

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**GUILHERME TELES KAMENACH**

**TULIO MENESES COELHO**

**ESTUDO DE CASO DA APLICAÇÃO DA LAJE EM *STEEL*  
*DECK* EM INDÚSTIA FARMACÊUTICA EM ANÁPOLIS-GO**

**ANÁPOLIS / GO**

**2020**

**GUILHERME TELES KAMENACH  
TULIO MENESES COELHO**

**ESTUDO DE CASO DA APLICAÇÃO DA LAJE EM *STEEL*  
*DECK* EM INDÚSTIA FARMACÊUTICA EM ANÁPOLIS-GO**

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

**ORIENTADOR: AURÉLIO CAETANO FELICIANO**

**ANÁPOLIS / GO: 2020**

## FICHA CATALOGRÁFICA

KAMENACH, GUILHERME/ COELHO, TULIO

Estudo De Caso Da Aplicação Da Laje *Steel Deck* Em Indústria Farmacêutica Em Anápolis-Go

64P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2020).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Lajes Mistas

2. *Steel Deck*

3. Estudo de Caso

4. *CheckList*

I. ENC/UNI

II. Bacharel

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

KAMENACH, Guilherme; COELHO, Tulio. Estudo De Caso Da Aplicação Da Laje *Steel Deck* Em Indústria Farmacêutica Em Anápolis-Go. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, 64p. 2020.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Guilherme Teles Kamenach

Tulio Meneses Coelho

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo De Caso Da Aplicação Da Laje *Steel Deck* Em Indústria Farmacêutica Em Anápolis-Go

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2020

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.

  
Guilherme Teles Kamenach  
E-mail: guilhermekamenach@gmail.com

  
Tulio Meneses Coelho  
E-mail: tulio\_mcoelho@hotmail.com

**GUILHERME TELES KAMENACH**  
**TULIO MENESES COELHO**

**ESTUDO DE CASO DA APLICAÇÃO DA LAJE EM *STEEL*  
*DECK* EM INDÚSTIA FARMACÊUTICA EM ANÁPOLIS-GO**

**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:**

---

**AURÉLIO CAETANO FELICIANO, Especialista (UniEVANGÉLICA)  
(ORIENTADOR)**

---

**GLEDISTON N. COSTA JÚNIOR, Mestre (UniEVANGÉLICA)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**WELINTON ROSA DA SILVA, Mestre (UniEVANGÉLICA)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: ANÁPOLIS/GO, 03 de Dezembro de 2020.**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me abençoa com saúde para poder ter disposição e determinação para buscar meus objetivos, por ter iluminado meu caminho durante toda essa fase de aprendizagem, sem ele nada disso aconteceria.

Agradeço à minha família, que forjou quem sou hoje e nunca mediu esforços para me ajudarem, meus pais, minha irmã, meus avós, obrigado pelo apoio e amor de todos. Aos meus tios que me acolheram em sua casa como um filho, nessa jornada que começou a cinco anos atrás, ao pessoal da empresa que confiaram e acreditaram em mim, obrigado pelo aprendizado e pela família que é toda essa equipe. A minha namorada Débora, que vive e compartilha cada momento comigo, obrigado pelo incentivo, carinho, atenção e paciência de sempre, você me torna uma pessoa melhor a cada dia.

Agradeço a todos os meus colegas de cursos, que nesses anos compartilhamos o mesmo sonho juntos, com dedicação, companheirismo, cooperação e amizade. Em especial, a minha dupla de trabalho Tulio, além daqueles que se tornaram amigos que levarei para a vida inteira.

Ao nosso orientador Prof. Aurélio, que não mediu esforços para nos auxiliar, por sua disponibilidade de sempre, obrigado pelos conhecimentos compartilhados e pela amizade que criamos. Aos demais docentes da instituição, que passaram pelo meu caminho, obrigado pelos ensinamentos e dedicação que sempre tiveram e empenharam ao longo desses períodos.

A todos um muito obrigado, essa conquista não aconteceria sem cada um de vocês. Um ciclo vai se finalizando, para abrir portas para novas oportunidades.

Guilherme Teles Kamenach

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar a Deus que iluminou o meu caminho durante essa jornada dando saúde e força para superar as dificuldades. A meus pais, Suzelita Meneses e Joao Coelho pelo amor, incentivo, apoio incondicional e financeiro, que serviram de alicerce para minhas realizações.

Agradeço a minha namorada Janaina Maciel, que de forma especial e carinhosa me deu força e coragem, me apoiando nos momentos difíceis com palavras de incentivo.

Externos meus agradecimentos a todos os meus colegas de cursos, pela oportunidade do convívio e pela cooperação ao longo desses anos, em especial ao Guilherme Teles, minha dupla de Tcc, e ao Marcos Judá pela ajuda mútua, juntos conseguimos avançar e ultrapassar todos os obstáculos.

Ao nosso orientador Prof. Aurélio, que dedicou inúmeras horas para sanar as minhas questões, com dedicação e paciência durante o tcc teórico. Seus conhecimentos fizeram grande diferença no resultado final desse trabalho.

Gratidão pela participação de todos professores e equipes da UniEvangélica, cuja dedicação e atenção foram essenciais para minha formação acadêmica e profissional, que contribuíam direto ou indiretamente para conclusão desse projeto.

Tulio Meneses Coelho

## RESUMO

O setor da construção civil é frequentemente avaliado por problemas como, baixa produtividade, grandes desperdícios, atrasos de execução e entregas de obras. Com este cenário e a exigência do mercado atual, que nos últimos anos, apresenta-se obras cada vez mais arrojadas e com prazos desafiadores, favoreceu o investimento em tecnologias mais produtivas e inovadoras, se destacando o uso de estruturas metálicas aliadas com concreto armado. Neste contexto, o uso do *Steel Deck* ou nomeadas Lajes Mistas, ganha-se notoriedade e apresenta como referência para o modelo atual da construção civil, em otimização de prazos. O *Steel Deck* forma-se por telhas que servem de fôrma e armadura positiva da laje, evitando na maior parte dos casos o uso de escoramentos. São aliadas por normas técnicas, em específico a NBR 8800 (ABNT, 2008) em que auxilia nas etapas de seu dimensionamento. Para o estudo de caso da execução desse sistema de laje em um mezanino de estrutura metálica, apresenta-se a elaboração de *checklists* de verificações para dispor todas as etapas que compõe essa metodologia construtiva. Utilizou-se o modelo de telha Isodeck 75, que possui largura útil de 838 mm e espessura de 0,80 mm, além de acessórios típicos que complementam o sistema, como os *stud bolts* 7/8"x6.3/16" que tem função de absorver o fluxo de cisalhamento entre o concreto e o aço, e as telas soldadas que impede fissuras no concreto. Com objetivo de evidenciar as vantagens da utilização desse método e difundir o conhecimento do mesmo, pois ainda se há baixa familiaridade com tal prática, gerando insegurança no momento de sua escolha.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Lajes mistas. *Steel Deck*. Estudo de caso. *Checklist*.

## **ABSTRACT**

The construction sector is often evaluated by problems such as low productivity, large waste, delays in execution and deliveries of works. With this scenario and the demands of the current market, which in recent years has presented increasingly bold works with challenging deadlines, favored investment in more productive and innovative technologies, highlighting the use of steel structures combined with reinforced concrete. In this context, the use of Steel Deck or named Lajes Mixed, gains notoriety and presents itself as a reference for the current model of civil construction, in optimization of deadlines. Steel Deck is formed by tiles that serve as formwork and positive slab reinforcement, avoiding in most cases the use of shoring. They are allied by technical standards, specifically NBR 8800 (ABNT, 2008) in which it helps in the stages of its sizing. For the case study of the execution of this slab system in a mezzanine of metallic structure, it is presented the elaboration of checklists to dispose all the stages that compose this constructive methodology. The Isoleck 75 tile model was used, which has a useful width of 838 mm and a thickness of 0.80 mm, in addition to typical accessories that complement the system, such as stud bolts 7/8 "x6.3/16" that have the function of absorbing the shear flow between concrete and steel, and welded screens that prevent cracks in the concrete. With the objective of highlighting the advantages of using this method and spreading its knowledge, because there is still low familiarity with such practice, generating insecurity at the time of your choice.

### **KEYWORDS:**

Mixed slabs. Steel Deck. Case study. Checklist.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Plataforma patenteada Loucks 1926 .....	19
Figura 2 – Plataforma Hi-Bond .....	20
Figura 3 – Histograma da Evolução da Quantidade de Fabricantes de Telhas de Aço e Steel Deck.....	21
Figura 4 – Quantidade de Empresas Por Produtos Fabricados.....	21
Figura 5 – Face Inferior Pré-Pintada .....	23
Figura 6 – Içamento Com Cintas / Viga Balança .....	27
Figura 7 – Espalhamento do Steel Deck.....	28
Figura 8 – Recortes Para Ajuste na Estrutura.....	29
Figura 9 – Representação das Lajes Mistas .....	30
Figura 10 – Perfil Laminado / Perfil Soldado.....	32
Figura 11 – Seção Transversal das Fôrmas .....	33
Figura 12 – Alguns Modelos de Mossas e Suas Possíveis Variações nas Fôrmas.....	34
Figura 13 – Dimensões do Isodeck 75 .....	35
Figura 14 – Conectores Pino com Cabeça.....	37
Figura 15 – Armadura Antifissuração .....	38
Figura 16 – Posicionamento da Armadura Antifissuração.....	38
Figura 17 – Arremate de Borda Sugerido Pela Perfilor.....	39
Figura 18 – Organograma das Etapas do Dimensionamento .....	41
Figura 19 – Seções Críticas .....	44
Figura 20 – Perspectiva 3D do Mezanino .....	46
Figura 21 – Detalhe da Base do Pilar .....	47
Figura 22 – Estrutura Pronta Para Receber o Steel Deck .....	48
Figura 23 – Projeto de Paginação .....	50
Figura 24 – Espalhamento do <i>Steel Deck</i> .....	51
Figura 25 – Fixação Entre os Painéis com Parafusos Autobrocantes.....	51
Figura 26 – Detalhe do <i>Stud Bolt</i> .....	52
Figura 27 – Laje com <i>Stud Bolts</i> Executados .....	52
Figura 28 – Arremate de Borda Executado .....	53
Figura 29 – Detalhe do Corte 3 .....	53
Figura 30 – Detalhe do Corte 5 .....	54
Figura 31 – Posicionamento das Armações da Laje.....	55

Figura 32 – Concretagem da laje <i>steel deck</i> .....	57
---	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores das Propriedades Mecânicas do Aço .....	32
Tabela 2 – Características do <i>Stud Bolt</i> .....	37
Tabela 3 – Dimensões Indicadas Para Arremate de Borda .....	39

## QUADROS

Quadro 1 – Propriedades do Aço e Suas Características.....	31
Quadro 2 – Checklist da Estrutura Metálica.....	47
Quadro 3 – Checklist do Steel Deck.....	49
Quadro 4 – Lista de Perfis Isoleck 75.....	50
Quadro 5 – Checklist da Armação da Laje.....	54
Quadro 6 – Checklist da Concretagem da Laje .....	56

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AISI	American Iron and Steel Institute
ANSI	American National Standards Institute
ASCE	American Society of Civil Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
DAIA	Distrito Agroindustrial de Anápolis
NBR	Norma Brasileira

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	16
1.2 OBJETIVOS .....	17
<b>1.2.1 Objetivo geral .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>17</b>
1.3 METODOLOGIA .....	17
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	18
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>19</b>
2.1 STEEL DECK – CONTEXTO HISTÓRICO .....	19
<b>2.1.1 Cenário dos fabricantes no Brasil.....</b>	<b>20</b>
2.2 NORMAS TÉCNICAS .....	22
2.3 VANTAGENS .....	22
<b>2.3.1 Uso para diversos tipos de estrutura .....</b>	<b>23</b>
<b>2.3.2 Maior velocidade à obra .....</b>	<b>23</b>
<b>2.3.3 Atuação em situações de incêndio.....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.4 Custo-benefício .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.5 Sustentabilidade.....</b>	<b>24</b>
2.4 DESVANTAGENS.....	24
<b>3 METODOLOGIA CONSTRUTIVA .....</b>	<b>26</b>
3.1 PROJETO.....	26
3.2 TRANSPORTE, DESCARGA E ARMAZENAMENTO .....	26
3.3 ALINHAMENTO .....	28
3.4 FORRAÇÃO DA LAJE.....	28
<b>4 COMPONENTES DO SISTEMA E SUAS CARACTERÍSTICAS.....</b>	<b>30</b>
4.1 ESTRUTURA METÁLICA .....	31
<b>4.1.1 Aços utilizados em estrutura metálica.....</b>	<b>33</b>
4.2 TELHA STEEL DECK.....	33
<b>4.2.1 Isodeck 75.....</b>	<b>35</b>
4.3 CONECTORES DE CISALHAMENTO.....	36
<b>4.3.1 Conectores – pino com cabeça.....</b>	<b>36</b>
4.4 ARMADURA ANTIFISSURAÇÃO .....	37
4.5 ARREMATES .....	39

4.6	CONCRETO .....	40
<b>5</b>	<b>ETAPAS DO DIMENSIONAMENTO DE LAJES MISTAS.....</b>	<b>41</b>
5.1	VERIFICAÇÃO NA FASE DE CONSTRUÇÃO .....	41
<b>5.1.1</b>	<b>Estados-limites últimos .....</b>	<b>42</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Estado-limite de serviço .....</b>	<b>43</b>
5.2	VERIFICAÇÃO NA FASE FINAL .....	43
<b>5.2.1</b>	<b>Estados-limites últimos .....</b>	<b>43</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Estado-limite de serviço .....</b>	<b>44</b>
5.2.2.1	Fissuração do concreto .....	44
5.2.2.2	Flecha excessiva .....	45
<b>6</b>	<b>ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>46</b>
6.1	APRESENTAÇÃO DO EMPREENDIMENTO .....	46
6.2	MONTAGEM DA ESTRUTURA DO MEZANINO .....	47
6.3	INSTALAÇÃO, FIXAÇÃO E ACABAMENTOS DO STEEL DECK .....	49
6.4	ARMAÇÃO E CONCRETAGEM DA LAJE .....	54
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>58</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>59</b>
	<b>APÊNDICE A – CHECKLIST DE VERIFICAÇÃO APLICADO .....</b>	<b>62</b>
	<b>ANEXO A – CORTES ADICIONAIS DO PROJETO DE PAGINAÇÃO.....</b>	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A história da engenharia se confunde com a da própria humanidade, pois ambas se evoluíram lado a lado, alguns marcos dessa caminhada são o controle do fogo, a engenhosidade de dar forma a objetos naturais, fabricação de instrumentos, criação de cidades. Isso mostra a força da profissão e a sua relevância social, tornando a Engenharia Civil uma das principais profissões responsável pelo desenvolvimento e bem-estar da sociedade.

Está diretamente ligada à concepção, supervisão, manutenção e projeção de edificações comerciais, habitacionais, corporativas e de outros fins de infraestruturas. Podendo notar constantemente a evolução dos processos construtivos, com a colaboração do aço no desenvolvimento de inovações tecnológicas, que buscam otimizar prazos, proporcionar soluções técnicas mais eficazes, com ganho de qualidade e produtividade.

Assim fez surgir, os sistemas formados por elementos mistos aço-concreto, cuja combinação destes materiais visa aproveitar as vantagens de cada um para um melhor desempenho da estrutura. Segundo Vasconcellos (2006), no início das construções mistas, o concreto foi utilizado como material de revestimento, protegendo perfis de aço contra a corrosão e o fogo, embora ele pudesse ter seu empenho em termos estruturais, sua contribuição na resistência era desprezada. No momento presente, lajes mistas, colunas e vigas evoluíram-se em suas aplicações, sendo intensamente utilizadas em edifícios de múltiplos pavimentos.

Tanto o concreto quanto o aço possuem propriedades positivas e outras negativas quando empregados estruturalmente. O concreto costuma ter uma estrutura mais rígida e estável, porém com peso próprio elevado, fazendo as fundações da estrutura saírem mais caras. Já as estruturas metálicas, dispensam uso de fôrmas, permitindo uma construção mais ágil e otimizada. Entretanto, sua grande esbelteza favorece problemas, como o de estabilidade e flambagem, além de terem baixa resistência ao fogo e corrosão (RODRIGUES, PEIXOTO, 2016).

Visto que cada um destes materiais possui características distintas, soluções mistas começaram a ser empregadas a fim de aproveitar o melhor oferecido pelo aço e concreto. Através disso, se pode ter uma melhor industrialização nos canteiros de obra, motivada pela participação crescente da utilização de estruturas metálicas, que tem como principal característica a pré-fabricação. Com o propósito de racionalizar ao máximo as etapas de construção, o processo construtivo levando como base esses tipos de materiais, aponta para uma nova realidade no meio da engenharia, com obras mais enxutas, com execuções rápidas, e uma ótica de sustentabilidade.

O *steel deck* encaixa-se nesses fatores, no qual, segundo Gaspar (2020), compõe uma laje mista, onde se utiliza telhas metálicas que garantem uma dupla função. Elas funcionam como fôrma autoportante durante o período de concretagem, e após cura do concreto como armadura positiva pro sistema. Salientado isto, será apresentado estudos desse processo construtivo.

Conforme Cichinelli (2014), a porta de entrada das lajes mistas veio através dos Estados Unidos, no período de 1950, ganhando notoriedade desde então, sendo mais comum em edifícios metálicos de multiandares. No Brasil, durante os anos de 1970, a empresa Robtek foi a pioneira na utilização deste sistema construtivo. Após uma divisão da empresa, criou-se a Perkrom, que uma década depois lançava a fabricação de seu próprio *steel deck*, juntamente com outras empresas que vinham surgindo no mercado, como a Metform, tornando uma concorrência promissora.

O *steel deck* não possuía muito material científico a seu respeito, havia a NBR 8800 (ABNT, 1986), como a primeira norma no Brasil para estruturas mistas, que logo após sua atualização no ano de 2008, passou a conter um anexo específico quando ao dimensionamento e construção do *Steel Deck*. Mas enfim no ano de 2015, uma norma inédita surgiu no Brasil, com objetivo de estabelecer ensaios e requisitos que a telha-fôrma deve seguir, publicada como NBR 16421 (ABNT, 2015).

## 1.1 JUSTIFICATIVA

O atual cenário da Engenharia Civil coloca crescentemente os profissionais em situações de que necessitam desenvolver habilidades e competências para superar os desafios da profissão. Em paralelo, as características dos materiais estruturais avançam em tecnologia e proporcionam condições seguras e econômicas na hora de desenvolver projetos, destacando entre eles o sistema misto.

Conforme Queiroz *et al.* (2012), sistemas de aço-concreto é o trabalho em conjunto do concreto (em geral armado) com algum perfil de aço, seja ele soldado, formado a frio ou laminado, dando assim características à uma viga, laje ou pilar misto.

Lajes mistas são um exemplo que não é recente, entretanto sistemas industrializados como este ainda sofrem com a escassez de estudos, principalmente sobre suas aplicações e montagem. Considerado por muitos técnicos, uma solução estrutural com execução rápida, que necessita de trabalhadores especializados, faz favorecer a racionalidade e economia da obra.

Por essa praticidade de sistema construtivo, seus valores, suas aplicações, tarefas de projetos e execução, justifica um estudo sobre, para discernir as diretrizes básicas e mínimas de projeto e obter uma boa execução.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Apresentar mediante um estudo de caso o processo construtivo de lajes mistas (*steel deck*) juntamente com estruturas metálicas, aplicado num mezanino de um edifício de uma Indústria Farmacêutica, localizada na cidade de Anápolis-GO.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar um levantamento bibliográfico acerca das lajes mistas (*steel deck*);
- Identificar como as lajes mistas são construídas;
- Apresentar as características e propriedades mecânicas dos materiais envolvidos neste sistema construtivo de lajes mistas;
- Descrever as etapas básicas do dimensionamento das lajes mistas;
- Apresentar o relatório de inspeção de execução de uma laje mista.

## 1.3 METODOLOGIA

O presente trabalho consiste numa pesquisa de base exploratória, abordando a metodologia construtiva de lajes mistas com telhas autoportantes (*Steel Deck*). O estudo foi alicerçado em livros técnicos, artigos científicos, teses de mestrado e doutorado, normas técnicas, catálogos e manuais técnicos de empresas especializadas na área, além de consultas com profissionais com experiência da técnica abordada.

Este trabalho é desenvolvido sob a supervisão do orientador acadêmico, baseado nas pesquisas à bibliografia e através do acompanhamento da execução da laje mista do empreendimento analisado no estudo de caso.

O estudo será abordado pela obra de um mezanino em um edifício da Geolab Indústria Farmacêutica, localizada no DAIA (Distrito Agroindustrial de Anápolis), um dos relevantes

polos farmoquímicos do Brasil. A obra é executada pela MetalServi Soluções Metálicas, e será detalhada como exemplo de aplicação do método construtivo. A obra foi acompanhada pelos autores deste trabalho, durante todo o período de execução da estrutura em campo.

Os materiais que fundamentam a metodologia empregada pelo estudo de caso é a apresentação de relatório fotográfico, apresentação de projetos de estruturais e implantação. Por fim, será apresentado um relatório de inspeção de execução (*checklist*) afim de se expor as etapas de execução da mesma e sua compatibilidade com a proposta de projeto.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

No primeiro capítulo, consta a introdução do tema, com justificativa do porquê da escolha deste assunto, objetivo geral e específicos para serem alcançados durante o decorrer do trabalho e a metodologia empregada para entendimento do tema.

No segundo capítulo, será apresentado um breve histórico do surgimento e evolução das lajes mistas, no mundo e no Brasil. As normas técnicas que regulamentam esse sistema, além dos prós e contras de seu uso.

No terceiro capítulo, identifica-se a metodologia construtiva do sistema, desde a origem do projeto, fases de transporte, descarga e armazenamento do material na obra. Até a instalação e forração da laje.

No quarto capítulo, aborda-se os materiais que constituem o sistema, associados juntamente com estruturas metálicas, explora-se os aços utilizados com suas propriedades físicas e mecânicas. O *steel deck* encontrado no mercado atual, com suas características e especificações de fabricantes. Além dos acessórios que compõe o sistema junto do concreto.

No quinto capítulo, trata-se das etapas de verificações necessárias pro dimensionamento, direcionado pelas normas vigentes, em específico a NBR 8800 (ABNT, 2008) pelo seu anexo Q – Lajes mistas de aço e concreto.

No sexto capítulo, será apresentado o estudo de caso da execução de uma laje mista em um edifício de uma indústria farmacêutica localizada na cidade de Anápolis. Com apresentação de projetos das estruturas, além de um relatório de inspeção (*checklist*).

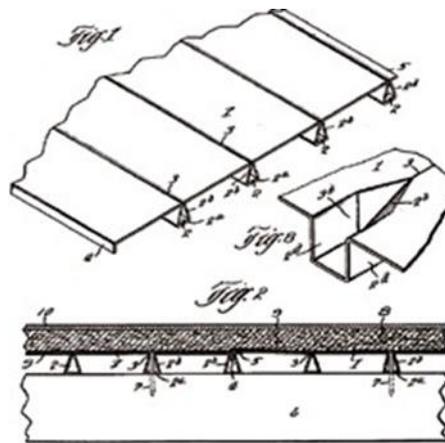
Por fim, no sétimo capítulo são apresentadas as considerações finais do trabalho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 STEEL DECK – CONTEXTO HISTÓRICO

O conceito de *steel deck* foi utilizado primeiramente para apoiar um piso de concreto, por meados de 1920. Loucks e Giller, que descreveram esse sistema em uma patente registrada em 1926. Inicialmente, ele era apenas uma chapa de aço lisa com fios de aço soldados entre elas (Figura 1), sendo responsável por toda resistência estrutural necessária. Já o concreto serviu para prover uma superfície nivelada e resistência ao fogo (SPUTO, 2012).

Figura 1 – Plataforma patenteada Loucks 1926



Fonte: STRUCTURE MAGAZINE, 2012.

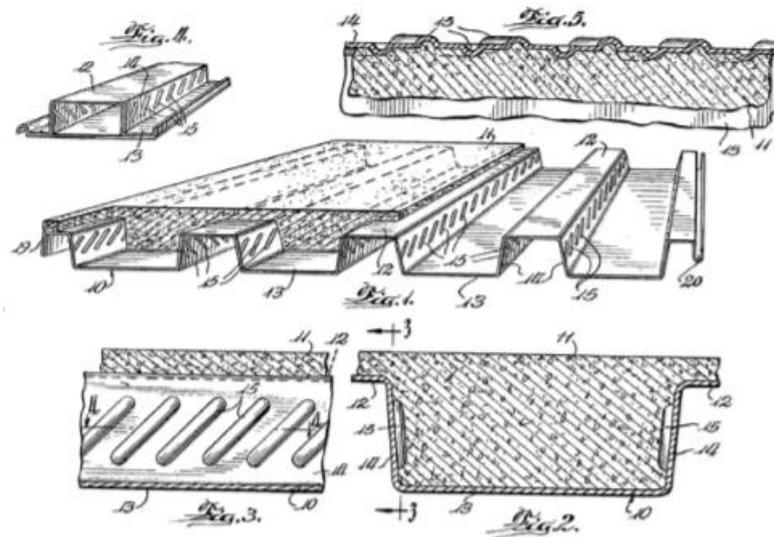
No ano de 1939, que o produto ganhou sua própria associação, através do *Steel Deck Institute*, uma assémbleia em que fabricantes se uniram para desenvolver normas e procedimentos para fabricar e instalar seus produtos. Desde então o *steel deck* vêm sendo parte da engenharia. Por volta dos anos de 1950, fabricantes criaram o agora chamado de *deck* composto, onde a plataforma de aço juntamente com o concreto derramado sobre ela, forma-se uma única unidade estrutural, criando um vínculo ainda mais forte entre aço e concreto (ROSS, 2002).

A *Inland-Ryerson Company* em 1961, elaborou uma chapa metálica de geometria trapezoidal com ranhuras nas laterais para obter uma transferência de cisalhamento horizontal entre o concreto e aço. Denominado Hi-Bond, esse perfil foi o precursor para os perfis que existem no mercado atual (Figura 2).

Ao decorrer dos anos de 1960, começaram a aparecer várias empresas que regularizavam seus protótipos de *steel deck* e tinham suas próprias análises sobre o sistema.

Logo, os testes de validação feitos pelas empresas passaram a ser insatisfatórios. Por isso, houve a urgência da criação de um design padrão, foi no ano de 1967, que a *American Iron and Steel Institute* (AISI – Instituto Americano de Ferro e Aço) juntou uma turma de pesquisadores para criar parâmetros de projeto para esses protótipos. Essas tentativas de pesquisa proveram a *American Society of Civil Engineers* (ASCE - Sociedade Americana de Engenheiros Civis), que desenvolveram a *ASCE 3-84 Specifications for the Design and Construction of Composite Slabs* (Especificações para o Projeto e Construção de Lajes Mistas) (SPUTO, 2012).

**Figura 2 – Plataforma Hi-Bond**



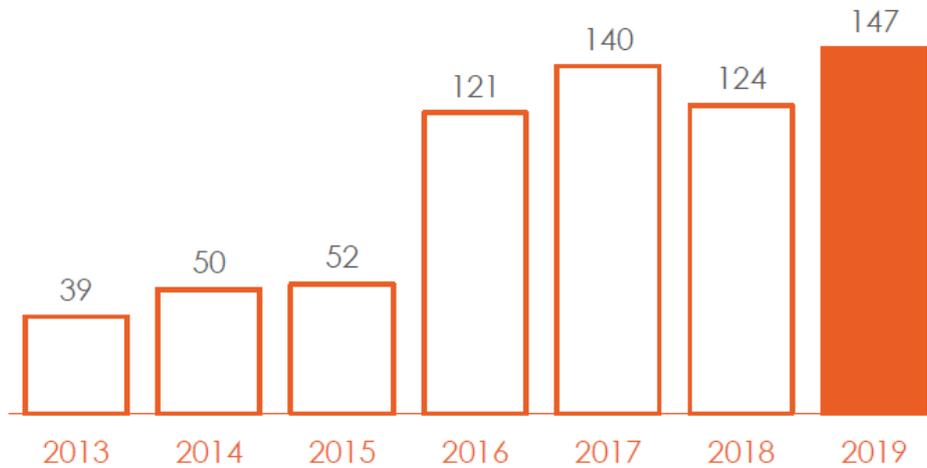
Fonte: STRUCTURE MAGAZINE, 2012.

No Brasil esse sistema foi utilizado no começo dos anos 70, pela empresa Robteck, que uma década depois diante de uma divisão chamada Perkrom apresentou seu próprio *steel deck*, na mesma época que a Metform também lançava sua própria laje colaborante, tornando o mercado no Brasil promissor (CICHINELLI, 2014).

### 2.1.1 Cenário dos fabricantes no Brasil

Atualmente, desde 2013 a CBCA (Centro Brasileiro da Construção em Aço) vem desenvolvendo pesquisas com fabricantes de telhas de aço (fechamentos e coberturas) e *steel deck*, a fim de traçar um panorama da evolução deste mercado. A edição de 2019 traz resultados apresentados pela Figura 3.

**Figura 3 – Histograma da Evolução da Quantidade de Fabricantes de Telhas de Aço e Steel Deck**



Fonte: CBCA PUBLICAÇÕES, 2019.

Na pesquisa de 2019 foi contatadas 147 empresas, havendo um aumento perante os anos anteriores. Destas, apenas 102 tiveram participação na pesquisa, as outras não participaram por não serem fabricantes, mudarem de área de atuação ou por não desejar responder a pesquisa. Conforme Figura 4, pode-se ver as atividades dessas empresas.

**Figura 4 – Quantidade de Empresas Por Produtos Fabricados**



Fonte: CBCA PUBLICAÇÕES, 2019.

Nota-se que ainda não possui um mercado amplo de fabricantes de steel deck, das 102 que participaram, apenas 15 empresas fabricam telhas autoportantes e delas, somente três que além de fabricarem, também faz montagem desse sistema construtivo. Fazendo assim, o cenário de estudo deste trabalho ainda mais importante.

## 2.2 NORMAS TÉCNICAS

As estruturas mistas foram normatizadas no Brasil em sua primeira vez pela NBR 8800 (ABNT, 1986), norma referente para dimensionar estruturas de aço, incluindo também o dimensionamento de vigas mistas. Já o *steel deck* não possuía muito material científico a seu respeito, mas na atualização dessa mesma norma, no ano de 2008, passou a conter um anexo específico, Anexo Q – Lajes mistas de aço e concreto, que explica de forma geral o dimensionamento destas lajes.

Para verificar as propriedades da telha, também se direciona à NBR 14762 (ABNT, 2010), que diz respeito a dimensionar estruturas produzidas por perfis de aço formados a frio. Além de seguir algumas determinações da NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto (ABNT, 2014), por ter concreto armado envolvido na estrutura.

Existem outras normas que auxiliam os projetistas, como a NBR 14323 (ABNT, 2013) de situações de incêndio nas estruturas. As estrangeiras, como a estadunidense ANSI/ASCE 3 (1994) - *Standard for the structural design of composite slabs* (Critérios para o projeto estrutural de lajes mistas), e a europeia Eurocode 4 (2004) - *Design of composite steel and steel structures* (Projeto de lajes mistas e estruturas metálicas).

Além da norma que foi publicada no dia 27 de outubro de 2015 com o propósito de estabelecer ensaios e requisitos de segurança e qualidade, a NBR 16421: Telha-fôrma de aço colaborante para laje mista de aço e concreto (ABNT, 2015), garantindo assim uma padronização durante a fabricação destas mercadorias.

O texto desta NBR foi elaborado pelo Comitê Brasileiro de Siderurgia (ABNT/CB-028), com a participação de fabricantes, consumidores representantes da academia e entidades do setor. Para que nos casos que o produto apresente defeitos e houver contestação por parte do consumidor, os requisitos prescritos pelas normas ABNT, reconhecidas nacionalmente, servirão de base para atestar a qualidade (REVISTA FINESTRA, 2016).

## 2.3 VANTAGENS

Esse sistema construtivo apresenta várias vantagens para uma obra, tanto em etapas de projeto quanto na execução e utilização. Segundo a Regional Telhas (2020), os principais tópicos serão apresentados a seguir.

### 2.3.1 Uso para diversos tipos de estrutura

O modelo de laje em *steel deck* pode ser usado em inúmeras construções, como obras industriais, residenciais e comerciais. Visto que possui grande qualidade, resistência e suporta determinados vãos sem o auxílio de escoras. Além de sua fácil execução, grande agilidade, durabilidade e resistência, indica-se seu uso para empreendimentos com espaços reduzidos, mezaninos ou em edifícios com muitos andares, pois possibilita a execução dos pavimentos simultaneamente.

O *steel deck* pode receber pintura eletrostática em sua face inferior também, para atuar como forro acabado da área (Figura 5). Isto motiva uma estrutura ainda mais eficaz podendo ser empregada em empreendimentos como shoppings, centros de convenção, hotéis, conjuntos habitacionais, escolas, hospitais, garagens e prédios residenciais.

**Figura 5 – Face Inferior Pré-Pintada**



Fonte: REVISTA TÉCHNE, 2014.

### 2.3.2 Maior velocidade à obra

O processo executivo da laje *steel deck* elimina etapas de escoramento ou as reduz drasticamente, permitindo a realização de outras atividades no mesmo lugar que a laje foi instalada. Consequentemente ganhando tempo que seria empregado na colocação e retirada destes escoramentos, sobretudo quando se trata de uma obra com dimensões elevadas ou de muitos andares.

Somando com a situação que a geometria da fôrma metálica permite que a passagem dos dutos e instalações sejam mais rápidas e simples. Outro fator que garante mais velocidade à obra, é a execução da laje não ser afetada por condições climáticas.

### **2.3.3 Atuação em situações de incêndio**

Apresenta maior resistência a incêndios, por possuir camada de concreto entre as telhas de aço galvanizado. Garantindo isolamento térmico e uma resistência mínima ao fogo de 30 minutos, que quando adicionadas armaduras positivas nas telhas nervuradas, pode se prolongar para até 120 minutos.

### **2.3.4 Custo-benefício**

Além dos itens citados acima, quanto à maior rapidez, grande qualidade, resistência, durabilidade do sistema, e a eliminação ou redução considerável do uso de escoras, reduz bastante custos com montagem, desmontagem, mão de obra e aluguel. Sendo ainda mais significativa, quando o montante destinado a essas etapas seja considerável.

O *steel deck* inclusive, se torna uma plataforma de proteção e serviço para os operários presentes em andares abaixo. Pelo motivo da montagem de instalações hidráulicas, elétricas, de forro serem facilitadas, o processo executivo torna-se rápido, demandando menor quantidade de mão de obra e proporcionando um retorno financeiro mais ágil.

### **2.3.5 Sustentabilidade**

O processo construtivo dessas lajes reduz a geração de resíduos e sobra de materiais, garantindo uma obra limpa e eficaz. Isso acontece, pois as telhas são entregues com as medidas exatas conforme projeto, para não ocorrer desperdícios, ou se ocorrer, que sejam mínimos. Somado a isso, a forma que se utiliza para fabricar essas telhas não é descartada.

Permite também a redução da seção de concreto, pelo uso da fôrma metálica. Contribuindo para o meio ambiente, pois as fábricas de cimento acabam poluindo o ambiente e causando impactos ambientais. Tornando uma obra mais sustentável.

## **2.4 DESVANTAGENS**

Enquanto as desvantagens, esse modelo de laje têm que evitar em ambientes corrosivos. Em casos onde a carga de utilização for superior a 3 tf/m<sup>2</sup> deve ser empregada com cuidado e com a devida armação de reforço. Lajes com muitas aberturas deve-se prever elementos de reforço estrutural (CICHINELLI, 2014).

Considerada por muitos a principal desvantagem para utilização dessa metodologia construtiva, é o alto custo inicial e pela mão de obra ser qualificada, empregada com menor intensidade que no concreto armado. Mas de certa forma pode se tornar algo positivo para ser trabalhado, porém mais oneroso e sujeito a disponibilidade (GASPAR, 2020).

Pois, com uma equipe menor possibilita a redução de encargos trabalhistas e menores riscos de processos relacionados a isto, e indiretamente, pode acarretar na redução das equipes que ficam para supervisionar o trabalho da mão de obra direta. Além de que, junto a mão de obra qualificada e pelo tipo de sistema construtivo, possibilita a compensação de tempo de entrega da obra, além de refletir no custo inicial que antes considerado elevado, possa se tornar mais econômico no final, cabendo analisar esses aspectos na hora de escolher utilizar esse sistema (GASPAR, 2020).

Segundo Bianca Barros, especialista em *steel deck* pela Perfilor, na utilização dessas lajes em ambientes marítimos exigira maiores cuidados, pois a laje ficará exposta sem forro. “O sistema também deixa de ser competitivo quando o vão a ser vencido supera os limites tabelados pelo fabricante para seu uso sem escoramento”, acrescenta o engenheiro Humberto Napoli Bellei, coordenador da comissão que elaborou a norma NBR 16421 (ABNT, 2015) (REVISTA AECweb, 2020).

### 3 METODOLOGIA CONSTRUTIVA

#### 3.1 PROJETO

Na Construção Civil, define-se projeto como uma atividade ou serviço integrante do processo de construção, responsável pelo desenvolvimento, organização, registro e transmissão das características tecnológicas e físicas descritas para uma obra, que será consideradas na fase de execução (MELHADO, 1994).

Portanto, a obra já deve ser projetada e planejada para este sistema construtivo. Assim, será garantido o máximo aproveitamento das características e vantagens dos elementos utilizados na construção, no caso do *steel deck*, adotando-se uma modulação de vãos adequadas ao uso. Segundo Cichinelli (2014), embora o *steel deck* não tenha limitação de uso, ele é frequentemente associado a obras executadas em estrutura metálica, sistema que proporciona boa interface e permite reduzir prazos de execução.

Conforme Silva (2010) aponta, alguns fatores para obtenção de lajes racionalizadas que se aplicam no projeto e execução de lajes mistas:

- Paginação das chapas de *steel deck*, com o sentido de montagem;
- Detalhamento da fixação das chapas e dos arremates na estrutura;
- Detalhamento dos arremates perimetrais ou complementares envolvidos;
- Detalhamento dos pontos de interferência ou aberturas;
- Indicação dos pontos de escoramento caso necessite;
- Detalhamento da distribuição e sentido da aplicação das malhas antifissuração, incluindo sua sobreposição e espaçadores;
- Definição prévia do caminhamento da concretagem, com vista a proporcionar a textura final especificada para a laje.

#### 3.2 TRANSPORTE, DESCARGA E ARMAZENAMENTO

Para o *Steel Deck* apresentar um perfeito desempenho, durante a instalação é preciso tomar algumas precauções nas fases de transporte, descarga e armazenamento dos materiais na obra. Segundo Metform (2006), em geral eles são enviados em fardos, com os materiais firmemente cintados, evitando amassar as peças por eventuais vibrações durante o transporte.

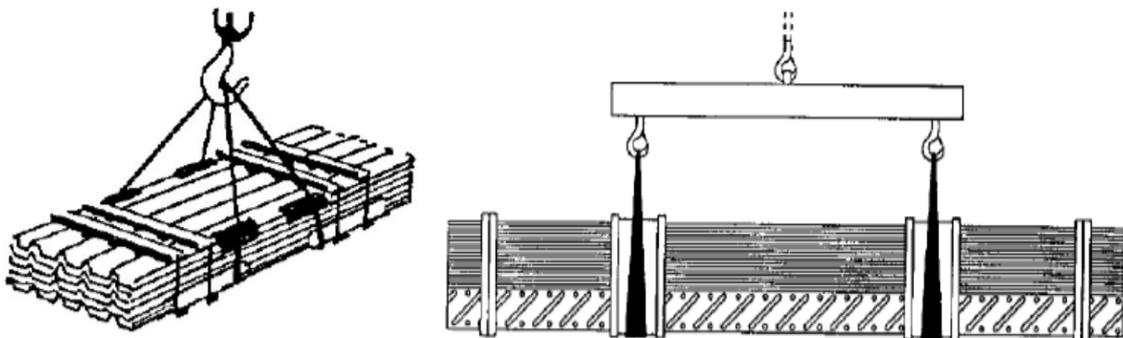
Para painéis entre 8,00 a 12,00 metros de comprimento são utilizados carretas, já em painéis com comprimento de até 8,00 metros são transportados por caminhões.

Quanto a chegada dos materiais na obra, é preciso ver algumas verificações antes da permissão de recebimento dos mesmos. O encarregado para isto deverá chegar as etiquetas de identificação dos fardos, conferir o número de peças e a espessura do *steel deck*, além de fazer uma inspeção visual para certificar se não foi causado nenhum dano nos painéis durante o transporte.

Geralmente a descarga dos fardos, são feitas por grua ou guindaste, tomando as precauções necessárias conforme cita a Metform (2006):

- No içamento para que os painéis não sejam amaçados ou as cintas rasgadas, recomenda utilizar uma proteção de borracha ou madeira, de forma que as cintas não fiquem diretamente em contato com o *Steel Deck*;
- Fardos com painéis acima de 3,00 metros de comprimento devem ser içados por uma viga balanço, na qual deverão ser presas nas cintas. Encontrar o ponto de equilíbrio e iniciar a movimentação;
- Fardos mais curtos podem ser erguidos com pelo menos duas cintas.

**Figura 6 – içamento Com Cintas / Viga Balança**



Fonte: METFORM S/A, 2006.

Na escassez de grua ou guindaste na obra, a descarga pode ser feita manualmente com a retirada e o içamento individual das peças.

Após o içamento dos fardos, o *Steel Deck* deverá ser posicionado sobre as vigas de aço da estrutura ou em pilhas de armazenamento provisório, porventura da estrutura não ter condições de receber os painéis no momento.

No armazenamento temporário deve tomar as devidas precauções, evitando a ocorrência de “ferrugem brancas” no material galvanizado. Portanto, em local seco, coberto,

arejado e protegido de umidade. Com pilhas posicionadas sobre cama de madeiras ou aço e o material coberto com lona impermeável.

### 3.3 ALINHAMENTO

Conforme Carvalho (2015), antes do início da montagem das telhas-fôrmas, o nivelamento do topo das vigas deve ser verificado, para que as peças tenham o perfeito contato entre si. Isso significa, que quaisquer sinais de respingo de solda, óleo ou pintura, ferrugem, eventuais rebarbas e umidade dos locais próximos das regiões de soldagem, devem ser retirados.

Após a conferência de que as vigas da estrutura estejam atendendo as condições de nivelamento e de limpeza, os fardos de *Steel Deck* poderão ser içados, para início dos serviços de montagem.

### 3.4 FORRAÇÃO DA LAJE

A forração da laje é feita com os painéis sendo retirados dos fardos de forma individual e manualmente, pelo chamado transporte horizontal (Figura 7). Conforme Cichinelli (2014) diz, as peças de *steel deck* são manuseadas por dois ou três operários, por usualmente possuir comprimento médio de 7,50 metros e peso de 58 kg. Em casos da necessidade de apoio no meio da fôrma durante o manuseio, podem ser necessários até seis pessoas.

O espalhamento dos painéis sobre o vigaamento deve ser feito conforme projeto de paginação fornecido, seguindo as cotas e medidas indicadas para o posicionamento correto de cada painel. É preciso estar atento para as peças não serem montadas invertidas “de cabeça para baixo”.

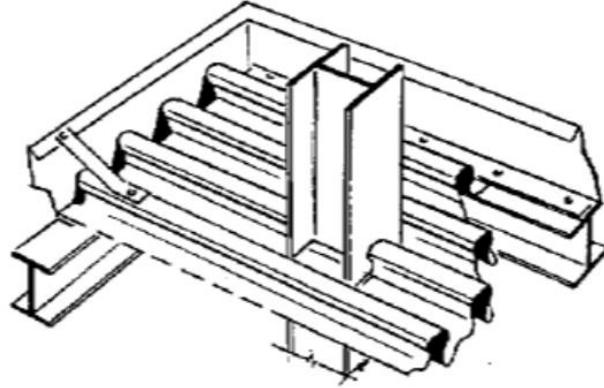
**Figura 7 – Espalhamento do Steel Deck**



Fonte: METFORM S/A, 2006.

Nos cantos ou contorno dos pilares, podem ser necessários recortes nas extremidades dos painéis, para o ajuste final da geometria da estrutura da edificação (Figura 8). Podendo ser feitos por máquinas com discos para corte de metal, caso necessários (METFORM, 2006).

**Figura 8 – Recortes Para Ajuste na Estrutura**



Fonte: METFORM, 2006.

A união entre as telhas-fôrma se dá por meio dos encaixes tipo “macho e fêmea”, existentes no próprio *Deck*. Após o ajuste e alinhamento, os painéis deverão ser fixados na estrutura, para isso faz-se uma fixação preliminar com parafusos autobrocantes ou rebites, com o objetivo de que os painéis não saiam da posição correta até que a fixação definitiva seja concluída, evitando assim, desalinhamento e possíveis acidentes pela perda de apoio dos painéis, devido à movimentação das peças ou pelo vento.

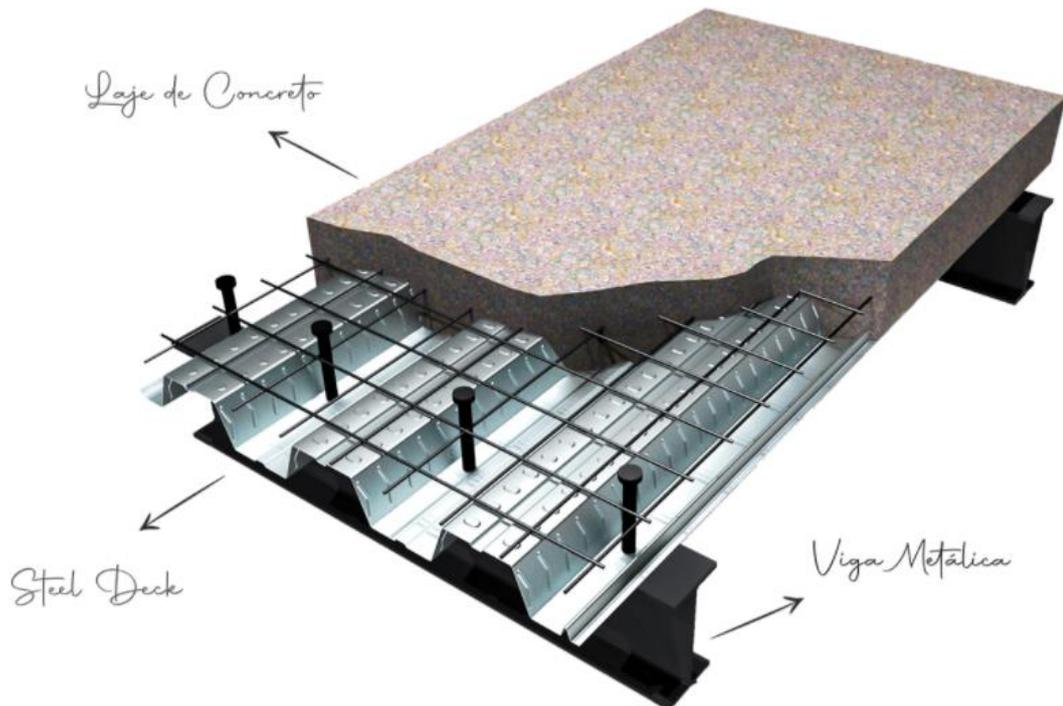
#### 4 COMPONENTES DO SISTEMA E SUAS CARACTERÍSTICAS

Basicamente, o sistema é constituído de telhas de aço autoportante com armadura adicional por tela soldada antifissuração preenchidas de concreto (Figura 9). O principal objetivo deste sistema é que os materiais possam trabalhar em união, para aproveitar as melhores características de cada um (CICHINELLI, 2014).

Ainda sobre essas lajes, na fase final o concreto e a fôrma atuam estruturalmente juntos, de modo onde a fôrma funcione como parte ou toda armadura positiva da laje. Enquanto na fase de construção, antes do concreto atingir os 75% da resistência à compressão definida pelo projeto, a telha aguenta sozinha a sobrecarga durante a etapa construtiva e as ações permanentes. NBR 8800 (ABNT, 2008).

Um sistema frequentemente associado a obras executadas em estruturas metálicas, porque ambos utilizam do aço para ganho de produtividade e redução do tempo de serviço, sendo uma boa interface para os parâmetros de obra dos dias atuais, execuções e entregas rápidas (BONAFÉ, 2014).

**Figura 9 – Representação das Lajes Mistas**



Fonte: ISOESTE METÁLICA, 2020.

#### 4.1 ESTRUTURA METÁLICA

Tem-se observado um aumento na aplicação de sistemas construtivos industrializados, dentre eles, estruturas de aço pois seu uso garante várias vantagens, como resistência, capacidade de suportar maiores vãos, estruturas menos robustas o que leva a uma maior área útil de aproveitamento (BONAFÉ, 2014).

A precisão nas estruturas de aço é maior que as de construções convencionais, pois as convencionais utilizam medidas em centímetros diferentemente das de aço, que são em milímetros. Outro aspecto positivo, é que as peças são pré-fabricadas, possibilitando uma melhor organização no canteiro de obra (CBCA, 2020).

Há uma grande variedade de aço, sendo diferentes em tamanho e uniformidade das partículas que os compõe, além de suas composições químicas, que é o fator que mais altera suas propriedades mecânicas (CBCA, 2020).

Conforme Imianowsky (2013), esses diversos tipos de aço detêm boas propriedades mecânicas conforme Quadro 1:

**Quadro 1 – Propriedades do Aço e Suas Características**

<b>Propriedade</b>	<b>Características</b>
Ductibilidade	Aptidão do material de se deformar plasticamente sem se romper. Essa característica para estruturas metálicas é fundamental, pois permite a redistribuição de tensões locais elevadas, possibilitando um aviso prévio de tais tensões, pelas deformações das peças antes de se romper.
Tenacidade	Aptidão do material de absorver energia quando submetido à carga de impacto. Senda a energia total, elástica e plástica, que o material absorve por unidade de volume até sua ruptura.
Elasticidade	Aptidão do material de voltar a sua forma original depois de sofrer vários carregamentos e descarregamentos.
Plasticidade	É uma deformação definitiva causada pelo efeito de tensões superiores ou igual ao limite de escoamento do aço. Um jeito de limitar essa deformação é impedindo que essas tensões cheguem nas seções transversais das barras.

Fonte: IMIANOWSKY - Adaptado, 2013.

Para modo de cálculo a NBR 8800 (ABNT, 2008), define valores das propriedades mecânicas para o aço (Tabela 1):

**Tabela 1 – Valores das Propriedades Mecânicas do Aço**

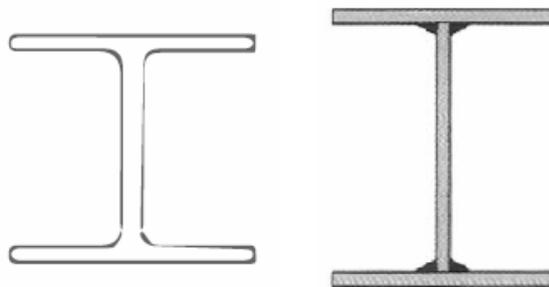
SIMBOLOGIA	CONSTANTE FÍSICA	VALORES
$E_a$	Módulo de Elasticidade	200 000 MPa
$\nu_a$	Coefficiente de Poisson	0,3
$G$	Módulo de Elasticidade Transversal	77 000 MPa
$\beta_a$	Coefficiente de Dilatação Térmica	$1,2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
$\rho_a$	Massa Específica	7 850 kg/m <sup>3</sup>

Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

Usinas fazem a produção de aço estrutural sobre várias formas: chapas, barras, perfis, fios trefilados, cordoalhas e cabos (PFEIL, 2009). Desses, os perfis metálicos são os de mais relevância para as estruturas metálicas, dos quais se apresentam em três tipos:

- Perfis Laminados: são produzidos através de laminadores, que em passes sucessivos, dão ao aço preaquecido a seção almejada.
- Perfis Soldados: podem ser obtidos por solda elétrica ou por caldeamento (eletrofusão), utilizando o efeito joule quando passa uma corrente entre os pontos que se vai querer soldar.
- Perfis Dobrados: fabricados em perfiladeiras contínuas ou em dobradeiras, confeccionados com ou sem reforço de borda.

**Figura 10 – Perfil Laminado / Perfil Soldado**



Fonte: PFEIL, 2019.

#### 4.1.1 Aços utilizados em estrutura metálica

Conhecidos por suportar grandes carregamentos, dentre os aços estruturais existentes na atualidade, o mais utilizado e conhecido é o ASTM-36, classificado como um aço carbono de média resistência mecânica. Contudo, a tendência dos dias de hoje com estruturas cada vez maiores, tem levado à utilização de aços com alta resistência e baixa liga, como o ASTM A-572 e o ASTM A-588, sendo usados para chapas e perfis (CBCA, 2014).

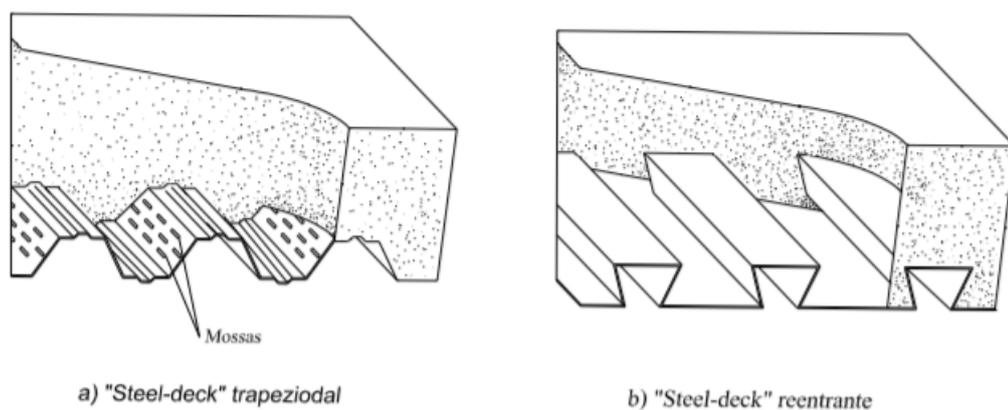
A base de dimensionamento das estruturas, leva-se em consideração vários fatores desde a estabilidade, durabilidade, conforto e segurança. Com uma margem de segurança para evitar estados limites últimos, perda de estabilidade, ruptura, flambagem e deterioração por fadiga (PFEIL, 2009).

#### 4.2 TELHA STEEL DECK

A telha autoportante, é obtida por meio da conformação da bobina de aço ou chapa, é o mesmo que uma compressão do metal sólido em moldes, sendo aquecidos ou não, para auxílio da produção. NBR 16421 (ABNT, 2015).

Podendo apresentar seção transversal trapezoidal (mais usual) ou reentrantes conforme Figura 11:

**Figura 11 – Seção Transversal das Fôrmas**



Fonte: FABRIZZI, 2007.

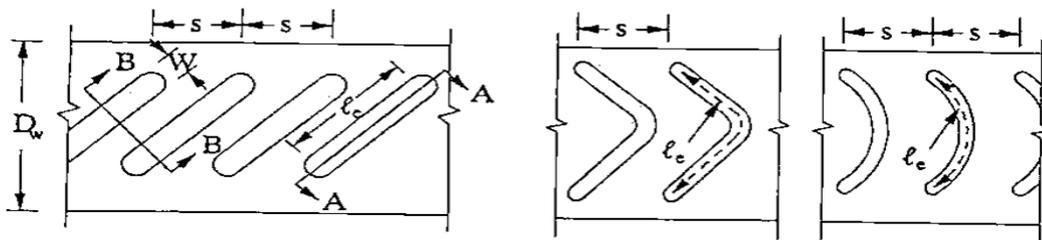
A aderência do concreto junto à telha é garantida pelas mossas das fôrmas trapezoidais, por ligação mecânica. Em fôrmas de aço reentrantes é pelo atrito devido o confinamento do concreto nelas NBR 8800 (ABNT, 2008).

A proteção superficial dessas chapas é garantida por camada de zinco puro ou liga de zinco produzida por processo contínuo de imersão a quente. Conhecidas como chapas galvanizadas, que proporcionam grande aumento na resistência à corrosão atmosférica.

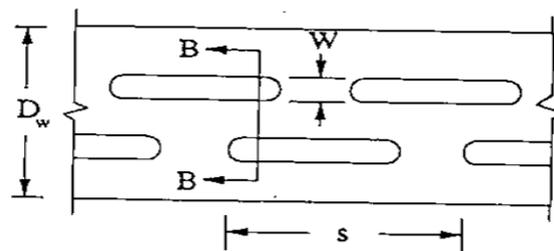
Conforme Baião Filho (2003), apresenta algumas características das fôrmas trapezoidais:

- Geralmente localizadas nas laterais, as mossas costumam variar de um modelo para o outro em fôrma, posicionamento, espaçamento, sequência ao longo da alma, profundidade e tamanho, como mostra a Figura 12;
- O ângulo de inclinação entre a mesa inferior e a alma, na maior parte das fôrmas presentes no mercado, varia entre  $55^\circ$  à  $90^\circ$ .

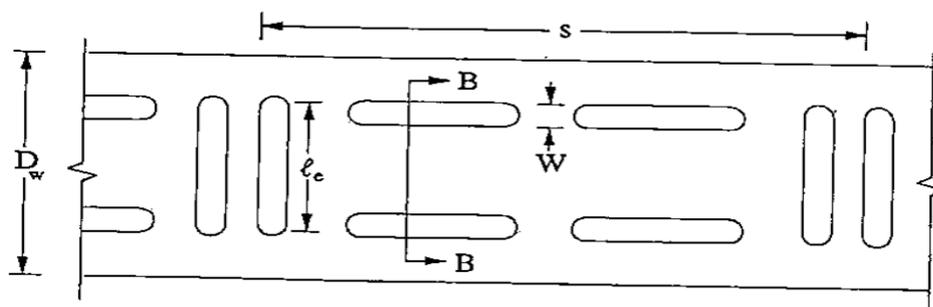
Figura 12 – Alguns Modelos de Mossas e Suas Possíveis Variações nas Fôrmas



A. Type I Embossments with length measured along centerline



B. Type II Embossments



C. Type III Embossments

Fonte: ASCE, 1922.

O *steel deck* apresenta-se no comércio brasileiro em chapa com espessuras de 1,25 mm, 0,95 mm ou 0,80 mm. Seus comprimentos varia de projeto pra projeto, podendo chegar até 12 metros, máximo permitido para transporte (CICHINELLI, 2014).

Atualmente, no Brasil possui apenas fabricantes de fôrmas trapezoidais com altura nominal das nervuras, variando entre 50 mm e 75 mm (FAKURY *et al.*, 2016). São disponibilizadas por eles, tabelas da capacidade de carga destas fôrmas relacionadas ao vão máximo admissível para um determinado carregamento. Entre esses fabricantes, um dos mais presentes no mercado é a Metform, cujas fôrmas começaram a ser produzidas em meados de 1990 (METFORM S/A, 2006).

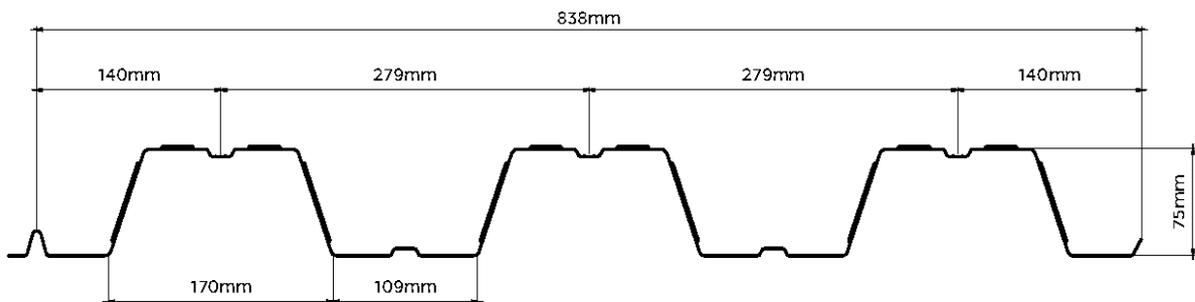
Atualmente, a Isoeste Metálica idealizou um modelo com desenho moderno, chamado Isoleck 75 que se sobressai por trazer uma das maiores larguras úteis do mercado. Com essa largura útil otimizada, traz-se dois grandes benefícios, economia de aço por m<sup>2</sup> de laje e reduz o volume necessário de concreto.

#### 4.2.1 Isoleck 75

Segundo o Catálogo Isoeste Metálica (2020), o Isoleck 75 é fabricado no aço estrutural galvanizado ZAR280, possuindo tensão de escoamento  $f_y = 280$  MPa. O revestimento padrão é o Z275, possuindo 275 g/m<sup>2</sup> de zinco em ambas as faces. Com formato trapezoidal, de altura nominal de 75 mm das nervuras e largura útil de 838 mm (Figura 13).

Podendo ser utilizado nas mais diversas solicitações de carregamentos de piso, tais como: edifícios garagem, habitacionais, escritórios, hospitais, universidades, igrejas, mezaninos, lajes de multi-andares em geral, bem como lajes de cobertura.

Figura 13 – Dimensões do Isoleck 75



Fonte: ISOESTE METÁLICA, 2020.

Além disso tudo, esse modelo possui uma ampla borda de trespasse, facilitando a aplicação do parafuso de costura durante a fixação preliminar destes painéis.

### 4.3 CONECTORES DE CISALHAMENTO

Estruturas mistas tem seu comportamento baseado na atuação conjunta entre concreto e perfis de aço. A fim de que isso aconteça, é preciso que desenvolvam-se forças de cisalhamento longitudinais na interface aço-concreto. Tornando-se necessário utilizar conectores de cisalhamento, como disposto na NBR 8800 (QUEIROZ *et al.*, 2012).

Segundo Pfeil (2009), o conector absorve os esforços cisalhantes horizontais que se desenvolvem na direção longitudinal pela interface da laje com a mesa superior da seção de aço, também impede a separação física destes componentes.

Dentre os vários tipos de conectores à disposição pelo mercado, existem dois que se destacam, o tipo U laminado ou formado a frio, e o mais utilizado na prática, o tipo pino com cabeça (*stud bolt*), que é uma espécie de parafuso metálico fixado na viga (Figura 14). Ambos devem ficar recobertos por um revestimento mínimo de 10 mm, ficando completamente embutidos na laje.

#### 4.3.1 Conectores – pino com cabeça

Também nomeado de *stud bolt*, foi projetado para atuar como um eletrodo de solda por arco elétrico e ao mesmo tempo, após soldagem, como conector de cisalhamento. Os fabricantes disponibilizam conectores com diâmetros entre 16 mm à 22 mm, mas apenas o diâmetro de 19 mm é utilizado em edificações (QUEIROZ *et al.*, 2012).

A NBR 8800 prevê apenas os conectores dúcteis, aqueles em que seu comprimento seja superior a quatro vezes o seu diâmetro, conseqüentemente superior ou equivalente a 76 mm. Pois, segundo Fabrizzi (2007), conectores dúcteis ao atingir resistência máxima, ocorre deformação e transferência do esforço para o conector próximo, do mais solicitado que são os perto do apoio, ao menos solicitado que se localiza no meio do vão. Assim, pode-se projetar conectores que possuem espaçamento constante ao longo de todo vão.

O ASTM A-108 grau 1020, é o aço usado para fabricar esses pinos, com especificações de produzi-lo com limite de escoamento não abaixo de 345 MPa e resistência de tração mínima de 415 MPa (QUEIROZ *et al.*, 2012).

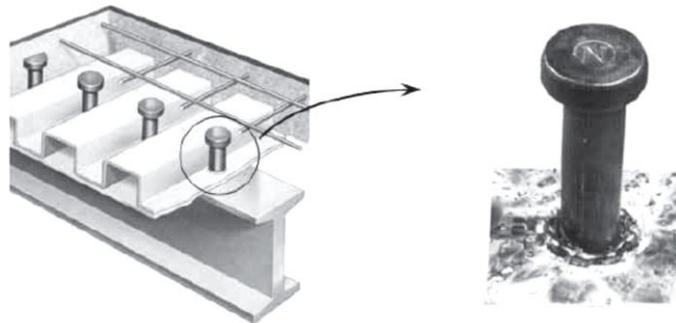
Conforme o catálogo da Isoeste Metálica (2020), apresenta uma tabela das características dos *stud bolt* (Tabela 2):

**Tabela 2 – Características do *Stud Bolt***

BITOLA Ød	COMPRIMENTO TOTAL (L)	CABEÇA	
		DIÂMETRO	ALTURA (h)
3/4" (19)	3.1/8" (80)	32 Nominal	9,5 Mínima
	4.1/8" (105)		
	4.3/4" (120)		
	5.3/8" (135)		
	5.3/8" (135)		
3/4" (19)	3.11/16" (93)	35 Nominal	9,5 Mínima
	4.3/16" (106)		
	5.3/16" (132)		
	6.3/16" (157)		
	7.3/16" (182)		

Fonte: ISOESTE METÁLICA - Adaptado, 2020.

**Figura 14 – Conectores Pino com Cabeça**



Fonte: QUEIROZ *et al.*, 2012.

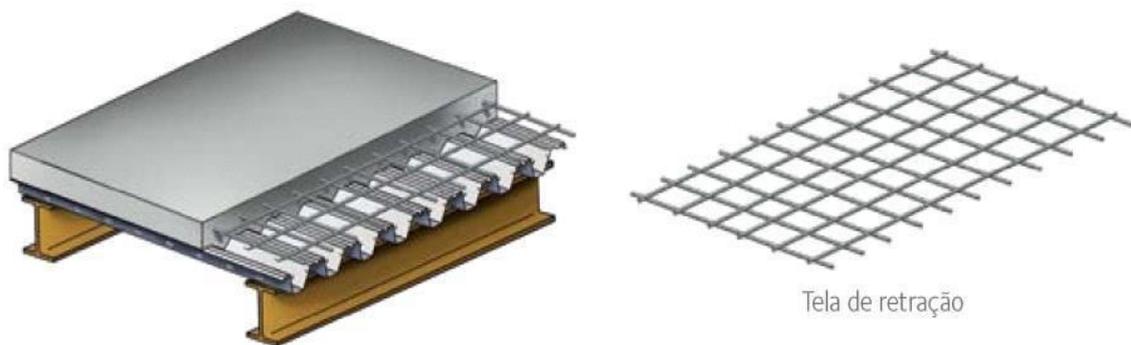
#### 4.4 ARMADURA ANTIFISSURAÇÃO

Essa armadura tem funcionalidade de impedir fissuras provocadas pela retração e variação térmica do concreto, recomenda-se posiciona-las 20 mm debaixo do topo da laje, conforme Figura 16. São constituídas em grande parte por telas soldadas, em aço com limite de escoamento  $f_y = 600$  MPa ou 500 MPa (MANUAL TÉCNICO METFORM, 2006).

Segundo especificações da NBR 14323 (ABNT, 2013), a armadura antifissuração deverá possuir área de seção, em ambas as direções, 0,10% superior que a área de capeamento do concreto sobre a telha.

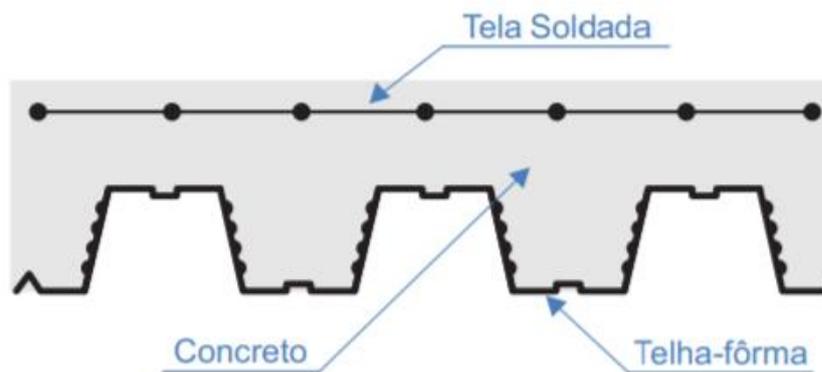
Sendo importante salientar que essas armaduras também são úteis para outras situações, como na verificação de balanços, aumentar a capacidade de carga das lajes, cargas concentradas, sem contar que podem suportar todo o carregamento de serviço para eventuais situações de incêndios, desde que esteja nos critérios da NBR 14323 (ABNT, 2013).

**Figura 15 – Armadura Antifissuração**



Fonte: PERFILOR, 2015.

**Figura 16 – Posicionamento da Armadura Antifissuração**



Fonte: CATÁLOGO METFORM, 2019.

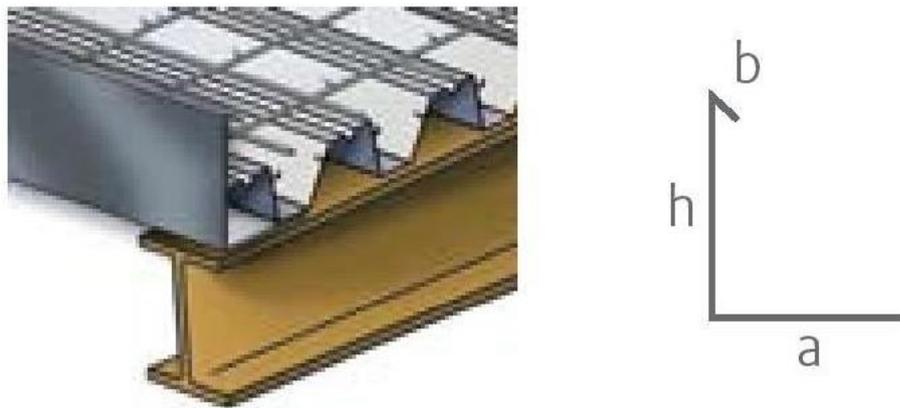
Além da armadura adicional, deverá ser sempre adotadas armaduras negativas convencionais em situações que a fôrma vença dois ou mais vãos entre apoios com uma única peça, gerando momentos negativos nas vigas intermediárias, sendo assim, necessário essas armaduras (CICHINELLI, 2014).

#### 4.5 ARREMATES

Uma maneira de assegurar que as lajes fiquem com o formato e acabamento desejado, é preciso de algumas peças adicionais, no caso, os arremates, para instalar corretamente o *steel deck* sobre a estrutura. A nomenclatura e a geometria dessas peças, varia conforme cada fabricante. Um exemplo, tem-se o arremate de borda, que promove um bom acabamento na laje, além de deter que vaze concreto pelas laterais durante a fase de concretagem (HEINZ, 2016).

A Perfilor (2015), apresenta uma solução parecida com a de um perfil L, acrescentado de uma dobra na parte superior do perfil conforme apresentado na Figura 17. A dobra garante que a peça não se solte do concreto após cura do mesmo, garantindo um melhor acabamento. O próprio fabricante apresenta uma tabela das dimensões indicadas (Tabela 3).

**Figura 17 – Arremate de Borda Sugerido Pela Perfilor**



Fonte: PERFILOR, 2015.

**Tabela 3 – Dimensões Indicadas Para Arremate de Borda**

Altura da Laje (cm)	h (cm)	a (cm)	b (cm)	Des. (cm)
11	11	11	2	24
12	12	10	2	24
13	13	15	2	30
14	14	14	2	30
15	15	13	2	30

Fonte: PERFILOR, 2015.

## 4.6 CONCRETO

Segundo NBR 8800 (ABNT, 2008), o concreto utilizado nas estruturas mistas devem obedecer as precrições da NBR 6118:2014, portanto, sua resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ), deve estar entre 20 MPa e 50 MPa. Nos catálogos dos fornecedores de *steel deck* observados, também é indicado usar um concreto com resistência de 20 MPa ou superior, o que condiz com o valor mínimo determinado pela NBR 6118 (ABNT, 2014).

Com relação as suas propriedades, as comumentes usadas para lajes mistas, respectivamente são (FAKURY *et al.*, 2016):

- Coeficiente de Poisson ( $\nu_c$ ) = 0,2
- Coeficiente de dilatação térmica ( $\beta_c$ ) =  $10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- Massa específica = 2400 kg/m<sup>3</sup>
- Peso específico = 24 kN/m<sup>3</sup>

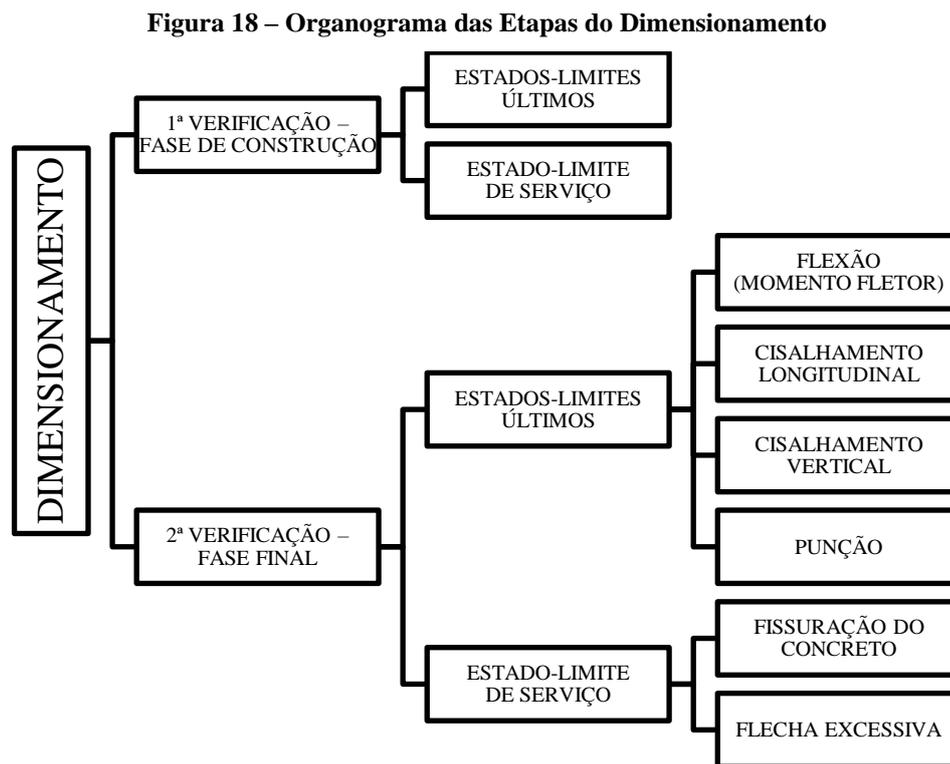
Além disso, o concreto não deve ter aditivos de cloretos, para proteger a camada de revestimento de zinco das chapas de uma possível agressão. Também deve garantir espessura mínima de 50 mm sobre a telha NBR 8800 (ABNT, 2008).

O módulo de elasticidade secante, a ser utilizado nas análises elásticas de projeto, em especial para determinação de esforços solicitantes e verificação de estados-limites de serviço, a NBR 8800 (ABNT, 2008) adota  $E_{as} = 0,85 E_{cri}$ , sendo que o módulo de deformação tangente inicial é dado por  $E_{cia} = 5600 \sqrt{f_{ck}}$ , em (MPa).

## 5 ETAPAS DO DIMENSIONAMENTO DE LAJES MISTAS

O dimensionamento de lajes mista conforme Queiroz *et al.* (2012), preconiza duas situações de projeto distintas: primeiramente, a fase de construção, que verifica apenas a fôrma com seu trabalho isolado de sustentar a sobrecarga de construção e peso do concreto ao longo da fase de concretagem. Esse cálculo portanto, não envolve considerações de seções mistas, mas sim apenas da telha *steel deck*, formada a frio, como prescrito na NBR 14762 (ABNT, 2010). Quanto a fase final, após os 75% da resistência à compressão atingidos pelo concreto, é feito o cálculo dos elementos entregados como uma seção mista.

A seguir, irá ser apresentado as etapas do dimensionamento desse sistema, seguindo as orientações da NBR 8800 (ABNT, 2008), explanando os requisitos necessários para um dimensionamento satisfatório (Figura 18).



Fonte: AUTORES, 2020.

### 5.1 VERIFICAÇÃO NA FASE DE CONSTRUÇÃO

Nessa fase inicial, ações que devem ser levadas na busca da resistência da telha de aço, conforme NBR 8800 (ABNT, 2008) são:

- Pesos próprios da telha, armadura e concreto fresco;

- Sobrecarga de construção (contempla o peso dos operários, dos materiais e pequenos equipamentos utilizados, além da sobrecarga durante fase de concretagem);
- Efeito de “poça”, calculado através do peso próprio do concreto fresco com o da telha. Só considerado, diante do deslocamento no centro do vão da telha ultrapassar  $L_F/250$ , adotando assim na espessura nominal do concreto um acréscimo de 70% do valor do deslocamento vertical.  $L_F$  sendo o vão teórico da laje no sentido das nervuras.

Deverá ser considerada a continuação da concretagem, para obtenção dos esforços solicitantes. Com a sobrecarga de construção sendo tomada como o mais crítico dos dois carregamentos a seguir:

- 1,0 kN/m<sup>2</sup> da carga distribuída uniforme;
- 2,2 kN/m para carga linear, perpendiculares ao sentido das nervuras da telha, em seu posicionamento mais desvantajoso, somente pela análise do momento fletor.

Como demonstrado anteriormente, a telha de aço necessita suportar os esforços aplicados durante essa fase inicial, visto que, trabalha isoladamente até a cura do concreto. Portanto, conforme NBR 8800 (ABNT, 2008), é preciso fazer a análise da telha nos estados-limites últimos e de serviço.

No entanto, nesse estágio inicial para dimensionar a laje, é preciso definir três aspectos básicos: modelo da fôrma, as sobrecargas atuantes e o vão máximo da laje. Definindo esses pontos, é possível facilmente dimensionar-las com a ajuda das tabelas que os fabricantes fornecem.

### **5.1.1 Estados-limites últimos**

Através da NBR 14762 (ABNT, 2010), fundamenta-se a verificação da telha de aço na fase inicial. Para os estados-limites últimos essas verificações são apresentadas pela NBR 8800 (ABNT, 2008):

- Considerar apropriadamente nas resistências calculadas o efeito das mossas;
- Usar análise elástica. Quando calculada como contínua, mesmo nas partes das seções comprimidas que acontece flambagem local, não precisa considerar a variação de rigidez para definir os esforços solicitantes.

### 5.1.2 Estado-limite de serviço

Considerando apenas o peso próprio da telha e do concreto fresco, a deslocação máxima da fôrma não pode passar do valor de 20 mm ou da expressão  $L_F/180$ , optando sempre pelo mínimo valor encontrado. Ressaltando que  $L_F$  é definido como o vão teórico da telha no segmento das nervuras.

Para definir a geometria da seção transversal da fôrma, deve seguir os parâmetros da NBR 14762 (ABNT, 2010).

## 5.2 VERIFICAÇÃO NA FASE FINAL

Para a fase final das lajes, considera que o sistema misto sustente todo o carregamento, conforme mencionado anteriormente. Das ações que são consideradas destacam-se: o peso próprio da telha, do concreto, a consideração do restante das ações permanentes, possíveis existência de forros e tubulações suspensas, sobrecarga de utilização, ações devidas à fluência e retração do concreto, e ainda considera reações causadas pela retirada das escoras, caso tenham sido necessárias durante a fase de construção.

Os procedimentos utilizados para verificação dos estados-limites últimos e de serviço durante a fase final do dimensionamento são abordados a seguir, conforme NBR 8800 (ABNT, 2008).

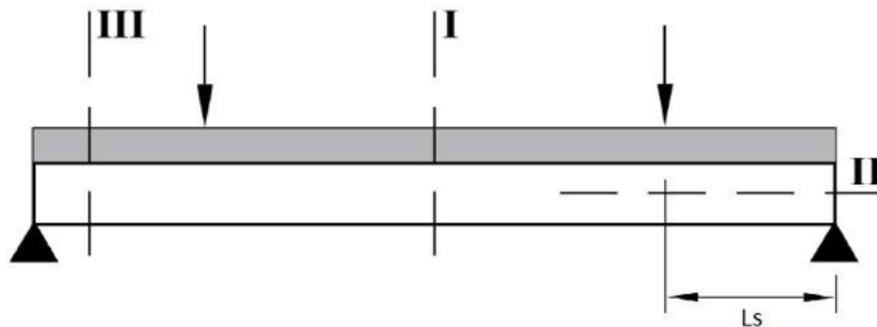
### 5.2.1 Estados-limites últimos

A resistência das lajes mistas tem que ser suficiente para suportar as cargas de cálculo aplicadas, assegurando-se que nenhum estado-limite último seja atingido. Segundo Queiroz *et al.* (2012), há quatro possíveis colapsos na laje mista que devem ser verificados, são eles:

- Seção crítica I: flexão, resistência ao momento fletor. Ocorre quando o momento atuante é superior ao resistente, pode ser crítico se o vão de cisalhamento for suficientemente grande;
- Seção crítica II: cisalhamento longitudinal. É o estado-limite dominante no caso dessas lajes, seu colapso conforme Alva (2000) aponta, ocorre quando há um deslocamento horizontal relativo excessivo entre o concreto e a telha. Por esse deslocamento entre os dois materiais, impede que o colapso por flexão seja alcançado;

- Seção crítica III: cisalhamento vertical. Pode ser crítico somente em casos especiais, como em lajes de grandes espessuras com vãos curtos e carregamentos de grande magnitude ou nos casos em que são encontradas cargas concentradas elevadas próximas aos apoios;
- Punção: pode ser crítico se o perímetro da área carregada e a espessura da laje forem pequenos e se a carga concentrada for muito elevada.

**Figura 19 – Seções Críticas**



Fonte: QUEIROZ *et al.*, 2012

## 5.2.2 Estado-limite de serviço

Os estados limites de serviço são critérios de segurança, que estão relacionados a durabilidade da estrutura, conforto para os usuários, boa utilização e aparência de modo geral (VIANA, 2018). As verificações aplicáveis às lajes mistas serão apresentadas abaixo.

### 5.2.2.1 Fissuração do concreto

A NBR 8800 (ABNT, 2008) diz que, para combater a retração do concreto, variações térmicas e possível continuidade dos elementos estruturais (ligação de viga secundária à viga principal, além dos pilares), é preciso adicionar uma armadura, assim suprimindo o surgimento de fissuras no concreto. A armadura deverá possuir área não inferior que 0,1% da área do concreto acima da telha, sendo situada de preferência a 20 mm embaixo do topo da laje. Em lugares que os momentos são apresentados negativos, para não haver fissura no concreto tem que ser analisado conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014).

### 5.2.2.2 Flecha excessiva

A flecha excessiva nas lajes não deve ultrapassar  $LF/350$ , considerando apenas o efeito de ações variáveis NBR 8800 (ABNT, 2008).

Para Ferraz (1999), verificar se a flecha esperada atende ao deslocamento vertical máximo previsto pela norma, faz-se uso da expressão de flecha máxima de uma viga apoiada, dada por:

$$\delta_{\max} = 5 \times \frac{q \cdot l^4}{384 \cdot E_c \cdot I} \quad (1)$$

Onde:

$q$  : carga distribuída total;

$l$  : distância do vão da viga, de apoio a apoio;

$E_c$  : módulo de elasticidade do concreto;

$I$  : momento de inércia da seção.

## 6 ESTUDO DE CASO

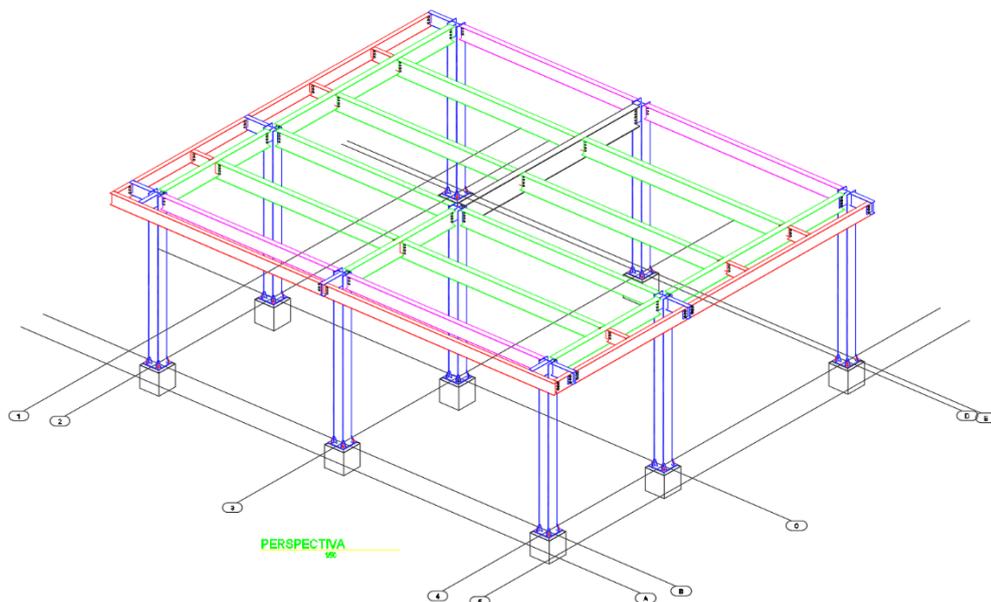
Para exame do processo construtivo de um mezanino em laje *steel deck* foi criado folhas de verificação, também conhecidas como *checklist*, que são um mecanismo de controle para certificar as condições do serviço, produto, procedimento ou tarefa analisado. Auxiliando para atestar que todas as etapas ou itens da lista foram devidamente cumpridas como programado.

### 6.1 APRESENTAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

A obra descrita neste trabalho contempla a construção de um mezanino no edifício já existente da Geolab Indústria Farmacêutica, localizado na região do Distrito Agroindustrial de Anápolis (DAIA), cidade de Anápolis GO.

O mezanino foi realizado pela empresa MetalServi, onde optou-se pela utilização de estrutura metálica e laje *steel deck* para sua construção, pois por ser uma obra num prédio já existente, conseqüentemente o espaço para se trabalhar é reduzido, e as estruturas de aço possibilitou a versatilidade na hora de elaborar os projetos além do *steel deck* apresentar-se vantajoso nesse tipo de situação. O mezanino possui aproximadamente 113 m<sup>2</sup>, feito para uso administrativo, mas com sobrecarga para casa de máquinas, à pedido do cliente caso precisem futuramente. A perspectiva de sua estrutura é apresentada a seguir na Figura 20.

**Figura 20 – Perspectiva 3D do Mezanino**



Fonte: METALSERVI, 2020.

## 6.2 MONTAGEM DA ESTRUTURA DO MEZANINO

As verificações foram feitas em três fases para deixar mais claro o processo de execução, sendo elas: montagem da estrutura do mezanino; instalação, fixação e acabamentos do *steel deck*; armação e concretagem da laje. A seguir apresenta-se o primeiro checklist, contemplando as verificações feitas durante a montagem da estrutura metálica (Quadro 2).

**Quadro 2 – Checklist da Estrutura Metálica**

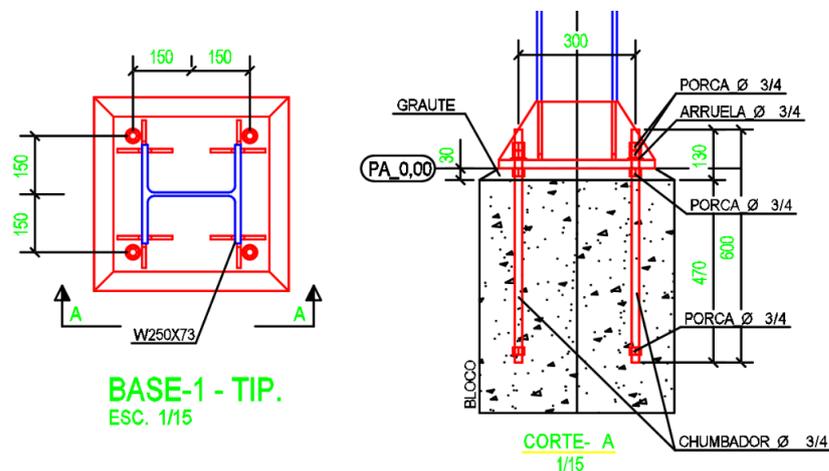
1-	ESTRUTURA METÁLICA	SIM	NÃO	N.A
1.1-	Dimensões e distância entre as bases	X		
1.2-	Colocação das chapas gabarito	X		
1.3-	Posição, dimensão e projeção dos chumbadores acima do topo da base	X		
1.4-	Içamento e fixação dos pilares	X		
1.5-	Verificação do alinhamento, prumo e níveis dos pilares	X		
1.6-	Içamento e travamento das vigas	X		

Fonte: AUTORES, 2020.

Antes do início da montagem propriamente dita, precisa-se verificar toda a estrutura e as bases sobre as quais ela será assentada. Através do projeto é possível conferir as dimensões e as distâncias entre as bases se estão posicionadas corretamente (Item 1.1).

As bases dos pilares foram feitas por blocos de concreto, com 04 unidades de chumbadores posicionados em cada chapa gabarito para receberem a estrutura, além da argamassa de graute para melhor fixação dos equipamentos no bloco, que garante o nivelamento da superfície e o perfeito apoio para as estruturas, conforme detalhado na Figura 21.

**Figura 21 – Detalhe da Base do Pilar**



Fonte: METALSERVI, 2020.

Em seguida deve-se analisar o posicionamento dos chumbadores que são instalados nos blocos de concreto, com a disposição dos furos das chapas de gabarito já colocadas (Item 1.2), para obter o encaixe correto durante montagem. Além de verificar se as dimensões e a projeção deles acima do topo da base estão em conformidade com o projeto (Item 1.3).

Após essa etapa concluída, os pilares foram içados e fixados nos chumbadores conforme verificado no item 1.4, para logo depois ocorrer o alinhamento, prumo e níveis dos mesmos (Item 1.5). Possuindo 09 unidades de pilares com 4,44 metros de comprimento em perfis W250x73.

Com a instalação dos pilares finalizada, se iniciou a montagem das vigas. Com uma sequência de montagem predefinida, é de extrema importância que as peças a serem içadas primeiro, estejam em locais mais acessíveis. Depois de içadas foram travadas entre os pilares e a estrutura conforme averiguado no item 1.6, finalizando assim o vigamento de sustentação da laje e estando aptas para receber os painéis de *steel deck* (Figura 22).

**Figura 22 – Estrutura Pronta Para Receber o Steel Deck**



Fonte: AUTORES, 2020.

A estrutura apresenta pintura eletrostática a pó na cor RAL9003 (Padrão Branco), o que garante um acabamento e aspecto visual durável, de alta proteção superficial e resistência à corrosão.

### 6.3 INSTALAÇÃO, FIXAÇÃO E ACABAMENTOS DO STEEL DECK

Para prosseguimento da montagem o segundo *checklist* de execução da obra apresenta-se a seguir no Quadro 3, contemplando as verificações feitas durante a instalação, fixação e acabamentos do *steel deck*.

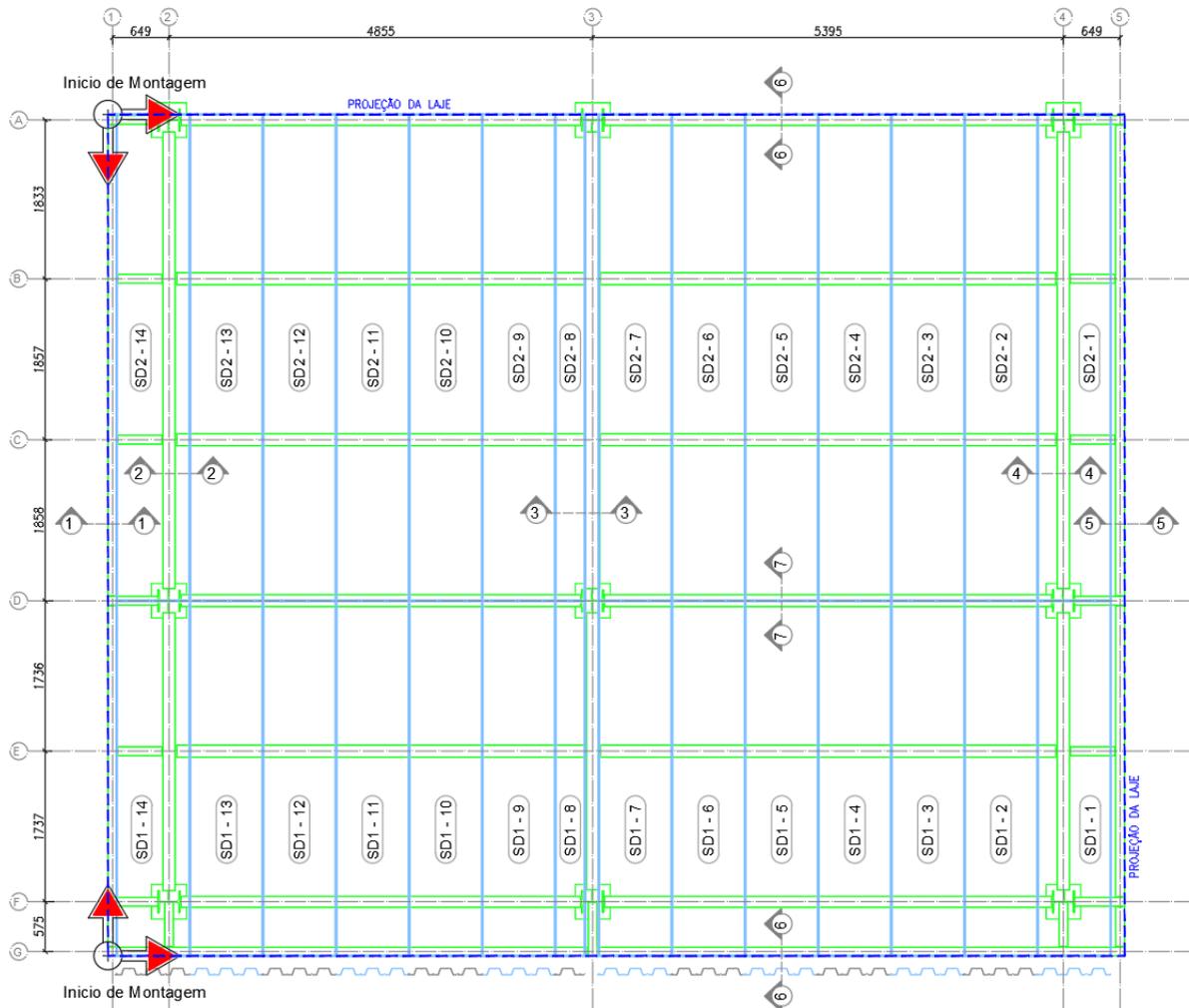
**Quadro 3 – Checklist do Steel Deck**

2-	STEEL DECK	SIM	NÃO	N.A
2.1-	Conferir alinhamento da estrutura antes do recebimento do <i>steel deck</i>	X		
2.2-	Chegar etiquetas, números de peças e espessura do <i>steel deck</i>	X		
2.3-	Içamento e espalhamento do <i>steel deck</i> conforme sentido de montagem do projeto de paginação	X		
2.4-	Assegurar que os parafusos autobrocantes de fixação do <i>steel deck</i> foram instalados conforme especificado no projeto	X		
2.5-	Assegurar que a soldagem dos <i>stud bolts</i> nas vigas transversais e longitudinais foram instalados conforme especificado no projeto	X		
2.6-	Certificar se os arremates de laje e complementos de <i>deck</i> foram colocados nos devidos lugares	X		
2.7-	Conferir as vedações finais nos encontros das telhas com banda adesiva	X		

Fonte: AUTORES, 2020.

Primeiro de tudo confere o esqueleto da estrutura já montado e travado se está em perfeito alinhamento para que não comprometa o comportamento estrutural da laje de acordo com o item 2.1, para então ser iniciado a montagem das telhas, conforme projeto de paginação (Figura 23).

Figura 23 – Projeto de Paginação



Fonte: METALSERVI, 2020.

O modelo utilizado e apresentando anteriormente, foi o Isodeck 75 com espessura de 0,80 mm e largura útil de 838 mm. Os comprimentos e quantidades são apresentados de acordo com o Quadro 4. Chegam à obra em fardos, onde deve-se conferir suas etiquetas, números de peças e espessura dos mesmo conforme item 2.2 do *checklist*.

Quadro 4 – Lista de Perfis Isodeck 75

PERFIL	TAG	COMP. (mm)	QUANT. (unid)
ISODECK 75 – 0,80	SD1	4098	14
ISODECK 75 – 0,80	SD2	5612	14
ÁREA TOTAL (m <sup>2</sup> )		113,92	

Fonte: METALSERVI, 2020.

Inicialmente os fardos de *steel deck* foram içados e posicionados em cima das vigas da estrutura, para então começar seu espalhamento pela laje manualmente, por transporte horizontal sendo manuseadas por dois operários (Figura 24), seguindo o sentido de montagem do projeto de paginação, da esquerda para direita, e os posicionamentos e alinhamentos corretos dos painéis, para instalação completa na laje (Item 2.3).

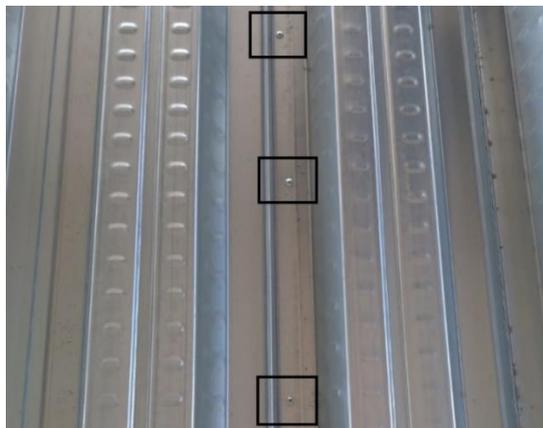
**Figura 24 – Espalhamento do Steel Deck**



Fonte: AUTORES, 2020.

A união entre os painéis se dá por meio dos encaixes tipo “macho e fêmea”, existentes no próprio *Deck*. Após ajustá-los, faz-se uma fixação preliminar com parafusos autobrocantes a cada 500 mm do comprimento dos painéis (Figura 25), para que as telhas não saiam de posição. Conforme item 2.4 foi-se assegurado a instalação correta, sendo usados autobrocantes PB 1/4 -14x7/8” com arruela de vedação, instalados com parafusadeira de alto torque.

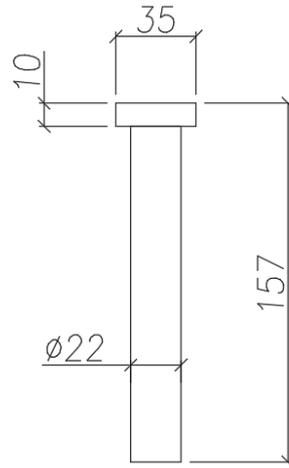
**Figura 25 – Fixação Entre os Painéis com Parafusos Autobrocantes**



Fonte: AUTORES, 2020.

Os conectores de cisalhamento expressos no item 2.5 foram soldados na estrutura por *stud bolts* 7/8"x6.3/16" (Figura 26), conforme projeto fornecido as orientações foram de fixá-los nas vigas transversais a cada onda baixa do *steel deck*, enquanto nas vigas longitudinais a cada 200 mm (Figura 27).

**Figura 26 – Detalhe do Stud Bolt**



Fonte: METALSERVI, 2020.

**Figura 27 – Laje com Stud Bolts Executados**



Fonte: AUTORES, 2020.

Os arremates de acabamento da laje foram executados em dois modelos, o de borda para todos os lados da laje e os complementos de *deck* em locais situacionais apresentados no corte 3 e 5 do projeto de paginação (Figura 23). Ambos em chapa galvalume com espessura de 1,25 mm e em comprimentos de 3000 mm. Certificados conforme item 2.6, com a Figura 28 mostrando o exemplo do arremate de borda executado.

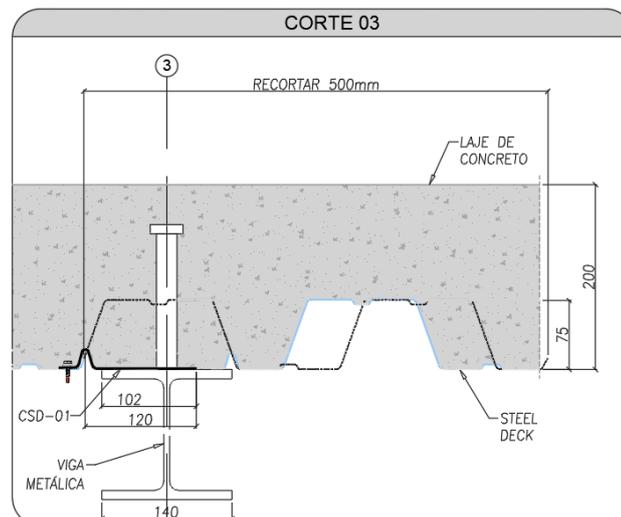
**Figura 28 – Arremate de Borda Executado**



Fonte: AUTORES, 2020.

No corte 3 os painéis de *steel deck* SD1-8 e SD2-8 se fossem instalados aproveitando toda sua largura útil ficariam com a onda alta posicionada sobre a viga, caso que não pode ocorrer, portanto foi preciso fazer um ajuste e recortar 500 mm destas telhas, e com o arremate complementar o espaço até a viga e dar prosseguimento a paginação da laje (Figura 29).

**Figura 29 – Detalhe do Corte 3**

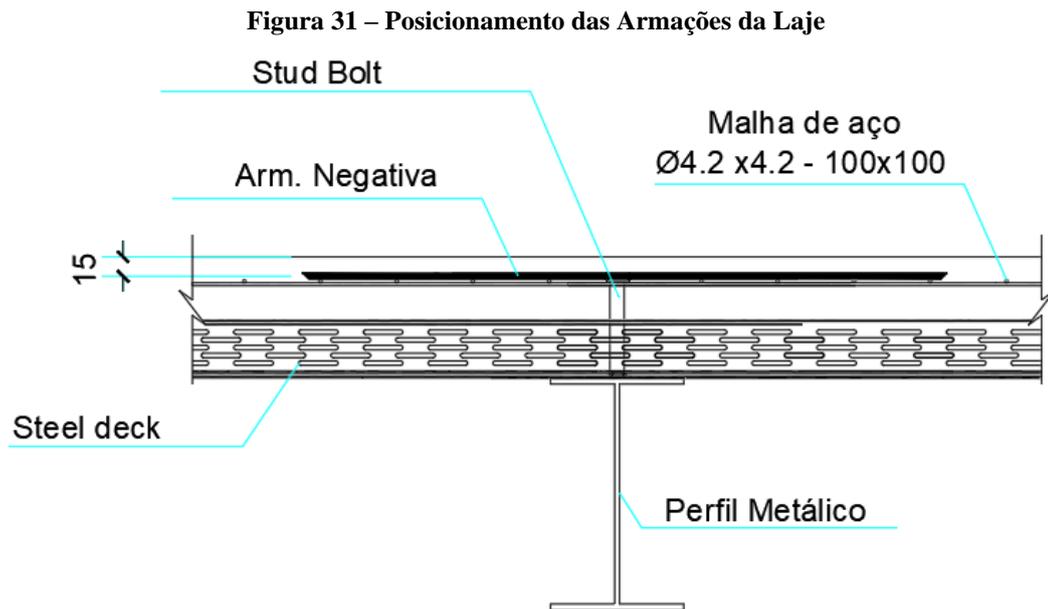


Fonte: METALSERVI, 2020.



A superfície da laje deve estar limpa, livres de detritos, impurezas e materiais de montagem para começar o processo de armação da laje (Item 3.1). Em seguida, após assegurar se o aço entregue obtinha qualidade e se era os mesmos especificados nos projetos como foi verificado no item 3.2, que para telas soldadas seria no modelo Q-138 com composição de  $\text{Ø}4,2 \times 4,2 - 100 \times 100$  e peso de  $2,20 \text{ kg/m}^2$ . Começou-se pelo espalhamento delas pela laje no sentido transversal às vigas, sendo posicionadas corretamente (Item 3.3).

Na sequência viu-se que as peças de *steel deck* superavam mais de dois vãos e conseqüentemente necessitariam de armaduras negativas como foi identificado no item 3.4 e nos projetos acessados. Portanto, elas foram posicionadas com os devidos cuidados de elevação, em que as telas soldadas auxiliavam como referência para o correto posicionamento delas, para não terem riscos de correrem na fase de concretagem. Sempre se precavendo com as disposições das armaduras, tanto diante da norma como nos projetos (Item 3.5).



Fonte: METALSERVI, 2020.

Por fim, finaliza-se o estudo de caso com o quarto e último *checklist* apresentado no Quadro 6, contemplando a concretagem da laje. Ressalta-se que essa parte de execução não foi realizada pela contratada MetalServi, ficando por conta da própria contratante Geolab Industria Farmacêutica.

Quadro 6 – Checklist da Concretagem da Laje

4-	<b>CONCRETAGEM DA LAJE</b>			
4.1-	Possui escoramentos provisórios nas vigas ?		X	
4.2-	Utilizar concreto com $f_{ck} \geq 30$ MPa e <i>slump</i> de $8 \pm 1$	X		
4.3-	Lançar o concreto preferencialmente na direção transversal do <i>steel deck</i>	X		
4.4-	Lançar o concreto em baixa altura para evitar impactos na forma metálica	X		
4.5-	Evitar acúmulo de concreto em um único ponto da laje	X		
4.6-	Definir caminhamento da concretagem com mestras em função da régua de sarrafeamento	X		
4.7-	Nivelamento da laje sem utilizar nível a laser	X		
4.8-	Garantir espessura final da laje conforme projeto $h=200$ mm	X		
4.9-	Prever cura úmida da laje <i>steel deck</i> com prazo mínimo de 7 dias	X		
5.0-	Garantir que a laje só receba carga após o concreto atingir 75% de sua resistência característica	X		

Fonte: AUTORES, 2020.

Sobre escoramentos provisórios nas vigas durante a concretagem, não se fez necessário para esta obra, pois os vãos atendem aos carregamentos admissíveis (Item 4.1). A laje possui peso próprio de  $3,75 \text{ kN/m}^2$ , revestimento de piso de  $1,20 \text{ kN/m}^2$  e sobrecarga de utilização de  $2,00 \text{ kN/m}^2$ , além de altura final de 200 mm.

Para concretagem, o concreto foi solicitado para possuir  $f_{ck}$  superior ou igual à 30 MPa, com *slump* de  $8 \pm 1$  conforme verificou-se no item 4.2, seu lançamento foi feito de acordo com recomendações do projeto, ou seja, lançado preferencialmente na direção transversal do *steel deck* (Item 4.3), e em baixas alturas para evitar impactos na forma metálica e também acúmulo de concreto em um único ponto como assegurou-se nos itens 4.4 e 4.5.

Após definição do caminhamento da concretagem com as mestras em função da régua de sarrafeamento (Item 4.6), fez-se o nivelamento da laje, sem a utilização de nível a laser por apresentar riscos (Item 4.7), como ele nivelar o alinhamento numa seção da laje que apresente contra flecha, gerando assim naquele local que a espessura mínima da laje não seja garantida, tomando essas precauções para obter a espessura da laje especificada no projeto em todos seus pontos, ou seja, altura de 200 mm de acordo com verificação do item 4.8 do *checklist*.

**Figura 32 – Concretagem da laje *steel deck***



Fonte: AUTORES, 2020.

Depois dessas etapas concluídas, fez-se a cura úmida da laje com prazo mínimo de 7 dias (Item 4.9), garantindo-se que ela só receba cargas após o concreto atingir 75% de sua resistência característica (Item 5.0). Feitas todas essas verificações ao decorrer da obra, assegurou-se a qualidade e eficiência de execução deste sistema construtivo apresentado, finalizando assim o estudo de caso.

## 7 CONCLUSÃO

Em virtude dos aspectos mencionados, as lajes *steel deck* ainda que tenham chegado no Brasil em meados dos anos 70, ainda sim é um método construtivo desconhecido por muitos, no qual não se introduziu no país de forma consistente e não se apresenta frequentemente como uma opção para o mercado da construção civil em geral, por falta de visibilidade e estudos do mesmo.

Logo, este trabalho apresentou o conceito deste sistema construtivo que é a junção de dois elementos estruturais: a fôrma metálica e o concreto. Em que se aproveita o melhor oferecido de ambos os materiais, tanto os benefícios das construções de aço, como os benefícios do uso do concreto armado. Além de mostrar suas características e todos os acessórios que o compõe. Buscando contribuir para um conhecimento mais aprimorado de tal sistema.

Visto que cada vez mais são necessárias inovações tecnológicas no âmbito da engenharia, apresenta-se obras desafiadoras, que necessitam de mais produtividade, eficiência, sustentabilidade e opções que se adaptam aos diversos tipos de locais encontrados. O *Steel Deck* se torna atrativo por suas vantagens de uso, de uma construção limpa e sustentável que evita desperdícios de materiais, indicado para diversos tipos de construções incluindo espaços reduzidos, possibilita a eliminação ou redução considerável de escoramentos, permitindo a execução de pavimentos simultaneamente. Fatores esses que ganham em agilidade e redução de serviços.

Através do estudo de caso buscou-se apresentar todas as fases de execução deste método construtivo, com a elaboração de *checklists* que contribuíram para uma concepção mais prática do sistema observado e discernir as etapas percorridas para se garantir uma boa qualidade e eficiência na sua execução. Para que por meio dessa análise haja possibilidade de colaboração na difusão do tema, afim de se tornar uma alternativa mais presente no meio da engenharia, com sua utilização.

## REFERÊNCIAS

- ALVA, G. M. S. **Sobre o projeto de edifícios em estrutura mista aço-concreto**. 2000. 296 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14323**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio. Rio de Janeiro, p. 66. 2013
- \_\_\_\_\_. **NBR 14762**: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, p. 87. 2010
- \_\_\_\_\_. **NBR 16421**: Telha-fôrma de aço colaborante para laje mista de aço e concreto – Requisitos e ensaios. Rio de Janeiro, p. 10. 2015
- \_\_\_\_\_. **NBR 6118**: Projetos de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, p. 238. 2014
- \_\_\_\_\_. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, p. 237. 2008
- BAIÃO FILHO, O. T. **Estudo comparativo de respostas estruturais antes da cura do concreto de fôrmas metálicas incorporadas às lajes**. 2003. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003
- BONAFÉ, G. Centro Brasileiro da Construção em Aço. **Estruturas metálicas reduzem o tempo de construção em até 40%**, 2014. Disponível em: < <https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/noticias-detalhes.php?cod=6421>>. Acesso em: 6 Julho 2020
- CARVALHO, K. Centro Brasileiro da Construção em Aço. **Execução de lajes mistas**, 2015. Disponível em: < <https://www.cbca-acobrasil.org.br/noticias-detalhes.php?cod=7137>>. Acesso em: 30 Agosto 2020
- CBCA. **Cenário dos Fabricantes de Telhas e Steel Deck 2019**. CBCA, 2019. Disponível em: < <https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/publicacoes-perfil-de-fabricantes.php>>. Acesso em: 27 Agosto 2020
- CBCA. **Construção em aço - Aços estruturais**. CBCA, 2014. Disponível em: < <https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/construcao-em-aco-acos-estruturais.php>>. Acesso em: 04 Agosto 2020
- CBCA. **Construção em aço / Vantagens**. CBCA, 2020. Disponível em: < <https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/construcao-em-aco-vantagens.php>>. Acesso em: 07 Agosto 2020
- CICHINELLI, G. Centro Brasileiro da Construção em Aço. **Lajes em steel deck**, 2014. Disponível em: < <https://www.cbca-acobrasil.org.br/noticias-detalhes.php?cod=6415>>. Acesso em: 8 Fevereiro 2020

- FABRIZZI, M. DE A. **Contribuição para o projeto e dimensionamento de edifícios de múltiplos andares com elementos estruturais mistos aço-concreto.** 2007. 143 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007
- FAKURY, R. H; CASTRO E SILVA, A. L. R; CALDAS, R. B. **Dimensionamento de Elementos Estruturais de Aço e Mistos de Aço e Concreto.** São Paulo. Pearson, 2016
- FERRAZ, C. B. **Análise do comportamento e da resistência do sistema de lajes mistas.** 1999. 142 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1999
- GASPAR, M. Sienge Plataforma. **Steel Deck – Confira o Passo a Passo e Dicas de Utilização!** 2020. Disponível em < <https://www.sienge.com.br/blog/steel-deck/#:~:text=O%20steel%20deck%20%C3%A9%20um,ap%C3%B3s%20a%20cura%20do%20concreto.>>. Acesso em: 5 Julho 2020
- HEINZ, J. M. M; BENETTI, J. S. Z. **Análise de custos diretos de lajes mistas steel deck e comparativo de custos com lajes pré-moldadas com vigotas treliçadas.** 2016. 134 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016
- IMIANOWSKY, G. W. **Os principais aços carbono utilizado na construção civil,** 2013. Disponível em: < <http://www.crea-sc.org.br/porta/arquivosSGC/a%C3%A7os%20carbono%20constru%C3%A7%C3%A3o%20civil.pdf>>. Acesso em: 04 Agosto 2020
- ISOESTE METÁLICA. **Laje Tipo Steel Deck – Isodeck 75.** Anápolis, p. 9. 2020
- MELHADO, Silvio B. **Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção.** 1994. 308 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994
- METFORM S/A. **Steel Deck Metform.** Manual Técnico: Especificações para Projeto, Manuseio e Montagem. Betim, p. 76. 2006
- NAKAMURA, J. **Montagem e concretagem de steel deck exigem cuidados especiais.** AECweb. Disponível em:< <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/montagem-e-concretagem-de-steel-deck-exigem-cuidados-especiais/17427>>. Acesso em: 20 Abril 2020
- PERFILOR S. A. **Polydeck 59S: Guia de montagem.** São Paulo, p. 8. 2015
- PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Aço: Dimensionamento Prático.** 8ª. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009
- QUEIROZ, G; PIMENTA, R. J.; MARTINS, A. G. **Estruturas Mistas.** 2ª. Ed. Rio de Janeiro: INSTITUTO AÇO BRASIL / CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO, v. 1, 2012
- REGIONAL TELHAS. **Tudo o que você precisa saber sobre laje steel deck,** 2020. Disponível em: < <https://blog.regionaltelhas.com.br/tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-laje-steel-deck/>>. Acesso em: 9 Setembro 2020

REVISTA FINESTRA. Centro Brasileiro da Construção em Aço. **Norma padroniza sistema para o steel deck**, 97ª. Ed. 2016. Disponível em: < <https://www.cbca-acobrasil.org.br/noticias-detalhes.php?cod=7228> >. Acesso em: 12 Abril 2020

RODRIGUES, A. C. A.; PEIXOTO, L. J. **Estabilidade Global De Estruturas Mistas**. 2016. 95 p. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016

ROSS, C. Modern Steel Construction. **Steel Deck: An Evolution**, 2002. Disponível em: <[https://www.aisc.org/globalassets/modern-steel/archives/2002/09/2002v09\\_steel\\_deck.pdf](https://www.aisc.org/globalassets/modern-steel/archives/2002/09/2002v09_steel_deck.pdf)>. Acesso em: 25 Março 2020

SILVA, R. **Projeto de produção para construção metálica aplicado em lajes mistas steel deck**. 2010. 13 p. Construmetal (Artigo) – Congresso Latino-Americano da Construção Metálica, São Paulo, 2010

SPUTO, T. Structure Magazine. **Development of Composite Steel Deck**, 2012. Disponível em: <<https://www.structuremag.org/wp-content/uploads/D-CodeUpdates-Sputo-Aug12.pdf>>. Acesso em: 25 Março 2020

VASCONCELLOS, L. A. **Caracterização das construções mistas aço/concreto**. Revista Construção Metálica, ABCEM. 73ª. Ed. p. 20-25. 2006

VIANA, D. Guia da Engenharia. **Estados limites ELU e ELS: aprenda a diferença**, 2018. Disponível em: < <https://www.guiadaengenharia.com/estados-limites/>>. Acesso em: 22 Maio 2020

## APÊNDICE A – CHECKLIST DE VERIFICAÇÃO APLICADO

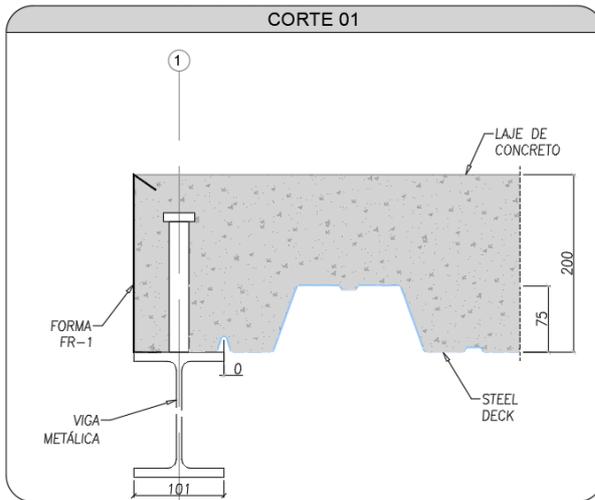
1-	<b>ESTRUTURA METÁLICA</b>	SIM	NÃO	N.A
1.1-	Dimensões e distância entre as bases	X		
1.2-	Colocação das chapas gabarito	X		
1.3-	Posição, dimensão e projeção dos chumbadores acima do topo da base	X		
1.4-	Içamento e fixação dos pilares	X		
1.6-	Verificação do alinhamento, prumo e níveis dos pilares	X		
1.7-	Içamento e travamento das vigas	X		
2-	<b>STEEL DECK</b>			
2.1-	Conferir alinhamento da estrutura antes do recebimento do <i>steel deck</i>	X		
2.2-	Chegar etiquetas, números de peças e espessura do <i>steel deck</i>	X		
2.3-	Içamento e espalhamento do <i>steel deck</i> conforme sentido de montagem do projeto de paginação	X		
2.4-	Assegurar que os parafusos autobrocantes de fixação do <i>steel deck</i> foram instalados conforme especificado no projeto	X		
2.5-	Assegurar que a soldagem dos <i>stud bolts</i> nas vigas transversais e longitudinais foram instalados conforme especificado no projeto	X		
2.6-	Certificar se os arremates de laje e complementos de <i>deck</i> foram colocados nos devidos lugares	X		
2.7-	Conferir as vedações finais nos encontros das telhas com banda adesiva	X		
3-	<b>ARMAÇÃO DA LAJE</b>			
3.1-	Garantir a limpeza e retirada dos materiais de montagem no local	X		
3.2-	Conferir o aço das armações se são de qualidade e conforme especificados no projeto	X		
3.3-	Telas soldadas corretamente posicionadas	X		
3.4-	Possui armadura negativa ?	X		
3.5-	Cuidado especial para garantir a elevação das armaduras negativas	X		
4-	<b>CONCRETAGEM DA LAJE</b>			
4.1-	Possui escoramentos provisórios nas vigas ?		X	
4.2-	Utilizar concreto com $f_{ck} \geq 30$ MPa e <i>slump</i> de $8 \pm 1$	X		
4.3-	Lançar o concreto preferencialmente na direção transversal do <i>steel deck</i>	X		
4.4-	Lançar o concreto em baixa altura para evitar impactos na forma metálica	X		
4.5-	Evitar acúmulo de concreto em um único ponto da laje	X		
4.6-	Definir caminhamento da concretagem com mestras em função da régua de sarrafeamento	X		
4.7-	Nivelamento da laje sem utilizar nível a laser	X		

**Continuação**

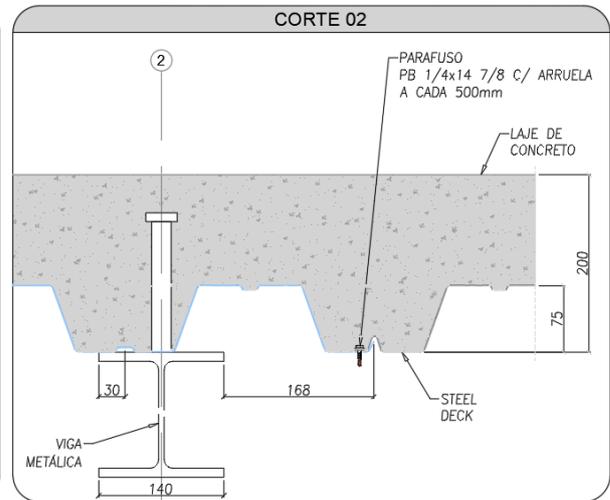
<b>4.8-</b>	Garantir espessura final da laje conforme projeto h=200mm	<b>X</b>		
<b>4.9-</b>	Prever cura úmida da laje <i>steel deck</i> com prazo mínimo de 7 dias	<b>X</b>		
<b>5.0-</b>	Garantir que a laje só receba carga após o concreto atingir 75% de sua resistência característica	<b>X</b>		

## ANEXO A – CORTES ADICIONAIS DO PROJETO DE PAGINAÇÃO

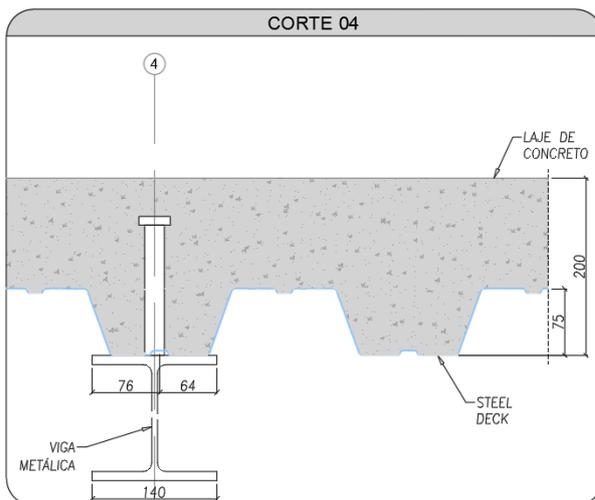
### Detalhe do Corte 01



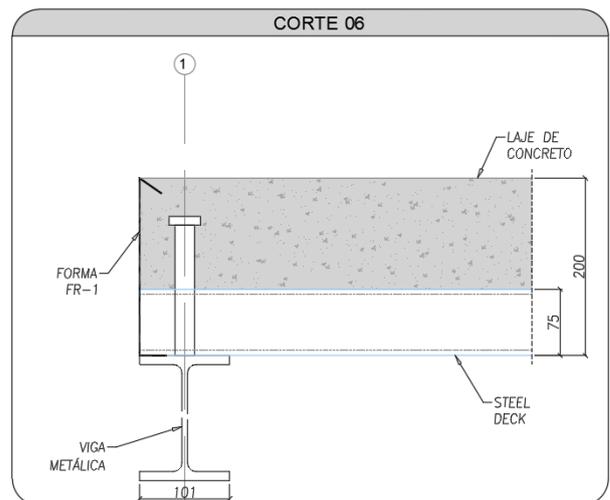
### Detalhe do Corte 02



### Detalhe do Corte 04



### Detalhe do Corte 06



### Detalhe do Corte 07

