

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
CENTRO UNIVERSITÁRIO DOCTUM DE TEÓFILO OTONI**

Luiz Henrique Lopes Santos

**ANÁLISE DE DIMENSIONAMENTO DE LAJE *STEEL DECK* SUBMETIDA À
FLEXÃO POR MEIO DE UMA PLANILHA ELETRÔNICA**

**TEÓFILO OTONI
2019**

CENTRO UNIVERSITÁRIO DOCTUM DE TEÓFILO OTONI
Luiz Henrique Lopes Santos

**ANÁLISE DE DIMENSIONAMENTO DE LAJE *STEEL DECK* SUBMETIDA À
FLEXÃO POR MEIO DE UMA PLANILHA ELETRÔNICA**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
do Centro Universitário Doctum de Teófilo
Otoni, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.**

**Área de Concentração: Engenharia de
estruturas**

**Orientador: Prof. MSc Glaucimar Lima
Dutra**

TEÓFILO OTONI
2019



FACULDADES UNIFICADAS DE TEÓFILO OTONI

FOLHA DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: Análise de dimensionamento de lajes Steel Deck submetida à flexão por meio de uma planilha eletrônica, elaborado pelos alunos Luiz Henrique Lopes Santos, e , foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de Engenharia Civil das Faculdades Unificadas Teófilo Otoni, como requisito parcial da obtenção do título de

BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL

Teófilo Otoni, 09 de dezembro de 2019.

Glaucimar Lima Dutra

Keytiane Iolanda Moura

Pedro Raphael Azevedo Valcarce

ANÁLISE DE DIMENSIONAMENTO DE LAJE *STEEL DECK* SUBMETIDA À FLEXÃO POR MEIO DE UMA PLANILHA ELETRÔNICA

Luiz Henrique Lopes Santos

Centro Universitário Doctum, Teófilo Otoni, Brasil, l.henriquels@hotmail.com

RESUMO

As lajes do tipo *steel deck* ainda são novidade no Brasil, assim os *softwares* para dimensionamento desses elementos estruturais são escassos, com isso, os projetos são executados por metodologias de cálculos manuais. Percebendo essa problemática, este artigo tem como objetivo demonstrar a análise e estudo do dimensionamento da laje *steel deck* e o seu comportamento à flexão, baseado na NBR 8800 (ABNT, 2008), por meio da planilha desenvolvida no software Microsoft Office Excel. Para tal, a planilha foi desenvolvida para determinar a seção mais econômica analisando os critérios propostos no catálogo da Metform, em relação ao vão, peso próprio e carga sobreposta. A Metform é um dos fornecedores de fôrma trapezoidal no Brasil, o catálogo da mesma serve como auxílio para o dimensionamento da laje *steel deck* e elaboração da planilha, além disso a Metform foi escolhida por ter caráter educacional. A fim de comprovar os resultados, realizou-se um cálculo analítico, que comprova a eficácia dos cálculos eletrônicos. Assim, acredita-se que a planilha possa viabilizar a escolha da seção e o dimensionamento à flexão da laje. Portanto, o uso da planilha, torna mais eficiente o trabalho com a laje, podendo verificar o estado de modo de ruptura e o esforço solicitante atuante em uma laje *steel deck*.

PALAVRA CHAVE: Momento Fletor, Software, Elementos estruturais, Modo de ruptura, Esforço solicitante, Metform.

ABSTRACT

Steel deck slabs are still new in Brazil, so the software for dimensioning these structural elements is scarce, so the projects are performed by manual calculation methodologies. Realizing this problem, this article aims to demonstrate the analysis and study of steel deck slabs sizing and its bending behavior, based on NBR 8800 (ABNT, 2008), through the spreadsheet developed in Microsoft Office Excel software. To this end, the spreadsheet was developed to determine the most economical section by analyzing the criteria proposed in the Metform catalog, in relation to the gap, own weight and overlapped load. Metform is one of the trapezoidal formwork suppliers in Brazil, its catalog serves as an aid for the sizing of the steel deck slab and preparation of the spreadsheet, and Metform was chosen for its educational character. In order to prove the results, an analytical calculation was made, which proves the effectiveness of the electronic calculations. Thus, it is believed that the spreadsheet can enable the choice of section and the dimensioning of the slab flexion. Therefore, the use of the spreadsheet makes the work with the slab more efficient, being able to verify the state of rupture mode and the stressing force acting on a steel deck slab.

KEY-WORDS: Bending Moment, Software, Structural Elements, Break Mode, Requesting effort.

1 INTRODUÇÃO

O termo ação mista se refere a estruturas compostas parcialmente ou totalmente por dois materiais distintos, teve sua origem no ano de 1855 quando Lambot na França adicionou barras de aço em argamassa de cimento, permitindo a construção de diversas embarcações. Anos seguintes, houve o surgimento do concreto armado formado por barras de aço associada a massa de concreto. Posteriormente, houve o surgimento dos perfis metálicos onde permitiu novas concepções estruturais, com o uso cada vez maior e comum do concreto armado e aços estruturais. Com o passar dos anos começaram a focar na ação mista aço-concreto de modo que os dois materiais trabalhassem em conjunto, formando um sistema estrutural único.

Segundo Fakury et al. (2016), os elementos estruturais mistos de aço e concreto são projetados para que suas partes de concreto trabalhem predominantemente a compressão e seu componente de aço trabalhe a tração, isso para aproveitar a melhor característica de cada material. Nas lajes mistas utiliza-se uma fôrma de aço conformada a frio, na maioria das vezes, de seção trapezoidal, essa fôrma fica na face inferior da laje e trabalha como armadura positiva, ou seja, trabalha a tração durante a flexão.

No Brasil, as construções mistas de aço e concreto tiveram origem no ano de 1950, restringindo-se a alguns edifícios e pequenas pontes. Contudo, somente em 1986, as estruturas mistas foram normatizadas pela NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1986), no qual abordava alguns procedimentos de projeto e execução de vigas mistas de aço e concreto. Apenas no ano de 2008 a norma passou a incluir os pilares mistos, lajes mistas e ligações mistas de aço e concreto, abrangendo as construções mistas.

A laje *steel deck*, ou seja, a laje aço-concreto é uma inovação para a construção civil, sendo assim os *softwares* são restritos no Brasil, estes auxiliam no cálculo de dimensionamento, assim sendo na maioria dos casos o dimensionamento é feito através de memoriais de forma manuscrita. No entanto, isso demanda uma grande carga de trabalho para aplicação do mesmo. Assim, a elaboração de uma planilha eletrônica, na qual todos envolvidos dentro da construção tenham acesso, é um meio de facilitar o cálculo do dimensionamento de uma laje *steel deck*, e pode atrair a atenção de profissionais da área da construção civil, como por exemplo, engenheiros e estudantes. Portanto, espera-se a difusão da planilha para a realização dos trabalhos, garantindo mais rapidez, eficácia e principalmente mais segurança, uma vez que permite uma melhor conferência dos dados e rotinas de cálculo.

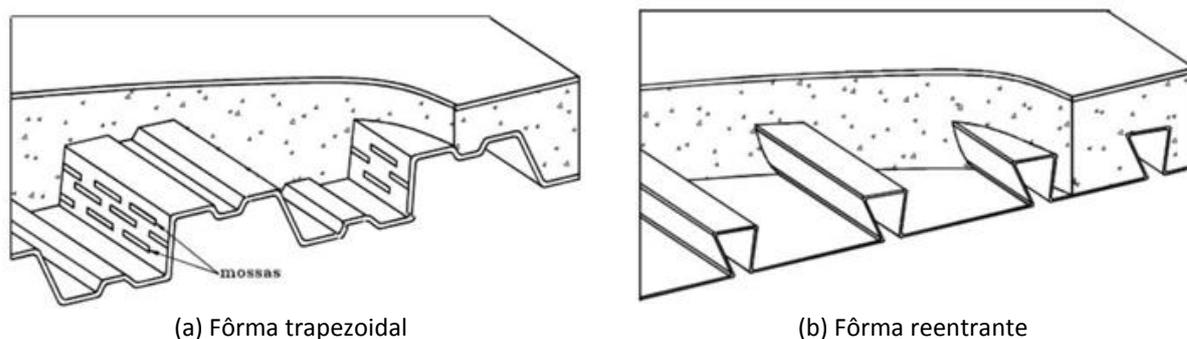
Este artigo tem como objetivo demonstrar a análise e estudo do dimensionamento da laje *steel deck* e o comportamento à flexão, baseado na NBR 8800 (ABNT, 2008), por meio da planilha feito através software Microsoft Office Excel, que tem a função de apresentar o resultado com maior rapidez e eficiência.

1.1 Componentes da laje *steel deck*

De acordo com Fabrizzi (2007), o aço conjuntamente ao concreto compõe a laje mista. O concreto demonstra resistência à compressão, alta rigidez, além de proteger o aço contra incêndio e corrosão. O aço possui grande resistência à tração e esbeltez dos elementos, logo a combinação da chapa de aço e do concreto, com a introdução dos conectores e das armaduras compõem as partes do sistema de laje mista que trabalham com grande eficiência.

O concreto utilizado em lajes *steel deck*, usualmente, segundo Oliveira (2018), é moldado *in loco*, e, de acordo com Lemos (2013), pode ser armado ou não, com resistência característica à compressão (f_{ck}), podendo ser igual ou superior a 20 MPa, conforme determina a NBR 8800 (ABNT, 2008). A espessura do concreto sobre a fôrma deve ser de no mínimo 50 mm e a dimensão máxima característica dos agregados graúdos utilizados na laje mista (aço-concreto) não deve exceder aos valores descritos na norma NBR 8800 (ABNT, 2008).

A chapade aço, conforme explica Fakury et al. (2016), funciona com dupla função, ou seja, atuando como fôrma no momento da execução da laje e como armadura positiva após a cura do concreto. A fôrma pode ter formato trapezoidal ou reentrante, conforme mostra a Figura 1. Na fôrma trapezoidal, conforme a Figura 1.a, segundo Vianna (2005), há a presença de mossas em sua alma, tais mossas são reentrâncias presentes na fôrma de aço, que auxiliam na aderência entre a fôrma e o concreto. E na fôrma reentrante, de acordo com a Figura 1.b há a presença de mossas que estão posicionadas na mesa superior da fôrma de aço.



(a) Fôrma trapezoidal (b) Fôrma reentrante
Figura 1. Fôrma de aço para laje *steel deck* (NBR 8800- ABNT,2008).

Como informado anteriormente, as mossas auxiliam na aderência entre a fôrma e concreto, pois somente a aderência natural entre o aço e concreto não é suficiente para assegurar o comportamento conjunto entre os dois materiais. As fôrmas trapezoidais precisam possuir mossas para assegurar a ligação adequada entre eles. Nas fôrmas reentrantes, a ligação é fornecida pelo atrito entre o aço e o concreto, potencializado pelo confinamento do concreto entre as nervuras.

A capacidade resistente das fôrmas trapezoidais segundo Fakury et al. (2016), depende das configurações das mossas que variam conforme o fabricante. No Brasil existem apenas a fabricação de fôrma de aço trapezoidal.

De acordo com Vianna (2009) os conectores de cisalhamento podem ser classificados em Flexíveis e Rígidos, essa classificação é obtida por meio da relação entre a força no conector e o deslizamento relativo aço-concreto, que surge em resposta ao fluxo de cisalhamento longitudinal gerado pela transferência de força entre a laje de concreto e perfil de aço. Eles podem ser considerados dúcteis segundo a Eurocode 4, afim de proporcionar uma maior eficiência entre o concreto e aço, é aplicado o conector na viga suporte. Se bem dimensionados, eles garantem a absorção do cisalhamento nas duas direções e impedem o afastamento vertical entre a laje e a viga de aço, pois promovem a ligação entre estes elementos.

Os conectores mais utilizados em lajes mistas são os flexíveis do tipo pino com cabeça (*stud bolt*), pois são de simples fabricação (processo de soldagem semiautomático) e apresentam a mesma resistência em todas as direções (ALVA, 2000).

Saúde et al. (2006) explica que os conectores *stud bolt* são soldados através de uma pistola automática, e o processo tem início quando a base do pino encosta na mesa superior do perfil, quando então se aperta o gatilho da pistola, fazendo a ligação entre a laje e a viga.

As armaduras são telas eletros soldadas que atuam como armadura negativas e previnem trincas superficiais na laje, além de ter armadura de reforço caso necessário (FAKURY et al., 2016), que segundo Barra (2014), são barras de aço colocadas na parte inferior dos canais da fôrma de aço trapezoidal, que tem a função de aumentar a resistência estrutural para sobrecargas e vão maiores.

1.2 Vantagens e desvantagens da laje *steel deck*

De acordo com BRENDOLAN, (2007), o sistema de laje *steel deck* tem como vantagem a execução uso como plataforma de serviço e proteção aos operários que trabalham nos andares inferiores. Geralmente nas lajes mistas não são necessários o uso de escoramentos. A estrutura apresenta facilidade na passagem dos dutos para instalações, maior rapidez construtiva e um menor desperdício de materiais. Além disso a chapa de aço funciona como fôrma para o concreto, eliminando a etapa de desforma já que ela permanece na construção e as chapas de aço por serem extremamente leves, elas se tornam fáceis de serem movimentadas e instaladas, reduzindo o tempo de montagem e adquirindo maior rapidez construtiva.

Já como desvantagem o sistema apresenta: a necessidade de utilizar forros suspensos por razões de estéticas; utilizar uma maior quantidade de vigas secundárias se os sistemas de fôrmas de grandes alturas ou escoramento não forem usados; demanda o uso de mão de obra especializada.

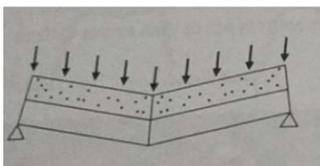
1.3 Comportamento da laje *steel deck*

Durante a fase inicial de verificação da fôrma nas lajes mistas, antes do concreto atingir 75% da resistência característica à compressão, a fôrma de aço deve ser capaz de atingir isoladamente as ações atuantes durante a construção (FAKURY et al., 2016).

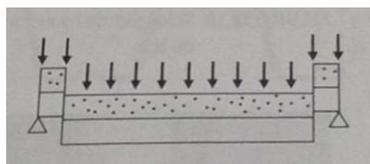
A fase inicial apresenta algumas complexidades, pois depende dos detalhes da geometria da fôrma utilizada, que é bastante suscetível a flambagem local em decorrência da espessura reduzida, além de ser necessário, segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008), considerar adequadamente o efeito das mossas nos valores dos esforços resistentes de cálculo, pois são elas que permitem a aderência entre a fôrma de aço e o concreto. Em termos práticos, tabelas são fornecidas pelos fabricantes como Metform (2019) que utilizadas no dimensionamento, podendo ser usadas com simplicidade.

Já na fase final, a fôrma de aço e o concreto se unem para construir um único elemento estrutural que trabalhe como armadura positiva na direção da nervura, a fim de suportar as ações atuantes durante toda a vida útil da construção. Durante esta fase, sob a ação de uma carga uniformemente distribuída, os modos de colapso de uma laje mista são:

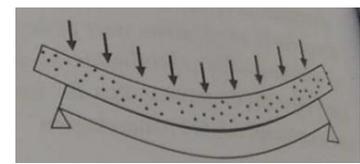
- Seção 1 - Flexão: Seção de maior momento fletor solicitante. A seção pode ser crítica somente se o vão do cisalhamento for suficientemente grande e se houver interação total entre a fôrma e o concreto, como observado na Figura 2.a;
- Seção 2 - Cisalhamento vertical: Seção crítica no caso de uma laje espessa, de vão curto, suportando forças elevadas, de acordo com a Figura 2.b;
- Seção 3 - Cisalhamento Longitudinal: Caracteriza-se como ação mista de interação parcial e pelo método m-k como descrito na NBR 8800 (ABNT, 2008), como mostra na Figura 2.c.



(a) Flexão



(b) Cisalhamento vertical



(c) Cisalhamento Longitudinal

Figura 2. Seções de modos de colapso de laje mista (Fakury et al., 2016).

1.4 Flexão

Na determinação do momento fletor positivo resistente de cálculo de acordo com a NBR 8800(ABNT,2008), a fôrma de aço deve resistir aos esforços de tração em conjunto com uma armadura adicional, caso exista, colocada na face inferior da laje. Na determinação do momento fletor negativo resistente de cálculo sobre os apoios em lajes contínuas, a contribuição da fôrma de aço aos esforços de compressão somente pode ser levada em conta se for contínua.

Caso não haja armadura adicional, o momento fletor positivo resistente de cálculo deve ser calculado para linha neutra acima e abaixo da face superior da fôrma de aço.

Esse modo de colapso é propenso a ocorrer se houver a interação total, não havendo deslizamento relativo entre a capa e fôrma. Ao considerar a interação total entre a fôrma e capa e a presença de uma única linha neutra plástica (LNP), torna-se necessário avaliar dois casos, o primeiro é a linha neutra passando pela capa de concreto, e o segundo, a LNP passando pela fôrma metálica (FAKURY et al., 2016).

A NBR 8800(ABNT,2008) estabelece que o momento fletor positivo para linha neutra plástica acima da face superior da fôrma de aço com interação total ao cisalhamento, deve seguir a condição de que a força de compressão no concreto (N_{cf}) é igual ou superior à força de escoamento da fôrma (N_{pa}), como observado na Figura 3.

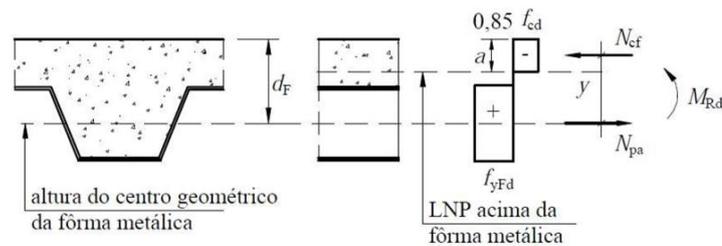


Figura 3. Diagrama de tensões para momento fletor positivo – Linha Neutra Plástica acima da fôrma de aço (NBR 8800 - ABNT,2008).

No segundo caso, a LNP intercepta a fôrma de aço, com interação total ao cisalhamento e a força N_{cf} é menor do que N_{pa} . Para os cálculos, o concreto contido nas nervuras é desprezado. Nesse caso, é preciso verificar a flambagem local e evitar certa instabilidade na fôrma, ou seja, limitar a relação entre espessura e largura reta do elemento (FABRIZZI, 2007), como ilustrado na Figura 4.

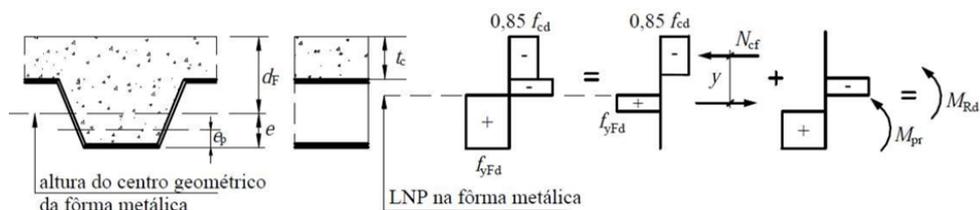


Figura 4. Diagrama de tensões para momento fletor positivo – Linha Neutra Plástica na fôrma de aço (NBR 8800 - ABNT,2008).

2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Este artigo é de natureza descritiva e aplicada no qual é utilizada a simulação como metodologia de pesquisa visando desenvolver uma planilha, com o intuito de facilitar o cálculo do dimensionamento da laje *steeldeck*, e atrair a atenção de profissionais da área da construção civil, espera-se que os usuários acessem a planilha elaborada através do Software Microsoft Office Excel, para realização dos trabalhos, de forma mais rápida, eficaz, e principalmente mais segura, pois pode permitir uma melhor conferência dos dados e rotinas de cálculo. Para atingir o objetivo, foi preciso fazer um levantamento de dados e estudos teóricos através das normas e livros, para obter um melhor conhecimento do tema abordado, e assim dar entrada nos dados, como características de projeto, características da laje *steel deck*, propriedades dos materiais e propriedades da armadura, que foram determinadas no pré-dimensionamento, tendo como auxílio o catálogo da empresa Metform (2019) para os dados da fôrma, os estudos de Fakury et al. (2016) e a NBR 8800 (ABNT, 2008). Nos dados de saída, ou seja, no dimensionamento, foram determinados o momento fletor positivo e negativo que são utilizados para verificar se a laje resiste ou não ao momento fletor solicitante que é determinada pelo usuário, foram utilizadas também para determinar se a planilha é ou não válida em relação ao cálculo analítico.

2.1 Pré-dimensionamento da laje *steel deck*

De acordo com Fakury et al. (2016), na fase inicial do dimensionamento da laje *steel deck*, é preciso fazer um pré-dimensionamento para a obtenção do vão efetivo máximo sem escoramento, que pode ser simples, duplo, triplo ou em balanço. No vão simples a fôrma é simplesmente apoiada. No vão duplo significa que a fôrma é contínua sobre dois vãos consecutivos, cada um com o comprimento indicado na tabela da Metform (2019). No vão triplo a fôrma é contínua sobre três vãos consecutivos, cada um com o comprimento indicado na tabela da Metform (2019). Caso o vão seja superior ao vão máximo sem escoramento indicado na tabela da Metform (2019), a fôrma deverá ser escorada durante a concretagem. Considerando a colocação das vigas secundárias de forma mais econômica para o emprego das lajes mistas com fôrma MF-50 ou MF-75, na direção de maior vão ou na direção de menor vão para a construção sem escoramento, é encontrado a quantidade de vigas secundárias, como segue Equação 1 e 2:

P/ Menor Vão

$$L_f = \frac{\text{maior vão}}{(n + 1)} \quad (1)$$

P/ Maior Vão

$$L_f = \frac{\text{menor vão}}{(n + 1)} \quad (2)$$

Onde:

n : Quantidade de vigas secundárias

L_f : Vão efetivo

2.1.1 Ações atuantes

Para a construção de um pavimento em laje *steel deck* as ações permanentes e variáveis. Segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008), as ações permanentes são as que ocorrem com valores praticamente constante durante toda a vida útil da construção, enquanto as ações variáveis são as que ocorrem com valores que apresentam variações significativas durante a vida útil da construção.

2.1.2 Combinações das ações

A combinação das ações de acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008), deve ser feita de forma que possam ser determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura. A verificação do estado limite último, para laje *steel deck*, deve ser realizada em função das combinações últimas normais como segue na equação (3).

$$F_d = \sum_{i=1}^m (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + \gamma_{q1} F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n (\gamma_{qj} \psi_{0j} F_{Qj,k}) \quad (3)$$

Onde:

$F_{Gi,k}$: Representa os valores característicos das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$: Representa o valor característico da ação variável considerada principal para a combinação;

$F_{Qj,k}$: Representa os valores característicos das ações variáveis que podem atuar concomitantemente com a ação variável principal.

2.2 Seção da fôrma *steel deck*

De acordo com Oliveira (2018), para o pré-dimensionamento foi analisado as tabelas disponibilizadas e como resultado, percebeu-se que não há a presença do peso próprio da laje na carga máxima resistente, assim é necessário fazer um levantamento das ações atuantes desconsiderando o peso próprio, ou seja, as combinações de estado limite último.

Considerando as ações atuantes e o vão efetivo máximo foi possível determinar, a partir de uma análise da tabela da Metform (2019), a espessura da fôrma, altura da laje e peso próprio da laje.

2.3 Verificação da fôrma na fase final

Segundo Oliveira (2018), observa-se as reações máximas nos apoios encontrados, a partir das ações atuantes, para determinar as solicitações da laje na fase final. Essas solicitações devem ser comparadas com os valores de resistência calculados na verificação da forma da laje na fase final. Neste subitem apresenta-se o procedimento para o dimensionamento da fôrma na fase final para o momento fletor positivo e negativo.

2.3.1 Momento fletor positivo

O momento fletor positivo resistente de cálculo deve ser calculado para linha neutra acima e abaixo da face superior da fôrma de aço, como mostra no subitem 2.3.1.a), além da verificação da resistência a solicitação do momento fletor positivo como mostra no subitem 2.3.1.b).

a) Linha Neutra Plástica – LNP

A linha neutra plástica (LNP) da seção é calculada a partir da força de escoamento da fôrma (N_{pa}), conforme a Equação (4), e da força de compressão no concreto (N_{cf}), de acordo com a Equação (6).

$$N_{pa} = A_{F,ef} F_{yFd} \quad (4)$$

Em que:

$A_{F,ef}$: área da seção efetiva da fôrma (para largura de 1000 mm), determinada pelo fabricante da fôrma *steel deck*;

F_{yFd} : valor de cálculo da resistência ao escoamento do aço da fôrma, que, segundo a NBR 8800 (ABNT,2008), é determinada pela Equação (5).

$$F_{yFd} = \frac{f_y}{\gamma_s} \quad (5)$$

$$N_{cf} = 0,85bt_c f_{cd} \quad (6)$$

Onde:

b: é a largura unitária da laje, dada pelo fabricante, igual a 1000 mm;

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

f_{cd} : é o valor de cálculo da resistência à compressão do concreto, como mostra na Equação(7).

$$F_{Cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (7)$$

Dessa forma, conforme determina a NBR 8800 (ABNT, 2008), o momento fletor positivo para linha neutra plástica acima da face superior da fôrma de aço com interação total ao cisalhamento, deve seguir a condição de que a força de compressão no concreto (N_{cf}) é igual ou superior à força de escoamento da fôrma (N_{pa}), ou seja, $N_{cf} \geq N_{pa}$, a linha neutra plástica situa-se na mesa de concreto, caso contrário $N_{pa} \geq N_{cf}$, a linha neutra plástica irá se situar na fôrma de aço, portanto para os cálculos, o concreto contido nas nervuras é desprezado. Nesse caso, de acordo com Fabrizzzi, (2007), é preciso verificar a flambagem local e evitar certa instabilidade na fôrma, ou seja, limitar a relação entre espessura e largura reta do elemento.

b) Momento Fletor Resistente Positivo

O cálculo do momento fletor resistente positivo (M_{Rd}) depende da posição da LNP. No caso, em que $N_{cf} \geq N_{pa}$, LNP situada na mesa de concreto, o M_{Rd} é dado pela equação (8).

$$M_{Rd} = N_{pa} (d_F - 0,5a) \quad (8)$$

d_F : é a distância da face superior da laje de concreto ao centro geométrico da seção efetiva da fôrma dado pelo fabricante;

a: distância da LNP a face superior do concreto, conforme equação 9.

$$\alpha = \frac{N_{pa}}{0,85f_{cd}b} \quad (9)$$

Já o caso em que $N_{pa} \geq N_{cf}$, o M_{Rd} calcula-se pela equação (10):

$$M_{Rd} = N_{cf} \cdot y + M_{pr} \quad (10)$$

Onde:

y : é a distância entre as forças atuantes no concreto e na fôrma de aço, dado pela equação (11).

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

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

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

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

M_{pr} : é o momento de plastificação da fôrma de aço reduzido pela presença da força axial, dado pela equação (12).

$$M_{pr} = 1,25M_{pa} \left(1 - \frac{N_{cf}}{N_{pa}} \right) \leq M_{pa} \quad (12)$$

M_{pa} : é o momento de plastificação da fôrma, considerando sua seção efetiva, dividido pelo coeficiente de ponderação da resistência γ_{aj} igual a 1,10.

A NBR 8800(ABNT,2008), estabelece que o momento fletor resistente deve seguir a condição de que o momento fletor resistente de cálculo é igual ou superior ao momento fletor solicitante de cálculo ($M_{Rd} \geq M_{Sd}$), ou seja, a laje irá resistir a solicitação, caso contrário não resistirá.

Para $N_{pa} \geq N_{cf}$ a linha neutra plástica irá se situar na fôrma de aço, o concreto contido nas nervuras é desprezado. Nesse caso, conforme explica Fabrizzi, (2007), é preciso verificar a flambagem local e evitar certa instabilidade na fôrma, ou seja, limitar a relação entre espessura e largura reta do elemento, ao qual é calculado pela equação (13) e (14).

Para $\alpha \geq 0,5$:

$$b_F \leq \frac{26,49 \sqrt{\frac{E}{f_{yF}}}}{(13\alpha - 1)} t_F \quad (13)$$

Para $\alpha < 0,5$:

$$b_F \leq \frac{2,40 \sqrt{\frac{E}{f_{yF}}}}{\alpha} t_F \quad (14)$$

Onde:

α é a relação entre a largura da parte comprimida e a largura plana do elemento;

t_F é a espessura da fôrma de aço;

E é o módulo de elasticidade.

2.3.2 Momento Fletor Negativo

O cálculo do momento fletor negativo é definido de acordo com a tipologia da fôrma de aço utilizada na laje *steel deck*, conforme as equações (15) e (16).

Para fôrma MF-75:

$$N_{cf} = \frac{0,85f_{cd}b_c x}{0,274} \quad (15)$$

Para fôrma MF-50:

$$N_{cf} = \frac{0,85f_{cd}b_c x}{0,305} \quad (16)$$

Sendo que:

N_{cf} : Força de compressão no concreto;

b_c : largura de concreto comprimida no interior das nervuras, dada pelo fabricante na dimensão da fôrma;

x : distância da face inferior da fôrma a LNP, que depende do tipo de fôrma MF-75 ou MF-50, de acordo com as Equações (17) e (18).

Para fôrma MF-75:

$$x = \frac{A_S F_{yd} 0,274}{0,85f_{cd}b_c} \quad (17)$$

Para fôrma MF-50:

$$x = \frac{A_S F_{yd} 0,305}{0,85f_{cd}b_c} \quad (18)$$

Onde:

f_{yd} : Resistência de escoamento de cálculo do aço, segundo a NBR 8800(ABNT,2008), como mostra a equação 19.

$$F_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15} \quad (19)$$

f_{cd} : Resistência de cálculo do concreto, como mostra na equação (20).

f_{ck} : Resistência característica a compressão.

$$F_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (20)$$

M_{Rd} : Momento resistente negativo plástico de cálculo, como mostra na equação (21)

$$M_{Rd} = A_s f_{yd} z \quad (21)$$

Sendo que:

A_s : Área da seção da armadura;

z : distância entre os esforços N_c e N_s no diagrama de tensões para momento negativo como segue a equação 22.

$$z = d_s - \frac{x}{2}; \quad (22)$$

d_s : distância da face inferior da fôrma até a armadura negativa, dada pelo fabricante na dimensão da fôrma.

A NBR 8800 (ABNT,2008) estabelece que o momento fletor resistente negativo de cálculo deve seguir a condição de que o momento fletor resistente negativo de cálculo é igual ou superior ao momento fletor solicitante de cálculo ($M_{Rd} \geq M_{Sd}$), ou seja a laje irá resistir a solicitação, caso contrário não resistirá.

3 RESULTADO

3.1 Planilha Eletrônica de Cálculo

A planilha foi criada de acordo com os procedimentos prescritos pela NBR 8800 (ABNT,2008) e conforme estudos de Fakury et al. (2016) para o dimensionamento da laje *steel deck* submetida a flexão, logo a planilha foi dividida em abas para melhor compressão do usuário e análise dos resultados.

Os dados de entrada que o usuário deve fornecer são referentes às características do projeto como o vão da laje na direção da nervura, quantidade de vigas secundárias, o peso próprio do revestimento mais forro ou mais algum elemento construtivo utilizado, carga acidental e mais alguma ação variável. Além disso, o usuário deve determinar, através de uma lista suspensa, o tipo de edificação que será utilizada para a laje em questão, assim, é possível definir a altura da laje e o tipo de *steel deck*, na qual seja a mais econômica de acordo com os aspectos de espessura da fôrma e a necessidade de escoramento da laje. O usuário deve fornecer também o momento fletor solicitante encontrado através do diagrama de momento fletor solicitante criado por meio do *software* Ftool. A janela (aba) de entrada dos dados é apresentada na Figura 5.

unidoctum		ENTRADA DE DADOS	
ENTRADA			
Identificação do projeto:			
CARACTERÍSTICA DO PROJETO			
Vão da laje na direção das nervuras:	4	m	
Nº de vigas secundárias:	4	Unit	
Peso Próprio do revestimento+forro+outro elemento construtivo utilizado	1,5	kN/m ²	
Carga acidental + outra ação variavel	2	kN/m ²	
Tipo de edificação para laje:	Industrial		
CARACTERÍSTICA DA LAJE STEEL DECK			
LAJE STEEL DECK:	MF-75		
Altura total da laje:	140	mm	
Carga sobreposta na laje:	3,50	kN/m ²	
Espessura da Steel Deck econômica:	1,25	mm	
Vão máximo simples sem escoramento:	3,50	m	
	Necessita de escoramento		
	Aplicavel para qualquer projeto		
Vão máximo duplo sem escoramento:	4,15	m	
	Não necessita de escoramento		
	Aplicavel para projeto		
Vão máximo triplo sem escoramento:	4,25	m	
	Não necessita de escoramento		
	Aplicavel para projeto		
Espessura da Steel Deck:	1,25	mm	Escolhe-se a Steel Deck mais economica de acordo com a espessura da forma e para o vão que não necessita de escoramento
Tipo vão adotado:	Vão duplo		
Peso próprio da laje:	2,55	kN/m ²	
PROPRIEDADES DOS MATERIAIS			
CONCRETO			
Classe de concreto:	C30		
f _{ck}	30	MPa	
Consumo de concreto:	0,1025	m ³ /m ²	
FÔRMA DE AÇO			
Tipo de aço:	ASTM A653 - Grau 40 (ZAR 280)		
f _{yf}	280	MPa	
Peso da chapa:	14,63	kg/m ²	
Área de aço por 1 metro de largura de laje:	1771	mm ²	
TELA SOLDADA			
Demoninação/Tipo:	Q-75		
Tipo de aço:	CA-60		
Fsk	600	MPa	
Composição:	Ø3,8 x Ø3,8-150 x 150		
Peso:	1,21	kg/m ²	
Área do aço	75	mm ² /m	
Carga Total			
Qt	8,47	kN/m ²	
Momento Fletor Positivo			
Momento Fletor Solicitante	10,5	kN.m/m	
Momento Fletor Negativo			
Momento Fletor Solicitante	14,1	kN.m/m	
Verificação da Flambagem Local			
bF	0,1389		
E(Módulo de Elasticidade)	200000	MPa	
Tf(Espessura da fôrma de aço)	1,25	mm	
α	1,3025		

Figura 5. Janela(aba) de entrada dos dados da planilha por meio do Microsoft Office Excel 2016 (Elaborado pelo Autor, 2019).

Por meio dos dados de entrada, a planilha fornece todos os dados de cálculos, de modo que o usuário ao realizar o dimensionamento possa analisar o modo de colapso, ou seja, se a laje irá resistir ou não momento fletor solicitante em relação ao momento fletor resistente de acordo com NBR 8800(ABNT,2008)e não precise inserir qualquer dado na saída, ou seja, a saída será somente uma plataforma para o resultado.

3.1.1 Momento Fletor

Nos dados de saída, tem-se o momento fletor positivo e o momento fletor negativo. No momento fletor positivo, a sua formulação é determinada pela posição da LNP, através da condição de que N_{cf} e N_{pa} , caso $N_{cf} \geq N_{pa}$ utiliza-se a Equação (8), LNP posicionada na mesa de concreto, caso contrário $N_{cf} \leq N_{pa}$, utiliza-se a equação (10). Dessa forma, foi estabelecido a condição na planilha que caso a LNP esteja na mesa de concreto não se deve calcular as incógnitas M_{pr} , y , e e_p e e (ver subitem 2.3.1), mas que seja inserido um “-“, caso a LNP esteja abaixo da mesa de concreto, a condição deve permitir o cálculo dessas incógnitas.

Já para o momento fletor negativo todos os dados são estabelecidos através da condição, pois dependem da tipologia da fôrma utilizada, MF-50 ou MF-75, assim como a largura de concreto, a área de armadura, e a força de compressão no concreto.

A verificação da resistência ao momento fletor da laje tanto positivo quanto negativo é estabelecida pela condição dada pela NBR 8800(ABNT,2008) em que $M_{Rd} \geq M_{Sd}$, ou seja, o momento fletor resistente deve ser maior ou igual ao momento fletor solicitante para que a estrutura fletida seja resistente, caso contrário não resistirá.

A Figura 6 apresenta a janela(aba) de saída dos dados, ou seja, o dimensionamento do momento fletor positivo e negativo da laje.

Verificação da laje na fase final -		
Momento Fletor Positivo		
b	1000	mm
Altura da Forma de metálica	75	mm
Altura Total da Laje	140	mm
tc	65	mm
Centro de Gravidade da fôrma	37,72	mm
df	102,28	mm
Fck	30	MPa
Fcd	21,43	MPa
Fy	280	MPa
Fy,Fd	243,48	MPa
AF,ef	1771	mm ²
Npa	431,20	kN
Ncf	1183,93	kN
Verificação da LNP	LNP na mesa de concreto	
Verificação da Flambagem Local	-	
a	23,67	mm
ep	-	
e	-	
y	-	
Mpr	-	
Mpa	-	
MRd	39,00	kN.m/m
Qt	8,47	kN/m ²
Msd	10,5	KN.m/m
Verificação do Momento Fletor Positivo	Laje resiste a solicitação	

Momento Fletor Negativo		
Ncf	18,26	kN
bc	119	mm
x	2,308	mm
ds	120	mm
z	118,8	mm
Fsd	521,7	MPa
MRd	4650,49	kN.m/m
Msd	14,1	kN.m/m
Verificação do Momento Fletor	Laje resiste a solicitação	

Figura 6. Janela(aba), de saída dos dados da planilha por meio do Microsoft Office Excel 2016 (Elaborado pelo Autor, 2019).

3.2 Exemplo prático de escolha de laje *steel deck*

Para validação da planilha, foi utilizado o exemplo prático desenvolvido por Fakury et al.(2016) com o intuito de determinar a seção da laje. Neste exemplo, a laje *steel deck* foi dimensionada para pavimento tipo, com um espaçamento entre as vigas suporte igual a 2,80m, conforme mostra a figura 7, para resistir uma sobrecarga características de 4,0 kN/m². O piso possui revestimento com carga igual a 1,1 kN/m². O concreto que foi utilizado possui resistência característica à compressão (f_{ck}) igual a 30 MPa.

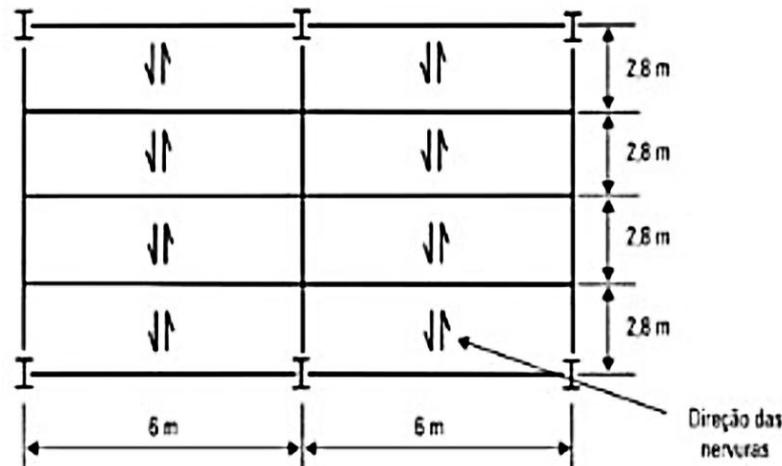


Figura 7. Planta da laje para escolha da laje *steel deck*(Fakury et al., 2016)

Como mostra a disposição da Figura 7, a laje possui 3 vigas secundárias com comprimento de 6 m espaçadas uma da outra a cada 2,80 m. As ações atuantes para o cálculo de carga sobreposta, considera as ações permanentes, na qual refere-se aos pesos próprios do forro, revestimento do piso e divisórias internas, e as ações variáveis, referentes a sobrecarga na laje. A carga sobreposta é definida como a soma dessas ações, desconsiderando o peso próprio da laje e os coeficientes de ponderação, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Ações atuantes do pavimento tipo, (Elaborado pelo Autor, 2019)

Ações Atuantes		Carga
Ação Permanentes	Forro, revestimento do piso, serviços, incluindo divisórias internas	1,1 kN/m ²
Ação Variável	Sobrecarga	4 kN/m ²
Carga Sobreposta		5,1 kN/m²

Com a carga sobreposta (5,1 kN/m²) e o vão da laje (2,8 m), determinou-se, por meio do catálogo da Metform (2019), o tipo de laje *steel deck* ideal para a situação, considerando aquela que dispense o uso de escoramento e dispõe de uma espessura menor da fôrma metálica.

Entre as alternativas apresentadasaquela que leva menor peso próprio é a fôrma MF-75, com altura total de 140 mm e espessura de 0,80 mm. Adotando-se essa solução, que é a que fornece a menor altura total da laje, para dispensar o uso de escoramento durante a construção é preciso ter no mínimovãos duplos. Caso use vãos simples deve-se colocar escoramento.

3.3 Exemplo prático para verificação da flexão da laje *steel deck*

Em relação aos cálculos de dimensionamento do momento fletor para validação da planilha, foi utilizado o exemplo prático de laje *steel deck* desenvolvido por Fabrizzi (2007). Neste exemplo, a laje *steel deck* foi dimensionada para o pavimento tipo, apoiadas na direção Y, ou seja, as nervuras da fôrma foram dispostas na direção de maior vão e paralelas a de menor vão. Na Figura 8 é apresentada a laje *steel deck* dimensionada delimitada por uma linha tracejada. Para o cálculo foram considerados para o concreto a resistência característica a compressão de 30 MPa, para o aço uma resistência característica de 280 MPa, tendo como fôrma de aço a ASTM A653 – G 40 e para a armadura uma resistência característica de 600 MPa.

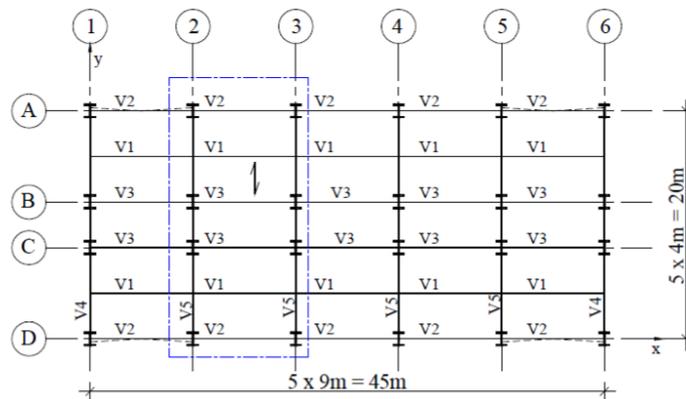


Figura 8. Exemplo prático de um pavimento tipo – Laje *steel deck* (FABRIZZI, 2007).

Conforme a disposição da Figura 8, a laje possui 4 vigas secundárias com comprimento de 9 metros espaçadas uma da outra a 4 metros. As ações atuantes para o cálculo de carga sobreposta, considera as ações permanentes, na qual refere-se aos pesos próprios do forro, revestimento do piso e divisórias internas, e as ações variáveis, referentes a sobrecarga na laje, de acordo com a Tabela 2. A carga sobreposta é definida como a soma dessas ações, desconsiderando o peso próprio da laje e os coeficientes de ponderação.

Tabela 2. Ações atuantes do pavimento tipo, Autor, 2019.

Ações Atuantes		Carga
Ação Permanentes	Forro, revestimento do piso, serviços, incluindo divisórias internas	1,5 kN/m ²
Ação Variável	Sobrecarga	2,0 kN/m ²
Carga Sobreposta		3,5 kN/m²

Com a carga sobreposta (3,5 kN/m²) e o vão da laje (4 m), determinou-se, por meio do catálogo da Metform (2019), o tipo de laje *steel deck* ideal para a situação, considerando aquela que dispense o uso de escoramento e dispõe de uma espessura menor, resultando em uma laje com altura total igual a 140 mm, espessura da fôrma de aço igual a 1,25 mm e peso próprio igual a 2,55 kN/m². Na figura 9 é exibido a seção da laje *steel deck* proposta para o problema.

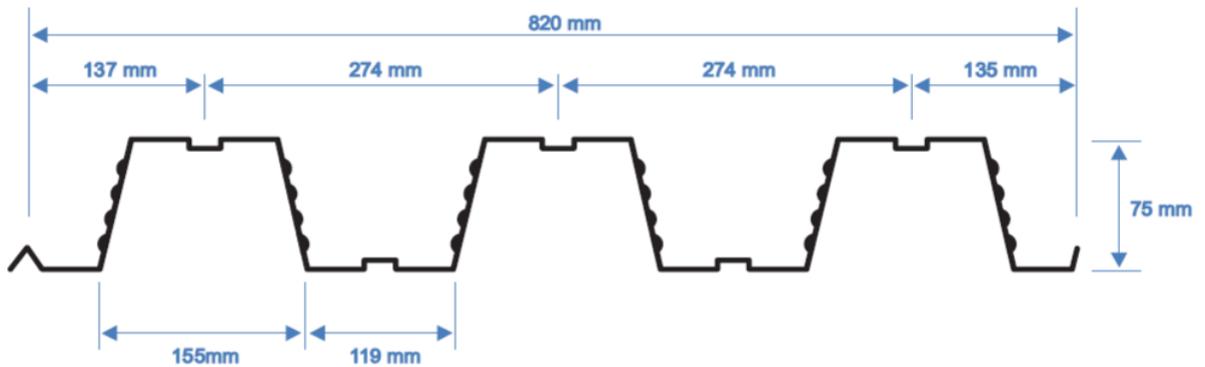


Figura 9. Seção da laje *steel deck*, MF-75 (Metform, 2019).

O carregamento solicitante sobre a laje é definido pela combinação de ações atuantes permanentes e variáveis com o uso do coeficiente de majoração γ , equivalente para as ações permanentes e variáveis, igual a 1,4, conforme a equação (23), em que g é a ação permanente referente aos pesos próprios de elementos construtivos (ver Tabela 2), pp é o peso próprio da laje *steel deck* e q é a ação variável devido à sobrecarga.

$$Q_t = (pp + g + q) \times 1,4 = 8,4 \text{ kN/m}^2 \quad (23)$$

Para análise estrutural da laje é necessário representá-la como uma viga por simplificação, com carga determinada na equação (23), resultando no esquema da Figura 10. Dessa forma, utilizando o *software* Ftool, obteve-se o diagrama de momento fletor da laje, conforme a Figura 11.

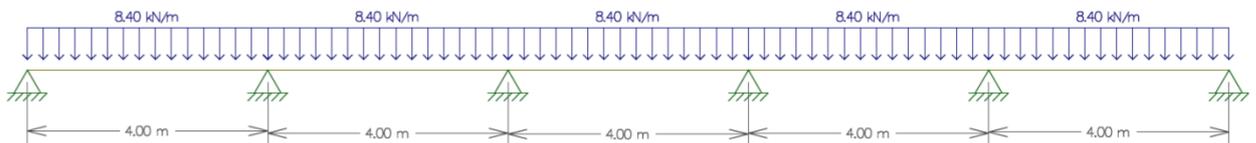


Figura 10. Distribuição de cargas em kN/m^2 através do *Software* Ftool (Elabora pelo Autor, 2019).

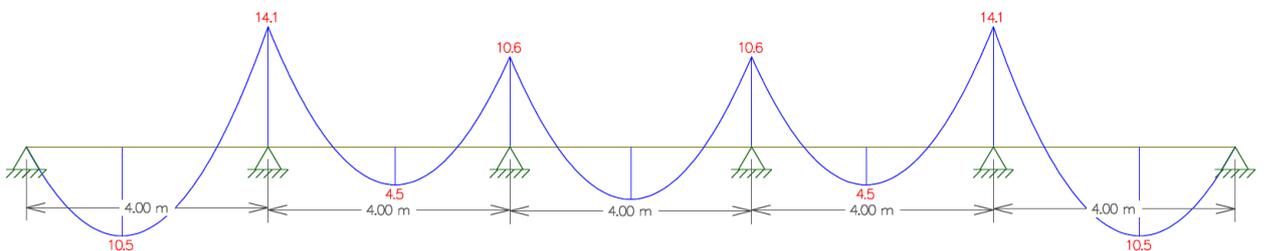


Figura 11. Diagrama de Momento Fletor em kN.m/m através do *Software* Ftool (Elaborado pelo Autor, 2019).

Apartir da análise do diagrama de momento fletor (Figura 11) estabeleceu as solicitações máximas para fins de cálculo, como sendo $M_{sd} = 10,5 \text{ kN.m/m}$, momento fletor positivo, e $M_{sd} = 14,1 \text{ kN.m/m}$, momento fletor negativo.

Os momentos fletor positivo e negativo resistentes de cálculo tem como base a metodologia apresentada no subitem 2.3. Portanto, para o momento fletor positivo, foi

necessário obter N_{pa} e N_{cf} a fim de determinar a posição de LNP, de acordo com as equações (4) e (6), resultando nas equações (24) e (25) em que $A_{F,ef}$ é igual a 1771 mm^2 e t_c é igual a 65 mm , obtidos pelo catálogo da Metform(2019). Assim tem-se:

$$N_{pa} = 1771 \left(\frac{280}{1,15} \right) = 431,20 \text{ kN} \quad (24)$$

$$N_{cf} = 0,85 \times 1000 \times 65 \times \left(\frac{30}{1,4} \right) = 1183,92 \text{ kN} \quad (25)$$

Onde:

$N_{cf} \geq N_{pa}$, a LNP encontra-se na mesa de concreto. Portanto, a distância da LNP definida por a , Equação (9) resulta na equação 26.

$$a = \frac{431,20}{0,85 \left(\frac{30}{1,4} \right) 1000} = 23,67 \text{ mm} \quad (26)$$

Logo, M_{Rd} foi determinado pela equação (8), em que d_F é igual a $102,28 \text{ mm}$, conforme catálogo da Metform(2019), resultando na equação (27).

$$M_{Rd} = 431,20(102,28 - (0,5 \times 23,67)) = 39 \text{ kN.m} \quad (27)$$

Assim sendo, ($39 \geq 10,5$), então a laje irá resistir a solicitação, pois está seguindo as condições estabelecidas pela NBR 8800(ABNT,2008) de que ($M_{Rd} \geq M_{Sd}$).

Já para o momento fletor negativo os cálculos são definidos de acordo com a tipologia da fôrma assim como nas equações (15) e (16), sendo a fôrma MF-75 do pavimento tipo, em que b_c é igual a 119 mm obtido pelo catálogo da Metform (2019) e A_s é igual a $75 \text{ mm}^2/\text{m}$ obtido através do Fakury et al. (2016). Assim tem-se as equações (28), (29) e (30).

$$x = \frac{75 \left(\frac{280}{1,15} \right) 0,274}{0,85 \left(\frac{30}{1,4} \right) 119} = 2,308 \text{ mm} \quad (28)$$

$$N_{cf} = \frac{0,85 \left(\frac{30}{1,4} \right) 119 \times 2,308}{0,274} = 18,257 \text{ kN} \quad (29)$$

$$z = 120 - \frac{2,308}{2} = 118,84 \text{ mm} \quad (30)$$

Logo, M_{Rd} foi determinado pela equação (21), em que z é igual a $118,84 \text{ mm}$, conforme equação (31) e A_s foi determinado conforme Fakury et al. (2016), sendo:

$$M_{Rd} = 75 \left(\frac{600}{1,15} \right) 118,84 = 4650,26 \text{ kN.m} \quad (31)$$

Assim sendo, ($4650,26 \geq 14,1$), a laje irá resistir a solicitação, pois conforme NBR 8800(ABNT,2008), atende a condição.

3.4 Validação da Planilha

A planilha foi validada por meio da comparação entre os resultados de momento fletor positivo, momento fletor negativo, e a seção da laje, obtidos analiticamente, apresentados nos subitens 3.2 e 3.3, exemplo prático com os obtidos na planilha.

Na tabela 3, é apresentados resultados comparativos entre os momentos fletores resistentes obtidos analiticamente e da planilha.

Tabela 3: Resultados comparativos de momento fletor, obtidos analiticamente e os obtidos na planilha, (Autor, 2019).

	Analítico (kN.m)	Planilha (kN.m)	Diferença	$1 - \frac{\text{planilha}}{\text{Analítico}}$
Momento Fletor Positivo	39,00	39,00	0,00	0,000%
Momento Fletor Negativo	4650,26	4650,49	0,23	0,001%

Os resultados apresentados na Tabela 3, exibem valores de momentos fletores, ao qual no momento fletor positivo, por meio da subtração entre os valores da planilha e o analítico, obteve uma diferença de 0 e um erro de 0%, ou seja, o resultado foi igual, aferindo a eficiência dos cálculos da planilha. No momento fletor negativo houve uma diferença de 0,23, apresentando um erro de 0,001%, isso pode ser justificado pelas condições de cálculo utilizada, como o coeficiente de majoração do momento fletor solicitante.

Já para determinar a seção da laje *steel deck*, comparou-se os resultados, baseando-se no exemplo prático analítico conforme Fakury et al. (2016), apresentando os resultados dos autores da planilha de espessura, altura da laje, vão da laje, quantidade de vigas secundárias e modelo da fôrma, ou seja MF-75 ou MF-50, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4. Resultados comparativos do cálculo da seção da laje *steel deck*, (Autor, 2019).

	Espessura da laje <i>steel deck</i> (mm)	Altura Total da laje <i>steel deck</i> (mm)	Vão da laje (m)	Número de vigas secundárias	Modelo da fôrma <i>steel deck</i>	Vão Máximo sem Escoramento
Fakury et al.	0,80	140	2,80	3	MF-75	Vão Duplo
Planilha	0,80	140	2,80	3	MF-75	Vão Duplo

Os resultados apresentados na Tabela 4, são idênticos, ou seja, comprovam que a planilha teve um resultado positivo, sendo assim a planilha teve um desenvolvimento eficiente, contudo, como foi citado no subitem 3.2, para que se dispense o uso do escoramento é preciso ter no mínimo vãos duplos, caso contrário, para o vão simples, deve-se colocar escoramento.

Portanto, observou-se que a planilha trabalha para encontrar a seção mais adequada para a edificação, além de analisar o modo de ruptura da laje *steel deck* para a flexão.

4 CONCLUSÃO

O presente artigo teve como problemática, a escassez dos materiais e softwares que auxiliam no cálculo do dimensionamento da laje *Steel Deck*, pois a mesma é dimensionada de forma analítica, através de memoriais e outros materiais, contudo isso leva uma carga de trabalho elevada para a aplicação, além da escolha do tipo de laje, pois na forma trapezoidal temos a MF-75 e MF-50 e como saber qual a ideal para a edificação. A elaboração da planilha eletrônica, com o intuito de facilitar o cálculo do dimensionamento à flexão de uma laje *Steel Deck*, vai determinar a melhor escolha da laje, tanto em relação a sua forma e a sua altura total, considerando aspectos econômicos como peso próprio reduzido e dispensa do uso de escoramentos. Portanto, a proposta da planilha proporciona melhor agilidade e compreensão dos dados e rotinas de cálculos para laje *Steel Deck*.

A planilha foi criada para determinar o momento fletor resistente de cálculo e verificar a condição de resistência. Para isso, criou-se uma aba de entrada, onde era possível inserir as características da laje para que fosse obtido a melhor *Steel Deck* para situação, utilizando os dados do catálogo da Metform. O momento fletor resistente de cálculo foi obtido por meio de formulações estabelecidas pela NBR 8800 (ABNT, 2008). A aba de saída permite visualizar toda a rotina dos cálculos para verificação do momento fletor.

Pela verificação da planilha foi possível estabelecer a sua validade em relação aos métodos utilizados, permitindo o seu uso. Dessa forma, foram realizadas análises comparativas dos resultados da planilha com os valores analíticos obtidos através de exemplos práticos, que provaram que não haviam erros consideráveis, sendo praticamente insignificantes. Assim, a planilha exibe eficiência em seus cálculos e na escolha da seção da laje *Steel Deck*. Portanto, acredita-se que a mesma pode contribuir com os profissionais da construção civil.

Dessa forma, conclui-se que com o emprego da planilha simplifica e contribui para a elaboração e viabilização de projetos de lajes *Steel Deck*, permitindo verificar o estado de modo de ruptura e o esforço solicitante na flexão da laje.

Para aprimorar o desempenho da planilha em lajes *Steel Deck*, é sugerido incorporar os cálculos de dimensionamentos do esforço cortante e do conector de cisalhamento, juntamente com verificação dos estados de ruptura, por meio de algoritmos ou outro tipo de linguagem de programação. Além disso, para otimizar o processo de concepção da laje *Steel Deck*, recomenda-se a introdução do cálculo de quantidade de vigas secundárias para melhor atendimento da laje.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVA, G. M. S. **Sobre o projeto de edifícios e estruturas mistas aço-concreto**. Dissertação de mestrado em Engenharia de Estruturas. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 297 pgs, 2000;

BARRA, F. Laje Steel Deck. Disponível em: <https://petcivilufjf.wordpress.com/2014/02/14/lajesteel-deck/>. acesso em: 15 out. 2019;

BRENDOLAN, G. **Análise do comportamento e da resistência de um sistema de lajes com fôrmas de aço incorporada**. Dissertação de mestrado em engenharia de estruturas. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 149 pgs, 2007;

FABRIZZI, M. A. **Contribuição para o projeto e dimensionamento de edifícios de múltiplos andares com elementos estruturais mistos aço – concreto**. Dissertação de mestrado em Engenharia. Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo. 233 pgs, 2007;

FAKURY, R. H, SILVA, A.L.R.C, CALDAS, R.B. **Dimensionamento básico de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto**. Pearson education do brasil, São Paulo, 2016;

FTOOL- two dimensional frame analysis tool. versão 4.00.04. ed.rio de janeiro: luiz Fernando Martha, 2018. disponível em <http://www.ftool.com.br>. acesso em: 20 nov. 2019;

LEMOS, P. P. **Sistema de lajes mistas steel deck: análise comparativa com o sistema de laje zero em concreto armado**. Monografia de bacharelado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 96 pgs, 2013;

METFORM. **Telha - forma (steel deck)**. Betim. 4p, 2019;

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

OLIVEIRA, L. C. **Estudo comparativo entre estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto aplicadas a edifícios de múltiplos andares**. Monografia em bacharelado em Engenharia civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. 155 pgs, 2018;

SAÚDE, J. ET AL. **Lajes mistas: aspectos construtivos e respectivas recomendações da eurocódigo 4**. in: Congresso Latino Americano da Construção Metálica, 2. São Paulo, 2006;

VIANNA, J. C. **Avaliação do comportamento estrutural de conectores perfobond e t-perfobond para vigas mistas**. Tese de doutorado em Engenharia Civil. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 300 pgs, 2005.