sujeita as condições mais desfavoráveis ao decorrer da sua vida útil e também durante a execução do próprio projeto. Essas condições usuais de segurança são expressas por desigualdades do tipo:

$$\Theta(S_d, R_d) \geq 0 \quad (1)$$

Sendo:

S_d = representa os valores de cálculo dos esforços atuantes obtidos pelas combinações últimas de ações de acordo com o item 6.7.2 da NBR 14762 (ABNT, 2010);

R_d = representa os valores de cálculo dos esforços resistentes.

Se a segurança em relação a cada esforço atuante for verificada de forma isolada, as condições de segurança passam a serem verificadas pela seguinte desigualdade:

$$R_d \geq S_d \quad (2)$$

Já os estados-limites de serviço (ELS) estão relacionados com a maneira que a estrutura se comportará dentro das condições normais de utilização, que também é representada pela seguinte desigualdade:

$$S_{ser} \leq S_{lim} \quad (3)$$

Sendo:

S_{ser} = valores dos efeitos estruturais de interesse, obtidos pelas combinações de acordo com o item 6.7.3 da NBR 14762 (ABNT, 2010);

S_{lim} = representa os valores-limites para esses efeitos.

3.6.1.2 Deslocamento Máximo

A NBR 8800 (ABNT, 2008) afirma que “o deslocamento máximo da fôrma de aço sob seu peso próprio e o peso do concreto fresco (excluindo-se a sobrecarga da construção) não deve exceder $L_f / 180$ ou 20 mm, o que for menor, onde L_f é o vão teórico da fôrma na direção das nervuras.”.

Quando ao deslocamento do centro do vão da forma, a NBR 8800 (ABNT, 2008) estabelece que “se o deslocamento do centro do vão da fôrma, calculado com o seu peso próprio somado ao do concreto fresco, ultrapassar o valor de $L_f / 250$, onde, L_f é o vão teórico da laje na direção das nervuras, o efeito de empoçamento deve ser levado em conta, considerando-se um acréscimo na espessura nominal do concreto de 70% do valor do deslocamento.”.

A flecha pode ser determinada pela tabela de deslocamentos elásticos em vigas a seguir, disponibilizada pela Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, “Tabela de Vigas: Deslocamentos e Momentos de Engastamento Perfeito”.

Para uma laje bi apoiada com carga uniformemente distribuída, usa-se o caso 6 da figura 12.

$$\delta_{máx} = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E_c \cdot I_{cd}} \quad (4)$$

Onde:

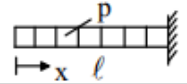
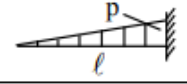

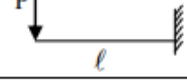
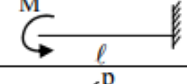
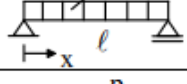
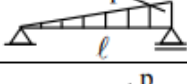
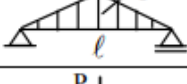

q = sobrecarga;

L = comprimento do vão;

E_c = módulo elasticidade do concreto;

I_{cd} = inércia da seção.

Figura 12 - Deslocamentos elásticos em vigas

CASO	VINCULAÇÃO E CARREGAMENTO	FLECHA		EQUAÇÃO DA ELÁSTICA
		W_{max}	x	
1		$\frac{1}{8} \frac{p\ell^4}{EI}$	0	$\frac{p\ell^4}{24EI} (\alpha^4 - 4\alpha + 3)$
2		$\frac{1}{30} \frac{p\ell^4}{EI}$	0	$\frac{p\ell^4}{120EI} (\alpha^5 - 5\alpha + 4)$
3		$\frac{11}{120} \frac{p\ell^4}{EI}$	0	$\frac{p\ell^4}{120EI} (-\alpha^5 + 5\alpha^4 - 15\alpha + 11)$
4		$\frac{1}{3} \frac{P\ell^3}{EI}$	0	$\frac{P\ell^3}{6EI} (\alpha^3 - 3\alpha + 2)$
5		$\frac{1}{2} \frac{M\ell^2}{EI}$	0	$\frac{M\ell^2}{2EI} (1 - \alpha)^2$
6		$\frac{5}{384} \frac{p\ell^4}{EI}$	$0,5\ell$	$\frac{p\ell^4\alpha}{24EI} (\alpha^3 - 2\alpha^2 + 1)$
7		$\frac{3}{460} \frac{p\ell^4}{EI}$ (*)	$0,519\ell$	$\frac{p\ell^4\alpha}{360EI} (3\alpha^4 - 10\alpha^2 + 7)$
8		$\frac{1}{120} \frac{p\ell^4}{EI}$	$0,5\ell$	$\frac{p\ell^4\alpha}{960EI} (16\alpha^4 - 40\alpha^2 + 25)$ (**)
9		$\frac{1}{48} \frac{P\ell^3}{EI}$	$0,5\ell$	$\frac{P\ell^3\alpha}{48EI} (-4\alpha^2 + 3)$ (**)

Fonte: Pinheiro *et al.*, 2010

3.6.1.3 Ações Consideradas Fase Inicial

De acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008), ainda na fase inicial, as seguintes ações devem ser levadas em conta na determinação da resistência da fôrma de aço, são elas:

- pesos próprios do concreto fresco, da fôrma de aço e da armadura;
- sobrecarga de construção;

- efeito de empoçamento, caso o deslocamento ultrapasse [...] [$L_f/250$].

A sobrecarga característica de construção será obtida pelo pior caso entre as duas opções, NBR 8800 (ABNT, 2008):

- carga uniformemente distribuída [...] [valor mínimo de 1 kN/m²];
- carga linear de 2,2 kN/m² perpendicular à direção das nervuras da fôrma, na posição mais desfavorável, somente para verificação do momento fletor.

3.6.2 Verificação da fôrma de aço em sua fase final

Nesta etapa de verificação do sistema, o concreto já atingiu, em tese, sua resistência necessária à compressão, ou seja, igual ou superior a 75% do f_{ck} de projeto (lembrando que o f_{ck} mínimo é 20 MPa). A partir dessa etapa, inicia-se o chamado comportamento misto aço-concreto, onde, a fôrma de aço e o concreto se tornam um único elemento estrutural. Esse comportamento é possível através das mossas (gomos) na superfície da fôrma de aço. Essas mossas atuam de forma a travar o concreto impedindo o deslocamento por cisalhamento longitudinal.

De acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008), são necessárias quatro verificações nesta etapa do sistema de lajes com fôrmas de aço, ou Steel Deck, que serão explanados nos itens a seguir.

3.6.2.1 Momento Fletor

A NBR 8800 (ABNT, 2008) afirma que:

[...] na determinação do momento fletor positivo resistente de cálculo, a fôrma de aço deve resistir aos esforços de tração em conjunto com uma armadura adicional, caso exista, colocada na face inferior da laje. Na determinação do momento fletor negativo resistente de cálculo sobre os apoios em lajes contínuas, a contribuição da fôrma de aço aos esforços de compressão somente pode ser levada em conta se for contínua.

Se não houver armadura adicional, o momento fletor positivo é calculado levando em consideração a posição da linha neutra em relação a fôrma de aço (figuras 13 e 14, respectivamente).

A expressão que representa o cálculo considerando a linha neutra acima da face superior da fôrma de aço é:

$$M_{rd} = N_{pa} (d_F - 0,5a) \quad (5)$$

Sendo:

$$N_{pa} = A_{F,ef} \cdot f_{yFd}; \quad (6)$$

$A_{F,ef}$ = é a área da seção efetiva da fôrma (correspondente a 1000 mm), determinada desprezando-se a largura das mossas na seção transversal, a menos que se demonstre por meio de ensaios que uma área maior possa ser utilizada;

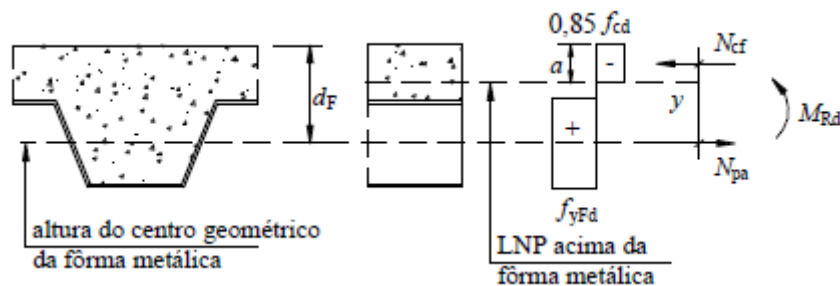
d_F = é a distância da face superior da laje de concreto ao centro geométrico da seção efetiva da fôrma;

a = é a altura do bloco de compressão do concreto, dada por:

$$a = \frac{N_{pa}}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b} \quad (7)$$

b = é a largura unitária da laje, tomada igual a 1000 mm.

Figura 13 - Tensões para momento positivo - linha neutra acima da fôrma de aço



Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008)

A expressão que representa o cálculo considerando a linha neutra na face da fôrma de aço é:

$$M_{rd} = N_{cf} y + M_{pr} \quad (8)$$

Sendo:

M_{pr} = é o momento de plastificação da fôrma de aço, reduzido pela presença da força axial, dado por:

$$M_{pr} = 1,25 \text{ MPa} \cdot \left(1 - \frac{N_{cf}}{N_{pa}} \right) \leq M_{pa} \quad (9)$$

M_{pa} = é o momento de plastificação da fôrma de aço, considerando sua seção efetiva, dividido pelo coeficiente de ponderação da resistência Y_{a1} ;

$$N_{cf} = 0,85 b t_c f_{cd}; \quad (10)$$

b = é a largura unitária da laje, tomada igual a 1000 mm;

$$y = h_t - 0,5 \cdot t_c - e_p + (e_p - e) \cdot \frac{N_{cf}}{N_{pa}} \quad (11)$$

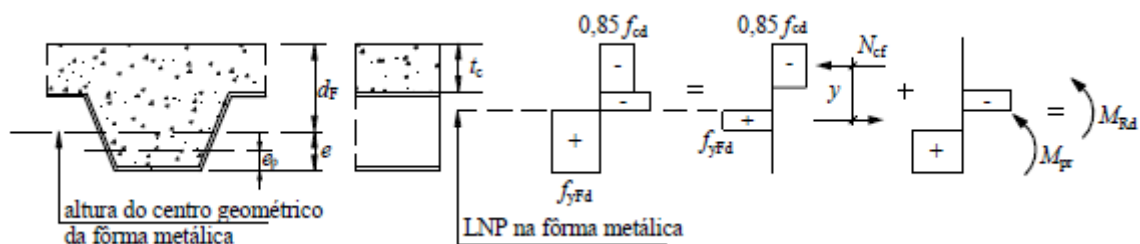
t_c = é a altura da laje de concreto acima do topo da fôrma de aço;

h_t = é a altura total da laje, incluindo a fôrma e o concreto;

e = é a distância do centro geométrico da área efetiva da fôrma à sua face inferior;

e_p = é a distância da linha neutra plástica da seção efetiva da fôrma à sua face inferior.

Figura 14 - Tensões para momento positivo - linha neutra na fôrma de aço



Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008)

Sendo:

$$N_{pa} = A_{F,ef} \cdot f_{yFd} \quad (12)$$

$A_{F,ef}$ = é a área da seção efetiva da fôrma (correspondente a 1000 mm), determinada desprezando-se a largura das mossas na seção transversal, a menos que se demonstre por meio de ensaios que uma área maior possa ser utilizada;

d_F = é a distância da face superior da laje de concreto ao centro geométrico da seção efetiva da fôrma;

a = é a altura do bloco de compressão do concreto, dada por:

$$a = \frac{N_{pa}}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b} \quad (13)$$

$b =$ é a largura unitária da laje, tomada igual a 1000 mm (figura 15);

Se a laje possuir armadura adicional para resistir ao momento positivo, deve ser feito um ajuste adequado às expressões para cálculo do momento em: $M_{rd} = N_{pa} (d_F - 0,5a)$ e $M_{rd} = N_{cf} y + M_{pr}$, equações 5 e 6, respectivamente.

Depois de já preenchida com concreto, a fôrma de aço não deverá sofrer flambagem local, que pode deverá atender à seguinte exigência:

$$b_F \leq \frac{26,49 \sqrt{\frac{E}{f_{yF}}}}{(13 \cdot \alpha - 1)} \cdot t_F \quad \text{quando } \alpha \geq 0,5 \quad (14)$$

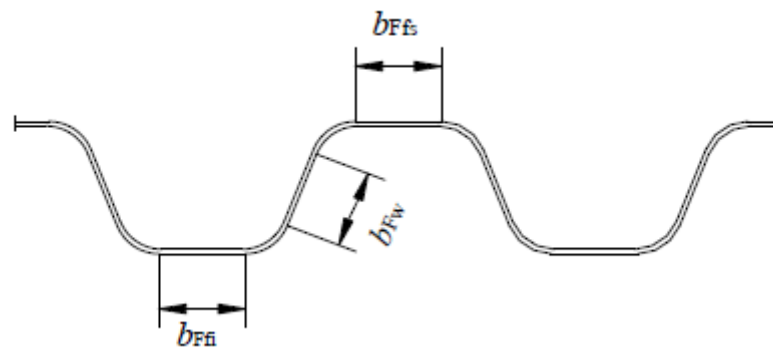
$$b_F \leq \frac{2,40 \sqrt{\frac{E}{f_{yF}}}}{\alpha} \cdot t_F \quad \text{quando } \alpha < 0,5 \quad (15)$$

Sendo:

$\alpha =$ é a relação entre a largura da parte comprimida e a largura plana do elemento;

$t_F =$ é a espessura da fôrma de aço.

Figura 15 - Largura plana dos elementos da fôrma



Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008)

Na maioria dos casos a linha neutra encontra-se acima da fôrma de aço. Em situações em que a forma de aço tem profundidade elevada, a linha neutra pode estar situada na fôrma de aço, devendo ser considerada e calculada a armadura adicional positiva. Desta forma, faz-se

necessário usar as recomendações do EUROCODE 4 (2004) para obtenção do momento fletor negativo de cálculo.

3.6.2.2 Cisalhamento Longitudinal

Para o cálculo da resistência ao cisalhamento longitudinal, relativa a 1000 mm de largura, é usada a expressão a seguir de acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008):

$$V_{L,rd} = \frac{b \cdot d_F \left[\left(\frac{m \cdot A_{F,ef}}{b \cdot L_s} \right) + k \right]}{Y_{SL}} \quad (16)$$

$$L_s = \frac{L_f}{4} \quad (17)$$

Sendo:

d_F = distância da face superior da laje de concreto ao centro geométrico da seção efetiva da fôrma (figura 16), em milímetros (mm);

b = largura unitária da laje, tomada igual a 1000 mm;

L_s = vão de cisalhamento, em milímetros (mm) [...] [deve ser tomado conforme a NBR 8800 (ABNT, 2008) como:

$L_f / 4$ para cargas uniformemente distribuídas, onde L_f é o vão teórico da laje da direção das nervuras; a distância entre uma carga aplicada e o apoio mais próximo para duas cargas concentradas simétricas; a relação entre o máximo momento e a maior reação de apoio, para outras condições de carregamento, incluindo combinação de carga distribuída ou cargas concentradas assimétricas (pode-se também efetuar uma avaliação com base em resultados de ensaios)];

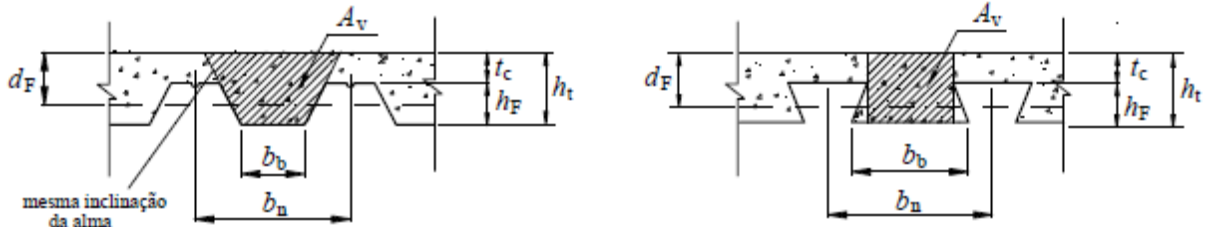
m e k = constantes empíricas, em newton por milímetro quadrado (N/mm²), obtidas por meio de ensaios realizados conforme o Eurocode 4 Part 1-1 ou o CSSBI S2 ou o ANSI/ASCE 3, adaptadas para assegurar o nível de segurança desta Norma.

De acordo com Ferraz (2017), os valores de m e k são, respectivamente, 152,14 kN/m e 0,001697 kN/mm.m.

Y_{Sl} = coeficiente de ponderação a resistência, o mesmo determinado pela norma ou utilizada nos ensaios;

$A_{F, ef}$ = área da seção efetiva da fôrma (correspondente a 1000 mm).

Figura 16 - Dimensões da fôrma de aço e da laje de concreto



Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008)

Ainda em relação ao cisalhamento longitudinal, a NBR 8800 (ABNT, 2008) afirma que:

[...] quando a laje mista for projetada como contínua, é permitido o uso de um vão simplesmente apoiado equivalente para determinação da resistência. O comprimento desse vão pode ser tomado igual a 0,8 vez o vão real para vãos internos e a 0,9 vez para vão de extremidade.

Conforme prescrição do Eurocode 4 Part 1-1, a resistência ao cisalhamento longitudinal pode ser aumentada pela presença de conectores de cisalhamento, ou Stud Bolt, nas vigas de apoio das lajes.

3.6.2.3 Cisalhamento Vertical

De acordo com a norma NBR 8800 (ABNT, 2008), a força cortante vertical resistente de cálculo de lajes com fôrma de aço, relativa a 1000 mm de largura, é determinada pela expressão:

$$V_{v,Rd} = V_{v,F,Rd} + V_{v,c,Rd} \leq V_{max} \quad (18)$$

Sendo:

$V_{v,F,Rd}$ = força cortante vertical resistente de cálculo da fôrma de aço;

$V_{v,c,Rd}$ = força cortante vertical resistente de cálculo do concreto;

V_{max} = limite da força cortante, relativo a 1000 mm de largura [...] dado por:

$$\{(1000 \cdot 0,285(f_{ck})^{1/2} A_v)\}/b_n, \quad (19)$$

Onde:

A_v é a área resistente do concreto em milímetros quadrados;

b_n é a largura entre duas nervuras consecutivas, em milímetros.

Os valores de $V_{v,Rd}$, $V_{v,F,Rd}$, $V_{v,c,Rd}$ e V_{max} estão disponíveis no Manual Técnico – Telha Fôrma (Steel Deck) da Metform S/A, esses valores são tabelados e de acordo com diversas literaturas e artigos a respeito, somente o valor de $V_{v,c,Rd}$ deverá ser considerado nos cálculos.

Já a força cortante vertical resistente de cálculo do concreto, relativa a 1000 mm de largura, é determinada pela expressão:

$$V_{v,c,Rd} = \frac{1000 \cdot \tau_{Rd} \cdot K_v \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho) \cdot A_v}{b_n} \quad (20)$$

Onde:

$$\rho = \frac{A_s}{A_v} \leq 0,02 \quad (21)$$

$$k_v = \begin{cases} \left(1,6 - \frac{d}{1000}\right) \geq 1,0 & \text{caso haja armadura longitudinal de tração que} \\ & \text{se estenda a não menos que } d + l_{b,nec} \text{ além da seção considerada} \\ 1,0 & \text{nos outros casos} \end{cases} \quad (22)$$

$$\tau_{Rd} = 0,25 \cdot f_{ctd} \quad (23)$$

$$f_{ctd} = \frac{\eta \cdot f_{ctk,inf}}{\gamma_c} \quad (24)$$

$$f_{ct,inf} = 0,21 \cdot f_{ck}^{2/3} \quad (25)$$

Sendo:

A_v = área resistente do concreto, em milímetros quadrados;

A_s = área da armadura longitudinal de tração, referente à área A_v , em milímetros quadrados;

d = distância da face superior da laje de concreto ao centro da armadura longitudinal de tração;

b_n = largura entre duas nervuras consecutivas, em milímetros;

$l_{b,nec}$ = comprimento de ancoragem necessário, dado pela NBR 6118 (ABNT, 2004) para o concreto de densidade normal;

$$\eta = 0,3 + 0,7 (\rho_c/2400) \quad (26)$$

Onde:

ρ_c a massa específica do concreto, em quilogramas por metro cúbico, não podendo ser tomado valor superior a 2400 kg/m³;

τ_{Rd} = tensão de cisalhamento resistente de cálculo;

f_{ctd} = resistência do concreto à tração direta;

$f_{ctk,inf}$ = resistência à tração direta característica inferior do concreto.

3.6.2.4 Punção

O último efeito que a norma NBR 8800 (ABNT, 2008) detalha sobre o dimensionamento correto das lajes mistas é o efeito punção, que consiste em grandes tensões cisalhantes concentradas (figura 15). A força cortante resistente de cálculo à punção pode ser determinada por:

$$V_{p,Rd} = u_{cr} \cdot d_l \cdot \tau_{Rd} \quad (27)$$

Sendo:

$$d_l = \frac{d_F + t_c}{2} \quad (28)$$

$$\tau_{Rd} = 0,13 \cdot k_p \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{1/3} \geq 0,30 \cdot f_{ctd} \quad (29)$$

$$k_p = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_l}} \leq 2,0 \quad (30)$$

$$\rho = \sqrt{\rho_F \cdot \rho_s} \leq 0,02 \quad (31)$$

Onde:

u_{cr} = perímetro crítico, expresso em milímetros;

d_F = distância da face superior da laje de concreto ao centro geométrico da seção da fôrma em milímetros;

t_c = altura da laje de concreto acima do topo da fôrma de aço em milímetros;

ρ_F e ρ_s = taxas de armadura nas direções longitudinal e transversal à fôrma, dados por:

$$\rho_F = \frac{A_F + A_{sl}}{d_F \cdot (b_p + 2 \cdot h_r + 3 \cdot d_F)} \quad (32)$$

$$\rho_s = \frac{A_{st}}{t_c \cdot (b_l + 2 \cdot h_r + 3 \cdot d_F)} \quad (33)$$

A_F = área da seção da fôrma de aço, referente à largura ($b_p + 2h_r + 3df$), em milímetros quadrados;

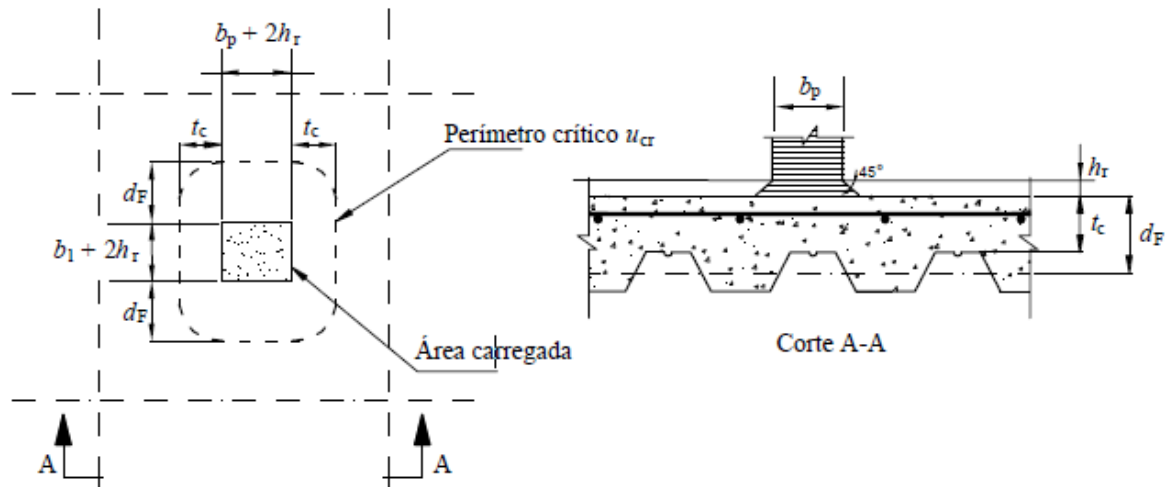
A_{sl} = área da armadura longitudinal, referente à largura ($b_p + 2h_r + 3df$), em milímetros quadrados;

A_{st} = área da armadura transversal, referente à largura ($b_l + 2h_r + 3df$), em milímetros quadrados;

h_r = altura do revestimento da laje, em milímetros, se houver;

b_l e b_p = expressas em milímetros conforme figura 17.

Figura 17 - Perímetro crítico para punção



Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008)

3.6.3 Aços utilizados para fôrma e revestimento

A norma NBR 14762 (ABNT, 2010) recomenda que:

[...] o uso de aços com qualificação estrutural e que possuem propriedades mecânicas adequadas para receber o trabalho a frio. Devem apresentar a relação entre a resistência à ruptura e a resistência ao escoamento f_u/f_y maior ou igual a 1,08 e o alongamento após ruptura não deve ser menor que 10% para base de medida igual a 50mm ou 7% para base de medida igual a 200 mm, tomando-se como referência os ensaios de tração conforme ASTM A370.

A especificação dos tipos de aço, tenções de escoamento e normas a serem seguidas, estão descritas na tabela 3 abaixo:

Tabela 3 - Chapas finas de aço especificadas por Normas Brasileiras para uso estrutural ^a

Especificação	Grau	f_y (MPa)	f_u (MPa)
ABNT NBR 6649 / ABNT NBR 6650 Chapas finas (a frio/a quente) de aço carbono	CF-26	260/260	400/410
	CF-28	280/280	440/440
	CF-30	---/300	---/490
ABNT NBR 5004	F-32/Q-32	310	410
	F-35/Q-35	340	450

Chapas finas de aço de baixa liga e alta resistência mecânica	Q-40	380	480
	Q-42	410	520
	Q-45	450	550
ABNT NBR 5920 / ABNT NBR 5921	CFR 400	---/250	---/380
Chapas finas e bobinas finas (a frio/a quente), de aço de baixa liga, resistentes à corrosão atmosférica	CFR 500	310/370	450/490
ABNT NBR 7008 / ABNT NBR 7013 / ABNT NBR 14964	ZAR 250	250	360
	ZAR 280	280	380
	ZAR 320	320	390
	ZAR 345	345	430
	ZAR 400	400	450
Chapas finas e bobinas finas com revestimento metálico ^b			

^a A faixa de espessura disponível varia de acordo com o produtor de aço.

^b Graus conforme ABNT NBR 7008.

Fonte: NBR 14762 (ABNT, 2010)

3.7 DESCARGA E ARMAZENAMENTO

De acordo com a Metform S/A (2017), a Telha-fôrma é enviada para a obra devidamente embalada em painéis de até 12 metros de comprimento sendo firmemente cintadas para evitar vibração e conseqüentemente danos as peças.

No local de descarga, o responsável deverá conferir as etiquetas de identificação com o número de peças e espessura das telhas-fôrma (t_F). Também deverá ser feita uma análise rápida para se certificar que não exista nenhum material danificado e a quantidade está de fato, correta.

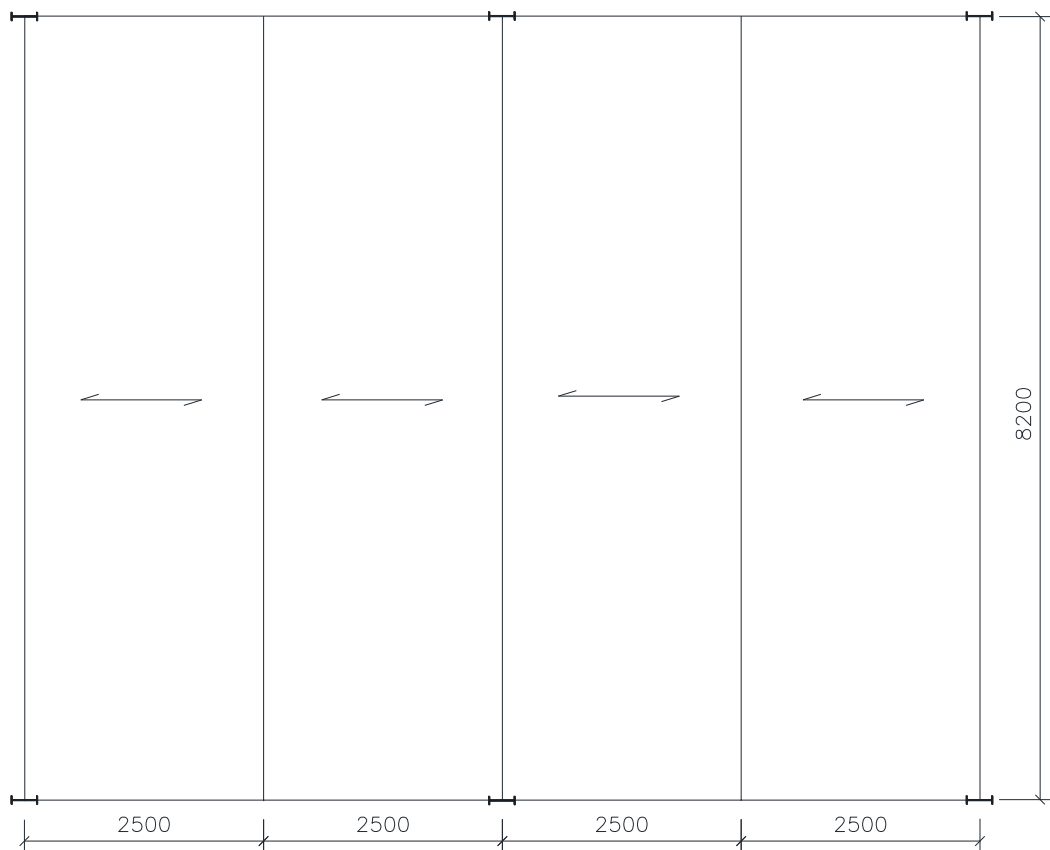
Após o recebimento, se o material for estocado, deverá ser armazenado em local seco, ventilado e com empilhamento máximo de três volumes, levemente inclinado conforme Deliberato (2006).

4 EXEMPLO NUMÉRICO E ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 EXEMPLO NUMÉRICO DE DIMENSIONAMENTO

A laje a seguir é parte de uma edificação comercial destinada a escritórios e salas comerciais tipo padrão, com vãos de 2500 mm, 8200 mm de comprimento e laje com altura total de 140mm. As vigas são formadas por um perfil laminado tipo W410 x 38,8. Para exemplificar o dimensionamento da laje utilizando o sistema Steel Deck será utilizado somente uma laje tipo, conforme figura 18 abaixo:

Figura 18 - Pavimento tipo (dimensões em mm)



Os carregamentos a serem considerados nos cálculos terão os seguintes valores:

- Peso Próprio da Laje (CP1) [Anexo A] 2,50 kN/m²
- Revestimento (CP2) [NBR6120] 1,00 kN/m²
- Sobrecarga de Utilização (SC) [NBR6120] 2,00 kN/m²
- Sobrecarga Sobreposta Máxima, vão de 2500mm [Anexo A] 7,54 kN/m²

O cálculo da sobrecarga atuante na laje será os carregamentos (CP2) e (SC), o peso próprio da laje será desconsiderado, conforme o manual técnico do fabricante, que indica também que nenhum fator de majoração seja considerado. Sendo assim, a sobrecarga máxima atuante na telha-fôrma MF-75 é:

$$C_T = (CP_2 + SC) \quad (34)$$

$$C_T = (1,00 + 2,00)$$

$$C_T = 3,00 \text{ kN/m}^2$$

Como a sobrecarga máxima suportada na telha-fôrma MF-75 é 7,54 kN/m², esta verificação está atendida.

O carregamento total de cálculo (C_T) para determinar os esforços é o seguinte:

$$C_T = (CP_1 + CP_2 + SC) \quad (35)$$

$$C_T = (2,50 + 1,00 + 2,00)$$

$$C_T = 5,50 \text{ kN/m}^2$$

O esquema estático da laje e o diagrama de esforço cortante, com dimensões em milímetros, estão descritos nas figuras 19 e 20 respectivamente.

Figura 19 - Esquema estático pavimento tipo

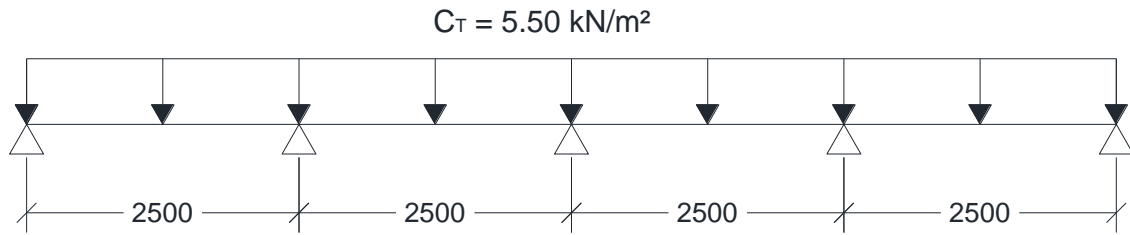
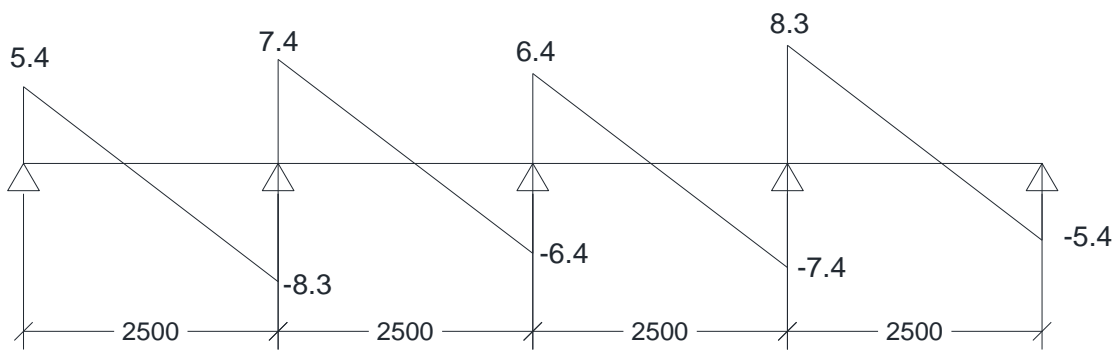
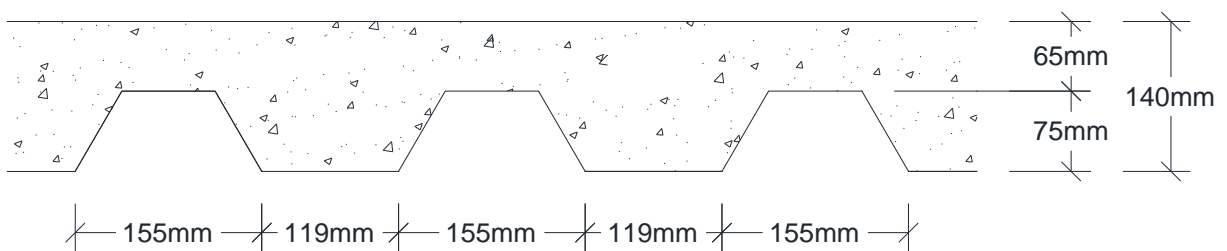


Figura 20 - Diagrama esforço cortante (kN)



O perfil da fôrma de aço é o Telha-Fôrma MF-75 com espessura de 0,80 mm, aço ZAR-280 (ATSM A-653 gr.40), galvanização Z-275, limite de escoamento de 280 MPa e concreto com $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$. A seção da telha fôrma MF-75 está descrita na figura 21 abaixo:

Figura 21 - Seção da telha fôrma MF-75



Dados do fabricante:

$$d_F = 102,5 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$b_o = 137 \text{ mm}$$

$$b_n = 274 \text{ mm}$$

$$t_c = 65 \text{ mm}$$

$$A_{F,ef} = 1112 \text{ mm}^2$$

Para o dimensionamento, a laje é considerada contínua com vãos simplesmente apoiados de 2500mm. Portanto, o momento fletor máximo de cálculo é dado por:

$$M_{sd} = \frac{C_T \cdot L^2}{8} = \frac{5,50 \cdot (2,5)^2}{8} = 4,30 \text{ kN.m} \quad (36)$$

De acordo com o diagrama do esforço cortante (figura 20), o valor solicitante máximo (V_{sd}) é 8,30 kN. Valor obtido através do programa FTool.

Para a verificação à flexão, será utilizado as fórmulas descritas no item 3.6.2.1.

Determinando a posição da linha neutra, equações 6 e 10, respectivamente:

$$N_{pa} = A_{F,ef} \cdot f_{yd}$$

$$N_{pa} = 11,12 \cdot \frac{28}{1,15}$$

$$N_{pa} = 270,74 \text{ kN}$$

$$N_{cf} = 0,85 \cdot b \cdot t_c \cdot f_{cd}$$

$$N_{cf} = 0,85 \cdot 100 \cdot 6,5 \cdot \frac{20}{1,4}$$

$$N_{cf} = 789,28 \text{ kN}$$

Como $N_{cf} > N_{pa}$, a linha neutra plástica (LNP) encontra-se acima da fôrma de aço, desta forma o valor de momento fletor resistente é calculado usando o formulário descrito no item 3.6.2.1., conforme equações 5 e 13, respectivamente:

$$M_{rd} = N_{pa} \cdot (d_F - 0,5 \cdot a)$$

$$a = \frac{N_{pa}}{0,85 \cdot f_{cd} \cdot b}$$

$$a = \frac{270,75}{0,85 \cdot \frac{20}{1,4} \cdot 1}$$

$$a = 22,29 \text{ mm}$$

Sendo assim:

$$M_{rd} = 270,74 \cdot (102,5 - 0,5 \cdot 22,29) \cdot 10^{-3}$$

$$M_{rd} = 24,73 \text{ kN.m}$$

$$M_{sd} = 4,30 \text{ kN.m}$$

Como $M_{rd} > M_{sd}$ a verificação está OK.

A verificação do cisalhamento longitudinal será determinado usando o formulário descrito no item 3.6.2.2., conforme a equação 16 abaixo:

$$V_{Ird} = \frac{b \cdot d_F \left[\left(\frac{m \cdot A_{F,ef}}{b \cdot L_s} \right) + k \right]}{Y_{SL}}$$

Onde:

$$L_s = \frac{L_f}{4}$$

$$L_s = 0,9 \cdot \frac{2,5}{4} = 0,56 \text{ m}$$

Os valores de m e k estão descritos no item 3.3.2.2 e são, respectivamente, 152,14 kN/m e 0,001697 kN/mm.m.

Sendo assim:

$$V_{Ird} = \frac{100 \cdot 1,025 \left[\left(\frac{152,14 \cdot 1112}{1000 \cdot 560} \right) + 0,001697 \right]}{1,25}$$

$$V_{Ird} = 24,91 \text{ kN}$$

$$V_{sd} = 8,30 \text{ kN}$$

Portanto $V_{lrd} > V_{sd}$, a verificação está OK.

A verificação do cisalhamento transversal está baseada no formulário de acordo com o item 3.6.2.3., conforme equação 20 abaixo:

$$V_{vRd} = \frac{1000 \cdot \tau_{Rd} \cdot K_v \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho) \cdot A_v}{b_n}$$

Onde:

$$\rho = \frac{A_s}{A_v} \leq 0,02$$

$$A_s = 1,112 \cdot 137$$

$$A_s = 152,3 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{152,3}{137 \cdot 102,5} = 0,0108 \leq 0,02 \rightarrow OK$$

$$\tau_{Rd} = 0,25 \cdot f_{ctd}$$

Sendo:

$$f_{ctd} = \frac{\eta \cdot f_{ctr,inf}}{\gamma_c}$$

$$f_{ctr,inf} = 0,21 \cdot f_{ck}^{2/3}$$

$$f_{ctr,inf} = 0,21 \cdot 20^{2/3}$$

$$f_{ctr,inf} = 1,5472 \text{ MPa}$$

$$\eta = 0,3 + 0,7 (\rho \leq 2400)$$

$$\eta = 0,3 + 0,7 (2400/2400)$$

$$\eta = 1$$

$$f_{ctd} = \frac{1 \cdot 1,5472}{1,25}$$

$$f_{ctd} = 1,2378 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Rd} = 0,25 \cdot 1,237$$

$$\tau_{Rd} = 0,3094 \text{ MPa}$$

$$k_v = 1,6 - \frac{d_F}{1000}$$

$$k_v = 1,6 - \frac{102,5}{1000} = 1,49 > 1,0$$

Sendo assim:

$$V_{vRd} = \frac{0,3094 \cdot 1,49 \cdot (1,2 + 40 \cdot 0,0108) \cdot (137 \cdot 102,5)}{274 \cdot 1,4}$$

$$V_{vRd} = 27,54 \text{ kN}$$

$$V_{sd} = 11,7 \text{ kN}$$

Como $V_{vRd} > V_{sd}$, a verificação está OK.

Para determinar o deslocamento elástico máximo (δ_{\max}) ou seja, a flecha, será usada a equação 4 descrita no item 3.6.1.2.

$$\delta_{\max} = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E_c \cdot I_{cd}}$$

Onde:

$$q = 2,0 \text{ kN/m (Sobrecarga)}$$

$$L = 2500 \text{ mm}$$

$$E_c = 21425 \text{ MPa}$$

$$I_{cd} = 13,17 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\delta_{\max} = \frac{5 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 2500^4}{384 \cdot 21425 \cdot 10^6 \cdot 13,17 \cdot 10^6}$$

$$\delta_{\max} = 0,0036 \text{ m} \rightarrow 3,61 \text{ mm}$$

O deslocamento admissível para este dimensionamento é:

$$\delta_{adm} = \frac{L}{250} \quad (37)$$

Onde:

δ_{adm} = deslocamento admissível;

L = comprimento do vão.

$$\delta_{adm} = \frac{2500}{250} = 10 \text{ mm}$$

Portanto $\delta_{adm} > \delta_{m\acute{a}x} \rightarrow OK!$

É importante também, usar uma malha de barras trefiladas soldadas para combater à fissuração que pode ocorrer no concreto na parte superior da fôrma.

Essa malha deverá ser colocada na parte superior da fôrma com um cobrimento mínimo de 20 mm. A área de aço mínima deverá ser de 0,2% da área de concreto acima da fôrma de aço sem escoramento (EUROCODE, 1994).

$$A_s \geq 0,2 \% (h_c \cdot b) \quad (38)$$

$$A_s \geq 0,2 \% (6,5 \cdot 100) \geq 1,30 \text{ cm}^2/\text{m}$$

4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos no dimensionamento foram os esperados, o sistema de lajes Steel Deck consegue resistir os valores solicitados com uma grande margem de segurança.

O momento solicitante calculado M_{sd} é 4,30kN.m, ficando muito abaixo do valor do momento resistente M_{rd} que é 24,73kN.m, ou seja, o momento solicitante é 18% do momento resistente da laje.

O cisalhamento longitudinal solicitante calculado V_{sd} é 8,30kN, ficando também abaixo do valor resistente calculado V_{rd} que é 24,91kN, sendo assim, solicitando 34% da capacidade total de resistência ao cisalhamento longitudinal.

Semelhantemente, o cisalhamento transversal solicitante calculado V_{sd} é 8,30kN, novamente, ficando abaixo do valor resistente calculado V_{rd} que é 27,54kN, solicitando 31% da capacidade de resistência ao cisalhamento transversal.

O deslocamento elástico máximo da laje $\delta_{máx}$ é de 3,61mm, ficando bem abaixo do valor admissível δ_{adm} de 10mm.

Esses resultados mostram que o uso da telha-fôrma MF-75 é adequado ao uso e atende com muita segurança as cargas solicitadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal desse trabalho foi apresentar as vantagens do sistema de lajes Steel Deck em relação aos sistemas usuais de lajes, como lajes maciças e pré-moldadas.

O sistema Steel Deck, ponderando algumas de suas vantagens: são leves, dispensa escoramentos em vãos que variam de 2 a 4 metros, apresenta uma rapidez construtiva, evita o desperdício de materiais, dispensa o uso das armaduras positivas na maioria dos casos, também atuam como plataforma de trabalho, facilitam a passagem de tubulações para instalações e proporciona uma maior segurança para os trabalhadores da obra.

A solicitação de modelos construtivos que trazem soluções e também evitam o desperdício de materiais e insumos, juntamente com um método de execução mais rápido e uma obra limpa são requisitos em boa parte das obras ao redor do mundo e são esses alguns dos motivos que levam as lajes Steel Deck a serem utilizadas.

Por mais que esse modelo de lajes mistas já vem sendo bastante utilizado em diversos países como Estados Unidos, Japão, Canadá, Inglaterra, entre outros, no Brasil é um método relativamente novo, sendo mais utilizado em algumas regiões do país, como no sul e sudeste, por exemplo. Outras regiões pela falta de alternativas, acabam por utilizar o sistema tradicional, lajes maciças e pré-moldadas. Mas as vantagens que esse sistema expressa vêm fazendo com que haja uma maior procura pelo sistema Steel Deck.

Apesar das vantagens expostas ao longo desse trabalho, algumas barreiras desaceleram o uso desse sistema de lajes, tais como: financeiro, as lajes mistas são encontradas com um custo em torno de 30% maior do que as lajes convencionais, contudo, um fator relevante é o aumento das fábricas de telhas-fôrma para o sistema Steel Deck, que tendem a aumentar à oferta e diminuir o preço final desse tipo de laje, conseqüentemente melhorar a relação custo-benefício; falta de mão de obra especializada, as lajes Steel Deck são executadas em sua grande maioria, em estruturas metálicas, exigindo uma mão de obra específica e com poucos profissionais capacitados; bibliografia escassa, forçando o profissional a buscar informações em literaturas de outros países e adaptando as condições de uso no Brasil.

Finalmente, o dimensionamento da laje tipo apresentada no capítulo quatro, foi realizado com sucesso, sem grandes surpresas e/ou problemas. As informações e valores já tabelados, sem dúvida garantem uma rapidez e confiabilidade dos resultados encontrados.

REFERÊNCIAS

ADÃO, F. X.; HEMERLY, A. C. **Concreto Armado: novo milênio, cálculo prático e econômico**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

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

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

_____. **NBR 6120**: cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

_____. **NBR 6122**: projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 8681**: ações e segurança nas estruturas - procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 8800**: projetos de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 14762**: dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 14859-1**: laje pré-fabricada - requisitos parte 1: lajes unidirecionais. Rio de Janeiro, 2002.

DELIBERATO, C. Diretrizes para o projeto e execução de lajes mistas de concreto e chapas metálicas trapezoidais. 2006. 134p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. Disponível em: <http://cassiopea.ipt.br/teses/2006_HAB_Celso_Deliberato.pdf>. Acesso em 12 ago. 2017.

DIAS, L. A. de M. **Estruturas de aço**: conceitos, técnicas e linguagem. 8ª ed. São Paulo: Zigate, 1997.

EUROCODE 4: DESIGN OF COMPOSITE STEEL AND CONCRETE STRUCTURES: **Composite Slabs**. United Kingdom, 1994. Disponível em: <http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/WS2008/Hicks_2008.pdf>. Acesso em: 06 mai. 2017.

FERRAZ, C. B. **Análise do Comportamento e da Resistência do Sistema de Lajes Mistas**. Belo Horizonte, 1999. 142p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/PASA-8AGFW7>>. Acesso em: 27 mai. 2017.

METFORM S/A. **Telha Fôrma (Steel Deck) - Manual Técnico: Especificações para Projeto, Manuseio e Montagem**. Betim, 2017. Disponível em: <<http://www.metform.com.br/wordpress/?project=telha-forma>>. Acesso em: 25 mar. 2017.

PFEIL, W.; PEIL, M. **Estruturas de aço**: dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008. 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009 (reimpressão 2012).

PINHEIRO, L. M.; CATOIA, B.; CATOIA, T. Tabela de Vigas: Deslocamentos e Momentos de Engastamento Perfeito. São Carlos, 2010. Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/concreto/Textos/22%20Tabelas%20de%20vigas.pdf>>. Acesso em: 06 ago. 2017.

QUEIROZ, G.; PIMENTA, R. J.; MARTINS, A. G. **Estruturas mistas**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, 2012. v.1.

SAÚDE, J.; RAIMUNDO, D.; PROLA, L. C.; PIERIN, I. Lajes mistas: aspectos construtivos e respectivas recomendações do eurocódigo 4. São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.abcem.org.br/construmetal/2006/arquivos/Lajes%20Mistas.pdf>>. Acesso em 29 jul. 2017.

SILVA, R. da. Projeto de Produção para Construção Metálica Aplicado em Lajes Mistas Steel Deck. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.abcem.org.br/construmetal/2010/downloads/contribuicoes-tecnicas/10-projeto-de-producao-para-construcao-metalica-aplicado-em-lajes-mistas-steel-deck.pdf>>. Acesso em 29 jul. 2017.

SPUTO, T. Structure Magazine: **Development of Composite Steel Deck**. United States, 2012. Disponível em: <<http://www.structuremag.org/wp-content/uploads/D-CodeUpdates-Sputo-Aug121.pdf>>. Acesso em 24 fev. 2017.

STEEL DECK INSTITUTE: **Design Manual for Composite Decks, Form Decks and Roof Decks**. United States, 1995.

STEEL CONSTRUCTION. **Composite Construction**, United Kingdom, 2016. Disponível em: <http://www.steelconstruction.info/Composite_construction>. Acesso em 18 jul. 2017

EUROCODE 4: DESIGN OF COMPOSITE STEEL AND CONCRETE STRUCTURES: **Composite Slabs**. United Kingdom, 1994.

ANEXO A – TABELA DE SOBRECARGAS MÁXIMAS SOBREPOSTAS (kN/m²)

TELHA-FÓRMA MF-75
Tabela de Cargas Sobrepostas Máximas (kN/m²)
 Aço ZAR-280 - $f_y = 280$ MPa

Espes. Sura (t) (mm)	Vãos Máximos Sem Escoramento			Peso Próprio (kN/m ²) (10 ⁶ mm ⁴)	Momento Inércia (10 ⁶ mm ⁴)	Vãos da Laje Mista com Telha-fórmula MF-75 (mm)																
	Simplex (mm)	Duplo (mm)	Triplo (mm)			Balanço (mm)	2.000	2.100	2.300	2.400	2.500	2.600	2.700	2.800	2.900	3.000	3.150	3.300	3.500	3.750	4.000	4.250
130																						
0,80	2.350	3.200	3.300	1.150	2,27	10,66	11,87	10,56	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	0,88
0,95	3.000	3.650	3.750	1.350	2,28	11,34	14,19	12,69	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	1,53
1,25	3.650	4.300	4.400	1.650	2,32	12,74	18,83	16,94	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	2,82
140																						
0,80	2.200	3.100	3.200	1.150	2,50	13,17	13,16	11,71	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	0,99
0,95	2.850	3.500	3.600	1.350	2,52	13,99	15,74	14,07	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	1,70
1,25	3.500	4.150	4.250	1.600	2,55	15,68	20,00	18,79	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	3,14
150																						
0,80	2.000	3.000	3.100	1.100	2,74	16,06	14,46	12,86	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	1,09
0,95	2.650	3.400	3.500	1.300	2,75	17,04	17,28	15,45	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	1,88
1,25	3.400	4.000	4.100	1.550	2,79	19,05	20,00	20,00	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	3,46
160																						
0,80	1.850	2.900	3.000	1.100	2,97	19,35	15,75	14,02	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	1,20
0,95	2.500	3.300	3.400	1.250	2,99	20,51	18,83	16,84	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	2,06
1,25	3.250	3.900	4.000	1.500	3,02	22,90	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	3,78
170																						
0,80	1.700	2.800	2.900	1.050	3,21	23,07	17,04	15,17	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	1,30
0,95	2.350	3.200	3.300	1.250	3,23	24,44	20,00	18,22	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	2,23
1,25	3.150	3.800	3.900	1.450	3,26	27,24	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	4,09
180																						
0,80	1.550	2.750	2.850	1.050	3,44	27,25	18,34	16,32	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	1,41
0,95	2.200	3.100	3.200	1.200	3,46	28,84	20,00	19,61	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	2,41
1,25	3.050	3.700	3.800	1.450	3,50	32,10	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	4,41
190																						
0,80	1.450	2.650	2.750	1.000	3,68	31,92	19,63	17,47	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	1,52
0,95	2.100	3.050	3.150	1.200	3,70	33,75	20,00	20,00	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	2,59
1,25	3.000	3.600	3.700	1.400	3,73	37,52	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	4,73
200																						
0,80	1.400	2.600	2.650	1.000	3,91	37,10	20,00	18,62	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	1,62
0,95	1.950	2.950	3.050	1.150	3,93	39,19	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	2,77
1,25	2.900	3.500	3.650	1.400	3,97	43,51	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	5,05