

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**EDUARDA FONTINEL SCHEIN**

**ESTRUTURAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO: DIMENSIONAMENTO DE LAJE  
EM STEEL DECK DE UM PAVIMENTO**

**Alegrete  
2024**

**EDUARDA FONTINEL SCHEIN**

**ESTRUTURAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO: DIMENSIONAMENTO DE LAJE  
EM STEEL DECK DE UM PAVIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Alisson Simonetti Milani

**Alegrete  
2024**

**EDUARDA FONTINEL SCHEIN**

**ESTRUTURAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO: DIMENSIONAMENTO DE LAJE EM STEEL  
DECK DE UM PAVIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de  
Engenharia Civil da Universidade  
Federal do Pampa, como requisito  
parcial para obtenção do Título de  
Bacharela em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 03 de julho de 2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. ALISSON SIMONETTI MILANI - UNIPAMPA - Orientador

Prof. Me. ALDO LEONEL TEMP - UNIPAMPA

Prof. Dr. JAELSON BUDNY - UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **JAELSON BUDNY, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/07/2024, às 20:15, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **ALISSON SIMONETTI MILANI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/07/2024, às 08:40, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **ALDO LEONEL TEMP, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/07/2024, às 19:50, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1491669** e o código CRC **OCF70455**.

---

Dedico este trabalho à pequena Dudinha,  
que nunca sonhou que chegaria até aqui,  
mas que aproveitou cada segundo da  
trajetória.

“As grandes ideias surgem da observação  
dos pequenos detalhes”.

Augusto Cury

## RESUMO

A colaboração entre um perfil de aço e o concreto resulta em um elemento misto de aço-concreto, como por exemplo uma viga mista ou laje mista. Atualmente, a maioria das obras no Brasil já poderiam ser executadas como um sistema misto, porém, ainda persiste um receio significativo na área da engenharia civil em adotar novas técnicas. Levando isto em consideração, este trabalho primeiramente apresenta uma revisão da literatura onde os principais conceitos acerca do sistema de estruturas mistas de aço e concreto são abordados, como vigas mistas, conectores de cisalhamento e lajes em Steel Deck. Em seguida, realizou-se um estudo de caso em que foi efetuado o dimensionamento de uma estrutura de lajes em Steel Deck e vigas mistas em uma edificação metálica existente. Todas as verificações necessárias foram calculadas conforme as normas vigentes. Por fim, utilizando o software REVIT, foi realizada a modelagem em BIM da estrutura mista já dimensionada.

Palavras-Chave: Steel Deck, estruturas mistas de aço-concreto, laje mista, viga mista.

## **ABSTRACT**

The collaboration between a steel profile and concrete results in a steel-concrete composite element, such as a composite beam or composite slab. Currently, the majority of buildings in Brazil could already be built using a mixed system, but there is still a significant concern in the civil engineering sector of adopting new techniques. With this in mind, this paper first presents a literature review in which the main concepts of steel-concrete composite structures are discussed, such as composite beams, shear connectors and steel deck slabs. Next, a case study was carried out in which a structure of steel deck slabs and composite beams was designed in a pre-existing metal building. All the necessary verifications were calculated in accordance with current standards regulations. Finally, using REVIT software, the BIM modeling of the mixed structure already designed was carried out.

**Keywords:** Steel Deck, steel-concrete composite, composite beam, composite slab

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Laje com forma metálica incorporada Steel Deck, conectada a uma viga mista através de conectores de cisalhamento.....	8
Figura 2 – Diferentes modelos de pilares mistos.....	9
Figura 3 – Exemplos de vigas mistas, viga mista conectada a laje de concreto e a laje mista, respectivamente.....	13
Figura 4 – Pino Stud Bolt e perfil U conectados a vigas, respectivamente.....	14
Figura 5 – Pino conector Stud Bolt e coroa cerâmica.....	14
Figura 6 – Posição da linha neutra para diferentes tipos de interações entre os elementos.....	15
Figura 7 – Laje com fôrma trapezoidal e fôrma com cantos reentrantes.....	16
Figura 8 – Dimensões da Telha-fôrma MF 50.....	17
Figura 9 – Dimensões da Telha-fôrma MF 75.....	18
Figura 10 – Vão simples ou contínuos.....	19
Figura 11 - Distribuição das armaduras de reforço para momentos fletores positivos e negativos, respectivamente.....	20
Figura 12 – Concretagem de Steel Deck e posição das armaduras adicionais.....	21
Figura 13 – Fita para vedação dos painéis.....	22
Figura 14 – Pavimento tipo da edificação escolhida.....	25
Figura 15 – Fachada e corte da edificação escolhida, respectivamente.....	26
Figura 16 – Paginação de lajes da edificação.....	27
Figura 17 – Cargas sobrepostas máximas por laje.....	28
Figura 18 – Telha-fôrma MF 50 escolhida.....	29
Figura 19 – Cortante máximo das lajes em vermelho.....	30
Figura 20 – Cortante máximo da laje em azul.....	30
Figura 21 – Cortante máximo da laje em verde.....	30
Figura 22 – Paginação de lajes em Steel Deck.....	31
Figura 23 – Momento Máximo da viga na fase inicial.....	32
Figura 24 – Tabela da Gerdau dos perfis W, com destaque para o perfil escolhido.....	32
Figura 25 – Cortante Máximo da viga na fase inicial.....	34
Figura 26 – Tabela da Walsywa dos Stud Bolts com destaque no pino escolhido.....	34

Figura 27 – Momento Máximo da seção na fase final.....	37
Figura 28 – Cortante Máximo da seção na fase final.....	37
Figura 29 – Estrutura mista modelada no REVIT.....	38
Figura 30 – Pavimento tipo e detalhamento de cortes.....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ações Permanentes .....	23
Tabela 2 – Ações Variáveis.....	24
Tabela 3 – Vãos máximos sem escoramento e cargas sobrepostas máximas para MF 50 .....	42
Tabela 4 – Vãos máximos sem escoramento e cargas sobrepostas máximas para MF 75 .....	43
Tabela 5 – Resistência ao momento fletor negativo para MF 50 .....	44
Tabela 6 – Resistência ao momento fletor negativo para MF 75 .....	44
Tabela 7 – Resistência ao momento fletor positivo para MF 50.....	44
Tabela 8 – Resistência ao momento fletor positivo para MF 75.....	45
Tabela 9 – Resistência ao momento fletor positivo para MF 75.....	45
Tabela 10 – Força cortante limite da laje mista .....	45

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>6</b>
1.1 Objetivo Geral .....	7
1.2 Objetivos Específicos .....	7
1.3 Justificativa.....	7
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>8</b>
2.1 Estruturas mistas .....	8
2.1.1 Situação de Estruturas Mistas no Brasil .....	9
2.1.2 Materiais.....	10
2.1.2.1 Aço.....	10
2.1.2.2 Concreto.....	11
2.1.3 Vantagens e desvantagens .....	11
2.2 Vigas Mistas e Conectores de Cisalhamento .....	13
2.3 Steel Deck .....	16
2.3.1 Dimensionamento .....	18
2.3.2 Disposições construtivas .....	20
2.3.3 Vantagens e desvantagens .....	22
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>23</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>27</b>
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>40</b>
<b>ANEXO</b> .....	<b>42</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>46</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O avanço no desenvolvimento tecnológico e econômico nos processos construtivos aliados a busca por soluções inovadoras para atender às demandas do mercado, têm como efeito o surgimento de novos sistemas estruturais e construtivos. Atualmente, na construção civil no Brasil, há uma crescente tendência no uso de estruturas mistas de aço e concreto. Isso acontece pela busca por soluções que permitam a redução do consumo de recursos naturais e a diminuição dos impactos ambientais, além de agregar vantagens estruturais e econômicas à edificação. A combinação de materiais das estruturas mistas proporciona vários benefícios e possibilitam a otimização do uso dos recursos disponíveis (Nardin *et al.*, 2012).

Ainda que as construções mistas estejam cada vez mais ganhando destaque no país, mais de 70% das obras já poderiam ser executadas em sistemas mistos aço-concreto (Pinho, 2013).

Segundo Nardin *et al.* (2012), um dos obstáculos ao desenvolvimento e utilização dos elementos mistos no Brasil deve-se ao conservadorismo dos profissionais da construção civil na preferência pelo uso de estruturas de concreto armado e pela falta de conhecimento quanto à existência e comportamento destes elementos mistos.

A caracterização de um sistema misto de aço-concreto emerge da colaboração entre um perfil de aço e o concreto, este último geralmente armado. Tal interação culmina na formação de diversos elementos, como lajes, vigas e pilares mistos, por exemplo. A soma desses sistemas constitui uma estrutura mista. A interação entre o perfil de aço e o concreto pode se dar de diversas formas, abrangendo conexões mecânicas, tais como conectores, saliências e ressaltos, ou mesmo por meio de atrito, como ilustrado em fôrmas de aço com cantos reentrantes, por exemplo (Queiroz; Pimenta; Martins, 2012).

Dessa forma, o presente trabalho busca demonstrar os conceitos de estruturas mistas de aço e concreto, assim como o dimensionamento de um sistema de vigas mistas e lajes em Steel Deck para um pavimento tipo de uma edificação.

## **1.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem como principal objetivo dimensionar o pavimento tipo de uma edificação utilizando estrutura mista composta por lajes em Steel Deck e vigas mistas.

## **1.2 Objetivos Específicos**

- Dimensionar as lajes de um pavimento em Steel Deck para uma estrutura mista;
- Dimensionar as vigas suporte das lajes, considerando a seção mista, para o pavimento estudado;
- Modelar e detalhar em BIM a estrutura mista da edificação escolhida.

## **1.3 Justificativa**

A escolha deste tema tem por finalidade aprimorar os conhecimentos e estabelecer um bom fundamento para futuras pesquisas na área, visto que o programa curricular da Universidade Federal do Pampa no curso de Engenharia Civil não abrange o estudo e dimensionamento de estruturas mistas, o qual é importante visto sua crescente utilização atualmente.

Nesse sentido, se faz indispensável os conhecimentos sobre soluções estruturais mais eficientes, sendo assim, foi escolhida uma edificação em estrutura metálica já existente na literatura, na qual será dimensionado o sistema de lajes e vigas de suporte mistas.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

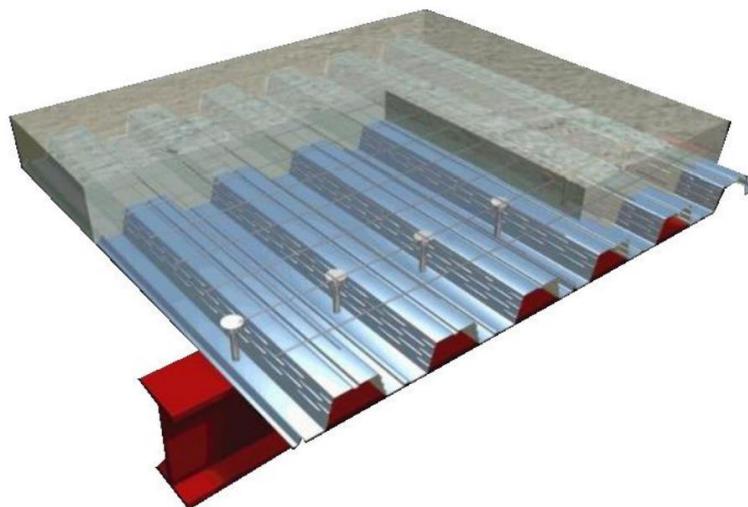
### 2.1 Estruturas mistas

Um sistema misto de aço-concreto é caracterizado pela colaboração entre um perfil de aço laminado, soldado ou formado a frio, e o concreto, sendo este usualmente armado. Essa interação resulta na formação de uma laje, uma viga, um pilar ou até mesmo uma ligação mista. O conjunto de sistemas mistos compõem uma estrutura mista. A colaboração entre o concreto e o perfil de aço pode ocorrer de várias maneiras, incluindo conexões mecânicas, como conectores, mossas e ressaltos, ou até mesmo por atrito, como em fôrmas de aço com cantos reentrantes, por exemplo (Queiroz; Pimenta; Martins, 2012).

De acordo com Fakury, Silva e Caldas (2016), os pilares mistos geralmente são formados por um perfil em forma de H revestido parcialmente ou totalmente com concreto. As vigas mistas são constituídas por um perfil de aço em forma de I unido a uma laje de concreto ou uma laje mista através de conectores de cisalhamento. Já as lajes mistas são compostas por uma fôrma de aço conformada a frio na face inferior da laje, trabalhando como armadura positiva da mesma.

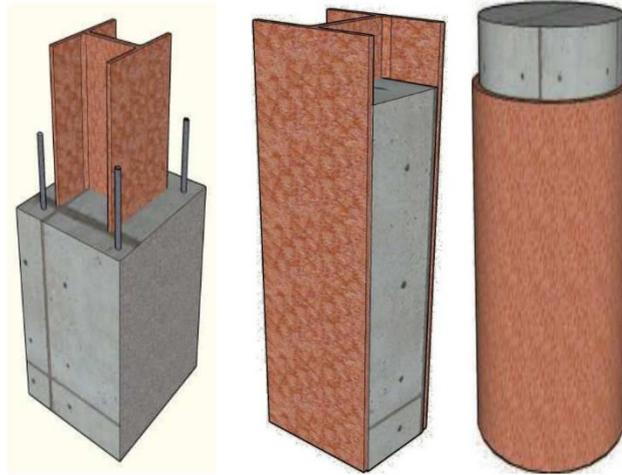
Na Figura 1, pode-se observar uma estrutura mista composta por uma laje em Steel Deck conectada através de conectores estilo Stud Bolt a uma viga mista. Já na Figura 2, observa-se diferentes tipos de pilares mistos.

Figura 1 - Laje com forma metálica incorporada Steel Deck, conectada a uma viga mista através de conectores de cisalhamento



Fonte: METFORM (2020)

Figura 2 – Diferentes modelos de pilares mistos



Fonte: Nardin *et al.* (2012)

### 2.1.1 Situação de Estruturas Mistas no Brasil

O emprego de estruturas mistas está ganhando corpo no mercado da construção civil no Brasil. Mesmo em edifícios em que a estrutura principal é predominantemente de aço, é válido afirmar que em sua quase totalidade, as vigas são planejadas e executadas como vigas mistas. Desde 1986 já são previstas vigas mistas em normas brasileiras, sendo vista na primeira edição em estados limites da NBR 8800. Os sistemas de pilar misto e laje mista de aço e concreto foram contemplados na NBR 14323 (1999) - “Dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio”, devido a sua grande resistência ao fogo. Somente após isso que esses sistemas, juntamente com ligações mistas, foram incorporados à presente edição da NBR 8800 (2008) - “Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios” (Queiroz; Pimenta; Martins, 2012).

Mais precisamente, as estruturas mistas de aço e concreto são contempladas nos Anexos O, P e Q da NBR 8800 (2008), onde são descritas as condições específicas para o dimensionamento das mesmas. Já as ligações mistas são vistas no anexo R. Observa-se também que a NBR 14323 ganhou uma nova edição em 2013, onde no capítulo 9 refere-se ao dimensionamento simplificado para estruturas mistas de aço e concreto em situação de incêndio, e especifica as condições para vigas mistas no Anexo A, para os pilares mistos no Anexo B, e no Anexo C é verificado o dimensionamento para as lajes mistas em situação de incêndio. Ainda, no Anexo D

pode ser visto as disposições construtivas para as estruturas mistas de aço e concreto. Além disso, em 2015 foi publicada a NBR 16421 - “Telha-Fôrma de aço colaborante para laje mista de aço e concreto - Requisitos e Ensaio”, onde define as exigências e ensaios aplicados às telhas fôrma colaborantes para laje mista de aço e concreto afim de garantir a padronização, qualidade e segurança da mesma.

### **2.1.2 Materiais**

As estruturas que unem aço e concreto demonstram uma fusão das qualidades de força e durabilidade desses materiais. O aço é conhecido por sua boa resistência à tração, enquanto o concreto se destaca pela sua capacidade de resistir à compressão. Essa união de características permite que as estruturas suportem grandes cargas e demonstrem uma boa capacidade de absorção de energia, o que as torna apropriadas para uso em construções que requerem uma elevada resistência estrutural (Fakury; Silva; Caldas, 2016).

#### **2.1.2.1 Aço**

A utilização do metal em civilizações antigas como Egito, Babilônia e Índia tem uma história de aproximadamente 8.000 anos, começando pela decoração de edifícios ou para fins militares. Porém, com a Revolução Industrial do século XIX, o ferro começou a ganhar importância. Há cerca de 100 a 150 anos, o aço tornou-se um material amplamente utilizado nas estruturas metálicas e concreto armado (Kaefer, 1998).

Segundo Queiroz, Pimenta e Mata (2001), o aço é uma liga ferro-carbono que contém alguns elementos adicionais cujas propriedades mecânicas podem ser modificadas pelo tratamento térmico ou conformação mecânica. O aço é utilizado em estruturas mistas de aço e concreto através de perfis, barras de armadura, fôrmas metálicas das lajes mistas, parafusos e conectores de cisalhamento.

Em relação às propriedades mecânicas, Fakury, Silva e Caldas (2016) acrescentam que, a estrutura de aço deve apresentar propriedades suficientemente boas, apresentando homogeneidade, tenacidade, dureza superficial, elasticidade, soldabilidade e ductilidade. Além disso, os autores também afirmam que o aço é um

material estrutural que possui um índice de resistência maior quando comparado com outros materiais, e devido a isso, os elementos estruturais feitos de aço têm seções transversais mais compactas.

### **2.1.2.2 Concreto**

No sentido mais amplo, o concreto é qualquer produto ou massa produzida a partir de um meio cimentante. Em vista disso, a utilização de materiais cimentícios é bastante antiga. Os Romanos foram os pioneiros a acrescentar areia e pedra fragmentada, fragmentos de tijolos ou telhas ao calcário calcinado à água, formando assim o primeiro concreto da história. Algumas estruturas de concreto construídas naquela época, como o Panteão em Roma, surpreendem até hoje pela sua durabilidade. Mas foi somente no final do século XIX que o concreto armado foi descoberto e patenteado, possibilitando a disseminação da técnica (Neville, 2016).

Segundo Queiroz, Pimenta e Mata (2001), o concreto é um material frágil, feito a partir de agregados graúdos e uma argamassa composta de cimento, agregados miúdos, água e aditivo. Os autores ainda afirmam que o concreto apresenta muitas microfissuras antes mesmo de ser sujeito a cargas externas. As características do concreto e a sua tendência para formar microfissuras é um aspecto importante a considerar na compreensão do seu comportamento e no desenvolvimento de estratégias para aumentar a sua durabilidade e desempenho.

Desse modo, em estruturas mistas, o concreto possui características como resistência à compressão elevada, boa rigidez e também atua como uma proteção eficaz para o aço, conferindo assim resistência contra corrosão e incêndio (Fabrizzi, 2007).

### **2.1.3 Vantagens e desvantagens**

O uso de sistemas mistos confere um aumento a variedade de soluções em concreto armado e em aço. Em pilares mistos, por exemplo, existe a possibilidade de variação de tipos de perfis e tipos de aço estruturais, além de diferentes disposições construtivas, onde a contribuição do aço pode atingir 90% da sua resistência. Comparando com estruturas de concreto armado, essa contribuição usualmente não chega a 40%. Além disso, no caso de vigas mistas, por exemplo, pode-se elevar

significativamente sua rigidez e resistência interligando perfis metálicos de alma cheia a uma laje apoiada sobre eles, onde também existe a possibilidade de variação de tipos de perfis e tipos de aço estruturais. Para as lajes mistas é possível reduzir a quantidade de armadura e é dispensável a etapa da desforma. Já com as ligações mistas, é possível aproveitar as armaduras já presentes na laje para controlar o surgimento de fissuras, ajustando, se necessário, tanto a quantidade como o comprimento das barras (Queiroz; Pimenta; Martins, 2012).

A construção civil destaca-se como o setor que exerce a maior contribuição para os impactos ambientais, sendo também o principal gerador de resíduos entre todas as atividades produtivas. O impacto ambiental associado à construção ocorre em toda a sua cadeia produtiva, desde a extração da matéria-prima até a demolição (Leques *et al.*, 2020).

Em consonância com a busca por soluções mais eficientes e sustentáveis, o uso de estruturas mistas de aço e concreto faz com que ocorra a redução do consumo de recursos naturais e, por sua vez, a diminuição dos impactos ambientais, além de agregar vantagens estruturais e econômicas à edificação. A combinação de materiais das estruturas mistas proporciona vários benefícios e possibilitam a otimização do uso dos recursos disponíveis (Nardin *et al.*, 2012).

“O aço está entre os materiais mais recicláveis e reciclados do mundo. Os elementos estruturais ou qualquer produto de aço, ao final da vida útil, ou simplesmente quando, por qualquer razão, perdem sua finalidade, são transformados em sucata, que, por sua vez, pode ser empregada na fabricação de novos produtos siderúrgicos. A produção de aço a partir da sucata reduz o consumo de matérias-primas não renováveis, economiza energia e evita a ocupação de áreas para o descarte de produtos obsoletos.” (Fakury; Silva; Caldas, 2016, p. 381).

Embora as estruturas metálicas ofereçam diversos fatores que contribuem para a sustentabilidade, como o seu alto potencial de reciclagem, de reaproveitamento e industrialização, que resulta na maior qualidade dos materiais, o processo de extração do ferro é muito devastador. Enquanto as estruturas de concreto geram um grande impacto ambiental ao longo de toda a sua vida útil (Leques *et al.*, 2020).

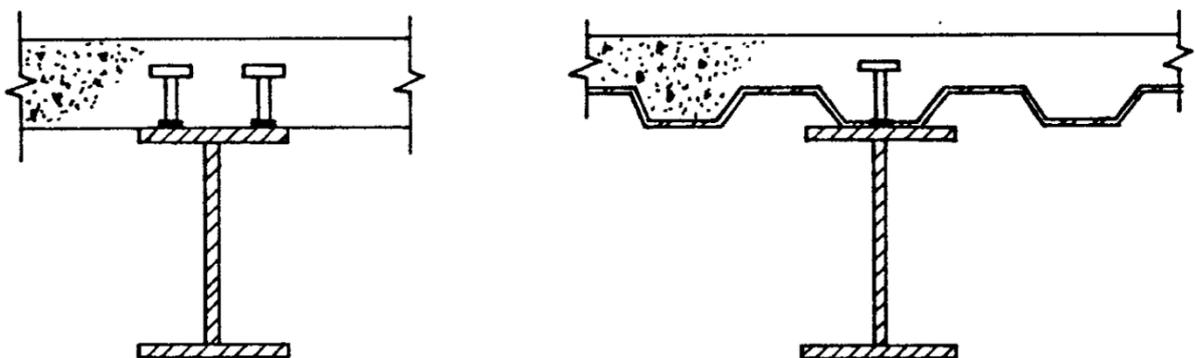
Esses sistemas mistos são capazes de oferecer uma extensa gama de opções e possibilidades para alcançar benefícios arquitetônicos e econômicos, além de

vantagens em relação ao concreto armado e ao aço. No contexto do concreto armado, esses sistemas possibilitam a dispensa de formas e escoramento, podem diminuir o prazo de execução da obra, reduzem o peso próprio, o volume, e conseqüentemente, os custos de fundação, além de aumentar a precisão dimensional da construção. Já em relação ao uso do aço, a implementação de sistemas mistos demonstra uma diminuição substancial do consumo de aço estrutural e redução das proteções contra incêndio e corrosão, além de aumentar a rigidez da estrutura (Queiroz; Pimenta; Martins, 2012).

## 2.2 Vigas Mistas e Conectores de Cisalhamento

As vigas mistas, como podem ser visualizadas na Figura 3, são compostas por um perfil de aço que é responsável por suportar as cargas provenientes de uma laje de concreto apoiada sobre a mesa superior do perfil. Esse sistema estrutural consiste na conexão mecânica entre a estrutura de aço e uma estrutura de concreto, operando de maneira conjunta no momento fletor. A interligação entre esses elementos é assegurada por componentes de aço chamados conectores de cisalhamento (Higaki, 2009).

Figura 3 – Exemplos de vigas mistas, viga mista conectada a laje de concreto e a laje mista, respectivamente.

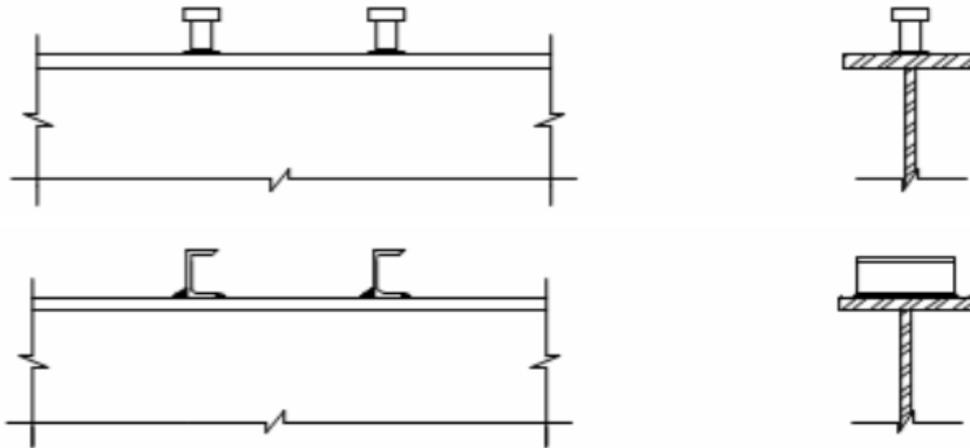


Fonte: Malite (1990)

A NBR 8800 (2008) especifica exclusivamente dois tipos de conectores de cisalhamento. Os conectores tipo pino com cabeça, conhecidos como Stud Bolts, com diâmetro de 19 mm, e perfis U laminados ou formados a frio, cuja espessura da chapa

seja igual ou superior a 3 mm. Na Figura 4 é possível observar os dois modelos de conectores de cisalhamento admissíveis na norma.

Figura 4 – Pino Stud Bolt e perfil U conectados a vigas, respectivamente



Fonte: Malite (1990)

Usualmente, o Stud Bolt (Figura 5) é o conector de cisalhamento mais utilizado em lajes Steel Deck, sendo ainda utilizadas coroas ou anéis cerâmicos que auxiliam na contenção do arco voltaico formado na soldagem do pino. Fakury, Silva e Caldas (2016, p. 399) afirmam que este pino é um “fuste projetado para funcionar como eletrodo de solda por arco elétrico, e após a soldagem, como conector”.

Figura 5 – Pino conector Stud Bolt e coroa cerâmica

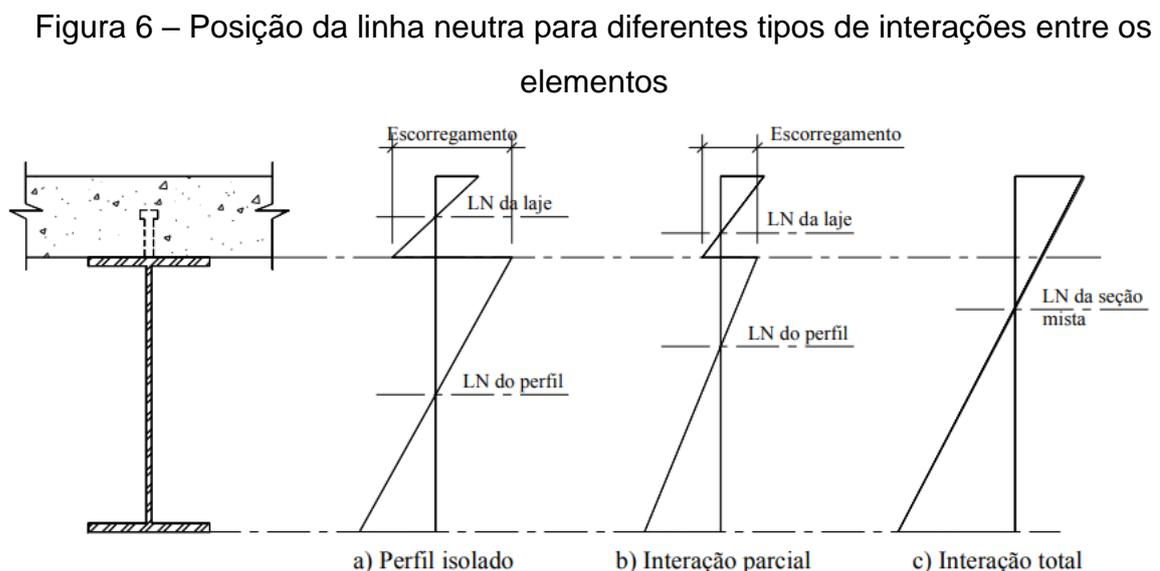


Fonte: Walsywa (2022)

Essas vigas mistas de aço e concreto são reconhecidas como o sistema estrutural mais eficiente para resistir a cargas de pisos de edifícios, graças à sua facilidade de construção e à redução de peso da viga de aço, que por sua vez pode

chegar em até 40% do peso do sistema. Para isso, o sistema de laje e viga mista deve estar dimensionado de tal forma que a linha neutra do sistema se encontre localizada em uma posição em que as tensões de tração sejam resistidas pelo perfil de aço e as tensões de compressão na flexão pelo concreto, atingindo assim sua eficiência máxima (Queiroz; Pimenta; Mata, 2001).

Sem os conectores de cisalhamento ocorreria um deslizamento relativo na superfície de contato entre a laje e a viga, pois a face inferior da laje fica submetida a tensões de tração, alongando-se, enquanto a face superior do perfil fica submetida a tensão de compressão, encurtando-se. Devido a esse comportamento independente é possível observar duas linhas neutras, uma no centro geométrico do perfil de aço e outra no centro da laje. Também existe uma condição intermediária, que ocorre quando o número de conectores de cisalhamento não é adequado, resultando assim em uma interação parcial no sistema, porém com o escorregamento inferior ao da viga isolada. Para a interação total dos elementos, deve-se ter um número de conectores suficientes para evitar o escorregamento relativo da superfície de contato, fazendo com que o sistema de laje e viga mista se deforme como um único elemento, possuindo assim somente uma linha neutra, conforme demonstrado na Figura 6 (Fabrizzi, 2007).

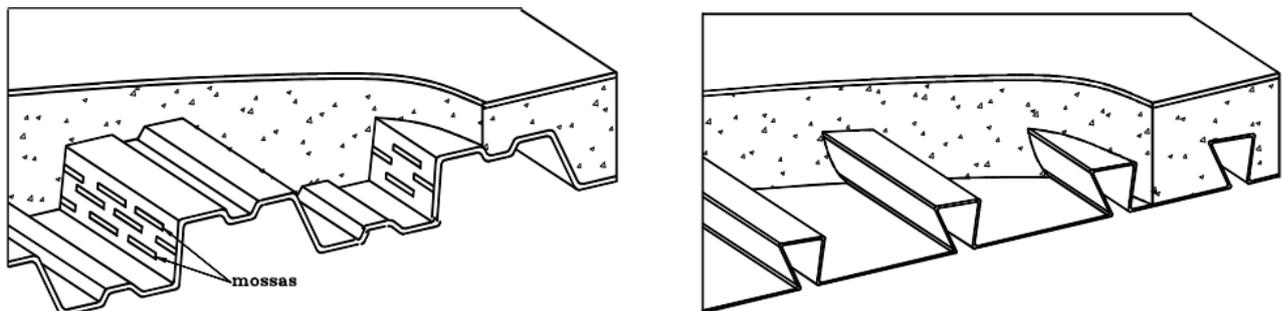


Fonte: Fabrizzi (2007)

## 2.3 Steel Deck

As lajes mistas com fôrma metálica incorporada, também conhecida como telha-fôrma ou simplesmente Steel Deck, são constituídas a partir de uma fôrma de aço e o concreto moldado *in loco*, podendo este ser de densidade leve ou não. Nas lajes mistas de aço e concreto, as fôrmas de aço são integradas no sistema de sustentação das cargas, suportando as ações permanentes e sobrecarga de construção antes da cura do concreto, e após a cura, atua como a total ou parcial armadura de tração da laje. O cisalhamento longitudinal deve ser transmitido pela fôrma na interface aço-concreto pelas conexões mecânicas por mossas nas fôrmas de aço trapezoidais ou pelas conexões por atrito em função do confinamento do concreto nas fôrmas com cantos reentrantes, conforme a Figura 7 (Queiroz; Pimenta; Martins, 2012).

Figura 7 – Laje com fôrma trapezoidal e fôrma com cantos reentrantes



Fonte: NBR 8800 (2008)

De acordo com a NBR 8800 (2008), a aderência natural entre o concreto e o aço é desconsiderada para o comportamento misto, por isso se torna importante a ligação por atrito em fôrmas reentrantes e a ligação mecânica pelas mossas nas fôrmas trapezoidais.

Segundo a NBR 8800 (2008, p. 211):

"(...) Laje mista de aço e concreto, também chamada de laje com fôrma de aço incorporada, é aquela em que, na fase final, o concreto atua estruturalmente em conjunto com a fôrma de aço, funcionando como parte ou como toda a armadura de tração da laje. Na fase inicial, ou seja, antes de o concreto atingir 75% da resistência à compressão especificada, a fôrma de aço suporta isoladamente as ações permanentes e a sobrecarga de construção."

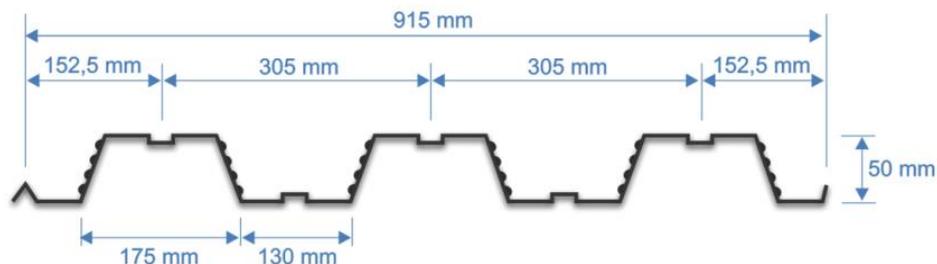
Normalmente os fabricantes das fôrmas fornecem a sua capacidade de carga para um dado vão ou o vão máximo admissível para um dado carregamento em forma de tabela (Queiroz; Pimenta; Martins, 2012).

As Tabelas 3 e 4 da capacidade de carga disponibilizada pela METFORM pode ser vista no Anexo.

A telha-fôrma deve ser produzida utilizando chapas finas de aço estrutural que estejam em conformidade com as especificações da norma brasileira NBR 14762 (2010). Geralmente, essas formas são galvanizadas em ambas as faces, proporcionando proteção adicional contra corrosão. Em ambientes mais agressivos, além da galvanização, é recomendado o uso de uma pintura apropriada na face exposta ao meio externo para reforçar a resistência e durabilidade do material. É importante que aditivos à base de cloretos não devam ser utilizados pois estes agredem o revestimento das fôrmas (Fakury; Silva; Caldas, 2016).

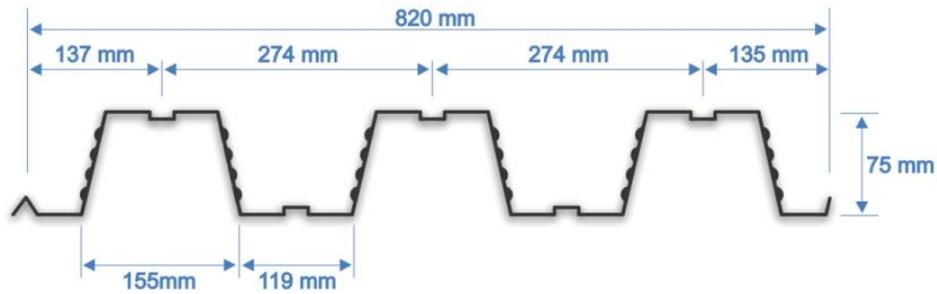
As fôrmas da METFORM que serão utilizadas no presente trabalho são fabricadas em aço zincado ASTM A653, que possui resistência ao escoamento igual a 280 MPa, nas espessuras de 0,8 mm, 0,95 mm e 1,25 mm. Existem hoje no mercado dois modelos diferentes de fôrmas, a MF-50 (Figura 8) que possui nervuras de altura nominal de 50 mm e largura útil de 915 mm, e a MF-75 (Figura 9), que por sua vez possui altura nominal de 75 mm e largura útil de 820 mm. O primeiro modelo é recomendado para edificações urbanas, como edifícios, garagens, hotéis, hospitais, entre outros, enquanto a segunda geometria de fôrma é recomendada para empreendimentos industriais e em situações que envolvem a aplicação de cargas elevadas (METFORM, 2020).

Figura 8 – Dimensões da Telha-fôrma MF 50



Fonte: METFORM (2020)

Figura 9 – Dimensões da Telha-fôrma MF 75



Fonte: METFORM (2020)

### 2.3.1 Dimensionamento

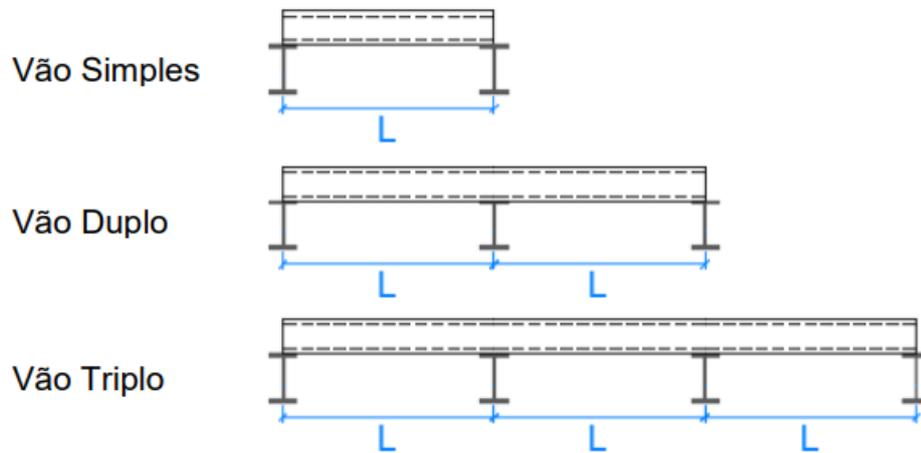
A telha-fôrma deve ser dimensionada sempre em duas fases distintas, considerando a etapa de construção da laje e após o término da mesma. A primeira fase é responsável por garantir que a fôrma seja capaz de suportar o peso do concreto fresco e manter a geometria desejada até que o concreto seque. Para isto, deve-se verificar o vão máximo sem escoramento para a carga necessária através das tabelas disponibilizadas pelos fabricantes, como no caso das telhas-fôrmas da METFORM, será a tabela de cargas com vãos máximos sem escoramentos, mostrados no anexo nas Tabelas 3 e 4 (METFORM, 2020).

De acordo com o Manual Técnico da METFORM, foram considerados para a elaboração da tabela:

- O peso próprio da telha-fôrma;
- O peso próprio do concreto fresco antes da cura, com densidade de 2.400 kg/m<sup>3</sup>;
- Carga uniformemente distribuída de 1 kN/m<sup>2</sup>.

Além disso, também foi considerada a possibilidade de continuidade da telha-fôrma sobre as vigas de apoio para a primeira fase, podendo formar vãos duplos ou triplos, conforme a Figura 10.

Figura 10 – Vão simples ou contínuos



Fonte: METFORM (2020)

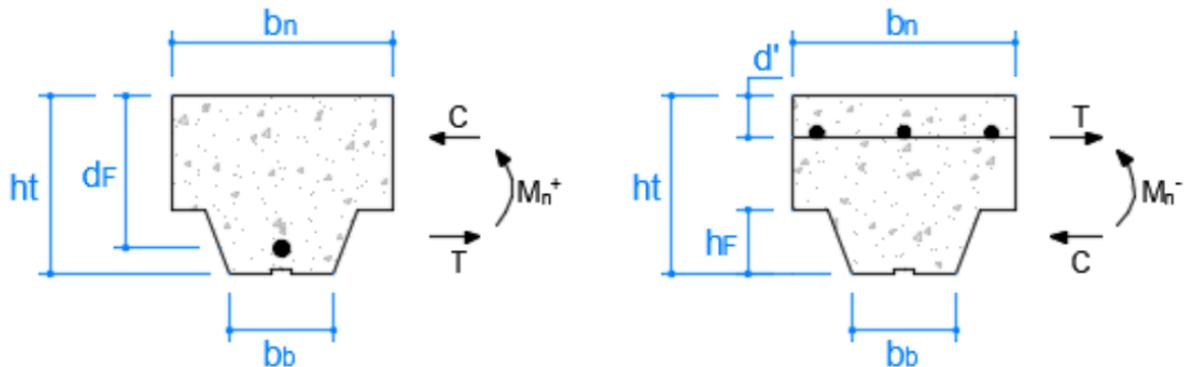
Já para a segunda fase, a fôrma é dimensionada para atuar como armadura positiva das lajes, considerando a atuação do concreto já endurecido, garantindo que a laje mista suporte as cargas que serão aplicadas sobre ela. Ou seja, após a cura do concreto, é possível observar o comportamento misto, onde a fôrma de aço e o concreto formam um único elemento estrutural, com o aço da telha-fôrma resistindo às tensões de tração, enquanto o concreto desempenha o papel de suportar as tensões de compressão (Queiroz; Pimenta; Martins, 2012).

Desse modo, deve-se comparar a soma das cargas sobrepostas a atuarem no piso, considerando revestimentos e sobrecargas, com os valores de carga sobreposta máxima nas Tabelas 3 e 4 no anexo. A METFORM também afirma que não é necessária a utilização de coeficientes de majoração e deve-se desconsiderar para o cálculo o peso próprio da laje, visto que isto já é previsto nas tabelas.

No dimensionamento para a segunda fase, caso a capacidade resistente da laje mista seja inferior ao carregamento atuante, pode-se optar entre o aumento da espessura da telha-fôrma ou o uso de armaduras adicionais de reforço. Este aumento na capacidade de carga poderá ser considerado por meio de armaduras positivas (dentro das ondas baixas) ou armaduras negativas (no capeamento de concreto, posicionadas a 20 mm do topo). Para as armaduras positivas, foram consideradas barras treiladas em aço CA-50, que possui limite de resistência ao escoamento de 500 MPa. Já para o momento fletor negativo, foram consideradas telas soldadas em

aço CA-60, que por sua vez possui limite de resistência ao escoamento de 600 Mpa. O posicionamento dessas armaduras é ilustrado na Figura 11 (METFORM, 2020).

Figura 11 - Distribuição das armaduras de reforço para momentos fletores positivos e negativos, respectivamente



Fonte: METFORM (2020)

Para isso, a fabricante disponibiliza tabelas para o dimensionamento das armaduras negativas (Tabelas 5 e 6 no anexo) e positivas (Tabelas 7 e 8 no anexo) de reforço para a laje, levando em consideração a altura da mesma e a resistência ao momento fletor de determinada quantidade de área de aço por metro.

### 2.3.2 Disposições construtivas

As fôrmas de aço são instaladas por meio de painéis, geralmente posicionados sobre as faces superiores das vigas já niveladas, garantindo que sejam montadas com sua largura útil real. Após a colocação dos painéis, é comum a necessidade de realizar cortes e ajustes nos cantos e no contorno dos pilares para adequar a laje à geometria específica da edificação. Posteriormente, esses painéis devem ser devidamente fixados aos perfis de aço das vigas. As vigas de apoio da laje deverão ser locadas de forma a evitar escoramentos durante a etapa de concretagem (Fakury; Silva; Caldas, 2016).

A fixação está condicionada ao tipo de viga em consideração. Para vigas mistas, deve-se empregar conectores de cisalhamento para assegurar a integração sólida entre a laje e a estrutura, podendo ser conector tipo pino com cabeça (Stud Bolt) ou até mesmo perfil U.

Antes de realizar a concretagem, será necessário soldar esses conectores de cisalhamento para estabelecer a ligação entre a viga metálica e a laje mista. É crucial observar com cuidado esse processo, evitando a presença de umidade durante as soldagens dos conectores. Além disso, a telha-fôrma deverá ser devidamente limpa, removendo todas as ferrugens, rebarbas, respingos de solda e oleosidades em geral (Fakury; Silva; Caldas, 2016).

São empregadas telas soldadas ou malhas de barras trefiladas, com a finalidade de prevenir fissuras resultantes da retração e variação térmica do concreto, devendo estas sempre estarem posicionadas na parte superior da laje, como pode ser visto na Figura 12. Além da armadura de fissuração, deve-se adotar armaduras adicionais ao redor dos pilares e nas junções de vigas, a fim de evitar possíveis fissuras por rotação das vigas de aço pela tendência de continuidade da laje sobre os apoios (METFORM, 2020).

Figura 12 – Concretagem de Steel Deck e posição das armaduras adicionais

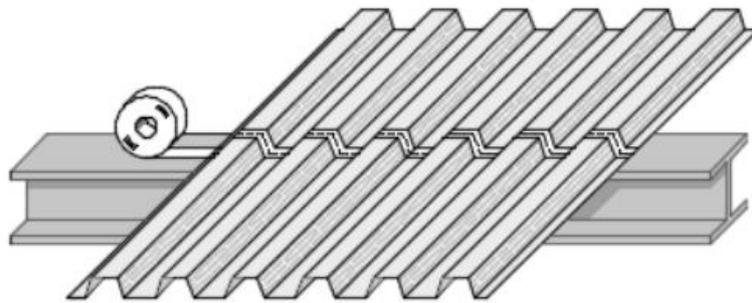


Fonte: ArcelorMittal (2016)

O concreto é lançado através de bombas e a cura do mesmo deve ser de maneira similar ao processo para lajes maciças em concreto armado. Essa etapa tem início após a instalação das armaduras adicionais das lajes e deverá ocorrer com cautela, evitando o acúmulo de materiais e de pessoas sobre a plataforma. Para evitar possíveis vazamentos de nata de cimento durante a concretagem nos pontos de junção das peças de telha-fôrma, pode-se utilizar fita crepe para que se tenha um

melhor acabamento na parte inferior da laje, conforme indicado na Figura 13 (METFORM, 2020).

Figura 13 – Fita para vedação dos painéis



Fonte: METFORM (2020)

### 2.3.3 Vantagens e desvantagens

As principais vantagens das lajes mistas estão relacionadas à dispensa do uso de escoramentos e fôrmas, o que resulta em rapidez na construção visto que exclui a etapa de desforma. Ademais, a estrutura de aço pode servir como uma plataforma de trabalho e proteção para os trabalhadores nos pavimentos inferiores, além de ser de fácil instalação. Por outro lado, as desvantagens incluem a possível necessidade de mais vigas perpendiculares às nervuras para o suporte da laje mista, sendo essas normalmente vigas secundárias, além de requisitar mão de obra especializada. Esteticamente, pode-se fazer necessário o uso de forros suspensos (Fakury; Silva; Caldas, 2016).

Além disso, por se tratar de um produto industrializado, surge a necessidade de lidar com custos logísticos significativos, especialmente no transporte de materiais a partir de grandes centros industriais até o canteiro de obras, o que se pode destacar como uma desvantagem relevante. Esse aspecto pode contribuir para o entrave do desenvolvimento e disseminação de diferentes métodos construtivos, como no caso do Steel Deck (Oliveira, 2013).

### 3 METODOLOGIA

Este trabalho se baseará no Manual Técnico de Telha-Fôrma da METFORM e na NBR 8800 (2008) – “Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios” para realizar o dimensionamento de uma estrutura mista composta por lajes em Steel Deck, vigas e ligações mistas de um pavimento tipo de uma edificação metálica, mais precisamente os Anexos O, Q e R da norma. O Anexo O trata das normativas para o dimensionamento de Vigas mistas de aço e concreto, o Anexo Q fala sobre as Lajes mistas, enquanto o Anexo R aborda as Ligações Mistas.

Além disso, alguns softwares serão utilizados durante o andamento do projeto. Para auxiliar no dimensionamento, será usado o software Ftool. Para a modelagem em BIM o software utilizado será o REVIT.

A edificação escolhida para o dimensionamento da estrutura mista é um modelo proposto por Bellei e Bellei (2011) em parceria com o Instituto Aço Brasil e o Centro Brasileiro da Construção em Aço. O projeto é de um edifício multifamiliar de quatro pavimentos em estrutura metálica, conforme detalhado nas Figuras 14, 15 e 16. Inicialmente, o modelo foi calculado pelos autores para uma laje maciça, sendo esta substituída por uma laje em Steel Deck para o dimensionamento. As ações permanentes da edificação estudada podem ser vistas na Tabela 1 e as ações variáveis constam na Tabela 2.

Tabela 1 – Ações Permanentes

<b>Ações Permanentes</b>	<b>Cargas</b>
Paredes internas em Dry Wall	0,30 kN/m <sup>2</sup>
Revestimento piso	0,50 kN/m <sup>2</sup>
Forro de gesso	0,15 kN/m <sup>2</sup>
Corredor e hall	3,00 kN/m <sup>2</sup>
Degrau + corrimão + estrutura escada + laje patamar	2,50 kN/m <sup>2</sup>
Laje maciça com 10 cm	2,50 kN/m <sup>2</sup>

Fonte: Adaptado de Bellei e Bellei (2011, p. 62)

Tabela 2 – Ações Variáveis

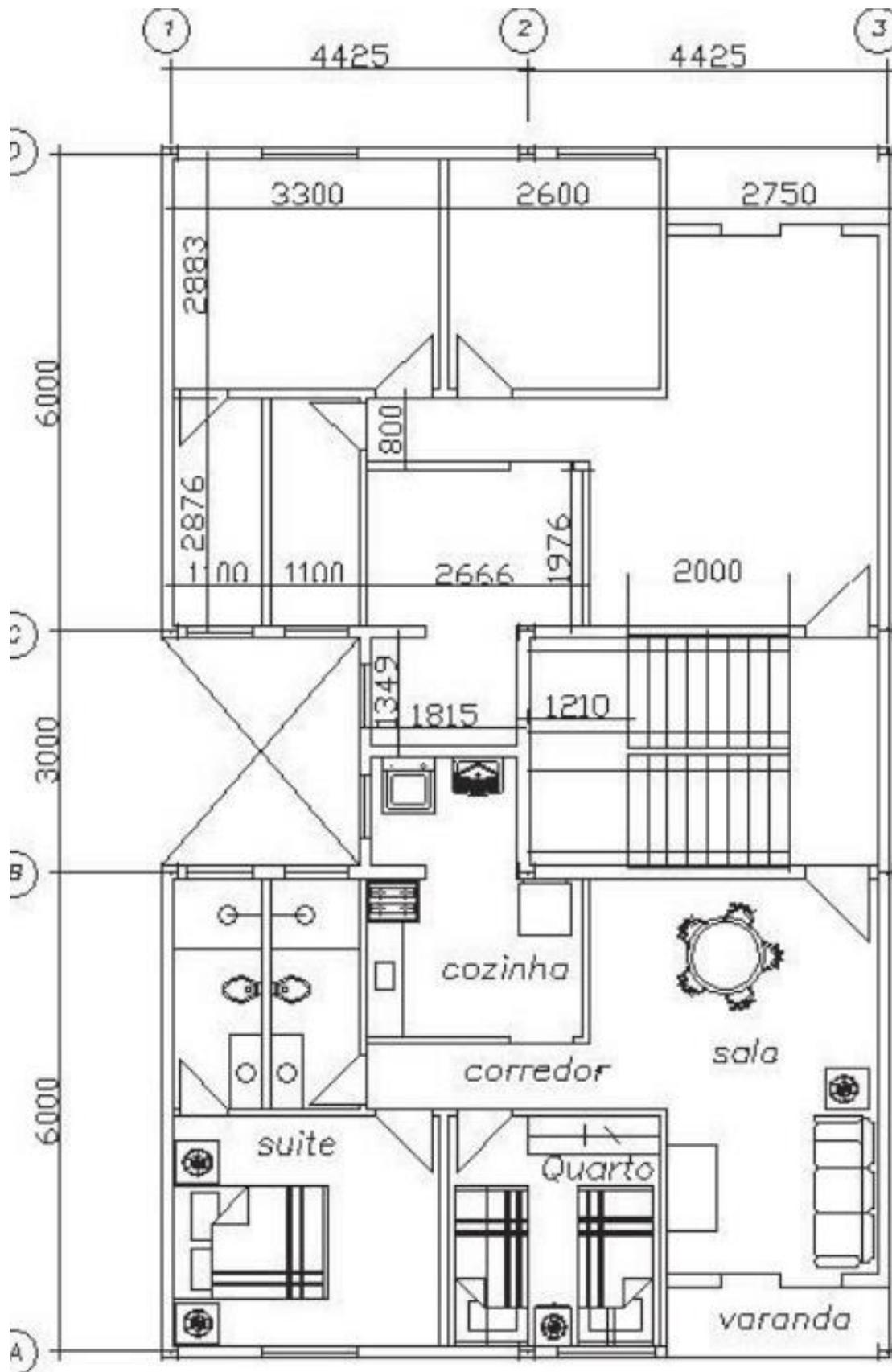
<b>Ações Variáveis</b>	<b>Cargas</b>
Piso tipo dos apartamentos	1,50 kN/m <sup>2</sup>
Área de serviço	2,00 kN/m <sup>2</sup>
Hall/Corredor/Escada	3,00 kN/m <sup>2</sup>

Fonte: Adaptado de Bellei e Bellei (2011, p. 62)

A laje com fôrma de aço incorporada será conectada nas vigas metálicas em perfis W, e a interação entre esses elementos será mediada por conectores de cisalhamento do tipo pino com cabeça. O dimensionamento das vigas mistas de suporte para as lajes em Steel Deck e dos conectores de cisalhamento serão através das equações disponíveis no Anexo O da NBR 8800:2008. Já as lajes mistas serão dimensionadas para a estrutura escolhida a partir das tabelas disponibilizadas pela METFORM, realizando todas as verificações necessárias dispostas no Anexo Q da norma.

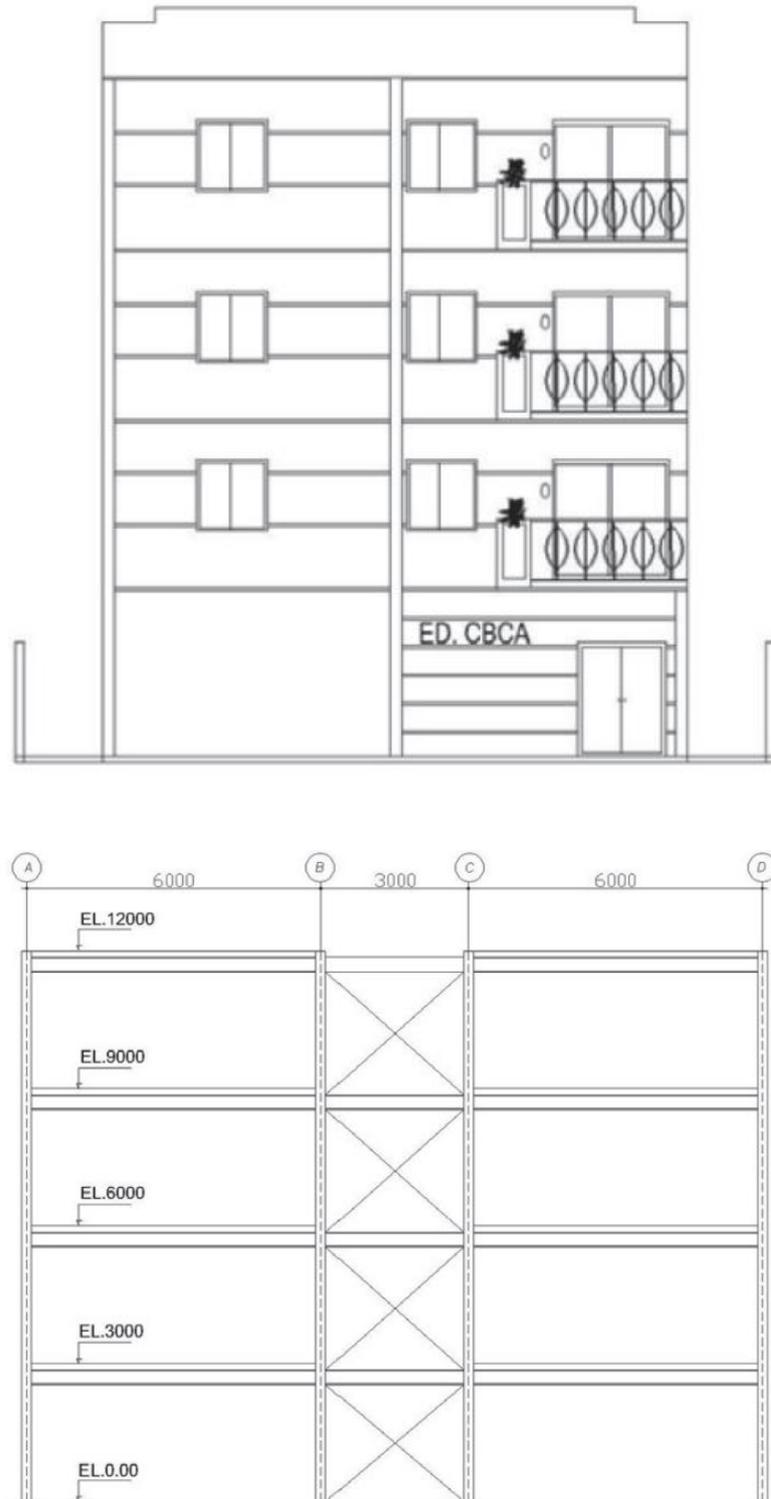
O pavimento tipo dimensionado para o sistema misto será modelado em BIM, utilizando o Software REVIT, para isso, será lançada a estrutura da edificação, onde serão representados os elementos mistos, mostrando graficamente a disposição dos mesmos.

Figura 14 – Pavimento tipo da edificação escolhida



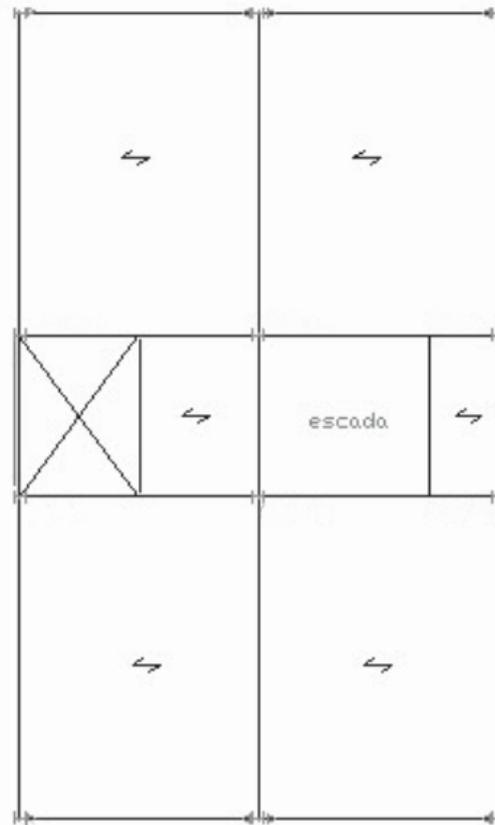
Fonte: Bellei e Bellei (2011, p. 54)

Figura 15 – Fachada e corte transversal da edificação escolhida, respectivamente



Fonte: Bellei e Bellei (2011, p. 55)

Figura 16 – Paginação de lajes da edificação



Fonte: Adaptado de Bellei e Bellei (2011, p. 62)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Lajes em Steel Deck - Dimensionamento

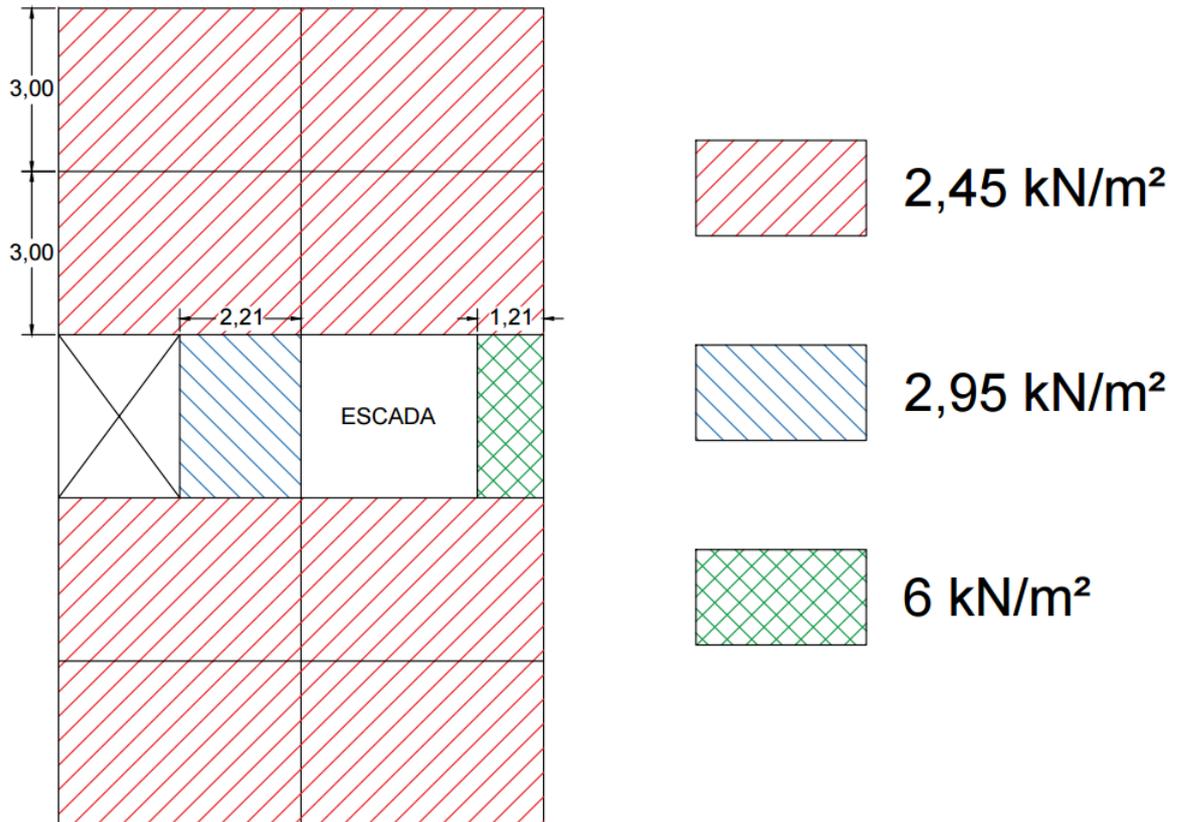
A partir da paginação de lajes do autor, foi elaborada um esquema das cargas sobrepostas máximas em cada laje, conforme a Figura 17. A combinação das cargas foi realizada conforme especificado pela fabricante, somando as cargas permanentes e acidentais, desconsiderando o peso próprio da laje. Todos os valores das tabelas METFORM já são majorados pelo coeficiente  $\gamma = 1,40$ , então devem ser utilizadas cargas características para determinar os esforços solicitantes que serão comparados com os valores de resistência tabelados.

Cargas sobrepostas máximas Laje, vermelha =  $0,30 + 0,50 + 0,15 + 1,50 = 2,45 \text{ kN/m}^2$

Cargas sobrepostas máximas Laje, azul =  $0,30 + 0,50 + 0,15 + 2,00 = 2,95 \text{ kN/m}^2$

Cargas sobrepostas máximas Laje, verde =  $3,00 + 3,00 = 6 \text{ kN/m}^2$

Figura 17 – Cargas sobrepostas máximas por laje



Fonte: Elaboração da autora (2024).

Desse modo, foi possível escolher entre os modelos de telha-fôrma, para não necessitar escoramento durante a fase inicial, através das Tabelas 3 e 4 em ANEXO, considerando um vão máximo de 3 m para as lajes em vermelho, sendo este um vão duplo, 2,21 m para a laje em azul e 1,21 m para a verde, sendo ambas um vão simples. Assim, foi escolhida a telha-fôrma MF 50 de espessura 1,25 mm, com altura da laje de 110 mm, conforme a Figura 18.

O tipo de armadura de retração a ser usado para a laje escolhida é a tela soldada Q-75, composta barras de  $\varnothing$  3,8 mm espaçadas a 1,5 m entre si, conforme a Tabela 9 em ANEXO. O consumo estimado de concreto é de 0,0850 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.

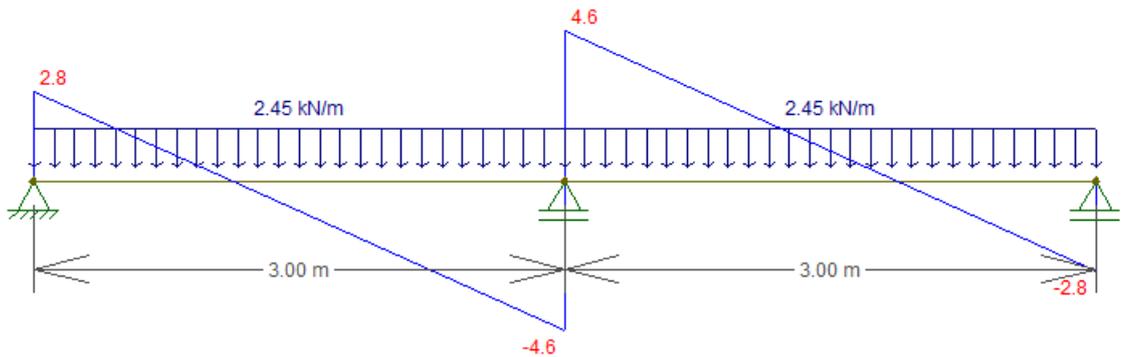
Figura 18 – Telha-fôrma MF 50 escolhida

Altura da Laje (mm)	Esp. (mm)	Vãos Máximos sem Escoramento				Peso Próprio (kN/m <sup>2</sup> )	M. Inércia Laje Mista (10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup> /m)	Carga Sobreposta Máxima (kN/m <sup>2</sup> )														
		Vãos Simples (mm)		Vãos Duplos (mm)				Vãos (mm)														
		Simplex (mm)	Duplo (mm)	Tripla (mm)	Balanço (mm)			1.800	1.900	2.000	2.100	2.200	2.300	2.400	2.500	2.600	2.650	2.700	2.800	2.900	3.000	3.100
100	0,80	2.050	2.800	2.900	900	1,85	5,25	9,31	8,14	7,14	6,28	5,54	4,89	4,32	3,82	3,38	3,18	2,99	2,63	2,32	2,03	1,78
	0,95	2.550	3.150	3.250	1.100	1,86	5,61	11,68	10,24	9,01	7,96	7,04	6,25	5,55	4,94	4,40	4,15	3,92	3,49	3,10	2,75	2,44
	1,25	3.200	3.800	3.800	1.450	1,89	6,26	16,43	14,45	12,76	11,31	10,06	8,97	8,02	7,18	6,44	6,10	5,78	5,19	4,67	4,20	3,77
110	0,80	1.800	2.700	2.800	900	2,08	6,89	10,56	9,23	8,10	7,13	6,29	5,55	4,91	4,34	3,84	3,61	3,39	3,00	2,64	2,32	2,02
	0,95	2.400	3.050	3.150	1.050	2,10	7,35	13,25	11,62	10,23	9,03	8,00	7,10	6,31	5,61	5,00	4,72	4,45	3,96	3,53	3,13	2,78
	1,25	3.050	3.650	3.650	1.400	2,13	8,19	18,64	16,39	14,48	12,84	11,42	10,18	9,10	8,15	7,31	6,93	6,57	5,90	5,31	4,77	4,29
120	0,80	1.650	2.600	2.700	850	2,32	8,85	11,81	10,33	9,06	7,98	7,03	6,21	5,50	4,86	4,30	4,05	3,80	3,36	2,96	2,60	2,27
	0,95	2.250	2.900	3.000	1.050	2,33	9,43	14,82	13,00	11,44	10,10	8,95	7,94	7,06	6,28	5,60	5,28	4,99	4,44	3,95	3,51	3,12
	1,25	2.950	3.550	3.550	1.350	2,36	10,49	20,00	18,34	16,20	14,36	12,78	11,40	10,19	9,13	8,19	7,76	7,36	6,61	5,95	5,35	4,81
130	0,80	1.490	2.500	2.600	850	2,55	11,16	13,06	11,42	10,02	8,82	7,78	6,88	6,08	5,38	4,76	4,48	4,21	3,72	3,28	2,88	2,52
	0,95	2.050	2.800	2.900	1.000	2,57	11,87	16,39	14,37	12,65	11,18	9,90	8,79	7,81	6,96	6,20	5,85	5,52	4,92	4,38	3,89	3,46
	1,25	2.800	3.400	3.400	1.350	2,60	13,19	20,00	20,00	17,91	15,89	14,13	12,61	11,28	10,10	9,06	8,59	8,14	7,32	6,59	5,92	5,33
140	0,80	1.350	2.450	2.500	800	2,79	13,85	14,31	12,52	10,99	9,67	8,53	7,54	6,67	5,90	5,23	4,91	4,62	4,08	3,60	3,16	2,77
	0,95	1.850	2.750	2.800	1.000	2,80	14,72	17,96	15,75	13,87	12,25	10,85	9,63	8,57	7,63	6,80	6,42	6,06	5,40	4,81	4,27	3,79
	1,25	2.700	3.300	3.300	1.300	2,83	16,32	20,00	20,00	19,63	17,41	15,49	13,82	12,36	11,08	9,94	9,42	8,93	8,03	7,23	6,50	5,85
150	0,80	1.250	2.300	2.450	800	3,02	16,93	15,57	13,61	11,95	10,52	9,28	8,20	7,26	6,42	5,69	5,35	5,03	4,44	3,92	3,44	3,02
	0,95	1.700	2.650	2.750	950	3,04	17,98	19,53	17,13	15,08	13,33	11,80	10,48	9,32	8,30	7,40	6,98	6,59	5,88	5,23	4,65	4,13
	1,25	2.600	3.200	3.250	1.250	3,07	19,90	20,00	20,00	20,00	18,94	16,85	15,04	13,45	12,05	10,82	10,25	9,72	8,74	7,86	7,08	6,37
160	0,80	1.150	2.200	2.300	800	3,26	20,45	16,82	14,71	12,91	11,37	10,03	8,87	7,84	6,95	6,15	5,78	5,44	4,81	4,24	3,73	3,26
	0,95	1.600	2.550	2.650	950	3,27	21,69	20,00	18,51	16,30	14,40	12,76	11,33	10,07	8,97	8,00	7,55	7,13	6,35	5,66	5,04	4,47
	1,25	2.550	3.100	3.150	1.250	3,30	23,97	20,00	20,00	20,00	20,00	18,21	16,25	14,53	13,03	11,69	11,08	10,51	9,45	8,50	7,65	6,89
170	0,80	1.050	2.050	2.150	750	3,49	24,43	18,07	15,81	13,88	12,22	10,78	9,53	8,43	7,47	6,61	6,22	5,85	5,17	4,56	4,01	3,51
	0,95	1.500	2.500	2.600	900	3,51	25,87	20,00	19,89	17,51	15,47	13,71	12,17	10,83	9,64	8,60	8,12	7,66	6,83	6,09	5,42	4,81
	1,25	2.450	3.050	3.050	1.200	3,54	28,55	20,00	20,00	20,00	20,00	19,57	17,46	15,62	14,00	12,57	11,91	11,29	10,16	9,14	8,23	7,41

Fonte: Adaptado de METFORM (2020, p. 15)

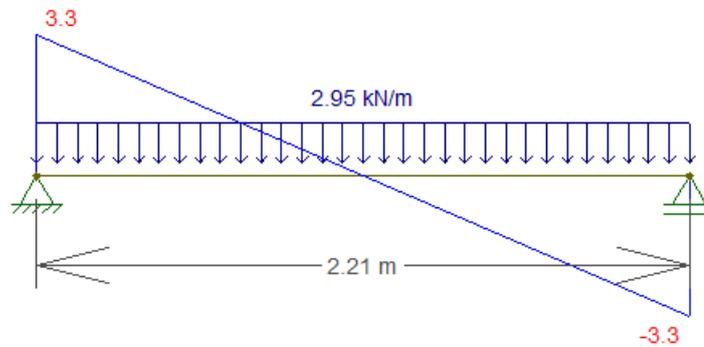
Foram aplicadas todas as cargas sobrepostas máximas no software Ftool, a fim de encontrar o cortante máximo em cada seção, conforme Figuras 19, 20 e 21.

Figura 19 – Cortante máximo das lajes em vermelho



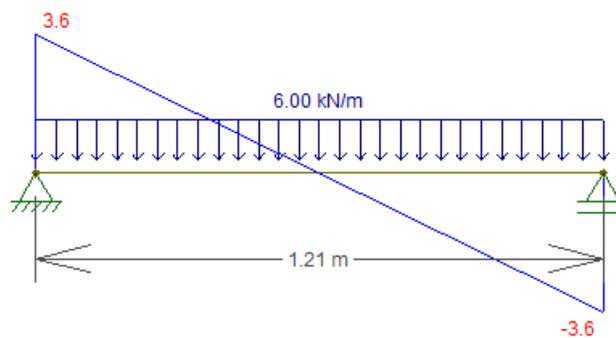
Fonte: Elaboração da autora (2024).

Figura 20 – Cortante máximo da laje em azul



Fonte: Elaboração da autora (2024).

Figura 21 – Cortante máximo da laje em verde

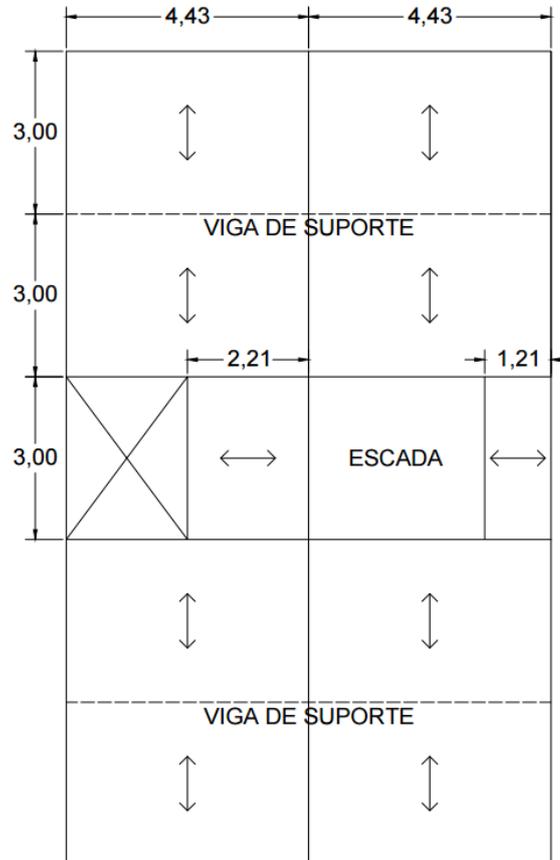


Fonte: Elaboração da autora (2024).

Estes valores de cortante máximo das lajes analisadas não deverão ultrapassar o valor de cortante máximo para a laje Steel Deck escolhida  $V_{\text{máx}} = 102,12$  kN, conforme Tabela 10 em ANEXO.

Ainda, foi elaborado uma planta de paginação de lajes em Steel Deck e posição da viga de suporte, conforme Figura 22.

Figura 22 – Paginação de lajes em Steel Deck



Fonte: Elaboração da autora (2024).

#### 4.2 Viga de suporte – Fase Inicial

Para o pré-dimensionamento da viga de suporte, foi considerada inicialmente o peso próprio da laje na fase de construção, realizando a combinação do peso próprio da laje  $PP_{laje} = 2,13 \text{ kN/m}^2$  e a sobrecarga de construção de  $Sc = 1 \text{ kN/m}^2$ , juntamente com o peso próprio do perfil metálico, sendo este considerado como  $1 \text{ kN/m}$ . Assim, temos:

$$PP_{\text{perfil}} = 1 \text{ kN/m}$$

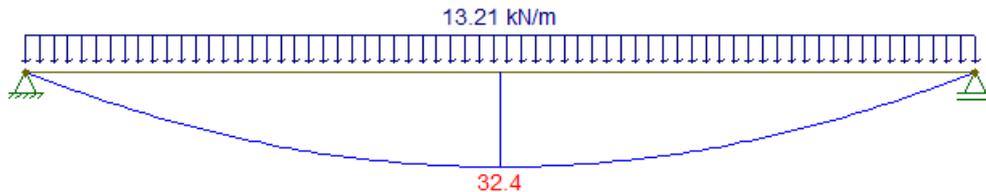
$$PP_{\text{laje}} = 2,13 \text{ kN/m}^2 \times 3 \text{ m} = 6,39 \text{ kN/m}$$

$$Sc = 1 \text{ kN/m}^2 \times 3 \text{ m} = 3 \text{ kN/m}$$

Combinação últimas normais – ELU (fase inicial) =  $(1 + 6,39) \times 1,30 + 3 \times 1,20 = 13,21$  kN/m.

Para encontrar o Momento Máximo desta combinação na fase inicial, foi utilizado o software Ftool, encontrando assim  $M_{\text{máx, inicial}} = 32,4$  kN.m ou 3240 kN.cm, conforme a Figura 23.

Figura 23 – Momento Máximo da viga na fase inicial



Fonte: Elaboração da autora (2024).

De acordo com a Gerda, a resistência do aço é de  $34,5$  kN/cm<sup>2</sup> (GERDAU, 2024).

Aplicando este valor na Equação de Tensão (Equação 1), podemos encontrar o módulo de resistência necessário para o perfil de aço utilizado para a viga de suporte.

$$\sigma = M / W \quad (1)$$

$$W = 3240 / (34,5/1,15) = 108 \text{ cm}^3 \text{ (mínimo módulo de resistência)}$$

A partir disso, foi escolhido o perfil W 150 x 18 (Figura 24) por possuir módulo de resistência igual a  $122,8$  cm<sup>3</sup>, sendo maior que o módulo mínimo de resistência. Assim, é necessária a verificação da Flambagem local da mesa comprimida, Flambagem local da alma e Cortante para a fase inicial.

Figura 24 – Tabela da Gerda dos perfis W, com destaque para o perfil escolhido

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b <sub>f</sub> mm	ESPESSURA		h mm	d' mm	Área cm <sup>2</sup>	EIXO X - X		
				t <sub>w</sub> mm	t <sub>f</sub> mm				I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> cm
W 150 x 13,0	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6	635	85,8	6,18
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4	939	122,8	6,34

Fonte: Adaptado de GERDAU (2024, p. 6)

Para a verificação do FLM – Flambagem Local da Mesa comprimida, deve-se comparar o índice de esbeltez do perfil escolhido ( $\lambda$ ) com o valor máximo do índice de

esbeltez para o regime plástico de deformação ( $\lambda_p$ ), conforme as Equações 2 e 3, respectivamente.

$$\lambda = bf / (2 \times tf) \quad (2)$$

$$\lambda_p = 0,38 \times \sqrt{Ea/fy} \quad (3)$$

Sendo  $bf$  a largura da mesa do perfil,  $tf$  a espessura da mesa,  $Ea$  o módulo de elasticidade do aço, e  $fy$  é a resistência do aço do perfil.

Assim, aplicando os valores do perfil escolhido, chegamos em um  $\lambda = 7,18$  e  $\lambda_p = 9,15$ . Se  $\lambda \leq \lambda_p$ , então é possível considerar  $Mrk = Mpl$ . A Equação 4 é utilizada para encontrar o valor de  $Mpl$  e a Equação 5 para encontrar o valor de  $Mrd$ .

$$Mpl = z \times fy \quad (4)$$

$$Mrd = Mrk / \lambda a1 \quad (5)$$

Dessa forma, encontrou-se o valor do momento resistente de projeto  $Mrd = 43,73$  kN.m que é maior do que o momento máximo encontrado na Figura 26,  $Mmáx = 32,4$  kN.m, portanto não ocorre a flambagem local da mesa comprimida.

Para a verificação do FLA – Flambagem Local da Alma, deve-se comparar o índice de esbeltez do perfil escolhido ( $\lambda$ ) com o valor máximo do índice de esbeltez para o regime plástico de deformação ( $\lambda_p$ ), conforme as Equações 6 e 7, respectivamente.

$$\lambda = h / tw \quad (6)$$

$$\lambda_p = 3,76 \times \sqrt{Ea/fy} \quad (7)$$

Assim, aplicando os valores do perfil escolhido, chegamos em um  $\lambda = 20,48$  e  $\lambda_p = 90,53$ . Se  $\lambda \leq \lambda_p$ , então é possível considerar  $Mrk = Mpl$ . Portanto, como  $Mmáx = 32,4$  kN.m  $\leq$   $Mrd = 43,73$  kN.m, não ocorrerá flambagem local da alma.

Já para a verificação do cortante, deve-se comparar o índice de esbeltez do perfil encontrado anteriormente na Equação 6,  $\lambda = 20,48$ , com o valor máximo do índice de esbeltez para o regime plástico de deformação ( $\lambda_p$ ), conforme a Equação 8.

$$\lambda_p = 1,10 \times \sqrt{Kv \times Ea/fy} \quad (8)$$

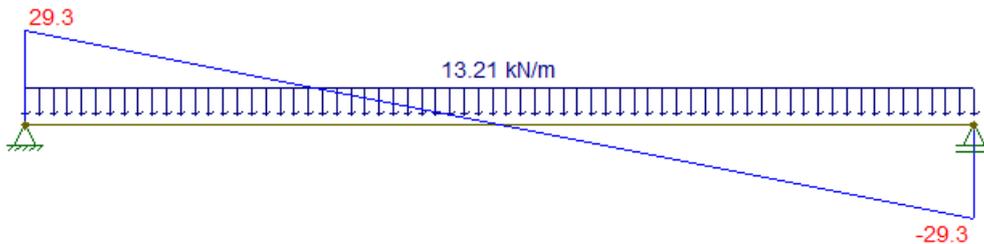
Se  $\lambda = 20,48 \leq \lambda_p = 59,22$ , então é possível considerar  $Vrk = Vpl$ . A Equação 9 é utilizada para encontrar o valor de  $Vpl$  e a Equação 10 para encontrar o valor de  $Vrd$ , respectivamente.

$$Vpl = 0,6 \times d \times tw \times fy \quad (9)$$

$$Vrd = Vrk / \lambda a1 \quad (10)$$

Dessa forma, foi possível encontrar o valor do cortante resistente do perfil  $V_{rd}$  = 167 kN que é maior do que o cortante máximo encontrado na Figura 25,  $V_{máx, inicial}$  = 29,3 kN, portanto a seção resiste ao esforço cortante.

Figura 25 – Cortante Máximo da viga na fase inicial



Fonte: Elaboração da autora (2024).

### 4.3 Conectores de cisalhamento

O pino escolhido para o conector de cisalhamento da estrutura mista deve estar totalmente embutido na laje de concreto, de forma com que fique pelo menos 40 mm acima do  $h_f$  da forma. Como a forma escolhida possui um  $h_f$  = 50 mm, o Stud Bolt a ser utilizado deverá possuir um comprimento mínimo de 90 mm.

O pino não deverá ultrapassar a altura total da laje, que é 110 mm, portanto o Stud Bolt utilizado será o de 105 mm de comprimento, conforme a Figura 26.

Figura 26 – Tabela da Walsywa dos Stud Bolts com destaque no pino escolhido

DESCRIÇÃO	CORPO				CABEÇA	
	DIÂMETRO		COMPRIMENTO		DIÂMETRO	ALTURA
	mm	pol	mm	pol	mm	mm
PI CON CISALH STUD BOLT-3/4X3.1/8" (19 X 80 mm)	19	3/4"	80	3.1/8"	32	9,5
PI CON CISALH STUD BOLT-3/4X4.1/8" (19 X 105 mm)	19	3/4"	105	4.1/8"	32	9,5
PI CON CISALH STUD BOLT-3/4X4.3/4" (19 X 120 mm)	19	3/4"	120	4.3/4"	32	9,5
PI CON CISALH STUD BOLT- 3/4 X 5.3/8" (19 X 135 mm)	19	3/4"	135	5.3/8"	32	9,5

Fonte: Adaptado de Walsywa (2022, p. 69)

Na fase final, o perfil trabalha em conjunto com a laje em Steel Deck, desde que haja interação entre os mesmos. O que garante essa interação são os conectores de cisalhamento Stud Bolt, podendo ser interação completa ou parcial, sendo o grau definido pela Equação 11, encontrando o número  $n$  de ondas

necessárias para a conexão. Para o projeto, foi considerada uma interação completa, portanto  $\alpha = 1$ .

$$\alpha = \frac{(n \times Qrd)}{Fhd}$$

Grau de interação (11)

Primeiramente, deve-se calcular a largura colaborante da mesa de concreto sobre a viga mista biapoiada. O Anexo O da NBR 8800 (2008) especifica que esta largura efetiva de cada lado da linha central da viga deverá ser o menor valor encontrado entre 1/8 do vão da viga mista, e metade da distância entre vigas, conforme a Equação 12.

$$\text{Largura efetiva } b = \left( \leq \left\{ \frac{4,425}{8} \right\} + \leq \left\{ \frac{4,425}{8} \right\} \right) \longrightarrow b = 110 \text{ cm} \quad (12)$$

De acordo com a NBR 8800 (2008), a força horizontal atuante na interface entre o perfil metálico e a laje ( $Fhd$ ) é igual ao menor valor entre:

$$Fhd \leq \left\{ \begin{array}{l} Aa \times f_{yd} \\ 0,85 \times f_{cd} \times b \times t_c \end{array} \right\} \longrightarrow Fhd \leq \left\{ \begin{array}{l} 23,4 \times \frac{34,5}{1,1} \\ 0,85 \times \frac{2,5}{1,4} \times 110 \times 6 \end{array} \right\}$$

$$Fhd \leq \left\{ \begin{array}{l} 733,9 \\ 1001,8 \end{array} \right\}$$

Dessa forma, utilizou-se o valor de  $Fhd = 733,9$  kN. Já a força resistente dos pinos conectores de cisalhamento  $Qrd$  é corresponde ao valor mínimo entre:

$$Qrd \leq \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{2} \times \frac{A_{cs} \times \sqrt{f_{ck} \times E_c}}{\gamma_{cs}} \\ \frac{R_g \times R_p \times A_{cs} \times f_{ucs}}{\gamma_{cs}} \end{array} \right\} \longrightarrow \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{2} \times \frac{(\pi \times 0,95^2) \times \sqrt{2,5 \times 2400}}{1,25} \\ \frac{0,85 \times (0,75 \text{ ou } 0,60) \times (\pi \times 0,95^2) \times 41,5}{1,25} \end{array} \right\}$$

$$Qrd2 \leq \left\{ \begin{array}{l} 87,85 \\ 48 \end{array} \right\} \quad e \quad Qrd1 \leq \left\{ \begin{array}{l} 87,85 \\ 60 \end{array} \right\}$$

Onde  $R_g = 0,85$  é o coeficiente de efeito de atuação de grupos de conectores, considerando dois conectores soldados na forma de aço com nervuras perpendiculares ao perfil de aço, e  $R_{p1} = 0,75$  é o coeficiente de posição do conector soldado em uma laje mista com as nervuras perpendiculares ao perfil de aço com espaçamento das nervuras igual ou superior a 50 mm, e  $R_{p2} = 0,60$  é o coeficiente que determina a posição do conector soldado em uma laje mista, onde as nervuras são perpendiculares ao perfil de aço e o espaçamento entre as nervuras é inferior a 50 mm.

Considerando a soma de  $Q_{rd1} = 60$  kN e  $Q_{rd2} = 48$  kN na Equação 11, tem-se:

$$1 = \frac{n \times (48 + 60)}{733,9} \quad \longrightarrow \quad n = 6,79 \cong 7 \text{ ondas}$$

Portanto, serão necessárias 7 ondas com dois conectores para ter a interação completa. Para a verificação de quantas ondas temos disponíveis ao longo da viga, tem-se:

$$n, \text{disponível} = \frac{L, \text{viga} / 2}{L, \text{onda}} \quad \longrightarrow \quad n, \text{disponível} = \frac{442,5/2}{30,5}$$

$$n, \text{disponível} = 7,25 \cong 7 \text{ ondas}$$

Onde  $L, \text{viga}$  é o comprimento total da viga analisada e o  $L, \text{onda}$  é a largura de cada onda da telha-fôrma escolhida.

Assim, verificou-se que a quantidade de conectores de cisalhamento atende aos requisitos para a interação completa, visto que o número de ondas necessárias é o mesmo de ondas disponíveis.

#### 4.4 Estrutura Mista – Fase Final

Para a verificação estrutura mista na fase final, foi considerada a combinação última normal da seção mista com as cargas atuantes na viga de suporte.

Permanentes:

$$P_{p, \text{laje}} = 2,13 \text{ kN/m}^2 \times 3 \text{ m} = 6,39 \text{ kN/m}$$

$$P_{p, \text{armadura de retração Q-75}} = 1,21 \text{ kg/m}^2 \approx 0,0121 \text{ kN/m}^2 \times 3 \text{ m} = 0,036 \text{ kN/m}$$

$$P_{p, \text{componentes construtivos}} = 0,5 + 0,3 + 0,15 = 0,95 \text{ kN/m}^2 \times 3 \text{ m} = 2,85 \text{ kN/m}$$

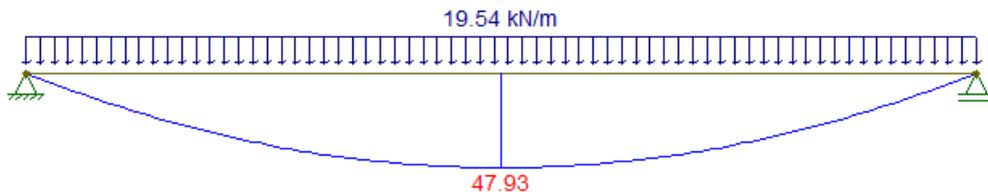
$$P_{p, \text{perfil viga}} = 18 \text{ kg/m} \approx 0,18 \text{ kN/m}$$

$$\text{Acidentais} = 1,5 \text{ kN/m}^2 \times 3 \text{ m} = 4,5 \text{ kN/m}$$

$$\text{Combinação última normal – ELU (fase final)} = (6,39 + 0,036 + 2,85 + 0,18) \times 1,40 + 4,5 \times 1,40 = 19,54 \text{ kN/m}$$

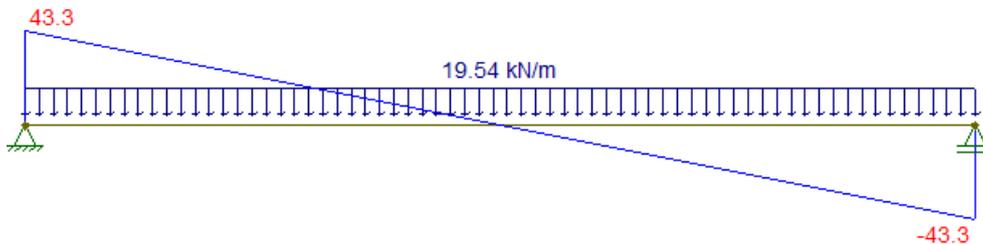
Para encontrar o Momento e Cortante Máximo desta combinação na fase final, foi utilizado o software Ftool, encontrando assim  $M_{\text{máx,final}} = 47,93 \text{ kN.m}$ , conforme a Figura 27, e  $V_{\text{máx,final}} = 43,3 \text{ kN}$  na Figura 28.

Figura 27 – Momento Máximo da seção na fase final



Fonte: Elaboração da autora (2024).

Figura 28 – Cortante Máximo da seção na fase final



Fonte: Elaboração da autora (2024).

Como visto anteriormente em 4.2 Viga de suporte – Fase Inicial, não ocorre flambagem local da alma, portanto, tem-se na NBR 8800 (2008) que o momento fletor resistente de cálculo viga mista de alma cheia com interação completa e linha neutra da seção plastificada na laje mista de concreto é encontrada através da Equação 13.

$$M_{rd} = \beta_{vm} \times A_a \times f_{yd} \times (d_1 + hf + tc - 0,5 \times a) \quad (13)$$

Onde:

$$a = \frac{A_a \times f_{yd}}{0,85 \times f_{cd} \times b} \leq tc \quad \longrightarrow \quad a = \frac{23,4 \times (34,5/1,1)}{0,85 \times \frac{2,5}{1,4} \times 110} \leq 6$$

Coeficiente  $\beta_{vm} = 1$  para vigas biapoiadas;

Altura  $d_1 = 7,65$  cm, correspondente a distância da mesa superior do perfil da viga até o centro geométrico do perfil;

Altura  $h_f = 5$  cm das nervuras da laje com fôrma de aço incorporada;

Área do perfil de aço  $A_a = 23,4$  cm<sup>2</sup>;

$T_c = 6$  cm é a espessura de concreto acima das nervuras.

Portanto, a posição da linha neutra medida a partir do topo da laje é igual a  $a = 4,40$  cm, substituindo na Equação 13:

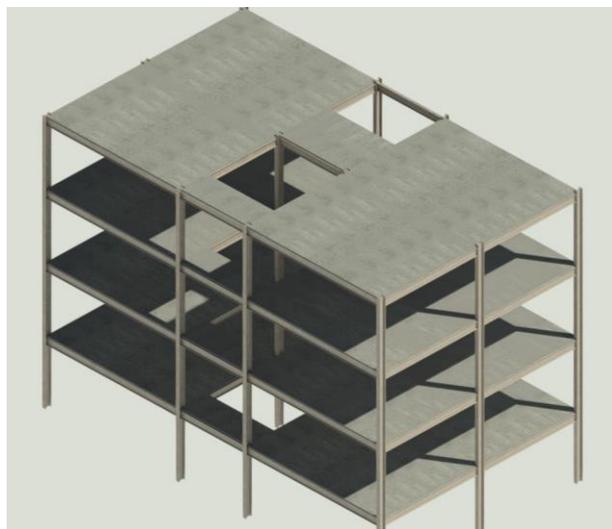
$$M_{rd} = 1 \times 23,4 \times (34,5/1,1) \times (7,65 + 5 + 6 - 0,5 \times 4,4)$$

Encontrou-se assim um momento fletor resistente  $M_{rd} = 12072,80$  kN.cm ou  $M_{rd} = 120,73$  kN.m, que é maior que o momento máximo da seção na fase final, portanto a estrutura mista resiste às solicitações de momento.

Para a verificação do cortante da estrutura mista, a norma especifica que é considerado somente a resistência do perfil de aço, portanto, encontrou-se o valor do cortante resistente de projeto  $V_{rd} = 167$  kN em 4.2 Viga de suporte – Fase Inicial, que é maior do que o cortante máximo encontrado na Figura 28,  $V_{m\acute{a}x,final} = 43,3$  kN, portanto a seção resiste ao esforço cortante.

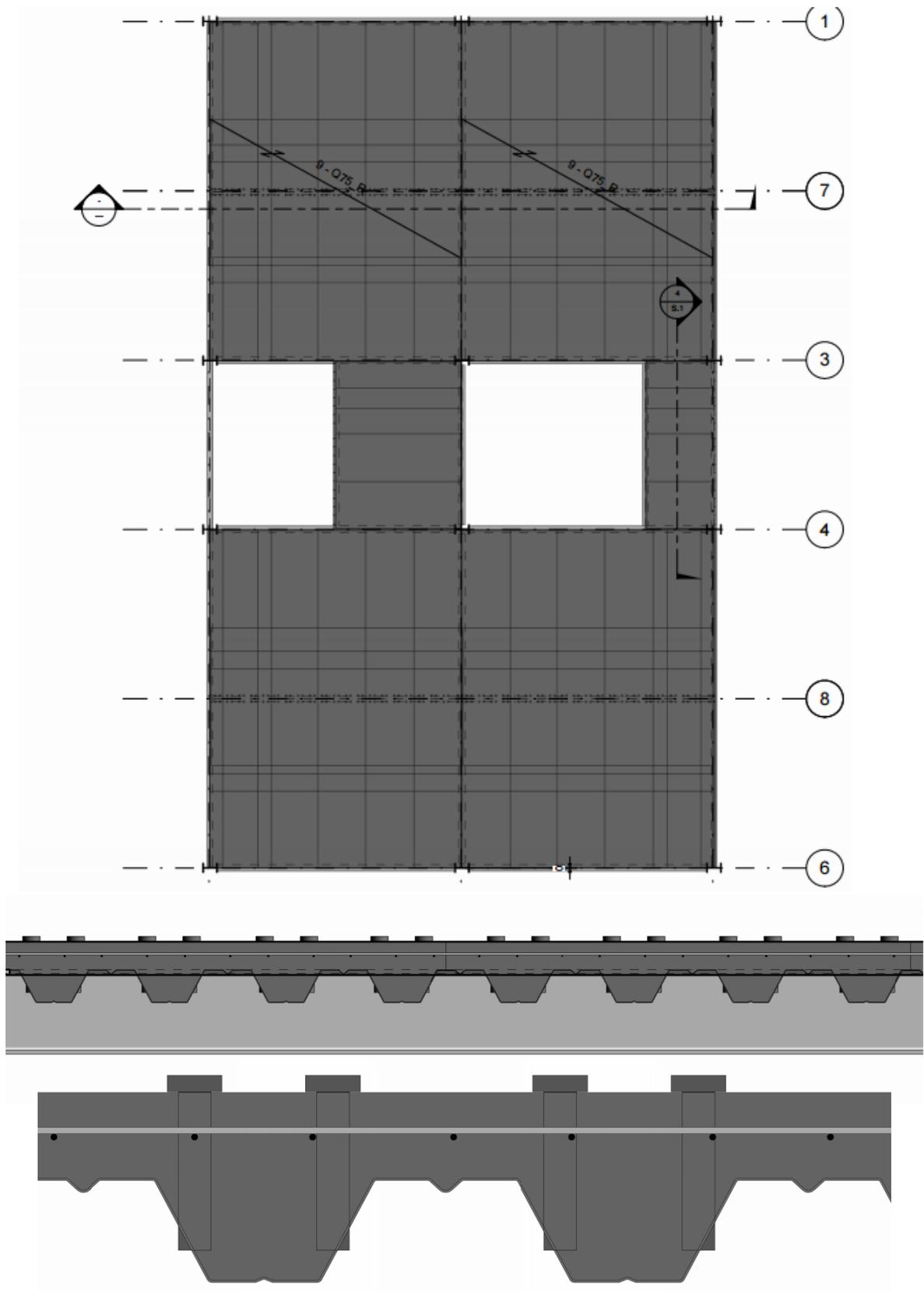
E por fim, elaborou-se em pelo REVIT a estrutura em BIM, conforme Figuras 29 e 30.

Figura 29 – Estrutura mista modelada no REVIT



Fonte: Elaboração da autora (2024).

Figura 30 – Pavimento tipo e detalhamento de cortes



Fonte: Elaboração da autora (2024).

## 5 CONCLUSÃO

Quando consideramos dentro de uma obra fatores como tempo de execução, economia de materiais, facilidade construtiva, dispensa de escoramento e possibilidade de uso como plataforma de trabalho, podemos observar que o modelo de estruturas mistas utilizando lajes em Steel Deck é mais vantajoso do que lajes convencionais de concreto.

Sabemos que em estruturas mistas com lajes maciças, existe a necessidade de uso de formas e escoramento. Entretanto, estruturas com lajes em Steel Deck dispensam o uso de formas e escoras durante a execução, visto que as chapas funcionam como suporte para o concreto fresco.

Após a cura do concreto, a telha-fôrma atua como armadura positiva da laje, podendo esta ser ampliada através das tabelas disponibilizadas pelo fabricante, dependendo da necessidade. Vale ressaltar que ainda são necessárias armaduras para retração em telas soldadas pré-especificadas quanto ao modelo de laje, para evitar fissuras no concreto.

Para a realização deste trabalho, primeiramente buscamos, através de uma revisão bibliográfica, entender os conceitos de estruturas mistas e como elas atuam. Após o estudo dos conhecimentos necessários, iniciamos a proposta do dimensionamento de lajes em Steel Deck de uma estrutura metálica existente. Para isso, utilizou-se as tabelas e equações descritas na NBR 8800 (2008) – “Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios” e no Manual Técnico de Telha-Fôrma da METFORM.

O projeto escolhido é de um edifício multifamiliar de quatro pavimentos em estrutura metálica, onde verificou-se as cargas sobrepostas no pavimento, a fim de escolher a espessura da laje e da telha-fôrma. A partir disso, verificou-se os cortantes e os momentos máximos da estrutura para a combinação em ELU e ELS, além de calcular a quantidade necessária de conectores de cisalhamento tipo Stud Bolt para uma interação completa da laje com a viga mista escolhida.

Por fim, foi modelada em BIM a estrutura dimensionada, a fim de representar graficamente a disposição de todos os elementos que envolvem a estrutura mista.

É importante ressaltar que não existe um sistema estrutural ideal para todos os casos. Cada obra tem suas particularidades e desafios, e deve ser avaliada de maneira detalhada. Em alguns casos específicos, a melhor abordagem pode requerer

a combinação de materiais, como em estruturas mistas de aço e concreto. Cabe ao engenheiro responsável a escolha do modelo que trará mais benefícios para a construção.

## ANEXO

Tabela 3 – Vãos máximos sem escoramento e cargas sobrepostas máximas para MF 50

Tipo de Laje	Altura da Laje (mm)	Esp. (mm)	Vãos Máximos sem Escoramento			Peso Próprio (kN/m <sup>2</sup> )	M. Inércia Laje Mista (10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup> /m)	Carga Sobreposta Máxima (kN/m <sup>2</sup> )																	
			Simplex (mm)	Duplo (mm)	Triplo (mm)			Balanco (mm)	Vãos (mm)																
Formo	100	0,80	2.050	2.800	2.900	900	1,85	5,25	1.800	1.900	2.000	2.100	2.200	2.300	2.400	2.500	2.600	2.650	2.700	2.800	2.900	3.000	3.100	3.200	
			2.550	3.150	3.250	1.100	1,86	5,61	9,31	8,14	7,14	6,28	5,54	4,89	4,32	3,82	3,38	3,18	2,99	2,63	2,32	2,03	1,78	1,54	
		1,25	3.200	3.800	3.800	1.450	1,89	6,26	11,68	10,24	9,01	7,96	7,04	6,25	5,55	4,94	4,40	4,15	3,92	3,49	3,10	2,75	2,44	2,16	
			1.800	1.800	2.700	2.800	2,08	6,89	16,43	14,45	12,76	11,31	10,06	8,97	8,02	7,18	6,44	6,10	5,78	5,19	4,67	4,20	3,77	3,38	
		110	0,80	2.400	3.050	3.150	1.050	2,10	7,35	10,56	9,23	8,10	7,13	6,29	5,55	4,91	4,34	3,84	3,61	3,39	3,00	2,64	2,32	2,02	1,76
				3.050	3.650	3.650	1.400	2,13	8,19	13,25	11,62	10,23	9,03	8,00	7,10	6,31	5,61	5,00	4,72	4,45	3,96	3,53	3,13	2,78	2,46
	1,25		1.800	1.800	2.700	2.800	2,32	8,85	18,64	16,39	14,48	12,84	11,42	10,18	9,10	8,15	7,31	6,93	6,57	5,90	5,31	4,77	4,29	3,85	
			2.050	2.800	2.900	850	2,32	8,85	11,81	10,33	9,06	7,98	7,03	6,21	5,50	4,86	4,30	4,05	3,80	3,36	2,96	2,60	2,27	1,98	
	120		0,80	2.250	2.900	3.000	1.050	2,33	9,43	14,82	13,00	11,44	10,10	8,95	7,94	7,06	6,28	5,60	5,28	4,99	4,44	3,95	3,51	3,12	2,76
				3.050	3.550	3.550	1.350	2,36	10,49	20,00	18,34	16,20	14,36	12,78	11,40	10,19	9,13	8,19	7,76	7,36	6,61	5,95	5,35	4,81	4,32
		1,25	1.490	1.490	2.500	2.600	2,55	11,16	13,06	11,42	10,02	8,82	7,78	6,88	6,08	5,38	4,76	4,48	4,21	3,72	3,28	2,88	2,52	2,19	
			2.050	2.800	2.900	1.000	2,57	11,87	16,39	14,37	12,65	11,18	9,90	8,79	7,81	6,96	6,20	5,85	5,52	4,92	4,38	3,89	3,46	3,06	
130		0,80	2.800	3.400	3.400	1.350	2,60	13,19	20,00	20,00	17,91	15,89	14,13	12,61	11,28	10,10	9,06	8,59	8,14	7,32	6,59	5,92	5,33	4,79	
			3.050	3.550	3.550	800	2,79	13,85	14,31	12,52	10,99	9,67	8,53	7,54	6,67	5,90	5,23	4,91	4,62	4,08	3,60	3,16	2,77	2,41	
	1,25	1.850	2.750	2.800	1.000	2,80	14,72	17,96	15,75	13,87	12,25	10,85	9,63	8,57	7,63	6,80	6,42	6,06	5,40	4,81	4,27	3,79	3,36		
		2.700	3.300	3.300	1.300	2,83	16,32	20,00	20,00	19,63	17,41	15,49	13,82	12,36	11,08	9,94	9,42	8,93	8,03	7,23	6,50	5,85	5,26		
	140	0,80	1.250	2.300	2.450	800	3,02	16,93	15,57	13,61	11,95	10,52	9,28	8,20	7,26	6,42	5,69	5,35	5,03	4,44	3,92	3,44	3,02	2,63	
			1.700	2.650	2.750	950	3,04	17,98	19,53	17,13	15,08	13,33	11,80	10,48	9,32	8,30	7,40	6,98	6,59	5,88	5,23	4,65	4,13	3,66	
1,25		2.600	3.200	3.250	1.250	3,07	19,90	20,00	20,00	20,00	18,94	16,85	15,04	13,45	12,05	10,82	10,25	9,72	8,74	7,86	7,08	6,37	5,72		
		1.150	2.200	2.300	800	3,26	20,45	16,82	14,71	12,91	11,37	10,03	8,87	7,84	6,95	6,15	5,78	5,44	4,81	4,24	3,73	3,26	2,84		
150		0,80	1.600	2.550	2.650	950	3,27	21,69	20,00	18,51	16,30	14,40	12,76	11,33	10,07	8,97	8,00	7,55	7,13	6,35	5,66	5,04	4,47	3,96	
			2.550	3.100	3.150	1.250	3,30	23,97	20,00	20,00	20,00	20,00	18,21	16,25	14,53	13,03	11,69	11,08	10,51	9,45	8,50	7,65	6,89	6,19	
	1,25	1.050	2.050	2.150	750	3,49	24,43	18,07	15,81	13,88	12,22	10,78	9,53	8,43	7,47	6,61	6,22	5,85	5,17	4,56	4,01	3,51	3,06		
		1.500	2.500	2.600	900	3,51	25,87	20,00	19,89	17,51	15,47	13,71	12,17	10,83	9,64	8,60	8,12	7,66	6,83	6,09	5,42	4,81	4,26		
	160	0,80	2.450	3.050	3.050	1.200	3,54	28,55	20,00	20,00	20,00	20,00	19,57	17,46	15,62	14,00	12,57	11,91	11,29	10,16	9,14	8,23	7,41	6,66	
			3.050	3.650	3.650	1.400	3,54	28,55	20,00	20,00	20,00	20,00	19,57	17,46	15,62	14,00	12,57	11,91	11,29	10,16	9,14	8,23	7,41	6,66	
1,25		1.450	2.450	2.550	800	3,54	28,55	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	19,57	17,46	15,62	14,00	12,57	11,91	11,29	10,16	9,14	8,23	7,41		
		2.450	3.050	3.050	1.200	3,54	28,55	20,00	20,00	20,00	20,00	19,57	17,46	15,62	14,00	12,57	11,91	11,29	10,16	9,14	8,23	7,41	6,66		
170		0,80	2.450	3.050	3.050	1.200	3,54	28,55	20,00	20,00	20,00	20,00	19,57	17,46	15,62	14,00	12,57	11,91	11,29	10,16	9,14	8,23	7,41	6,66	
			3.050	3.650	3.650	1.400	3,54	28,55	20,00	20,00	20,00	20,00	19,57	17,46	15,62	14,00	12,57	11,91	11,29	10,16	9,14	8,23	7,41	6,66	
	1,25	1.450	2.450	2.550	800	3,54	28,55	20,00	20,00	20,00	20,00	19,57	17,46	15,62	14,00	12,57	11,91	11,29	10,16	9,14	8,23	7,41	6,66		
		2.450	3.050	3.050	1.200	3,54	28,55	20,00	20,00	20,00	20,00	19,57	17,46	15,62	14,00	12,57	11,91	11,29	10,16	9,14	8,23	7,41	6,66		
	180	0,80	2.450	3.050	3.050	1.200	3,54	28,55	20,00	20,00	20,00	20,00	19,57	17,46	15,62	14,00	12,57	11,91	11,29	10,16	9,14	8,23	7,41	6,66	
			3.050	3.650	3.650	1.400	3,54	28,55	20,00	20,00	20,00	20,00	19,57	17,46	15,62	14,00	12,57	11,91	11,29	10,16	9,14	8,23	7,41	6,66	
1,25		1.450	2.450	2.550	800	3,54	28,55	20,00	20,00	20,00	20,00	19,57	17,46	15,62	14,00	12,57	11,91	11,29	10,16	9,14	8,23	7,41	6,66		
		2.450	3.050	3.050	1.200	3,54	28,55	20,00	20,00	20,00	20,00	19,57	17,46	15,62	14,00	12,57	11,91	11,29	10,16	9,14	8,23	7,41	6,66		
190		0,80	2.450	3.050	3.050	1.200	3,54	28,55	20,00	20,00	20,00	20,00	19,57	17,46	15,62	14,00	12,57	11,91	11,29	10,16	9,14	8,23	7,41	6,66	
			3.050	3.650	3.650	1.400	3,54	28,55	20,00	20,00	20,00	20,00	19,57	17,46	15,62	14,00	12,57	11,91	11,29	10,16	9,14	8,23	7,41	6,66	
	1,25	1.450	2.450	2.550	800	3,54	28,55	20,00	20,00	20,00	20,00	19,57	17,46	15,62	14,00	12,57	11,91	11,29	10,16	9,14	8,23	7,41	6,66		
		2.450	3.050	3.050	1.200	3,54	28,55	20,00	20,00	20,00	20,00	19,57	17,46	15,62	14,00	12,57	11,91	11,29	10,16	9,14	8,23	7,41	6,66		

Fonte: METFORM (2020)

Tabela 4 – Vãos máximos sem escoramento e cargas sobrepostas máximas para  
MF 75

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

Fonte: METFORM (2020)

Tabela 5 – Resistência ao momento fletor negativo para MF 50

Altura da Laje (mm)	Armaduras em Tela Soldada								
		X 75	X 92	X 113	X 138	X 159	X 196	X 246	X 283
100	Mn- (kN.m/m)	2,15	2,61	3,16	3,81	4,34	5,23	6,37	7,15
110	Mn- (kN.m/m)	-	2,95	3,59	4,32	4,93	5,96	7,28	8,21
120	Mn- (kN.m/m)	-	-	4,01	4,84	5,52	6,69	8,20	9,26
130	Mn- (kN.m/m)	-	-	-	5,35	6,11	7,42	9,12	10,32
140	Mn- (kN.m/m)	-	-	-	5,87	6,71	8,15	10,03	11,37
150	Mn- (kN.m/m)	-	-	-	-	7,30	8,88	10,95	12,43
160	Mn- (kN.m/m)	-	-	-	-	-	9,61	11,87	13,48
170	Mn- (kN.m/m)	-	-	-	-	-	10,34	12,78	14,54

Fonte: METFORM (2020)

Tabela 6 – Resistência ao momento fletor negativo para MF 75

Altura da Laje (mm)	Armaduras em Tela Soldada								
		X 75	X 92	X 113	X 138	X 159	X 196	X 246	X 283
130	Mn- (kN.m/m)	-	3,64	4,43	5,35	6,11	7,42	9,12	10,32
140	Mn- (kN.m/m)	-	-	4,85	5,87	6,71	8,15	10,03	11,37
150	Mn- (kN.m/m)	-	-	5,27	6,38	7,30	8,88	10,95	12,43
160	Mn- (kN.m/m)	-	-	-	6,90	7,89	9,61	11,87	13,48
170	Mn- (kN.m/m)	-	-	-	-	8,48	10,34	12,78	14,54
180	Mn- (kN.m/m)	-	-	-	-	9,08	11,07	13,70	15,59
190	Mn- (kN.m/m)	-	-	-	-	-	11,80	14,62	16,65
200	Mn- (kN.m/m)	-	-	-	-	-	12,53	15,53	17,70

Fonte: METFORM (2020)

Tabela 7 – Resistência ao momento fletor positivo para MF 50

Altura da Laje (mm)	Armaduras de Barra @ onda baixa								
		1 Ø 5,0	2 Ø 5,0	1 Ø 6,3	2 Ø 6,3	1 Ø 8,0	2 Ø 8,0	1 Ø 10,0	1 Ø 12,5
100	Mn <sup>+</sup> (kN.m/m)	1,45	2,81	2,26	4,30	3,54	6,47	5,26	-
110	Mn+ (kN.m/m)	1,65	3,21	2,58	4,93	4,05	7,49	6,06	-
120	Mn+ (kN.m/m)	1,85	3,61	2,90	5,57	4,56	8,52	6,86	-
130	Mn+ (kN.m/m)	2,05	4,01	3,22	6,20	5,07	9,54	7,66	11,32
140	Mn+ (kN.m/m)	2,25	4,41	3,53	6,84	5,58	10,56	8,46	12,57
150	Mn+ (kN.m/m)	2,45	4,81	3,85	7,47	6,10	11,59	9,26	13,82
160	Mn+ (kN.m/m)	2,65	5,21	4,17	8,11	6,61	12,61	10,06	15,07
170	Mn+ (kN.m/m)	2,85	5,61	4,49	8,74	7,12	13,63	10,86	16,32

Fonte: METFORM (2020)

Tabela 8 – Resistência ao momento fletor positivo para MF 75

Altura da Laje (mm)		Armaduras de Barra @ onda baixa							
		1 Ø 5,0	2 Ø 5,0	1 Ø 6,3	2 Ø 6,3	1 Ø 8,0	2 Ø 8,0	1 Ø 10,0	1 Ø 12,5
130	Mn <sup>+</sup> (kN.m/m)	2,00	3,89	3,12	5,96	4,90	9,04	7,32	10,64
140	Mn <sup>+</sup> (kN.m/m)	2,22	4,33	3,48	6,67	5,47	10,18	8,21	12,03
150	Mn <sup>+</sup> (kN.m/m)	2,45	4,78	3,83	7,37	6,04	11,32	9,10	13,42
160	Mn <sup>+</sup> (kN.m/m)	2,67	5,22	4,18	8,08	6,60	12,46	9,99	14,81
170	Mn <sup>+</sup> (kN.m/m)	2,89	5,67	4,54	8,79	7,17	13,60	10,88	16,20
180	Mn <sup>+</sup> (kN.m/m)	3,11	6,11	4,89	9,49	7,74	14,74	11,77	17,59
190	Mn <sup>+</sup> (kN.m/m)	3,34	6,56	5,24	10,20	8,31	15,88	12,66	18,98
200	Mn <sup>+</sup> (kN.m/m)	3,56	7,00	5,60	10,91	8,88	17,02	13,55	20,37

Fonte: METFORM (2020)

Tabela 9 – Consumo de concreto e Tipo de armadura de retração para MF 50

Altura de laje (mm)	Consumo de Concreto (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	Tipo de armadura para retração, em tela soldada		
		Denominação	Composição	Peso (kg/m <sup>2</sup> )
100	0,0750	Q-75	Ø3,8 x Ø3,8 – 150 x 150	1,21
110	0,0850	Q-75	Ø3,8 x Ø3,8 – 150 x 150	1,21
120	0,0950	Q-75	Ø3,8 x Ø3,8 – 150 x 150	1,21
130	0,1050	Q-92	Ø4,2 x Ø4,2 – 150 x 150	1,48
140	0,1150	Q-92	Ø4,2 x Ø4,2 – 150 x 150	1,48
150	0,1250	Q-113	Ø3,8 x Ø3,8 – 100 x 100	1,80
160	0,1350	Q-113	Ø3,8 x Ø3,8 – 100 x 100	1,80
170	0,1450	Q-138	Ø4,2 x Ø4,2 – 100 x 100	2,20

Fonte: METFORM (2020).

Tabela 10 – Força cortante limite da laje mista

Altura Total da Laje Mista (mm)	Telha-fôrma MF 50	Telha-fôrma MF 75
	$V_{max}$ (kN/m)	$V_{max}$ (kN/m)
100	90,23	-
110	102,12	-
120	114,51	-
130	127,40	119,41
140	140,80	131,54
150	154,71	144,08
160	169,12	157,04
170	184,05	170,41
180	-	184,19
190	-	198,39
200	-	213,00

Fonte: METFORM (2020).

## REFERÊNCIAS

ACERLOMITTAL. **Polydeck 59S**: O Steel deck da ArcelorMittal. Disponível em: <https://brasil.arcelormittal.com/produtos-solucoes/construcao-civil/polydeck-59s>  
Acesso em: 12 de outubro de 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

BELLEI, Ildony Hélio; BELLEI, Humberto N. (Org.). **Manual da construção em aço: Edifícios de pequeno porte estruturados em aço**. 4. ed. Rio de Janeiro: CBCA, 2011. 107 p.

FABRIZZI, M. de A. **Contribuição para o projeto e dimensionamento de edifícios de múltiplos andares com elementos estruturais mistos de aço-concreto**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

FAKURY, Ricardo Hallal; SILVA, Ana Lydia Reis de Castro e; CALDAS, Rodrigo Barreto. **Dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto**. São Paulo: Pearson, 2016. 496 p.

GERDAU. Empresa brasileira produtora de aço. **Nossa história**. Disponível em: <https://www2.gerdau.com.br/sobre-nos/#nossa-historia>. Acesso em: 27 de março 2024.

Higaki, B. E. **Análise teórica e experimental de vigas mistas de aço e concreto e laje com vigotas pré-moldadas e lajotas cerâmicas em um pavimento tipo**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

KAEFER, Luís Fernando. **A evolução do concreto armado**. São Paulo, v. 43, 1998.

LEQUES, Fernanda G.; BOLINA, Fabrício L.; MORAES, Carlos M. **Avaliação de estruturas de aço e concreto: impactos ambientais associados**. In: Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, 2020.

MALITE, Maximiliano. **Sobre o cálculo de vigas mistas aço-concreto: ênfase em edifícios**. 1990. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1990.

METFORM. **Manual Técnico para telha-fôrma: Steel Deck**. Betim, 2020.

NARDIN, S. de; SOUZA, A. S. C. de; PEREIRA, M. F; SERAFIM, J. A. **Análise comparativa de soluções de pilares para galpões: pilares de aço, pré-moldados e mistos de aço e concreto**. In: Construmetal 2012 – congresso latino-americano da construção metálica, São Paulo, SP/Brasil, 14 a 16 de agosto de 2012, 2012.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto** - 5ª Edição. Bookman Editora, 2016.

OLIVEIRA, Ana Beatriz de Figueiredo. **Inserção de sistemas construtivos industrializados de ciclo aberto estruturados em aço no mercado da construção civil residencial brasileira**. 2013. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto, 2013.

PINHO, Fernando Ottoboni. **Pontes e passarelas**. Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA), n. 36, dez. 2013.

QUEIROZ, Gilson; PIMENTA, Roberval José; MARTINS, Alexander Galvão. **Manual da construção em aço: Estruturas mistas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/CBCA, 2012. 1 v.

QUEIROZ, Gílson; PIMENTA, Roberval José; MATA, Luciene Antinossi Cordeiro da. **Elementos das estruturas mistas aço-concreto**. Belo Horizonte: O Lutador, 2001. 332 p.