

**UNIVERSIDADE TIRADENTES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**IURY SANTANA BISPO
WANDERLEI DOS SANTOS SANTANA JÚNIOR**

**OTIMIZAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE VIGAS MISTAS DE AÇO E
CONCRETO CONFORME NBR 8800:2008**

Aracaju
2018

IURY SANTANA BISPO
WANDERLEI DOS SANTOS SANTANA JÚNIOR

**OTIMIZAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE VIGAS MISTAS DE AÇO E
CONCRETO CONFORME NBR 8800:2008**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Tiradentes
como um dos pré-requisitos a
obtenção do grau de bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof. Ma. Raquel Alves Cabral Silva

Aracaju
2018

IURY SANTANA BISPO

WANDERLEI DOS SANTOS SANTANA JÚNIOR

**OTIMIZAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE VIGAS MISTAS DE AÇO E
CONCRETO CONFORME NBR 8800:2008**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Tiradentes
como um dos pré-requisitos a
obtenção do grau de bacharel em
Engenharia Civil.

Aprovado em: _____/_____/_____

Banca Examinadora

Nota

Prof^a. Ma. Raquel Alves Cabral Silva

Orientador - UNIT

Nota

Prof. Me. Diego Faro Alves

Avaliador interno - UNIT

Nota

Prof. Me. Adysson André de Souza Fortuna

Avaliador externo - IFS

AGRADECIMENTOS

A última etapa da caminhada para obtenção do grau bacharel em Engenharia Civil está se encerrando e desejamos iniciar os agradecimentos reconhecendo aquele que foi imprescindível em nossa jornada. Deus! Em muitos momentos procuramos forças para continuar. Obrigado por sempre zelar por nós.

Aos nossos pais, o nosso muito obrigado por todo apoio, paciência e dedicação. Todas as conquistas que alcançamos será de e por vocês. Aos nossos tios e tias que estão sempre conosco nos proporcionando alegria. As nossas namoradas Juliana e Sara, por estarem sempre aos nossos lados. Obrigado a todos vocês por acreditarem no nosso sucesso.

Aos nossos professores que foram de grande relevância para todo conhecimento e pela dedicação em transmitir aprendizados.

Por fim, gostaria de deixar a nossa mensagem de gratidão por toda dedicação em nos ensinar, a nossa Orientadora Raquel Cabral. Possuímos um grande apreço por todos os momentos que você acreditou que poderíamos fazer tudo aquilo que foi planejado para este trabalho de conclusão.

Existem pessoas que inspiram apenas pelo exemplo e Raquel representou isso para nós, seus orientandos.

RESUMO

A viga mista é um elemento construtivo que proporciona a melhor utilização de dois materiais muito usados na construção civil: o aço e o concreto. A conexão destes materiais é feita pela ação dos conectores de cisalhamento. Este sistema vem ganhando espaço no Brasil e no estado de Sergipe, pois a união destes materiais proporciona um ganho de produtividade na obra devido ao fato do aço eliminar o processo de escoramento e funcionar como armadura positiva, também é possível obter uma maior facilidade para vencer maiores vãos ao utilizar esse método construtivo. O presente trabalho tem como objetivo apresentar o dimensionamento de três vigas mistas biapoiadas que atuem no regime plástico e automatizar o processo através do uso de *software*. Para atingir o objetivo do estudo, foram propostas três situações exemplos de vigas mistas e realizado o dimensionamento das mesmas de acordo com a NBR 8800:2008. Após a execução manual dos cálculos, foi modelada uma planilha que automatiza o processo de dimensionamento para este sistema construtivo. Como resultados foram feitas as comparações dos valores obtidos nos processos dos dimensionamentos manuais e dos dimensionamentos realizados pelo *software*, com a ajuda do mesmo também foram elaborados gráficos e tabelas que demonstram o comportamento das vigas mistas ao aumentar o vão ao qual esta estrutura é submetida. Conclui-se que a planilha modelada para a automatização do dimensionamento das vigas mistas é eficiente e que a localização da linha neutra plástica e a largura efetiva da laje têm influência significativa no valor do momento fletor resistente.

Palavras-chave: Viga mista. Dimensionamento. *Software*.

ABSTRACT

The mixed beam is a constructive element that provides the best use of two materials widely used in civil construction: steel and concrete. The connection of these materials is made by the action of the shear connectors. This system has been gaining ground in Brazil and in the state of Sergipe, as the union of these materials provides a productivity gain in the work due to the fact that the steel eliminates the shoring process and works as a positive armor, it is also possible to obtain a greater easiness to win with this constructive method. The present work has as objective to present the dimensioning of three composite beams simply supported that act in the plastic regime and to automate the process through the use of software. In order to achieve the objective of the study, three examples of mixed beams were proposed and the sketches were designed in accordance with NBR 8800: 2008. After the manual execution of the calculations, a worksheet was modeled that automates the sizing process for this constructive system. As results were obtained the comparisons of the values obtained in the manual dimensioning and software sizing processes, with the help of the same graphs and indexes were also elaborated in order to demonstrate the behavior of the mixed beams by increasing the span to which this structure is submitted. It is concluded that the modeling worksheet for the automation of the dimensioning of the composite beams is efficient and that the location of the plastic neutral line and the effective width of the slab have a significant influence on the value of the resistant bending moment.

Keywords: Mixed Beam, Dimensioning, Software

LISTAS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cronologia do uso do aço.	15
Figura 2 - Fluxo Simplificado de Produção.	16
Figura 3 - Resultado do ensaio de tração.....	17
Figura 4 - Hierarquia perfis estruturais.	22
Figura 5 - Perfis Laminados.	22
Figura 6 - Perfis soldados.	23
Figura 7- Exemplo de Perfis formados à Frio	24
Figura 8 - Elementos da viga mista de aço e concreto	25
Figura 9 - Conectores de cisalhamento, na esquerda <i>stud bolts</i> e a direita perfil U.....	27
Figura 10 - Comportamento mecânico das vigas mistas.	28
Figura 11 - Comportamento das vigas conforme interação entre o aço e concreto.....	28
Figura 12 - Localizações da linha neutra.....	31
Figura 13 - Processo de dimensionamento	34
Figura 14 - Representação da Viga Mista	35
Figura 15 - Representação do perfil metálico.....	36
Figura 16 - Representação da laje steel deck - metform.....	36
Figura 17 - Resumo das forças atuantes OE1.....	39
Figura 18 - Resumo das forças atuantes OE2.....	42
Figura 19 - Resumo das forças atuantes OE3.....	47
Figura 20 - Planilha Dados de Entrada.....	48
Figura 21 - Planilha de Dimensionamento	48
Figura 22 - Continuação do Dimensionamento.....	49
Figura 23 – Comparação do dimensionamento do perfil W 610 x 174 para dois vãos.....	63
Figura 24 - Momento resistente para o perfil W360x44	64
Figura 25 - Momento resistente para o perfil W360x44 da planilha.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de Aço-Carbono.	19
Tabela 2 - Tipos de aços-carbono padronizados e suas resistências	20
Tabela 3 - Propriedades Mecânicas do Aço de baixa liga.	20
Tabela 4 - Classificação das vigas.	30
Tabela 5 - Posição da Linha Neutra Plástica	31
Tabela 6- Características do perfil de aço e laje <i>Steel Deck</i> OE1.....	35
Tabela 7 - Características Geométricas do Perfil de Aço.....	37
Tabela 8 - Características do perfil de aço e laje <i>Steel Deck</i> OE2.....	39
Tabela 9 - Características Geométricas do Perfil de Aço W530x66.	40
Tabela 10 - Características do perfil de aço e laje <i>Steel Deck</i> OE3.....	43
Tabela 11 - Características Geométricas do Perfil de Aço W610x174.	44
Tabela 12 - Comparativo para Regime de Atuação da Peça OE1.....	51
Tabela 13 - Comparativo para Esforços atuantes OE1.....	51
Tabela 14 - Comparativo para Momento Resistente OE1.....	51
Tabela 15 - Comparativo para Regime de Atuação da Peça OE2.	52
Tabela 16 - Comparativo para Esforços Atuantes OE2.....	53
Tabela 17 - Comparativo para Posição Geométrica da LNP OE2.	53
Tabela 18 - Comparativo para Momento Resistente OE2.....	53
Tabela 19 - Comparativo para Regime de Atuação da Peça OE3.	54
Tabela 20 - Comparativo para Esforços Atuantes OE3.....	55
Tabela 21 - Comparativo para Posição Geométrica da LNP O3.	55
Tabela 22 - Comparativo para Momento Resistente O3.	55
Tabela 23 - Vão <i>versus</i> Família W250	56
Tabela 24 - Vão <i>versus</i> Família W310	56
Tabela 25 - Vão <i>versus</i> Família W360	57
Tabela 26 - Vão <i>versus</i> Família W410	57
Tabela 27 - Vão <i>versus</i> Família W460	57
Tabela 28 - Vão <i>versus</i> Família 530.....	58
Tabela 29 - Vão <i>versus</i> Família W610	58
Tabela 30 - Posição da LNP para perfis W 250	59
Tabela 31 -Posição da LNP para perfis W 310	59
Tabela 32 - Posição da LNP para perfis W 360	60
Tabela 33 - Posição da LNP para perfis W 410	61
Tabela 34 - Posição da LNP para perfis W 460	61
Tabela 35 - Posição da LNP para perfis W 530	62
Tabela 36 - Posição da LNP para perfis W 610	62

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS	11
1.1.1	Objetivo geral	11
1.1.2	Objetivos específicos	11
1.2	JUSTIFICATIVA	12
1.3	METODOLOGIA	12
1.4	LIMITAÇÕES	12
1.5	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	13
2	AÇO ESTRUTURAL	14
2.1	BREVE HISTÓRICO	14
2.2	PROCESSO DE FABRICAÇÃO	15
2.3	PROPRIEDADES DOS AÇOS	17
2.3.1	Resistência ao escoamento	17
2.3.2	Resistência à ruptura	18
2.3.3	Cisalhamento	18
2.3.4	Tensões residuais nos perfis	18
2.4	TIPOS DE AÇO	19
2.5	CHAPAS E PERFIS METÁLICOS	21
2.5.1	Chapas	21
2.5.2	Perfis metálicos	21
2.5.2.1	Perfis laminados	22
2.5.2.2	Perfis soldados	23
2.5.2.3	Perfis formados à frio	23
3	VIGAS MISTAS	25
3.1	DEFINIÇÃO	25
3.2	COMPONENTES DA VIGA MISTA	26
3.3	FUNCIONAMENTO DA VIGA MISTA	27

3.4 EFEITO DE ESCORAMENTO.....	29
3.5 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO Á FLEXÃO DE VIGAS MISTAS	29
3.5.1 LNP na laje de concreto.....	31
3.5.2 LNP no perfil de aço.....	32
4 METODOLOGIA	34
4.1 OBJETO DE ESTUDO 1 – VIGA COM LNP NA LAJE.....	35
4.1.1 Etapas do dimensionamento à flexão para a situação proposta.....	36
4.2 OBJETO DE ESTUDO 2 – VIGA COM LNP NA MESA DO PERFIL.....	39
4.2.1 Etapas do dimensionamento à flexão para a situação proposta.....	40
4.3 OBJETO DE ESTUDO 3 – VIGA COM LNP NA ALMA DO PERFIL	43
4.3.1 Etapas do dimensionamento à flexão para a situação proposta.....	44
4.4 MODELAGEM NO EXCEL.....	47
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
5.1 VALORES OBTIDOS NO DIMENSIONAMENTO MANUAL	50
5.2 TABELA PARA OTIMIZAÇÃO DE CÁLCULO	56
5.3 GRÁFICOS VÃO X MOMENTO RESISTENTE	58
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
6.1 CONCLUSÕES	65
6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	65

1 INTRODUÇÃO

O concreto e o aço são os principais materiais empregados em estruturas na construção civil. Antigamente, ambos os materiais eram utilizados isoladamente, com o passar do tempo foram realizados estudos que tornaram os elementos mistos viáveis. Este método construtivo proporciona uma melhor performance de cada material, o concreto alia resistência à compressão, mas também elevada rigidez e proteção contra corrosão e incêndio, já o aço apresenta elevada resistência à tração e esbeltez dos elementos.

Atualmente, o mercado exige construções com mais velocidade, o que torna este método construtivo mais efetivo, já que esta é uma de suas grandes vantagens. Isto porque o perfil de aço, por exemplo, elimina os processos de fabricação *in loco* utilizados no concreto, assim como a laje *steel deck*, que funciona como armadura positiva e elimina a necessidade de escoramento. Outra vantagem que este conjunto apresenta é a redução do peso próprio da estrutura, levando-se a menores esforços solicitantes nas fundações.

Os sistemas mistos são aplicados a pilares, vigas, lajes ou ligações. A interação entre o aço e o concreto é obtida devido ao trabalho em conjunto desses materiais, que é garantido através da utilização de conectores de cisalhamento ou por simples aderência. Estes mecanismos são os responsáveis por permitir a associação da viga de aço e da laje *steel deck*. Neste trabalho, serão abordadas as vigas mistas de aço e concreto compostas por perfil laminado, tipo “I”, laje *steel deck* e conectores *stud bolt*. A norma que rege o dimensionamento à flexão destes elementos é a NBR 8800:2008 e o mesmo será realizado com base em uma situação exemplo proposta.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Apresentar o dimensionamento à flexão da viga mista de aço e concreto de acordo com a NBR 8800:2008 e gerar gráficos e ábacos relacionando o momento resistente de vários perfis laminados ao vão desejado.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Definir situações exemplo e realizar os cálculos de dimensionamento à flexão para esta viga;
- b) Elaborar uma planilha para automatizar os cálculos;
- c) Gerar os gráficos e ábacos com o auxílio do *software* para determinação do momento fletor resistente da viga mista.

1.2 JUSTIFICATIVA

A utilização das vigas mistas de aço e concreto vem aumentando em todo o Brasil, inclusive no estado de Sergipe. Isso se justifica principalmente pelas suas vantagens quando comparada a um sistema em que a viga de aço estrutural e a laje de concreto armado ou *steel deck* trabalham isoladamente. Junto a isso, durante a graduação o assunto é muito pouco abordado, não existindo nenhuma disciplina com enfoque nesse sistema, estes fatores despertaram o interesse dos autores.

1.3 METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho é classificada como exploratória e seu procedimento baseado em um estudo de caso, desenvolvido a partir das seguintes etapas:

- a) Pesquisa bibliográfica: nesta fase é feita a listagem de todas as informações e normas pertinentes ao tema;
- b) Definição do procedimento para o dimensionamento à flexão de uma viga mista biapoiada de acordo com a NBR 8800:2008;
- c) Definição do estudo de caso através da proposta de projetos exemplo e realização do processo de dimensionamento para os mesmos;
- d) Elaboração da planilha no Excel base para desenvolvimento dos gráficos;
- e) Análise e discussão dos resultados obtidos.

1.4 LIMITAÇÕES

O presente trabalho se restringe apenas ao dimensionamento das vigas mistas de aço e concreto que trabalhem no regime plástico, devido ao fato de todos os perfis laminados disponíveis nos catálogos dos fabricantes se encontrarem neste regime. Quanto aos conectores de cisalhamento determinou-se que sua forma de interação seria completa, isto significa que

não será permitido o deslizamento relativo, ou será insignificante frente a superfície de contato entre o perfil de aço e a laje de concreto.

Limita-se ainda o estudo a vigas mistas biapoiadas com ligações rotuladas, pois, segundo Queiroz e Pimenta (2001) as mais simples e econômicas ligações de apoio de vigas, como as cantoneiras de almas ou chapas simples, têm pouca rigidez e resistência a flexão. Sendo assim, torna-se mais conveniente assumir que as vigas construídas com esse tipo de ligação sejam calculadas como simplesmente apoiadas.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Para a organização dos assuntos abordados, o presente trabalho se encontra dividido em 8 capítulos principais, expostos brevemente a seguir.

Este CAPÍTULO 1, denominado introdução, apresenta brevemente o tema, os objetivos, as justificativas, a metodologia utilizada e as limitações do trabalho.

O CAPÍTULO 2, denominado aço estrutural, expõe sobre conhecimentos produzidos por vários autores até o presente momento sobre o processo de fabricação, os perfis existentes para utilização na construção civil e as propriedades do aço.

O CAPÍTULO 3, denominado viga mista, expõe os conhecimentos produzidos por diversos autores até o presente momento sobre as características e o funcionamento das vigas mistas. Assim como o seu dimensionamento de acordo com a NBR 8800:2008

O CAPÍTULO 4, denominado metodologia, explana as etapas envolvidas no estudo de caso.

O CAPÍTULO 5, denominado análise e discussão dos resultados, explana os resultados encontrados com os seus respectivos gráficos.

O CAPÍTULO 6, denominado considerações finais, aborda as conclusões do trabalho e apresenta sugestões para futuros trabalhos.

2 AÇO ESTRUTURAL

O aço como material estrutural tem aplicações em diversos segmentos, sendo empregado constantemente na composição de treliças, pilares e vigas, formando contraventamentos, e como barras de pórticos. Este capítulo irá apresentar de forma breve o aço como material estrutural, abordando um breve histórico, os tipos de aço existentes, os produtos por eles formados e as propriedades do material.

“Aço e o ferro fundido são ligas de ferro e carbono, com outros elementos de dois tipos: elementos residuais decorrentes do processo de fabricação, como silício, manganês, fósforo e enxofre, e elementos adicionados com intuito de melhorar as características físicas e mecânicas do material denominado de elementos de liga.” (PFEIL E PFEIL, 2009).

Para Chiaverini (1996 *apud* Pfeil e Pfeil, 2009, p. 01), o teor de carbono existente no aço, liga ferro-carbono, varia entre 0,008% a 2,11%. Tendo em vista que, o carbono é o material influenciador no ganho de resistência do aço, mas, em contrapartida, o torna mais frágil. Logo, os aços com baixo teor de carbono têm menor resistência a tração, porém são mais dúcteis.

Ainda de acordo com Chiaverini (1996 *apud* Pfeil e Pfeil 2009, p.01), da ótica de suas aplicações, o aço pode ser caracterizado em diversas categorias, cada qual com suas características. Para aços estruturais são requisitadas propriedades de boa ductibilidade, homogeneidade e soldabilidade.

2.1 BREVE HISTÓRICO

Segundo Bellei, Pinho e Pinho (2008), as evidências mais aceitas da primeira utilização do ferro datam de aproximadamente 6 mil anos a.C, em civilizações como as do Egito, Babilônia e Índia. Neste período, o ferro era um material nobre e usado para fins militares. Somente após a revolução industrial que o material passou a ser usado em escala industrial.

“O primeiro material siderúrgico empregado na construção foi o ferro fundido. Entre 1780 e 1820 construíram-se pontes em arco ou treliçada, com elementos em ferro fundido trabalhando a compressão.” (PFEIL E PFEIL, 2009).

Conforme foi citado por Pfeil e Pfeil (2009), a *Coalbrookdale*, primeira ponte em ferro, que foi construída sobre o rio Seven, na Inglaterra, refere-se a uma construção arqueada com vão de 30 metros e sua construção foi datada de 1779.

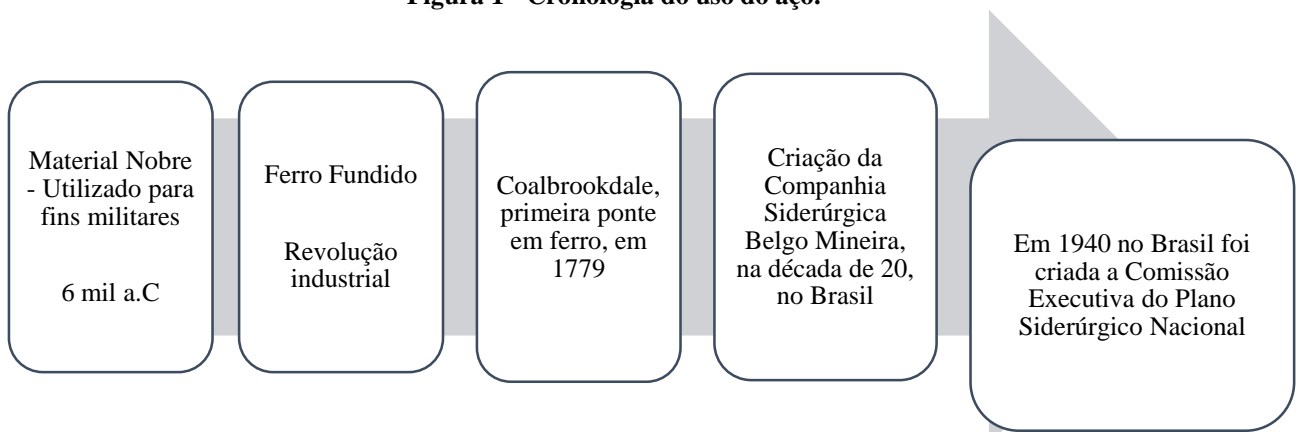
Segundo Bellei, Pinho e Pinho (2008), no Brasil, na década de 20, iniciou-se o desenvolvimento inicial da indústria siderúrgica, com a criação da Companhia Siderúrgica Belgo Mineira. Ainda na mesma época, levando-se em consideração a produção de outras fundições de pequeno porte, conseguindo atingir a casa de 35 mil toneladas. Já no final do decênio, já alcançava a casa de 96 mil toneladas.

De acordo com Bellei, Pinho e Pinho (2008), em 1940, foi instituída no Brasil a Comissão Executiva do Plano Siderúrgico Nacional e simultaneamente ao acontecimento da Segunda Guerra mundial foi fundada a Companhia Siderúrgica Nacional, que entrou em atividade em 12 de outubro de 1945, com finalidade de produzir chapas, trilhos e perfis nas bitolas americanas.

Para Borges e Gomes (2016), ainda no Brasil, apesar da escassez de mão de obra qualificada, a utilização de estruturas metálicas nas edificações vem aumentando substancialmente devido a alguns fatores, tais como a rapidez de execução, limpeza do canteiro de obras, baixo peso próprio se comparado com as estruturas de concreto armado, baixo desperdício de material etc. Para combater esse desperdício e para que se dê continuidade dos vãos é necessário a utilização das emendas, que podem ser soldadas ou parafusada.

A Figura 1 apresenta os principais acontecimentos históricos sobre o uso do aço, de forma simplificada.

Figura 1 - Cronologia do uso do aço.



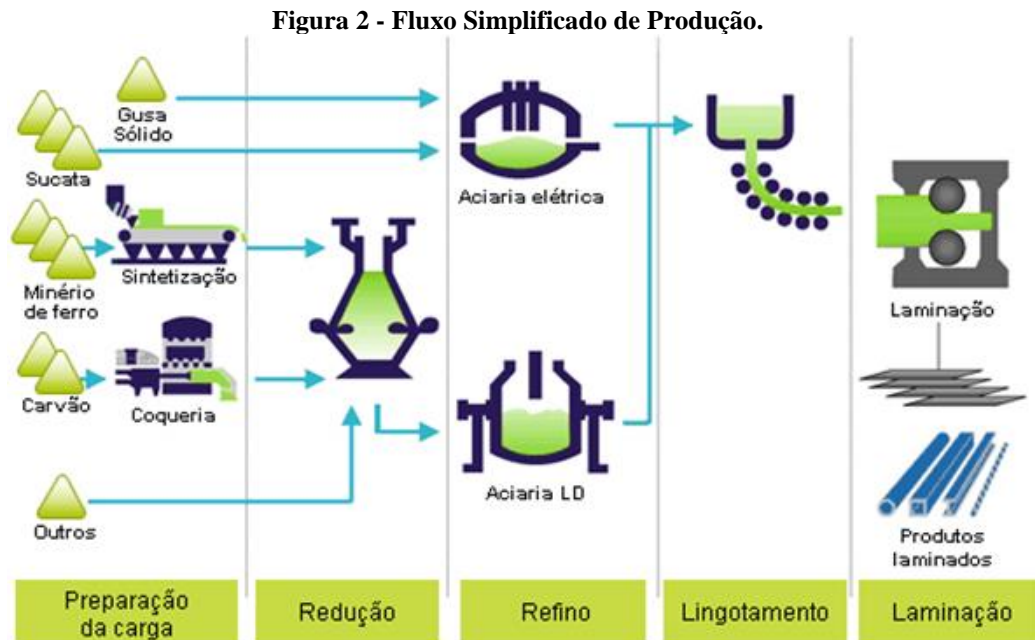
Fonte: Adaptado de Bellei, Pinho e Pinho (2008), Borges e Gomes, (2016), Pfeil e Pfeil, (2009).

2.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO

Segundo Pfeil e Pfeil (2009), o principal processo de fabricação do aço baseia-se na produção do ferro fundido em alto forno e a posteriori refinado em aço no conversor de

oxigênio. O outro processo utilizado consiste em fundir sucata de ferro em forno elétrico cuja energia é fornecida por arcos voltaicos entre o ferro fundido e os eletrodos.

A Figura 2 apresenta o processo de produção do aço de forma simplificada.



Fonte: Instituto Aço Brasil (2015).

De acordo com o Instituto Aço Brasil (2015), e conforme observado na Figura 2, a fabricação do aço é feita, basicamente, a partir de minério de ferro, carvão e cal, sendo dividida em quatro etapas:

- a) Preparação de carga, que consiste na aglomeração de grande parte do minério de ferro (finos), utilizando-se da cal e finos de coque como material ligante e o produto resultante é chamado de sinter;
- b) Redução que consiste na inserção dos materiais antes já preparados. No alto forno, onde o oxigênio entra em contato com o carvão, que produz calor dá início ao processo de redução do minério de ferro, produzindo um metal líquido chamado de ferro-gusa (apresenta teor de carbono elevado);
- c) O refino, que por sua vez, representa a transformação da gusa líquida ou sólida em aço líquido, através das Aciaria;
- d) Por último, tem-se o processo de laminação, na qual os produtos semiacabados, lingotes e blocos são transformados numa variedade de produtos siderúrgicos.

2.3 PROPRIEDADES DOS AÇOS

Segundo a NBR 8800 (2008) os aços que podem ser utilizados como perfis, barras ou chapas, devem apresentar uma resistência ao escoamento máxima de 450 MPa e não obter valor inferior a 1,18 para a relação ruptura (f_u) por escoamento (f_y).

“Para que um elemento de uma estrutura de aço, trabalhando como uma viga, ou coluna, ou tirante venha a ser eficientemente projetado, é necessário que o projetista tenha um bom conhecimento dos parâmetros que caracterizam o comportamento dos materiais disponíveis no mercado”. (ANDRADE; VELLASCO, 2016).

As principais constantes físicas do aço estrutural, segundo a NBR 8800:2008, são:

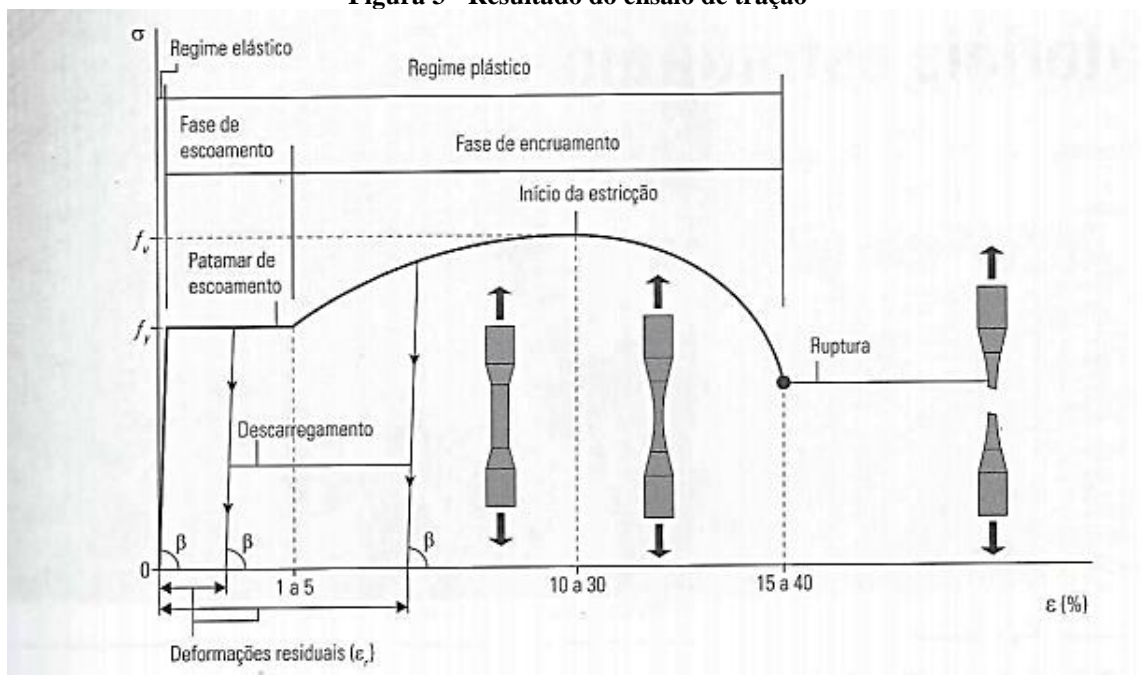
- Módulo de Elasticidade $E = 200.000 \text{ MPa}$;
- Coeficiente de poisson $\nu = 0,3$;
- Massa específica: 7850 kg/m^3

2.3.1 Resistência ao escoamento

“O ensaio de tração simples a temperatura atmosférica é muito utilizada para medir as propriedades mecânicas dos aços. As mesmas propriedades são obtidas para compressão, desde que seja excluída a possibilidade de flambagem.” (PFEIL E PFEIL, 2009).

A Figura 3 ilustra as propriedades mecânicas obtidas no ensaio de tração.

Figura 3 - Resultado do ensaio de tração



Fonte: Fakury; Silva; Caldas, 2016.

Segundo Fakury; Silva e Caldas (2016), o regime elástico é definido pela reta que tem início na origem do gráfico e se encerra quando o aço atinge a tensão de resistência ao escoamento (f_y). Nesse regime, o aço segue a lei de *Hooke*, o que significa que as tensões (σ) e as deformações (ε) obedecem à seguinte relação linear:

$$\sigma = E \times \varepsilon \quad (2.1)$$

Conforme Fakury; Silva; Caldas (2016), o regime plástico se inicia no trecho do diagrama em que o aço fica com tensão constante, igual a f_y , enquanto a deformação aumenta substancialmente, atingindo quase sempre valores entre 1% e 5%., caracterizando assim o trecho em que a fase de escoamento do aço é conhecido como patamar de escoamento.

2.3.2 Resistência à ruptura

De acordo com Fakury; Silva; Caldas (2016), o rearranjo cristalino do aço acontece após o escoamento, denominado encruamento ou endurecimento, que faz a tensão crescer novamente, porém sem relação linear com a deformação. Sendo assim, o aço está, então, na fase de encruamento e atinge sua tensão mais elevada, chamada de resistência à ruptura, representada por f_u .

2.3.3 Cisalhamento

Segundo Pfeil e Pfeil (2009), a tensão de cisalhamento possui um diagrama de tensão *versus* deformação parecido com aquele relacionado às tensões normais de tração. A favor da segurança e para simplificação, muitas vezes se adota F_{vu} como igual a 60% de F_u e a inclinação do diagrama tensão *versus* deformação, chama-se módulo de cisalhamento. O módulo de elasticidade transversal G_a é igual a 77.000 MPa.

2.3.4 Tensões residuais nos perfis

Conforme Andrade e Vellasco (2016), a tensão residual é um acontecimento que ocorre devido ao resfriamento desigual do perfil laminado ou processo de soldagem de um perfil soldado. No perfil laminado as partes externas, esfriam primeiro e solidificam antes das partes

internas. Gerando tensões normais e de cisalhamento e que possuem resultantes nulas de força e momento.

Em uma barra com tensões normais, o escoamento se inicia a uma tensão σ_p inferior à resistência ao escoamento f_y , obtida no ensaio de um corpo de prova sem tensões residuais. Essa tensão em que o escoamento começa é a tensão normal causada pela força externa, que somada ao máximo valor da tensão normal residual, fornece uma tensão igual à resistência ao escoamento do aço. (FAKURY; SILVA; CALDAS, 2016).

2.4 TIPOS DE AÇO

Segundo Fakury; Silva e Caldas (2016), os aços estruturais mais comumente usados, em função da qualidade proporcionada pela composição química, são classificados como aço-carbono e aço de baixa liga, tais quais, podem receber tratamentos térmicos que modificam suas propriedades mecânicas.

Segundo Pfeil e Pfeil (2009), os aços-carbonos são os tipos mais usados, nos quais o aumento de resistência em relação ao ferro puro é produzido pelo carbono e, em menor escala, pelo manganês. Podendo conter as seguintes porcentagens máximas de elementos adicionais: Carbono 2%, silício 0,60%, manganês 1,65% e cobre 0,35%.

Já em função do carbono, os aços-carbono distinguem-se através de três categorias, conforme Tabela 1: alto carbono, com $0,60\% < C < 2,0\%$; médio carbono, com $0,30\% < C < 0,59\%$; e posteriormente, baixo carbono, com $C < 0,29\%$, sendo este último o mais adequado a construção civil.

Tabela 1 - Tipos de Aço-Carbono.

Aço-carbono	Porcentagem de carbono
Alto carbono	$0,60\% < c < 2,0\%$
Médio carbono	$0,30\% < c < 0,59\%$
Baixo carbono	$C < 0,29\%$

Fonte: Adaptado de Pfeil e Pfeil (2009).

Segundo Fakury; Silva e Caldas (2016), o nível de resistência desses aços se deve principalmente à presença do carbono, numa quantidade entre 0,15% e 0,29%, e de manganês, em porcentagem máxima de 1,5%.

O aumento de teor de carbono eleva a resistência do aço, porém diminui a sua ductibilidade (capacidade de se deformar), o que conduz a problemas na soldagem. Isto justifica

o fato de que, em estruturas usuais de aço, utilizam-se aço com baixo teor de carbono, que podem ser soldados sem precauções especiais. (PFEIL E PFEIL, 2009).

De acordo com Pfeil e Pfeil (2009), os principais tipos de aço-carbono usados em estruturas, segundo padrões da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), da ASTM (*American Society for Testing and Materials*) e as normas europeias EN, são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Tipos de aços-carbono padronizados e suas resistências

Tipo do aço	F _Y (MPa)	F _U (MPa)
ASTM – A36	250	400
ASTM – A570 GR 36	250	365
ASTM – A572 GR 50	345	450
NBR 6648/CG – 26	255*	410*
	245**	410**
NBR 6650/CF – 26	260	410
NBR 7007/MR – 250	250	400

*Válido para espessuras $t \leq 16$ mm **Válido para espessuras $16 \text{ mm} < t \leq 40$ mm.

Fonte: Adaptado de NBR 8800:2008

“A adição de elementos de liga fornece um melhoramento nas propriedades mecânicas e em alguns casos um aumento na resistência à corrosão do aço”. (ANDRADE; VELLASCO, 2016).

Segundo Pfeil e Pfeil (2009), os aços de baixa liga são aço-carbono acrescidos de elementos de liga (cromo colúmbio, cobre, manganês, molibdênio, níquel, fósforo, vanádio, zircônio), os quais melhoram algumas de suas propriedades mecânicas.

Ainda segundo Pfeil e Pfeil (2009), os aços de baixa liga, de alta e média resistência mecânica são muito utilizados no Brasil, sendo soldáveis e com características de elevada resistência atmosférica. Destes últimos, os tipos padronizados e suas propriedades mecânicas, são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Propriedades Mecânicas do Aço de baixa liga.

Especificações	Principais elementos de liga	Limite de escoamento f _y (MPa)	Resistência à ruptura f _u (MPa)
ASTM 572 GR.50	C < 0,23% Mn < 1,35%	345	450
ASTM A588	C < 0,17% Mn < 1,2% Cu < 0,50%	345	485
ASTM A992	C < 0,23% Mn < 1,5%	345	450

Fonte: Pfeil e Pfeil (2009).

Por fim, os aços de baixa liga e alta resistência mecânica que segundo Fakury; Silva e Caldas (2016), são definidos por aços que apresentam um teor de carbono entre 0,05% e 0,25% e manganês em proporção inferior a 2%, com adição de elementos de liga, como o cobre, níquel, cromo, entre outros que proporcionam uma melhoria nas propriedades mecânicas do material. Neste caso, o processo de solda é prejudicado devido ao aumento de resistência promovido.

2.5 CHAPAS E PERFIS METÁLICOS

De acordo com Pfeil e Pfeil (2009), as manufaturas produzem diversos tipos de aço que podem ser utilizados em estruturas, são eles: chapas, barras, perfis laminados, fios trefilados, cordoalhas e cabos. Sendo que, esses três primeiros, são preparados em laminadores que, em sucessivos passes, dão ao aço preaquecido a seção desejada.

2.5.1 Chapas

As chapas são produtos laminados, nos quais uma dimensão (a espessura) é muito menor que as outras duas (largura e comprimento). (PFEIL E PFEIL, 2009)

Tais produtos laminados podem ainda dar origem a perfis de chapas dobradas, através do dobramento de chapas e perfis soldados, por meio de associação de chapas. (PFEIL E PFEIL, 2009).

2.5.2 Perfis metálicos

Segundo De Souza (2017), os sistemas construtivos metálicos são formados majoritariamente por elementos lineares. As seções transversais destes elementos são designadas habitualmente de perfis. A seleção do perfil depende do tipo e intensidade das solicitações, do processo de moldagem dos detalhes de ligações, de fatores estéticos e de razões ligadas à durabilidade.

Na Figura 4 são apresentados os tipos de perfis estruturais, a depender do processo de obtenção dos mesmos.

Figura 4 - Hierarquia perfis estruturais.

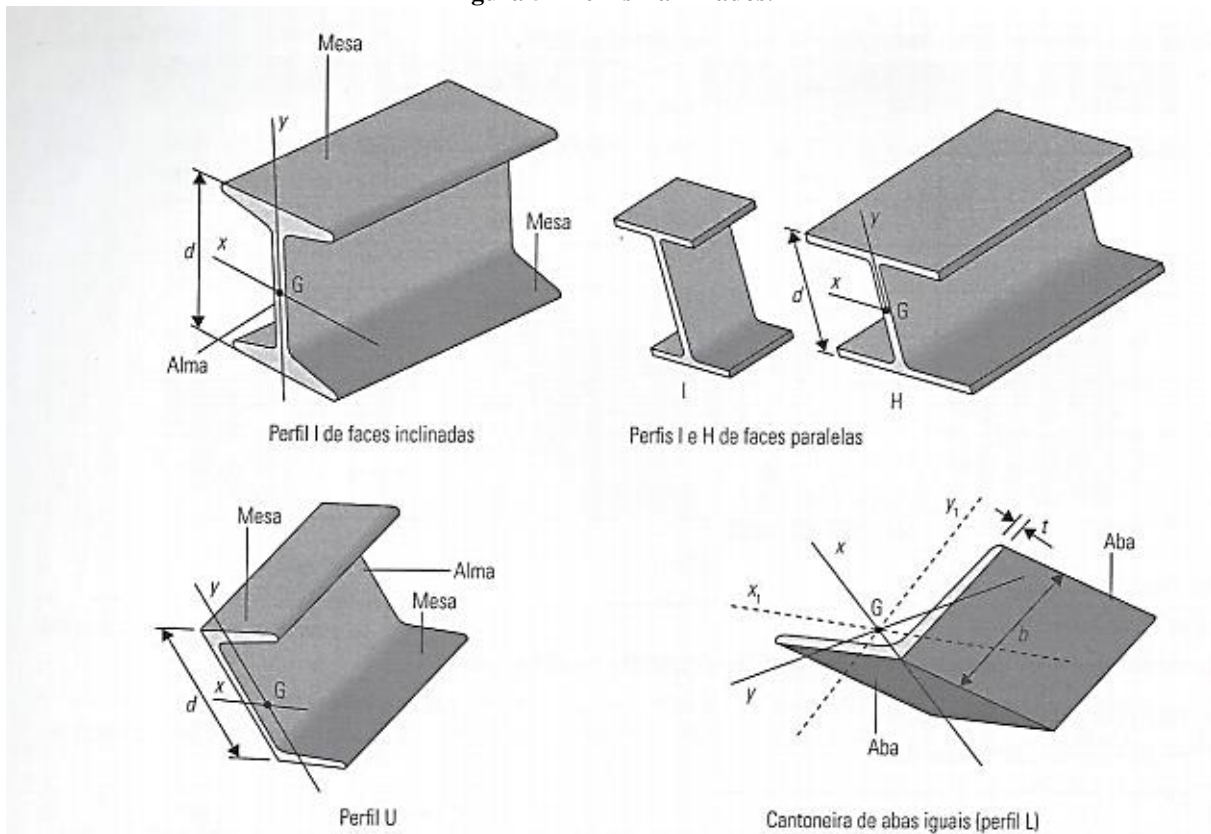


Fonte: Autoria própria.

2.5.2.1 Perfis laminados

Segundo Fakury; Silva e Caldas (2016), os perfis laminados são aqueles obtidos por meio de um processo de transformação mecânica de metais chamado laminação. Nesse processo, a forma de um corpo metálico é alterada para torna-lo adequada a determinada aplicação. Na Figura 5 são apresentados alguns tipos de perfis laminados.

Figura 5 - Perfis Laminados.



Fonte: Fakury; Silva; Caldas, 2016.

Segundo Pfeil e Pfeil (2009), os laminadores produzem perfis de grande eficiência estrutural, em forma de H, I, C e L os quais são chamados corriqueiramente de perfis laminados.

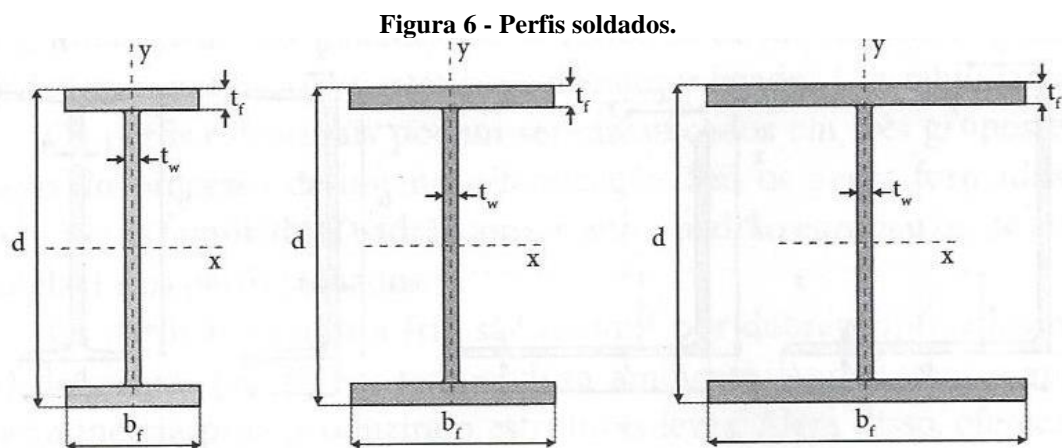
Os perfis tipo H, I e C são produzidos em grupos, sendo os elementos de cada grupo, altura h constante e largura das abas b variável. A variação de largura se obtém aumentando o espaçamento entre os rolos laminadores de maneira que a espessura da alma tenha variação igual à da largura das abas. (PFEIL E PFEIL, 2009).

2.5.2.2 Perfis soldados

“Os perfis soldados são aqueles formados por dois ou mais perfis laminados unidos continuamente entre si por meio de solda elétrica. Esses perfis, em geral, são utilizados quando se necessita de seções transversais com dimensões maiores de que os perfis laminados disponíveis.” (FAKURY; SILVA; CALDAS, 2016)

Segundo de Souza (2017), os perfis soldados tiveram sua utilização consolidadas no Brasil em função da pequena oferta de perfis laminados no mercado brasileiro, acima de tudo para edifícios. Devido ao seu processo de fabricação do corte e solda de chapas planas, possibilita grande liberdade e variedade de dimensões.

A Figura 6 ilustra as séries padronizadas dos perfis soldados.



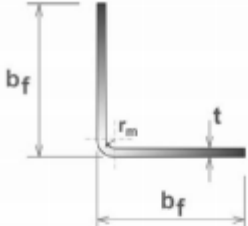
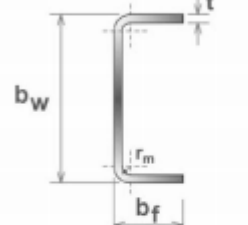
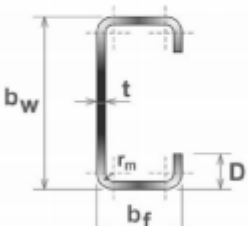
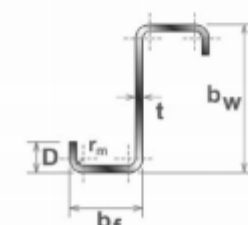
Fonte: De Souza, 2017.

2.5.2.3 Perfis formados à frio

Segundo De Souza (2017), os perfis formados a frio são obtidos por dobragem (conformação) de chapas planas em temperatura ambiente. Apresenta grande relação inércia-peso produzindo estruturas leves. Além disso, oferecem grande liberdade de forma e dimensões,

características essas que são especificadas na norma de perfis formados a frio, NBR 14762:2010. A figura 7 ilustra alguns perfis formados a frio.

Figura 7- Exemplo de Perfis formados à Frio

Cantoneira de abas iguais	
U simples	
U enrijecido	
Z enrijecido a 90°	

Fonte: Manual da CBCA, 2008.

De acordo com a norma NBR 6355:2003 – “Perfis Estruturais de Aço Formados a Frio”, são padronizados uma série de perfis formados com chapas de espessuras entre 1,50 mm a 4,75 mm, indicando suas características geométricas, pesos e tolerância para sua fabricação.

3 VIGAS MISTAS

Este capítulo irá apresentar de forma breve os conceitos e definições que envolvem o estudo das vigas mistas. Serão abordados: definição, elementos componentes do sistema, funcionamento e influência do escoramento na análise deste tipo de elemento.

3.1 DEFINIÇÃO

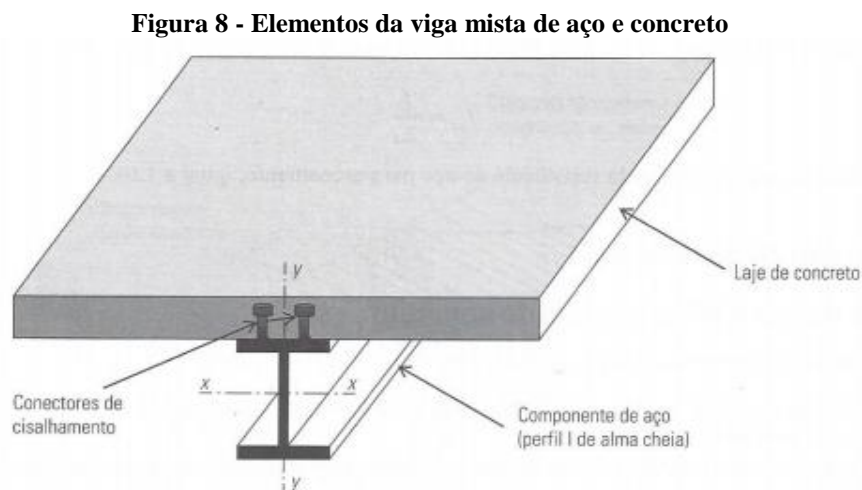
“Denomina-se sistema misto aço-concreto aquele no qual um perfil de aço (laminado, soldado ou formado a frio) trabalha em conjunto com o concreto (geralmente armado), formando um pilar misto, uma viga mista, uma laje mista ou uma ligação mista.” (QUEIROZ; PIMENTA; MARTINS, 2012).

“Quando um componente estrutural de aço (perfil de alma cheia ou treliça) é ligado mecanicamente a uma laje de concreto, esses dois elementos trabalham solidariamente ao momento fletor, caracterizando a denominada viga mista de aço e concreto” (FAKURY; SILVA; CALDAS, 2016).

“Vigas mistas de aço-concreto possuem diversos tipos de configurações. Muitas dessas disposições buscam por maior eficiência estrutural atrelada à economia de aço.” (FERRANTE, 2015).

Segundo Queiroz; Pimenta; Martins (2012), a ação conjunta do concreto e perfil pode se dar por meio mecânicos (conectores, mossas, ressaltos etc), por atrito ou para alguns casos por simples aderência e repartição de cargas.

A Figura 8 demonstra os elementos da viga mista.



Fonte: Fakury; Silva; Caldas, 2016.

3.2 COMPONENTES DA VIGA MISTA

Os elementos que compõem as vigas são: perfil de aço, laje de concreto e conectores de cisalhamento.

Segundo Queiroz e Martins (2001), tradicionalmente os perfis I laminados têm sido utilizados para suportar a laje de concreto, com ligações rotuladas nos apoios.

De acordo com a NBR 8800:2008, no caso de o componente de aço da viga mista ser um perfil I, a viga recebe a denominação de viga mista de aço e concreto de alma cheia.

Para Fakury; Silva e Caldas (2016), a laje acima da face superior da viga de aço pode ser maciça, mista de aço e concreto (laje com fôrma incorporada) e pré-moldada de concreto. A resistência de cálculo do concreto à compressão é dada pela Equação 3.1:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (3.1)$$

onde f_{ck} é a resistência característica à compressão e γ_c o coeficiente de ponderação da resistência do concreto.

Segundo Queiroz e Pimenta (2009), na laje de concreto quando ocorre deformações de deformações de cisalhamento as seções não mais permaneçam planas, provocando uma variação das tensões normais ao longo da largura da mesa. Quanto maior a distância da linha de centro menor é a tensão. Assim, a contribuição da mesa de concreto não é totalmente efetiva, levando-se ao conceito de largura efetiva.

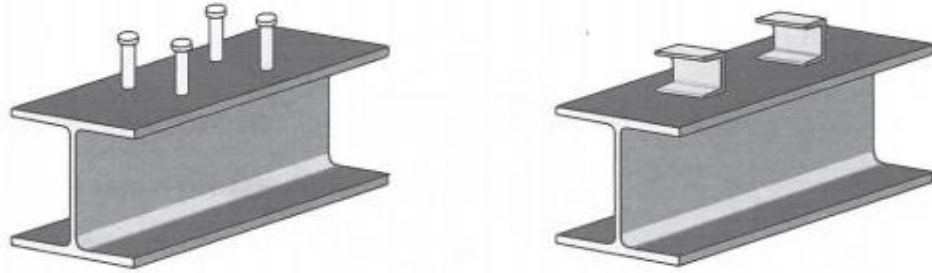
O cálculo da largura efetiva será apresentado no item 3.5

Segundo Pfeil e Pfeil (2009), para garantir o trabalho em conjunto do perfil de aço com a laje de concreto devem ser utilizados conectores de cisalhamentos, estes são os dispositivos mecânicos que absorvem os esforços cisalhantes horizontais que se desenvolvem na interface da laje com a mesa superior de aço, também tem a função de impedir a separação física dos componentes.

“Em edifícios, normalmente empregam-se conectores de cisalhamento pino com cabeça (*stud bolt*) e perfil U laminado ou formado a frio.” (FAKURY; SILVA; CALDAS, 2016).

A Figura 9 apresenta dois tipos de conectores: os do tipo pino com cabeça, também chamados de *stud bolts*, e os de perfil “U”.

Figura 9 - Conectores de cisalhamento, na esquerda *stud bolts* e a direita perfil U



Fonte: Fakury; Silva; Caldas, 2016.

Segundo Queiroz; Pimenta e Martins (2012), os conectores de cisalhamento tipo pino com cabeça, consistem de um pino especialmente projetado para funcionar como um eletrodo de solda por arco elétrico e ao mesmo tempo, após a soldagem, como conector de cisalhamento. Este elemento possui uma cabeça com dimensões padronizadas para cada diâmetro.

“Os conectores em perfil U laminado ou formado a frio precisam possuir altura da seção transversal pelo menos igual a 75 mm e só devem ser empregados com lajes maciças.” (FAKURY; SILVA; CALDAS, 2016).

3.3 FUNCIONAMENTO DA VIGA MISTA

Segundo Fakury; Silva e Caldas (2016), caso não sejam usados os conectores de cisalhamento não haverá ligação mecânica entre a laje de concreto e o perfil de aço, fazendo com que ambos os elementos venham a fletir independentemente, ocorrendo um deslizamento relativo.

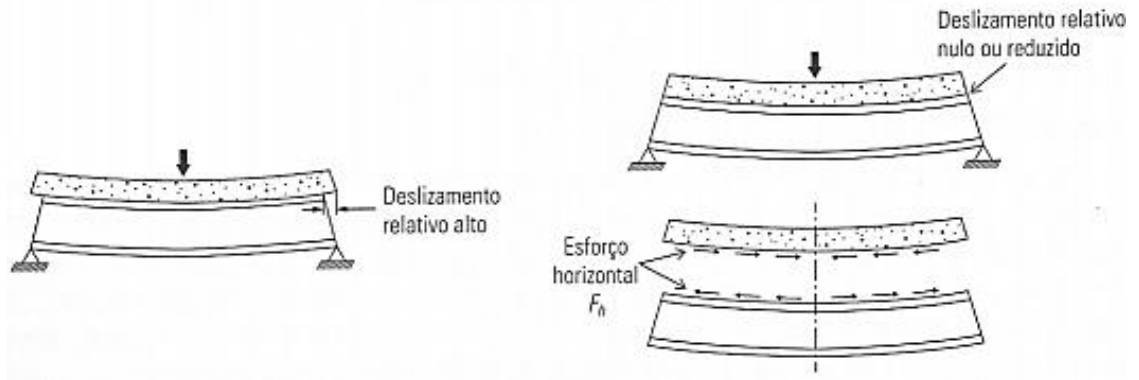
Se forem utilizados conectores, existirá uma ligação mecânica na interface aço-concreto e se desenvolverá um esforço horizontal F_h , que impede ou reduz significativamente o deslizamento relativo. O valor de F_{hd} , é dado por:

$$F_{hd} \leq \begin{cases} 0,85 f_{cd} b t_c \\ A_a f_{yd} \end{cases} \quad (3.2)$$

onde b é a largura efetiva da laje de concreto, t_c é a altura da laje de concreto e A_a é a área do perfil de aço.

Na Figura 10 é apresentado o comportamento da viga mista com e sem a utilização dos conectores.

Figura 10 - Comportamento mecânico das vigas mistas.

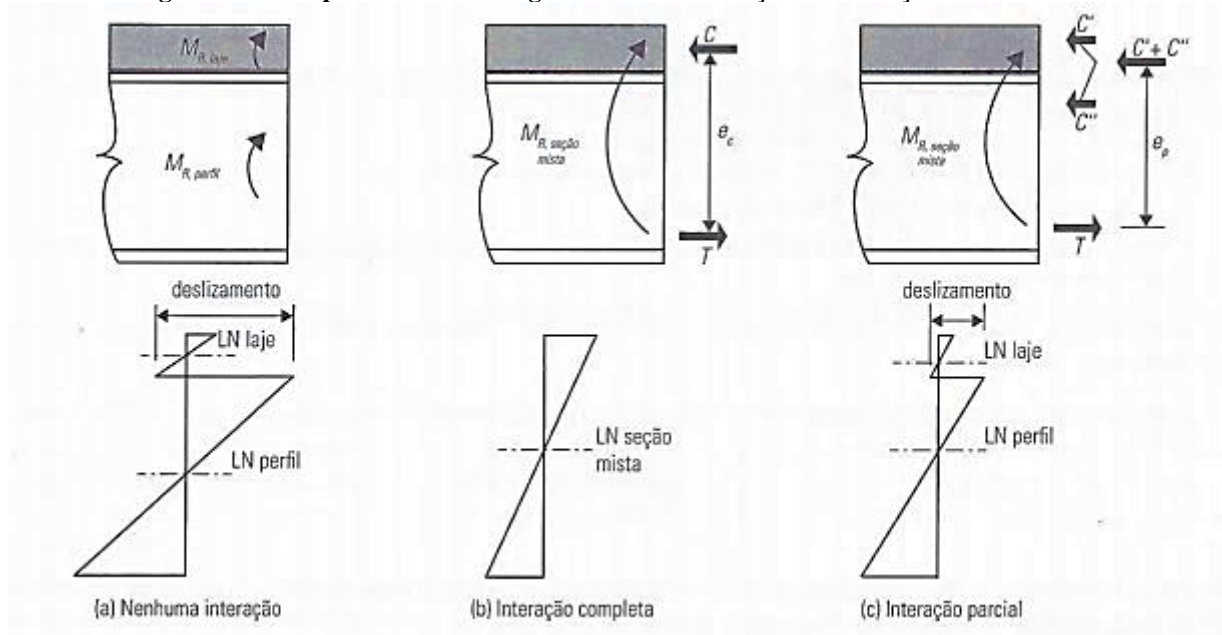


Fonte: Fakury; Silva; Caldas, 2016.

Segundo a NBR 8800:2008, na região de momento positivo, a interação entre o aço e o concreto é completa se os conectores situados nessa região tiverem resistência de cálculo igual ou superior a resistência de cálculo do componente de aço à tração ou da laje de concreto à compressão, o que for menor. A interação é parcial caso a resistência de cálculo dos conectores seja inferior às duas resistências mencionadas.

Na Figura 11 são apresentados comportamentos da viga mista em três situações: sem interação, ou seja, sem utilização de conectores; com interação completa e com interação parcial.

Figura 11 - Comportamento das vigas conforme interação entre o aço e concreto.



Fonte: Fakury; Silva; Caldas, 2016.

“Para a região de momento negativo, só é prevista interação completa, ou seja, a resistência de cálculo dos conectores situados nessa região deve ser igual ou superior à resistência de cálculo das barras de armadura que fazem parte da viga mista.” (QUEIROZ; PIMENTA; MARTINS, 2012).

3.4 EFEITO DE ESCORAMENTO

Conforme Fakury, Silva e Caldas (2016), deve-se estabelecer se a viga mista será escorada ou não em sua concretagem e durante a cura do concreto, que é atingida quando o concreto alcança 75% do seu f_{ck} .

“No sistema escorado, toda a carga é resistida pelo sistema misto, sendo necessário que a viga seja escorada até que o concreto atinja resistência suficiente para que a ação mista possa ser desenvolvida.” (QUEIROZ E PIMENTA, 2001)

Segundo Queiroz e Pimenta (2001), no sistema não escorado, a viga de aço é dimensionada para resistir ao peso próprio do concreto fresco, juntamente com outras cargas de construção, aplicadas antes que o concreto adquira resistência adequada, trabalhando, assim, isoladamente.

3.5 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO DE VIGAS MISTAS

Conforme dito anteriormente, este trabalho se limitará ao estudo do comportamento à flexão das vigas mistas biapoiadas, compactas e com interação completa. O método de dimensionamento apresentado neste item atende aos critérios descritos na NBR 8800:2008.

Para o dimensionamento de vigas à flexão, primeiramente, deve-se identificar a faixa de laje que colabora com o perfil de aço denominada largura efetiva (b).

Segundo a NBR 8800:2008, a largura efetiva da mesa de concreto, de cada lado da linha de centro de viga, deve ser igual ao menor dos seguintes valores:

- 1/8 do vão da viga mista, considera entre linhas de centros de apoio;
- Metade de distância entre as linhas de centro da viga analisada e a linha de centro da viga adjacente.
- Distância da linha de centro da viga à borda de uma laje em balanço

A partir destes dados a largura efetiva é dada pela equação a seguir:

$$b = \left(\left\{ \leq \frac{L_e/8}{e_{1,esq}/2} \right\} + \left\{ \leq \frac{L_e/8}{e_{1,dir}/2} \right\} \right) \quad (3.3)$$

Onde:

L_e é o vão da viga mista;

e_1 é a metade da distância entre a linha de centro da viga analisada e a viga adjacente.

Após este procedimento, deve-se calcular a relação entre a altura e a espessura da alma (h/t_w), esta relação deve ser menor que $5,7\sqrt{E/f_y}$. Através dessa relação é possível definir quais as propriedades da seção vista serão utilizados, caso o valor de h/t_w seja menor ou igual a $3,76\sqrt{E/f_y}$ a viga deve ser dimensionada usando as propriedades plásticas da seção mista, caso a relação se encontre no intervalo entre $3,76\sqrt{E/f_y}$ e $5,7\sqrt{E/f_y}$, a viga deve ser dimensionada usando as propriedades elásticas da seção mista. A Tabela 4 expõe a classificação das vigas de acordo com os limites da NBR 8800:2008.

Tabela 4 - Classificação das vigas.

Limite da NBR 8800:2008	Classificação da viga
$\frac{h}{t_w} \leq 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Compacta, Regime Plástico
$3,76 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{h}{t_w} \leq 5,70 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Semi Compacta, Regime Elástico

Fonte: Autor.

Definida a relação (h/t_w), é necessário calcular o grau de interação da estrutura através da seguinte fórmula:

$$\alpha = \frac{nQ_{rd}}{F_{hd}} \quad (3.4)$$

Onde:

Q_{rd} é a força resistente de cálculo de um conector;

F_{hd} é o valor do esforço horizontal de cálculo disponível na Equação (3.2).

Utilizando o grau de interação da estrutura e sua relação entre altura e espessura da alma, é possível definir quais características o sistema misto terá e encontrar o momento fletor resistente de cálculo para os 4 casos existentes: Regime plástico com interação completa, regime plástico com interação parcial, regime elástico com interação completa e regime elástico com interação parcial.

Os casos abordados nos subitens a seguir são válidos para as vigas mistas com interação completa e $h/t_w \leq 3,76 \times \sqrt{E/f_y}$, nas quais devem-se utilizar as propriedades plásticas da seção mista. Para este tipo de viga, deve-se inicialmente determinar a posição da linha neutra plástica (LNP) na seção.

A posição da LNP é determinada através da relação entre a máxima força de plastificação que pode atuar na laje, determinada por $0,85f_{cd}bt_c$, e no perfil de aço, determinada por $A_a f_{yd}$.

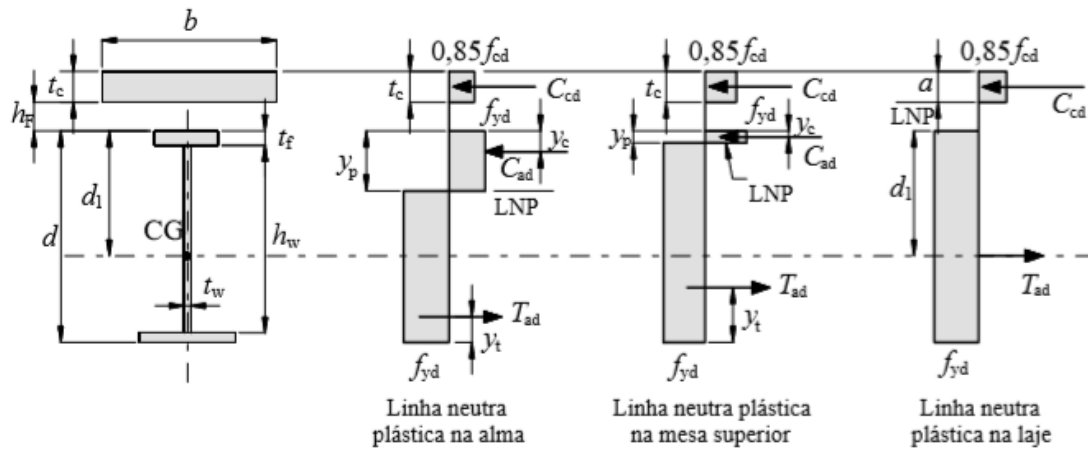
A LNP pode se encontrar na mesa de concreto ou no perfil de aço conforme ilustrado na Figura 12. Se encontrará na laje quando a máxima força de plastificação que atua na laje de concreto for maior que a existente no perfil de aço, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Posição da Linha Neutra Plástica

Relação encontrada	Posição da linha neutra plástica
$0,85 \times f_{cd} \times b \times t_c > A_a \times f_{yd}$	Linha neutra plástica na laje
$0,85 \times f_{cd} \times b \times t_c < A_a \times f_{yd}$	Linha neutra plástica no perfil metálico

Fonte: Autor.

Figura 12 - Localizações da linha neutra



Fonte: NBR 8800:2008

3.5.1 LNP na laje de concreto

Para os casos em que a LNP se encontra na laje de concreto, deve-se inicialmente calcular a força resistente de cálculo do perfil de aço totalmente tracionado, definida por T_{ad} .

$$T_{ad} = A_a f_{yd} \tag{3.5}$$

Onde:

A_a é área do perfil de aço;

f_{yd} é a resistência ao escoamento de cálculo do perfil de aço.

Após isso, determina-se a espessura comprimida da laje de concreto (a):

$$a = \frac{T_{ad}}{0,85 f_{cd} b} \quad (3.6)$$

Por fim, encontra-se o valor do momento fletor resistente de cálculo da estrutura mista através da seguinte fórmula:

$$Mrd = \beta_{vm} T_{ad} \left(d_1 + h_f + t_c - \frac{a}{2} \right) \quad (3.7)$$

Onde:

β_{vm} que é igual a 1 para vigas biapoiadas;

d_1 é a distância do centro geométrico do perfil de aço até a sua face superior;

t_c é a altura da laje de concreto;

h_f é a altura das nervuras da laje.

3.5.2 LNP no perfil de aço

Para os casos em que a LNP se encontra no perfil metálico, a força resistente de cálculo da laje de concreto, totalmente comprimida, é:

$$C_{cd} = 0,85 \times f_{cd} \times b \times t_c \quad (3.8)$$

Igualando a totalidade das forças de tração com a totalidade das forças de compressão, tem-se:

$$A_a \times f_{yd} - C_{ad} = C_{ad} + C_{cd} \quad (3.9)$$

Logo, a força resistente de cálculo da região comprimida do perfil de aço fica igual a:

$$C_{ad} = \frac{1}{2}x(A_a \times f_{yd} - C_{cd}) \quad (3.10)$$

Do equilíbrio das forças resultantes, obtém-se a força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço, igual a:

$$T_{ad} = C_{cd} + C_{ad} \quad (3.11)$$

Caso $C_{ad} \leq A_{fs} \times f_{yd}$, a LNP passa pela mesa superior do perfil de aço, e sua posição, medida a partir do topo desse perfil, é dada por:

$$y_p = \frac{C_{ad}}{A_{fs} \times f_{yd}} \times t_{fs} \quad (3.12)$$

Onde A_{fs} é a área e t_{fs} é a espessura da mesa superior do perfil de aço.

Se $C_{ad} > A_{fs} \times f_{yd}$, a LNP passa pela alma do perfil de aço e sua posição, sempre medida a partir do topo desse perfil, é dada por:

$$y_p = t_{fs} + h_w \times \left(\frac{C_{ad} - A_{fs} \times f_{yd}}{(h_w \times t_w) \times f_{yd}} \right) \quad (3.13)$$

Onde h_w é a distância entre faces internas das mesas do perfil de aço, A_{fs} é a área da mesa superior e t_w é a espessura da alma desse perfil.

Por fim, o momento fletor resistente de cálculo para a situação exposta é encontrado através da Equação 3.14.

$$M_{Rd} = C_{ad} \times (d - y_t - y_c) + C_{cd} \times \left(\frac{t_c}{2} + h_f + d - y_t \right) \quad (3.14)$$

Onde d é a altura total do perfil de aço, y_t é a distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil até sua face inferior e y_c é a distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até sua face superior.

Nesta equação, se a laje for maciça, faz-se h_f igual a zero.

4 METODOLOGIA

O trabalho será desenvolvido com base no estudo bibliográfico e de caso, acerca de análise e dimensionamento de vigas mistas de aço e concreto, com foco em sua resistência à flexão, com base nas recomendações da NBR 8800:2008.

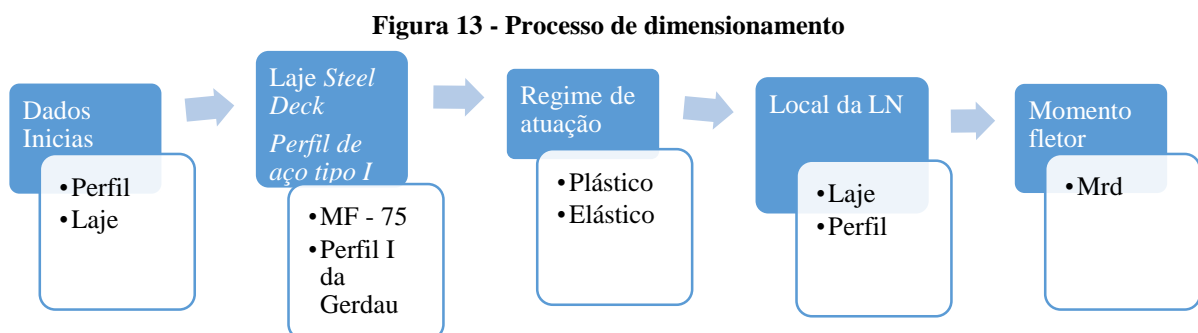
As vigas mistas estudadas são compostas por perfis de aço “I” laminados, como especificado no manual dos fabricantes, laje mista do tipo *Steel Deck* e conectores de cisalhamento tipo *stud bolt*. O dimensionamento será referente às vigas mistas biapoiadas e compactas.

No tocante a interação, a quantidade de conectores será estimada tomando como ponto de partida a interação completa do sistema misto aço concreto, tal qual será suficiente para impedir o deslocamento entre o perfil de aço e a laje de concreto.

Inicialmente será feito o estudo de caso de três situações hipotéticas, a fim de aferir a sistematização do processo de dimensionamento e em seguida, modelar a planilha no *Microsoft Office Excel*. Tendo em vista que o objetivo da planilha é obter um dimensionamento automático e gerar um gráfico de momento resistente *versus* vão livre da viga com o intuito de encontrar o perfil adequado a cada situação existente de forma rápida e segura.

Serão utilizadas algumas ferramentas como auxílio para este projeto, tais como, AutoCAD e *Microsoft Office Excel*.

A Figura 13 apresenta, de forma sucinta, as etapas utilizadas no estudo de caso para determinação do momento fletor resistente de cálculo da viga mista proposta.



Fonte: Autor.

Como dito anteriormente, com o intuito de aplicar os procedimentos de cálculo necessários para determinar o momento fletor resistente de uma viga mista de concreto e aço, criou-se três situações exemplo e nesse capítulo serão abordadas as suas características geométricas e propriedades dos materiais, além de todos os conteúdos expostos nos capítulos

precedentes para o dimensionamento de acordo com a NBR 8800:2008. O objetivo inicial é detalhar todo o procedimento e criar referências para posterior conferência da planilha.

4.1 OBJETO DE ESTUDO 1 – VIGA COM LNP NA LAJE

Este caso será identificado no trabalho por OE1.

O objeto de estudo é uma viga mista biapoiada intermediária constituída de um perfil W460x52 do catálogo da GERDAU e aço A572 especificado no mesmo, laje *Steel Deck* MF-75 do catálogo da METFORM disponíveis nos Anexos A, com resistência característica do concreto (f_{ck}) igual à 30 MPa (Megapascal). As características de ambos estão descritas na Tabela 6.

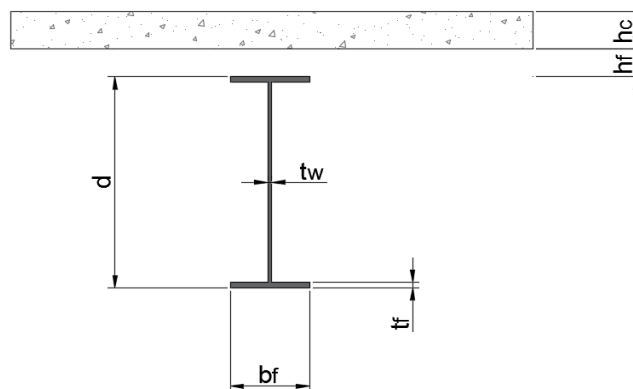
Tabela 6- Características do perfil de aço e laje *Steel Deck* OE1.

Perfil	Aço	Comprimento da viga (cm)	Dist. Entre a viga esq. (cm)	Dist. Entre a viga dir. (cm)
W 460x52	A572	800	300	300
Tensão de escoamento (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)	Fck (MPa)	Espessura da chapa	Altura do concreto (cm)
345	200000	30	0,8 mm	6,5

Fonte: Autor.

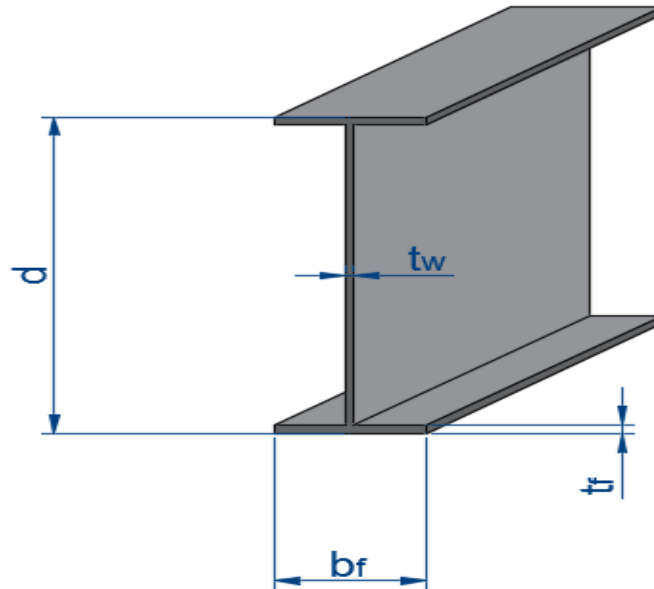
Para o estudo de caso também será adotada a condição de interação completa entre a laje de concreto e o perfil de aço. As Figuras 14,15 e 16 expõem as dimensões de cada elemento da viga e a mesma de forma completa.

Figura 14 - Representação da Viga Mista



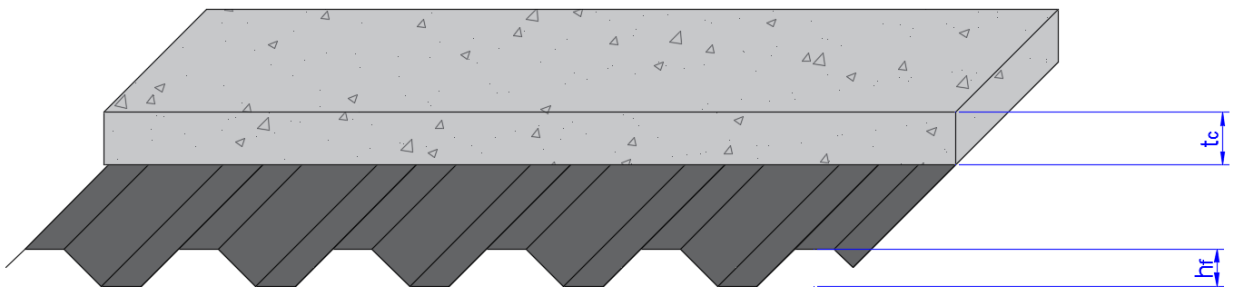
Fonte: Autor.

Figura 15 - Representação do perfil metálico



Fonte: Autor.

Figura 16 - Representação da laje steel deck - metform



Fonte: Autor.

4.1.1 Etapas do dimensionamento à flexão para a situação proposta

Para vigas mistas, o cálculo do momento resistente sofre influência direta de diversos aspectos, como: seção do perfil metálico; o tipo de interação aço-concreto (completa ou parcial); a posição da linha neutra plástica (LNP).

Primeiramente, é necessário obter algumas características geométricas do perfil W 460 x 52 disponíveis no catálogo da GERDAU no anexo A, que estão dispostas a seguir na Tabela 7:

Tabela 7 - Características Geométricas do Perfil de Aço.

Altura (h)	42,8	cm
Espessura da alma (t_w)	0,76	cm
Espessura da mesa (t_f)	1,08	cm
Largura da mesa carregada (b_f)	15,2	cm
Altura total (d)	45	cm
Área (A_a)	66,6	cm ²

Fonte: Autor.

O aço A572 tem como valores para o módulo de elasticidade (E) e resistência ao escoamento (f_y) de 200000 MPa e 345 MPa, respectivamente. A partir destes dados é possível determinar o regime de trabalho da viga, demonstrado nas Equações 4.1 e 4.2.

$$\frac{h}{t_w} = \frac{428}{7,6} = 56,31 \quad (4.1)$$

$$3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{345}} = 90,53 \quad (4.2)$$

Portanto, já que a esbeltez da viga é menor que a limite, a viga é compacta e trabalha no regime plástico. Após essa etapa, é preciso determinar a largura da laje que trabalhará conjuntamente com o perfil de aço. Para isto, são utilizados o vão da viga mista (8,0 metros) e a distância entre o eixo da viga em estudo e as vigas de extremidade (3,0 metros), então é possível calcular a largura efetiva, conforme Equação 4.3.

$$b = \left(\left\{ \begin{array}{l} \frac{8}{8} = 1,0 \text{ m} \\ \leq \frac{3}{2} = 1,5 \text{ m} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \frac{8}{8} = 1,0 \text{ m} \\ \leq \frac{3}{2} = 1,5 \text{ m} \end{array} \right\} \right) = 2 \text{ m} = 200 \text{ cm} \quad (4.3)$$

Em seguida, é necessário determinar os valores da resistência de cálculo do concreto (f_{cd}) e a resistência de cálculo do aço (f_{yd}), com esses valores e a largura efetiva pode-se encontrar a máxima força de plastificação que pode atuar na laje e no perfil de aço a partir das equações que seguem.

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_a} = \frac{30}{1,4} = 21,4 \text{ MPa} = 2,14 \text{ kN/cm}^2 \quad (4.4)$$

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_a} = \frac{345}{1,1} = 313,6 \text{ MPa} = 31,36 \text{ kN/cm}^2 \quad (4.5)$$

$$0,85 \times f_{cd} \times b \times t_c = 0,85 \times 2,14 \times 200 \times 6,5 = 2364,7 \text{ kN} \quad (4.6)$$

$$A_a f_{yd} = 66,6 \times 31,36 = 2088,58 \text{ kN} \quad (4.7)$$

Como $0,85 \times f_{cd} \times b \times t_c > A_a \times f_{yd}$, conclui-se que a linha neutra plástica se encontra na laje de concreto. Prosseguindo com o dimensionamento a força máxima de plastificação do aço se torna a força resistente de cálculo do perfil de aço totalmente:

$$T_{ad} = A_a F_{yd} \quad (4.8)$$

Com isto, pode-se calcular a espessura comprimida da laje e em seguida força resistente de cálculo do concreto, através das Equações 4.9 e 4.10.

$$a = \frac{T_{ad}}{0,85 f_{cd} b} = \frac{2088,53}{0,85 \times 2,14 \times 200} = 5,74 \text{ cm} \quad (4.9)$$

$$C_{cd} = 0,85 \times 2,14 \times 200 \times 5,74 = 2088,21 \text{ kN} \quad (4.10)$$

O valor do β_{vm} é igual a 1 devido ao fato da viga ser biapoada. Por fim, é possível determinar o momento fletor resistente de viga em estudo:

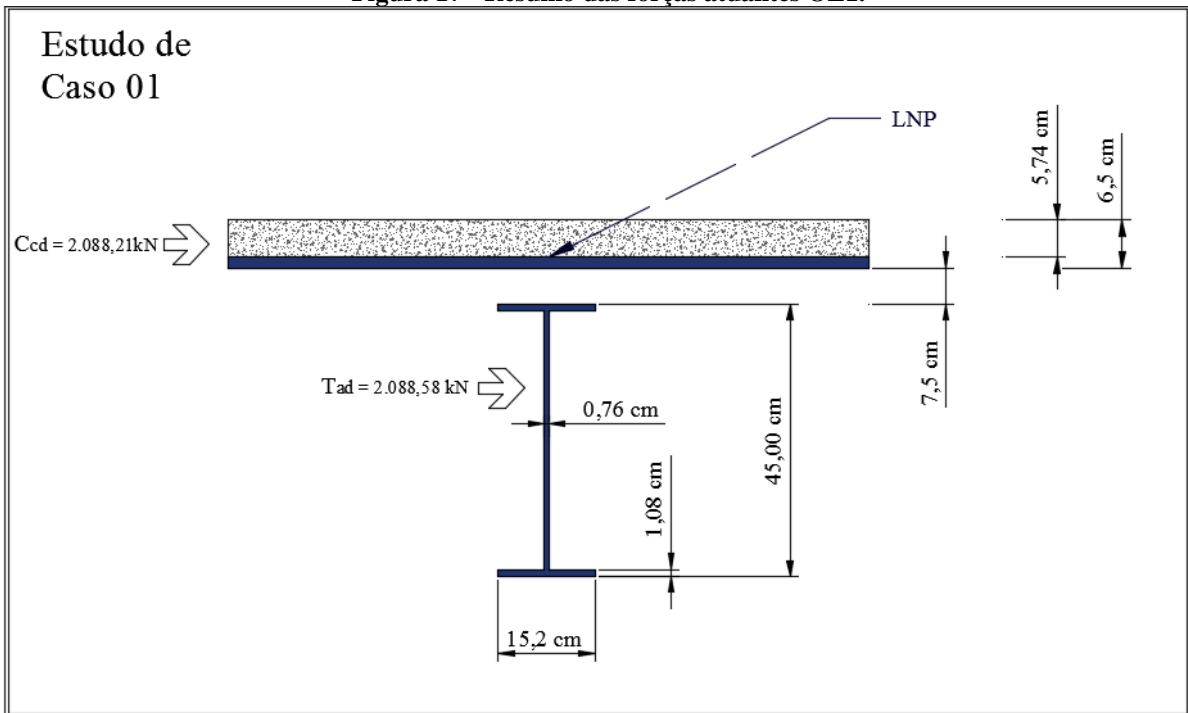
$$M_{Rd} = \beta_{vm} T_{ad} \left(d_1 + h_f + t_c - \frac{a}{2} \right) \quad (4.11)$$

$$M_{Rd} = 1 \times 2088,58 \times \left(22,5 + 7,5 + 6,5 - \frac{5,74}{2} \right) \quad (4.12)$$

$$M_{Rd} = 70.238,95 \text{ kN} \cdot \text{m} = 702,38 \text{ kN} \cdot \text{cm} \quad (4.13)$$

A Figura 17 ilustra as forças atuantes, são elas a força resistente de cálculo da região comprimida da laje (C_{cd}) e a força resistente de cálculo na região tracionada do perfil (T_{ad}). Calculados no dimensionamento do objeto de estudo em questão. Também é exibida a posição da linha neutra plástica.

Figura 17 - Resumo das forças atuantes OE1.



Fonte: Autor.

4.2 OBJETO DE ESTUDO 2 – VIGA COM LNP NA MESA DO PERFIL

Este caso será identificado no trabalho por OE2. O segundo caso estudado é uma viga mista biapoiada intermediária constituída de um perfil W530x66 do catálogo da GERDAU e laje *Steel Deck* MF-75 do catálogo da MetForm disponíveis no anexos A. As características de ambos estão descritas na Tabela 8 a seguir:

Tabela 8 - Características do perfil de aço e laje *Steel Deck* OE2.

Perfil	Aço	Comprimento da viga (cm)	Dist. Entre a viga esq. (cm)	Dist. Entre a viga dir. (cm)
W 530x66	A572	572,65	271,7	271,7
Tensão de escoamento (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)	Fck (MPa)	Espessura da chapa	Altura do concreto (cm)
345	200000	30	0,8 mm	6,5

Fonte: Autor.

Para o perfil de aço W530x66 utilizado nesse estudo, tem-se as características geométricas apresentadas na Tabela 9:

Tabela 9 - Características Geométricas do Perfil de Aço W530x66.

Altura (h)	50,2	cm
Espessura da Alma (t_w)	0,89	cm
Espessura da Mesa (t_f)	1,14	cm
Largura da Mesa Carregada (b_f)	16,5	cm
Altura total (d)	52,5	cm
Área (A_a)	83,6	cm ²

Fonte: Autor.

4.2.1 Etapas do dimensionamento à flexão para a situação proposta

O aço A572 tem como valores para o módulo de elasticidade (E) e resistência ao escoamento (f_y) de 200000 MPa e 345 MPa, respectivamente. A partir destes dados é possível determinar o regime de trabalho da viga, com base nas esbeltezes calculados nas Equações 4.14 e 4.15.

$$\frac{h}{t_w} = \frac{502}{8,9} = 56,40 \quad (4.14)$$

$$3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{345}} = 90,53 \quad (4.15)$$

Mais uma vez é possível verificar que a esbeltez da viga é menor que a limite e a viga é compacta e trabalha no regime plástico. Após esta etapa, é possível calcular a largura efetiva conforme a Equação 4.16.

$$b = \left(\left\{ \leq \frac{572,65}{8} = 71,58 \text{ cm} \right\} + \left\{ \leq \frac{572,65}{8} = 71,58 \text{ cm} \right\} \right) = 143,16 \text{ cm} \quad (4.16)$$

Em seguida, é necessário determinar os valores da resistência de cálculo do concreto (f_{cd}) e a resistência de cálculo do aço (f_{yd}), com esses valores e a largura efetiva determina-se a

máxima força de plastificação que pode atuar na laje e no perfil de aço a partir das Equações 4.17 à 4.18.

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_a} = \frac{30}{1,4} = 21,4 \text{ MPa} = 2,14 \text{ kN/cm}^2 \quad (4.17)$$

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_a} = \frac{345}{1,1} = 313,6 \text{ MPa} = 31,36 \text{ kN/cm}^2 \quad (4.18)$$

$$0,85 \times f_{cd} \times b \times t_c = 0,85 \times 2,14 \times 143,16 \times 6,5 = 1692,65 \text{ kN} \quad (4.19)$$

$$A_a f_{yd} = 83,6 \times 31,6 = 2621,70 \text{ kN} \quad (4.20)$$

Como $A_a \times f_{yd} > 0,85 \times f_{cd} \times b \times t_c$, a linha neutra plástica se encontra no perfil de aço. A partir desta informação é possível afirmar que a força resistente de cálculo da laje de concreto totalmente comprimida (C_{cd}) é igual a máxima força de plastificação que pode atuar na mesma. Com este valor determina-se a força resistente de cálculo da região comprimida do perfil de aço (C_{ad}), mostrado nas equações a seguir.

$$C_{ad} = 0,5 (A_a f_{yd} - C_{cd}) \quad (4.21)$$

$$C_{ad} = 0,5 (2621,7 - 1692,65) = 464,53 \text{ kN} \quad (4.22)$$

Para definir a posição da linha neutra plástica no perfil segue-se o procedimento demonstrado abaixo:

$$A_{fs} f_{yd} = 1,14 \times 16,5 \times 31,36 = 589,88 \text{ kN} \quad (4.23)$$

$$C_{ad} \leq A_{fs} f_{yd} \quad (4.24)$$

De acordo com a Equação 4.24, como $C_{ad} \leq A_{fs} f_{yd}$, a linha neutra plástica se encontra na mesa superior do perfil de aço e a sua posição medida a partir do topo do perfil, é definida como y_p e está calculada na Equação 4.25 e 4.26.

$$y_p = \frac{C_{ad}}{A_{fs} \times f_{yd}} \times t_{fs} \quad (4.25)$$

$$y_p = \frac{464,53}{589,88} \times 1,14 = 0,90 \text{ cm} \quad (4.26)$$

Como a linha neutra plástica se encontra na mesa, a forma geométrica para a região comprimida do perfil é um retângulo, assim o valor do y_c é determinado pela Equação 4.27.

$$y_c = \frac{y_p}{2} = \frac{0,9}{2} = 0,45 \text{ cm} \quad (4.27)$$

Para a forma geométrica da região tracionada, o centro de gravidade pode ser determinado pelas equações da mecânica exposta a seguir:

$$y_t = \frac{\sum A d}{A_{total}} = 20,16 \text{ cm} \quad (4.28)$$

Por fim, é possível determinar o momento fletor resistente da viga mista em questão, através da Equação 4.29, conforme a NBR 8800:2008.

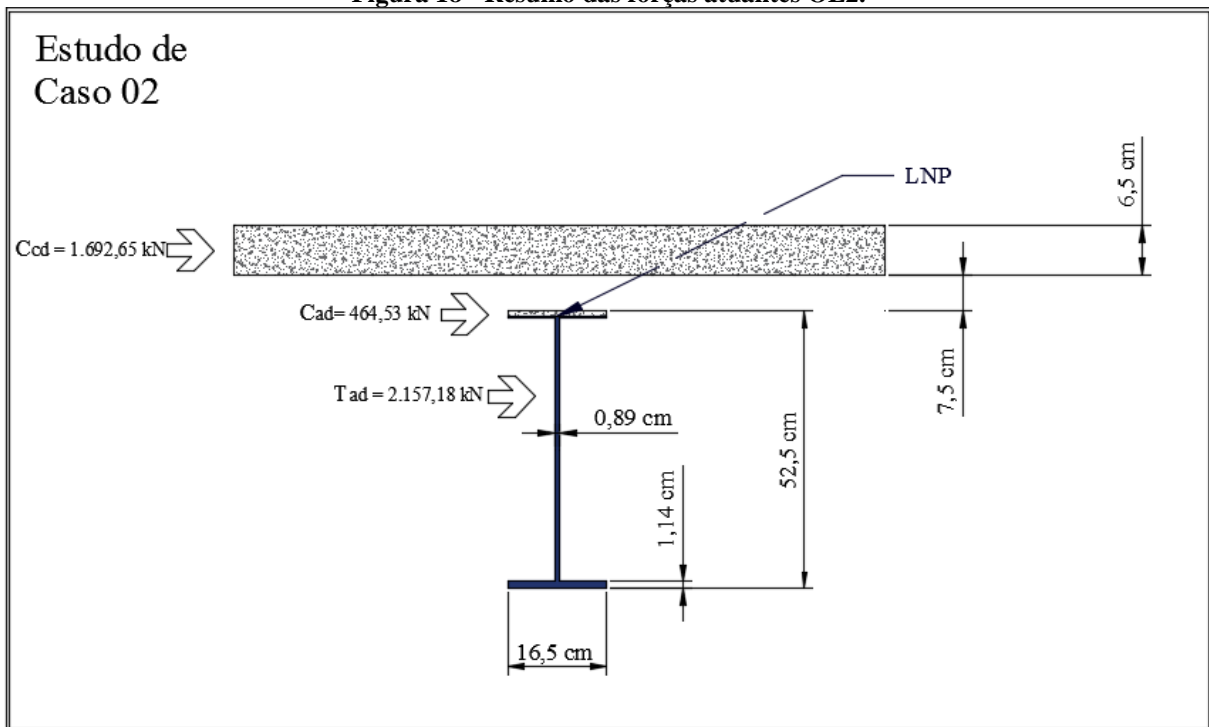
$$M_{Rd} = C_{ad} \times (d - y_t - y_c) + C_{cd} \times \left(\frac{t_c}{2} + h_f + d - y_t \right) \quad (4.29)$$

$$M_{Rd} = 464,53 \times (52,5 - 20,16 - 0,45) + 1692,65 \times \left(\frac{6,5}{2} + 7,5 + 52,5 - 20,16 \right) \quad (4.30)$$

$$M_{Rd} = 87765,75 \text{ kN} * \text{cm} = 877,66 \text{ kN} * \text{m} \quad (4.31)$$

A Figura 18 ilustra as forças atuantes, são elas a força resistente de cálculo da região comprimida da laje (C_{cd}), força resistente de cálculo da região comprimida do perfil (C_{ad}) e a força resistente de cálculo na região tracionada do perfil. Calculados no dimensionamento do objeto de estudo em questão. Também é exibida a posição da linha neutra plástica.

Figura 18 - Resumo das forças atuantes OE2.



4.3 OBJETO DE ESTUDO 3 – VIGA COM LNP NA ALMA DO PERFIL

Este caso será identificado no estudo por OE3.

O objeto de estudo é uma viga mista biapoiada intermediária constituída de um perfil W610x174 do catálogo da GERDAU e laje *Steel Deck* MF-75 do catálogo da MetForm disponíveis no anexo A. As características de ambos estão descritas na Tabela 10.

Tabela 10 - Características do perfil de aço e laje *Steel Deck* OE3

Perfil	Aço	Comprimento da viga (cm)	Dist. Entre a viga esq. (cm)	Dist. Entre a viga dir. (cm)
W 610x174	A572	572,65	271,7	271,7
Tensão de escoamento (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)	Fck (MPa)	Espessura da chapa	Altura do concreto (cm)
345	200000	30	0,8 mm	6,5

Fonte: Autor.

Para o perfil de aço W610x174 utilizado nesse estudo, tem-se as seguintes características geométricas apresentadas na Tabela 11:

Tabela 11 - Características Geométricas do Perfil de Aço W610x174.

Altura (h)	57,3	cm
Espessura da Alma (t_w)	1,4	cm
Espessura da Mesa (t_f)	2,16	cm
Largura da Mesa Carregada (b_f)	32,5	cm
Altura total (d)	61,6	cm
Área (A_a)	222,8	cm ²

Fonte: Autor.

4.3.1 Etapas do dimensionamento à flexão para a situação proposta

O aço A572 tem como valores para o módulo de elasticidade (E) e resistência ao escoamento (f_y) de 200000 MPa e 345 MPa, respectivamente. A partir destes dados é possível determinar o regime de trabalho da viga, através das Equações 4.32 e 4.33.

$$\frac{h}{t_w} = \frac{57,3}{1,4} = 40,93 \quad (4.32)$$

$$3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{345}} = 90,53 \quad (4.33)$$

A viga é compacta e trabalha no regime plástico. Após esta etapa, é possível calcular a largura efetiva da laje.

$$b = \left(\left\{ \begin{array}{l} \frac{572,65}{8} = 71,58 \text{ cm} \\ \leq \frac{271,7}{2} = 135,85 \text{ m} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \frac{572,65}{8} = 71,58 \text{ cm} \\ \leq \frac{271,7}{2} = 135,85 \text{ cm} \end{array} \right\} \right) = 143,16 \text{ cm} \quad (4.34)$$

Em seguida, é necessário determinar os valores da resistência de cálculo do concreto (f_{cd}) e a resistência de cálculo do aço (f_{yd}), com esses valores e a largura efetiva determina-se a máxima força de plastificação que pode atuar na laje e no perfil de aço a partir das equações que seguem.

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_a} = \frac{30}{1,4} = 21,4 \text{ MPa} = 2,14 \text{ kN/cm}^2 \quad (4.35)$$

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_a} = \frac{345}{1,1} = 313,6 \text{ MPa} = 31,36 \text{ kN/cm}^2 \quad (4.36)$$

$$0,85 \times f_{cd} \times b \times t_c = 0,85 \times 2,14 \times 143,16 \times 6,5 = 1692,65 \text{ kN} \quad (4.37)$$

$$A_a f_{yd} = 222,8 \times 31,6 = 6987,82 \text{ kN} \quad (4.38)$$

Como $A_a \times f_{yd} > 0,85 \times f_{cd} \times b \times t_c$, a linha neutra plástica se encontra no perfil de aço. A partir desta informação é possível afirmar que a força resistente de cálculo da laje de concreto totalmente comprimida (C_{cd}) é igual a máxima força de plastificação que pode atuar na mesma. Com este valor determina-se a força resistente de cálculo da região comprimida do perfil de aço (C_{ad}), mostrado nas Equações 4.39 e 4.40.

$$C_{ad} = 0,5 (A_a f_{yd} - C_{cd}) \quad (4.39)$$

$$C_{ad} = 0,5 (6987,82 - 1692,65) = 2647,59 \text{ kN} \quad (4.40)$$

Para definir a posição da linha neutra plástica no perfil segue-se o procedimento apresentado a seguir.

$$A_{fs} f_{yd} = 2,16 \times 32,5 \times 31,36 = 2201,47 \text{ kN} \quad (4.41)$$

$$C_{ad} > A_{fs} f_{yd} \quad (4.42)$$

De acordo com a Equação 4.42, a linha neutra plástica se encontra na alma do perfil de aço pois $C_{ad} > A_{fs} f_{yd}$, e a sua posição medida a partir do topo do perfil, é dada por y_p .

$$y_p = t_{fs} + h_w \times \left(\frac{C_{ad} - A_{fs} \times f_{yd}}{(h_w \times t_w) \times f_{yd}} \right) \quad (4.43)$$

$$y_p = 2,16 + 57,3 \times \left(\frac{2647,59 - 2201,47}{(57,3 \times 1,4) \times 31,36} \right) \quad (4.44)$$

$$y_p = 12,32 \text{ cm} \quad (4.45)$$

Para a forma geométrica da região tracionada e comprimida, o centro de gravidade pode ser determinado pela equação da mecânica a seguir.

$$y_c = \frac{\sum A d}{A_{total}} = 10,04 \text{ cm} \quad (4.46)$$

$$y_t = \frac{\sum A d}{A_{total}} = 36,28 \text{ cm} \quad (4.47)$$

Por fim, é possível determinar o momento fletor resistente da viga mista em questão, através da Equação 4.48 e 4.49 da NBR 8800:2008.

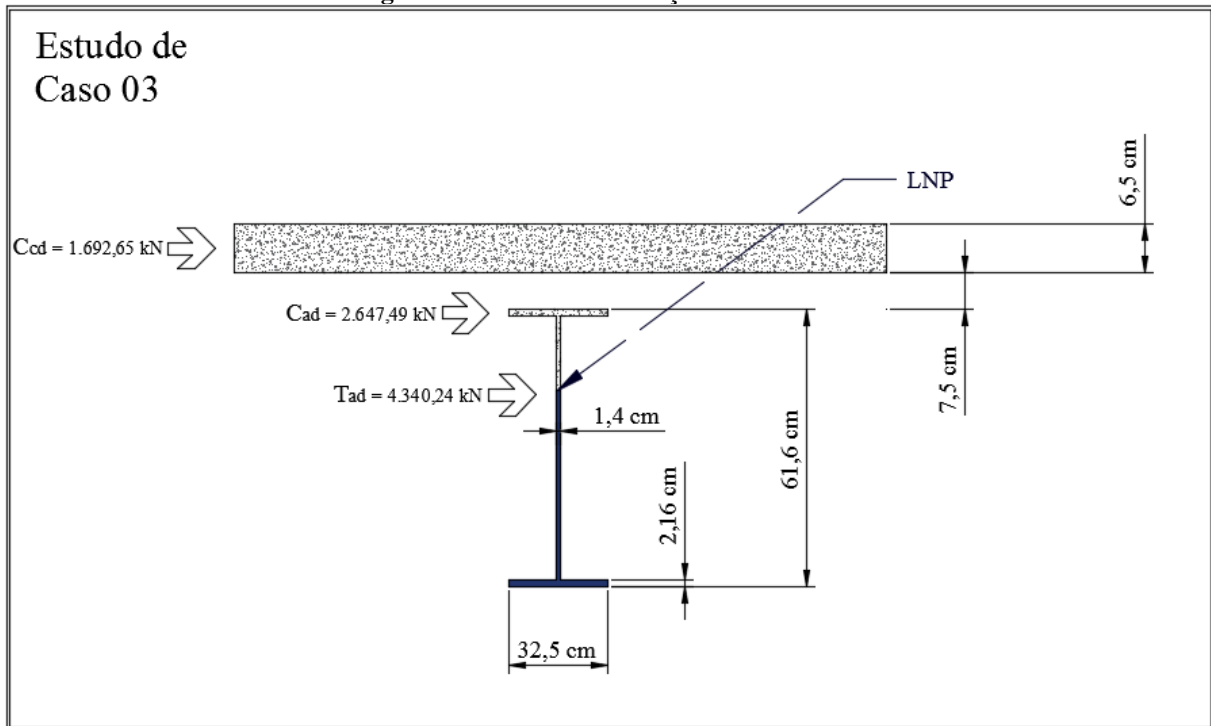
$$M_{Rd} = C_{ad} \times (d - y_t - y_c) + C_{cd} \times \left(\frac{t_c}{2} + h_f + d - y_t \right) \quad (4.48)$$

$$M_{Rd} = 2647,59 \times (61,6 - 36,28 - 10,04) + 1692,65 \times \left(\frac{6,5}{2} + 7,5 + 61,6 - 36,28 \right) \quad (4.49)$$

$$M_{Rd} = 101203 \text{ kn} * \text{cm} = 1012,03 \text{ kN} * \text{m} \quad (4.50)$$

A Figura 19 ilustra as forças atuantes, são elas a força resistente de cálculo da região comprimida da laje (C_{cd}), força resistente de cálculo da região comprimida do perfil (C_{ad}) e a força resistente de cálculo na região tracionada do perfil. Calculados no dimensionamento do objeto de estudo em questão. Também é exibida a posição da linha neutra plástica.

Figura 19 - Resumo das forças atuantes OE3



Fonte: Autor.

4.4 MODELAGEM NO EXCEL

Após os estudos de casos supracitados, fez-se necessário a utilização de *software* como suporte ao cálculo do momento resistente para diversas situações, ou seja, modelagem geral para dimensionamento prático de várias configurações.

O *software* escolhido foi o *Microsoft Excel*, nele foram criadas várias planilhas, informando os dados de entrada, resultados, dimensionamento, perfil W e gráficos.

Na aba de dados de entrada são inseridos os principais dados, tais quais Perfil de Aço utilizado e tipo, altura da laje *steel deck*, espessura da laje, resistência características do concreto, vão da viga vista e distância entre as vigas.

Após a adição dos dados iniciais, os mesmos são direcionados para a planilha de dimensionamento conforme demonstrado na Figura 21, na qual serão realizados todos os passos do cálculo do momento resistente. O primeiro passo é a definição do regime de atuação da peça, posteriormente é identificado a posição da linha neutra, por último é cálculo o momento resistente.

Detalhes das abas de dados de entrada e dimensionamento são apresentados nas Figuras 20 à 22.

Figura 20 - Planilha Dados de Entrada

DIMENSIONAMENTO DE VIGA MISTA												
ALUNOS: IURY SANTANA BISPO; WANDERLEI DOS SANTOS SANTANA ORIENTADORA: RAQUEL CABRAL.												
DADOS DE ENTRADA												
AÇO				LAJE STEEL DECK				VIGA MISTA				
SELECIONAR PERFL DE AÇO				SELECIONAR ESPESURA DA LAJE STEEL DECK - cm				INFORMAR VÃO DA VIGA MISTA - cm				
W 460 x 52				7,5				800				
SELECIONAR TIPO DO AÇO				SELECIONAR ESPESURA DA LAJE - cm				INFORMAR DIST. ENTRE AS VIGAS (ESQ.) - cm				
ASTM A 572 GRAU 50				6,5				300				
				SELECIONAR fck DA LAJE - MPa				INFORMAR DIST. ENTRE AS VIGAS (DIR) - cm				
				30				300				

Diagrama de uma viga mista composta por um perfil de aço W 460 x 52 e uma laje de concreto de 7,5 cm de espessura. O vão da viga é de 271,70 cm. A distância entre as vigas à esquerda é de 6,5 cm e à direita é de 7,5 cm. O concreto tem uma resistência característica (fck) de 30 MPa.

Fonte: Autor.

Figura 21 - Planilha de Dimensionamento

Dados de entrada	Dados geométricos do perfil
Tensão de escoamento (MPa)	Perfil Utilizado
345	HP 250 x 62 (H)
Módulo de Elasticidade (MPa)	h(cm)
200000	22,5
fck da Laje (MPa)	tw(cm)
25	1,05
Espessura da Laje (cm)	tf(cm)
6,5	1,1
Espessura do Steel Deck (cm)	bf(cm)
7,5	25,6
Vão da Viga mista (cm)	d(cm)
1000	24,6
Dist. Entre viga e viga à esq. (cm)	Aa(cm ²)
250	79,6
Dist. Entre viga e viga à dir. (cm)	
250	
Largura Efetiva (cm)	
250,00	

Fonte: Autor.

Figura 22 - Continuação do Dimensionamento

Regime de atuação da peça	Dimensionamento
h/tw	Espeçura comprimida da laje (cm)
21,43	6,50
$3.76\sqrt{E/fy}$	Ccd
90,53	2466,52
$5.7\sqrt{E/fy}$	Cad
137,24	15,01
Regime Plástico	Tad (kN)
Localização da LNP	2481,53
Fcd(kN/cm ²)	yp
1,79	0,02
Fyd(kN/cm ²)	yc
31,36	0,01
$0,85Fcd b tc$ (kN)	yt
2466,52	12,23
Aa Fyd (kN)	Momento Resist. de Cálculo (kN*cm)
2496,55	57210,07
LNP na Mesa Superior	Momento Resist. de Cálculo (kN*m)
	572,10

Fonte: Autor.

Em relação aos gráficos, foram limitados a distância entre vigas de 2,5 metros e espessura da laje de 6,5 centímetros, aço ASTM A 572 Grau 50 e a resistência característica do concreto de 30 MPa. Em consequência disso, gerou-se diversos gráficos, com os quais podem-se dimensionar a estrutura mista apenas selecionando o perfil e a distância e assim encontra-se o momento resistente para cada situação, estes serão apresentados no Capítulo 5.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste trabalho estudou-se o dimensionamento à flexão para diversas situações de atuação da viga mista, tendo como principais variantes, o tipo do perfil utilizado, a distância entre os apoios, tipo de concreto e aço utilizados e consequente posição da linha neutra.

Para obter-se os ábacos como resultado fez-se necessário o cálculo do momento resistente para diversas situações, as quais foram encontradas no Capítulo 4.

Neste Capítulo serão apresentados os resultados obtidos de forma objetiva.

5.1 VALORES OBTIDOS NO DIMENSIONAMENTO MANUAL

De acordo com o Capítulo 4, subitem 4.1 que faz referência ao estudo de caso com LNP na laje, foram utilizados o seguinte dados para cálculo do momento resistente da viga mista de aço e concreto estudada.

- a. Perfil W460x52 do catálogo da GERDAU e aço A572 especificado no mesmo;
- b. Laje *Steel Deck* MF-75 do catálogo da METFORM;
- c. Resistência característica do concreto (f_{ck}): 30 MPa;
- d. Interação completa entre a laje de concreto e o perfil de aço;
- e. Distância entre a viga: 300 cm;
- f. Comprimento da Viga: 800 cm.

Com intuito de verificar a confiabilidade da planilha modelada no *Microsoft Excel*, traçou-se um paralelo entre os principais dados obtidos tanto no dimensionamento manual, quanto por meio de *software*. Ao analisar o regime de atuação da peça, torna-se necessário obter os valores para relação entre altura e espessura da alma e contrapor com o caso $3,76 \times \sqrt{E/f_y}$. Observou-se que o valor (h/t_w) não supera o valor limite do caso, então tem-se uma seção mista totalmente plastificada, tanto para o caso manual quando o modelado em *software*.

Já para a posição da linha neutra, primordialmente calcula-se a máxima força de plastificação de cálculo que pode atuar na laje de concreto que é definida por $0,85 \times f_{cd} \times b \times t_c$ e no perfil de aço, $A_a \times f_{yd}$, de compressão e tração, respectivamente. Se $0,85 \times f_{cd} \times b \times t_c \geq A_a \times f_{yd}$, tem-se a situação ideal em que a LNP se situa entre o concreto e aço, com concreto trabalhando totalmente a compressão, e o aço, à tração.

Constata-se que em ambos os casos a LNP encontra-se na laje e a peça trabalha na melhor situação possível. A Tabela 12 apresenta o comparativo entre os cálculos manuais e valores obtidos pelo *software* dos itens anteriormente citados

Tabela 12 - Comparativo para Regime de Atuação da Peça OE1.

	MANUAL	SOFTWARE
$\frac{h}{t_w}$	56,31	56,32
$0,85 \times f_{cd} \times b \times t_c$	2364,7 kN	2367,86 kN
$A_a \times f_{yd}$	2088,58 kN	2088,82 kN

Fonte: Autor.

A posteriori, tem se que a força máxima de plastificação do aço se torna a força resistente de cálculo do perfil de aço totalmente tracionado (T_{ad}) e a força resistente de cálculo da espessura comprimida da laje de concreto (C_{cd}), como está identificado na Tabela13.

Completando, com a igualdade entre a força resistente de cálculo do perfil de aço totalmente tracionado ($T_{ad} = A_a \times f_{yd}$) e a força resistente de cálculo da espessura comprimida da laje de concreto ($C_{cd} = 0,85 \times f_{cd} \times b \times a$), obtêm-se a espessura comprimida da laje ($a = \frac{T_{ad}}{0,85 \times f_{cd} \times b}$).

Tabela 13 - Comparativo para Esforços atuantes OE1.

	MANUAL	SOFTWARE
a	$a = 5,74 \text{ cm}$	$a = 5,73 \text{ cm}$
C_{cd}	$C_{cd} = 2088,53 \text{ kN}$	$C_{cd} = 2088,82 \text{ kN}$
T_{ad}	$T_{ad} = 2088,58 \text{ kN}$	$T_{ad} = 2088,82 \text{ kN}$

Fonte: Autor.

Do binário de forças alcança-se o momento fletor resistente de cálculo ($M_{Rd} = T_{ad} \times (d_1 + h_f + t_c - \frac{a}{2})$), conforme Tabela 14.

Tabela 14 - Comparativo para Momento Resistente OE1.

	MANUAL	SOFTWARE
M_{Rd}	$M_{Rd} = 70.238,95 \text{ kN} \times \text{cm}$	$M_{Rd} = 70.253,21 \text{ kN} \times \text{cm}$

Fonte: Autor.

Ainda no Capítulo 4, subitem 4.2, no estudo de caso 2, referente a viga mista de aço e concreto com LNP na mesa do perfil, foram utilizados os seguintes dados para cálculo do momento resistente da viga estudada.

- Perfil W530x66 do catálogo da GERDAU e aço A572 especificado no mesmo;
- Laje *Steel Deck* MF-75 do catálogo da METFORM;
- Resistência característica do concreto (f_{ck}): 30 MPa ;
- Interação completa entre a laje de concreto e o perfil de aço;
- Distância entre a viga: 271,7 cm;
- Comprimento da Viga: 572,65 cm.

Para começar, traça-se uma comparação entre os resultados obtidos de forma manual e através *do software*, para identificação do regime de atuação da viga em questão indicados na Tabela 15.

Tabela 15 - Comparativo para Regime de Atuação da Peça OE2.

	MANUAL	SOFTWARE
$\frac{h}{t_w}$	56,40	56,40
$0,85 \times f_{cd} \times b \times t_c$	1692,65 kN	1694,94 kN
$A_a \times f_{yd}$	2621,70 kN	2622,00 kN

Fonte: Autor.

Ao analisar o regime de atuação da peça, torna-se necessário obter os valores para relação entre altura e espessura da alma, tais quais são identificadas na Tabela 15, e contrapor com o caso $3,76 \times \sqrt{E/f_y}$. Observou-se que o valor (h/t_w) não supera o valor limite do caso, então tem-se uma seção mista totalmente plastificada, tanto para o caso manual quanto o modelado em *software*.

Já para a posição da linha neutra, primordialmente calcula-se a máxima força de plastificação de cálculo que pode atuar na laje de concreto que é definida por $0,85 \times f_{cd} \times b \times t_c$ e no perfil de aço, $A_a \times f_{yd}$, de compressão e tração, respectivamente. Se $0,85 \times f_{cd} \times b \times t_c \leq A_a \times f_{yd}$, tem-se que a linha neutra estará no perfil de aço, como passo subsequente, tem-se a identificação da posição da linha neutra (LNP) no perfil, se atua na mesa ou na alma). Caso a força resistente de cálculo da região comprimida do perfil de aço seja menor/igual ao valor da multiplicação da área da mesa superior pela resistência de cálculo ao escoamento do aço.

Tabela 16 - Comparativo para Esforços Atuantes OE2.

	MANUAL	SOFTWARE
$C_{cd} = 0,85 \times f_{cd} \times b \times t_c$	$C_{cd} = 1692,65 \text{ kN}$	$C_{cd} = 1694,94 \text{ kN}$
$C_{ad} = \frac{1}{2} \times (A_a \times f_{yd} - C_{cd})$	$C_{ad} = 464,53 \text{ kN}$	$C_{ad} = 463,53 \text{ kN}$
$T_{ad} = C_{cd} + C_{ad}$	$T_{ad} = 2157,18 \text{ kN}$	$T_{ad} = 2158,47 \text{ kN}$
$A_{fs} \times f_{yd}$	589,88	589,95
$C_{ad} \leq A_{fs} \times f_{yd}$	$464,53 \leq 589,88$	$463,53 \leq 589,95$

Fonte: Autor.

Diante dos dados apresentados na Tabela 16, pode-se concluir que a LNP passa pela mesa superior do perfil de aço e a força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço é igual a 2157,18 kN para situação manual e 2158,47 Kn com a utilização do *software*.

Como consequência disso, tem-se a necessidade de identificar a posição geométrica da linha neutra, ou seja, a medida a partir do topo desse perfil, onde y_c é distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até sua face superior e y_t é a distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até a sua face inferior.

Para a forma geométrica da região tracionada o centro de gravidade pode ser determinado pelas equações da mecânica (y_t) expostas na Tabela 17.

Tabela 17 - Comparativo para Posição Geométrica da LNP OE2.

	MANUAL	SOFTWARE
y_p	$y_p = 0,90 \text{ cm}$	$y_p = 0,90 \text{ cm}$
y_c	$y_c = 0,45 \text{ cm}$	$y_c = 0,45 \text{ cm}$
y_t	$y_t = 20,16 \text{ cm}$	$y_c = 20,60 \text{ cm}$

Fonte: Autor.

Por fim, calculou-se o momento fletor resistente de cálculo da viga mista $\left(M_{Rd} = C_{ad} \times (d - y_t - y_c) + C_{cd} \times \left(\frac{t_c}{2} + h_f + d - y_t \right) \right)$ em questão indicados na Tabela 18.

Tabela 18 - Comparativo para Momento Resistente OE2.

	MANUAL	SOFTWARE
M_{Rd}	$M_{Rd} = 87765,75 \text{ kN} \times \text{cm}$	$M_{Rd} = 86877,85 \text{ kN} \times \text{cm}$

Fonte: Autor.

Para estudo do último caso, alusivo ao item 4.3, referente ao estudo de viga mista de aço e concreto com linha neutra passando pela alma do perfil de aço e tendo como características os seguintes itens:

- Perfil W610x174 do catálogo da GERDAU e aço A572 especificado no mesmo;
- Laje *Steel Deck* MF-75 do catálogo da METFORM;
- Resistência característica do concreto (f_{ck}): 30 MPa;
- Interação completa entre a laje de concreto e o perfil de aço;
- Distância entre a viga: 271,7 cm;
- Comprimento da Viga: 572,65 cm.

Como primeiro passo, os dois métodos iniciam fazendo um comparativo entre altura e espessura da alma, identificadas na Tabela 19, e contrapor com o caso $3,76 \times \sqrt{E/f_y}$. Observou-se que o valor (h/t_w) não supera o valor limite do caso, então tem-se uma seção mista totalmente plastificada, tanto para o caso manual quando o modelado em *software*.

Tabela 19 - Comparativo para Regime de Atuação da Peça OE3.

	MANUAL	SOFTWARE
$\frac{h}{t_w}$	40,93	40,93
$0,85 \times f_{cd} \times b \times t_c$	1692,65 kN	1694,94 kN
$A_a \times f_{yd}$	6987,82 kN	6987,82 kN

Fonte: Autor.

Diante dos dados apresentados na Tabela 19, pode-se concluir que a LNP passa pela alma do perfil de aço e a força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço é igual a 6987,82 kN para situação manual e 6987,82 Kn com a utilização do *software*.

Já para a posição da linha neutra, primordialmente calcula-se a máxima força de plastificação de cálculo que pode atuar na laje de concreto que é definida por $0,85 \times f_{cd} \times b \times t_c$ e no perfil de aço, $A_a \times f_{yd}$, de compressão e tração, respectivamente. Se $0,85 \times f_{cd} \times b \times t_c > A_a \times f_{yd}$, tem-se que a linha neutra estará no perfil de aço, como passo subsequente, tem-se a identificação da posição da linha neutra (LNP).

Caso a força resistente de cálculo da região comprimida do perfil de aço seja maior ao valor que a multiplicação da área da mesa superior pela resistência de cálculo ao escoamento do aço a linha neutra plástica estará na alma. Com base na posição da LNP encontrada é possível

afirmar que a força resistente de cálculo da laje de concreto totalmente comprimida (C_{cd}) é igual a máxima força de plastificação que pode atuar na mesma. Com este valor determina-se a força resistente de cálculo da região comprimida do perfil de aço (C_{ad}).

Os comparativos das situações acima são demonstrados na Tabela 20.

Tabela 20 - Comparativo para Esforços Atuantes OE3.

	MANUAL	SOFTWARE
$C_{cd} = 0,85 \times f_{cd} \times b \times t_c$	$C_{cd} = 1692,65 \text{ kN}$	$C_{cd} = 1694,94 \text{ kN}$
$C_{ad} = \frac{1}{2} \times (A_a \times f_{yd} - C_{cd})$	$C_{ad} = 2647,59 \text{ kN}$	$C_{ad} = 2646,44 \text{ kN}$
$T_{ad} = C_{cd} + C_{ad}$	$T_{ad} = 4340,24 \text{ kN}$	$T_{ad} = 4341,38 \text{ kN}$
$A_{fs} \times f_{yd}$	$2201,47 \text{ kN}$	$2201,73 \text{ kN}$
$C_{ad} \leq A_{fs} \times f_{yd}$	$2647,59 > 2201,47$	$2646,44 > 2201,73$

Fonte: Autor.

Como consequência disso, tem-se a necessidade de identificar a posição geométrica da linha neutra, ou seja, a medida a partir do topo desse perfil, onde y_c é distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até sua face superior e y_t é a distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até a sua face inferior, estes valores estão indicados na Tabela 21.

Tabela 21 - Comparativo para Posição Geométrica da LNP O3.

	MANUAL	SOFTWARE
y_p	$y_p = 12,32 \text{ cm}$	$y_p = 12,29 \text{ cm}$
$y_c(\text{Centro de gravidade})$	$y_c = 10,04 \text{ cm}$	$y_c = 10,18 \text{ cm}$
$y_t(\text{Centro de gravidade})$	$y_t = 36,28 \text{ cm}$	$y_t = 36,28 \text{ cm}$

Fonte: Autor.

Por último, comparou-se o momento resistente de cálculo na Tabela 22.

Tabela 22 - Comparativo para Momento Resistente O3.

	MANUAL	SOFTWARE
M_{Rd}	$M_{Rd} = 101203 \text{ kN} \times \text{cm}$	$M_{Rd} = 101202,52 \text{ kN} \times \text{cm}$

Fonte: Autor.

Nota-se que os valores que são obtidos mostram-se em concordância com os calculados manualmente.

5.2 TABELA PARA OTIMIZAÇÃO DE CÁLCULO

Com o intuito de gerar os gráficos vão *versus* Momento Resistente que serão apresentados no item 5.3, elaborou-se tabelas para cada família dos perfis W disponíveis no catálogo da Gerdau.

Foram utilizados alguns pré-requisitos para formatação da tabela, posto que o cálculo do momento resistente de cálculo possui muitas variáveis que influí direta ou indiretamente no resultado final obtido. São eles: resistência características do concreto igual a 30 Mpa, aço ASTM A 572 GRAU 50, altura do *steel deck* MF 75 de 7,5 centímetros e espessura da laje igual a 6,5 centímetros.

Para obtenção do gráfico do momento resistente para a família W250 utilizou-se a Tabela 23.

Tabela 23 - Vão *Versus* Família W250

Vão da viga	W 250 X 17,9	W 250 X 22,3	W 250 X 25,3	W 250 X 28,4	W 250 X 32,7	W 250 X 38,5	W 250 X 44,8
600	182,75	226,98	255,40	285,82	323,28	377,29	431,21
700	184,12	229,12	258,13	289,27	327,84	383,62	441,99
800	185,15	230,73	260,18	291,85	331,26	388,36	448,39
900	185,95	231,99	261,77	293,86	333,92	392,05	453,37
1000	186,59	232,99	263,05	295,47	336,05	395,00	457,35
1100	186,59	232,99	263,05	295,47	336,05	395,00	457,35

Fonte: Autor.

Para obtenção do gráfico do momento resistente para a família W310 utilizou-se a Tabela 24.

Tabela 24 - Vão *versus* Família W310

Vão da viga	W 310 X 21	W 310 X 23,8	W 310 X 28,3	W 310 X 32,7	W 310 X 38,7	W 310 X 44,5	W 310 X 52
600	235,36	264,67	313,15	359,59	415,37	471,57	523,66
700	237,26	267,09	316,58	364,15	421,72	481,44	555,68
800	238,69	268,91	319,15	367,57	426,49	487,75	566,65
900	239,80	270,33	321,15	370,23	430,19	492,65	573,38
1000	240,68	271,46	322,75	372,36	433,16	496,58	578,77
1100	240,68	271,46	322,75	372,36	433,16	496,58	578,77

Fonte: Autor.

Para obtenção do gráfico do momento resistente para a família W360 utilizou-se a Tabela 25.

Tabela 25 - Vão versus Família W360

VÃO DA VIGA	W 360 X 32,9	W 360 X 39	W 360 X 44	W 360 X 51	W 360 X 57,8	W 360 X 64	W 360 X 72	W 360 X 79
600	383,36	452,95	509,62	551,74	597,54	635,31	690,12	748,80
700	387,92	459,43	520,49	580,48	629,79	667,68	723,23	782,61
800	391,34	464,29	526,91	588,58	654,40	699,47	755,76	815,83
900	394,00	468,07	531,90	594,88	662,28	723,21	787,67	848,44
1000	396,12	471,10	535,90	599,92	668,59	731,22	811,97	880,44
1100	396,12	471,10	535,90	599,92	668,59	731,22	811,97	880,44

Fonte: Autor.

Para obtenção do gráfico do momento resistente para a família W410 utilizou-se a Tabela 26.

Tabela 26 - Vão versus Família W410

Vão da viga	W 410 X 38,8	W 410 X 46,1	W 410 X 53	W 410 X 60	W 410 X 67	W 410 X 75	W 410 X 85
600	490,05	565,00	623,40	676,98	743,65	806,73	891,50
700	496,55	579,99	655,20	709,40	776,95	840,80	926,66
800	501,43	586,75	669,44	741,12	809,54	874,16	961,09
900	505,23	592,01	676,46	751,25	841,39	906,79	994,79
1000	508,26	596,22	682,08	758,22	853,36	938,69	1027,76
1100	508,26	596,22	682,08	758,22	853,36	938,69	1027,76

Fonte: Autor.

Para obtenção do gráfico do momento resistente para a família W460 utilizou-se a Tabela 27.

Tabela 27 - Vão versus Família W460

Vão da viga	W 460 X 106	W 460 X 52	W 460 X 60	W 460 X 68	W 460 X 74	W 460 X 82	W 460 X 89	W 460 X 97
600	1163,11	661,31	734,20	818,56	867,28	939,25	1008,43	1077,92
700	1199,98	692,95	766,77	852,26	901,05	973,82	1043,74	1113,89
800	1236,18	702,53	798,51	885,12	934,15	1007,72	1078,36	1149,20
900	1271,70	709,19	808,61	917,13	966,58	1040,94	1112,31	1183,82
1000	1306,54	714,51	815,58	932,30	998,32	1073,47	1145,57	1217,76
1100	1306,54	714,51	815,58	932,30	998,32	1073,47	1145,57	1217,76

Fonte: Autor.

Para obtenção do gráfico do momento resistente para a família W530 utilizou-se a Tabela 28.

Tabela 28 - Vão versus Família 530.

Vão da viga	W 530 X 101	W 530 X 109	W 530 X 66	W 530 X 72	W 530 X 74	W 530 X 82	W 530 X 85	W 530 X 92
600	714,02	750,33	877,94	941,63	975,30	1051,08	1085,29	1163,17
700	1308,40	1390,49	910,95	974,83	1009,38	1085,19	1120,53	1198,30
800	1343,28	1426,04	943,20	1007,44	1042,69	1118,70	1155,01	1232,83
900	1377,59	1461,02	971,48	1039,45	1075,23	1151,62	1188,70	1266,74
1000	1411,32	1495,41	979,87	1064,28	1106,98	1183,92	1221,60	1300,03
1100	1411,32	1495,41	979,87	1064,28	1106,98	1183,92	1221,60	1300,03

Fonte: Autor.

Para obtenção do gráfico do momento resistente para a família W610 utilizou-se a Tabela 29.

Tabela 29 - Vão versus Família W610

VÃO DA VIGA	W 610 X 101	W 610 X 113	W 610 X 125	W 610 X 140	W 610 X 155	W 610 X 174
600	814,26	863,53	910,19	982,28	952,60	1029,90
700	1447,63	905,51	957,42	1037,12	1004,36	1088,93
800	1482,07	1630,27	1773,64	1081,32	2125,62	1137,99
900	1516,00	1665,19	1809,58	1997,56	2161,83	2401,74
1000	1549,40	1699,57	1844,98	2034,23	2197,68	2438,75
1100	1549,40	1699,57	1844,98	2034,23	2197,68	2438,75

Fonte: Autor.

5.3 GRÁFICOS VÃO X MOMENTO RESISTENTE

Foram elaborados gráficos de vão x momento resistente, disponíveis no Anexo B, para as famílias dos perfis W 250, W 310, W 360, W 410, W 530 e W 610 e para auxiliar a interpretação dos resultados também foram feitas tabelas indicando a posição da linha neutra em cada caso.

O gráfico e a Tabela 30 demonstram o comportamento do sistema misto quando o dimensionamento é feito para vários valores de vão da viga mista e perfis da família W 250. Na tabela pode-se perceber que a linha neutra irá se encontrar majoritariamente na laje para todos os perfis dessa família, excetuando-se o perfil W 250 x 44,8 que para o vão de 6 metros apresenta linha neutra na mesa superior, porém ao aumentar o comprimento da viga a mesma retorna para a laje.

Analisando-se o gráfico para esta situação, exposto no Anexo B, tem-se que ao aumentar o comprimento da viga o momento fletor resistente também aumenta. Nota-se também pelo mesmo gráfico que a partir de 10 metros de comprimento o momento resistente não sofre alteração em todos os perfis, isto ocorre devido a condição de $1/8$ do vão da viga mista considerada no cálculo da largura efetiva, exposto no item 3.5, ser superior a condição da distância entre as vigas.

Tabela 30 - Posição da LNP para perfis W 250

Perfil	Posição da Linha Neutra Plástica para cada vão				
	600	700	800	900	1000
W 250 x 44,8	Mesa Superior	Laje	Laje	Laje	Laje
W 250 x 38,5	Laje	Laje	Laje	Laje	Laje
W 250 x 32,7	Laje	Laje	Laje	Laje	Laje
W 250 x 28,4	Laje	Laje	Laje	Laje	Laje
W 250 x 25,3	Laje	Laje	Laje	Laje	Laje
W 250 x 22,3	Laje	Laje	Laje	Laje	Laje
W 250 x 17,9	Laje	Laje	Laje	Laje	Laje

Fonte: Autor.

Na análise da família de perfis W 310, a Tabela 31 expõe novamente que a linha neutra irá se encontrar na maioria dos estudos na laje, mas é notável que para os perfis W 310 x 44,5 e W 310 x 52 a linha neutra se encontra na mesa superior em alguns momentos e com o aumento do comprimento tende a seguir para laje. Com o gráfico desta família, presente no Anexo B, percebe-se que os perfis continuam a apresentar um maior valor de momento a cada alteração do vão da viga mista e também é possível observar que a mudança da linha neutra da mesa para a laje provoca um menor aumento no momento fletor resistente pois o mesmo já se aproxima da situação ideal de trabalho do sistema. Da mesma forma que a família anterior a partir do comprimento de 10 metros a resistência torna-se constante devido a largura efetiva.

Tabela 31 -Posição da LNP para perfis W 310

Perfil	Posição da Linha Neutra Plástica para cada vão				
	600	700	800	900	1000
W 310 x 52	Mesa Superior	Mesa Superior	Laje	Laje	Laje
W 310 x 44,5	Mesa Superior	Laje	Laje	Laje	Laje
W 310 x 38,7	Laje	Laje	Laje	Laje	Laje
W 310 x 32,7	Laje	Laje	Laje	Laje	Laje
W 310 x 28,3	Laje	Laje	Laje	Laje	Laje
W 310 x 23,8	Laje	Laje	Laje	Laje	Laje
W 310 x 21	Laje	Laje	Laje	Laje	Laje

Fonte: Autor.

Para a análise da família de perfis W 360, a Tabela 32 mostra uma diversidade de posições da linha neutra para esta família. Nos perfis W 360 x 32,9 e W 360 x 39 a posição da linha neutra é fixa na laje independente do comprimento de viga utilizado, para o perfil W 360 x 79 a linha neutra se encontra na mesa superior do perfil de aço para qualquer valor de vão. Os demais perfis pertencentes a esta categoria têm inicialmente a linha neutra na mesa superior e à medida que o comprimento da viga cresce ela se desloca para a laje. O gráfico do Anexo B, expõe mais uma vez que o momento resistente aumenta com a utilização de vãos maiores e a mudança de posição da linha neutra traz menores acréscimos do momento fletor resistente. Assim como as duas famílias anteriores o mesmo fenômeno da largura efetiva ocorre.

Tabela 32 - Posição da LNP para perfis W 360

Perfil	Posição da Linha Neutra Plástica para cada vão				
	600	700	800	900	1000
W 360 x 79	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior
W 360 x 72	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Laje
W 360 x 64	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Laje	Laje
W 360 x 57,8	Mesa Superior	Mesa Superior	Laje	Laje	Laje
W 360 x 51	Mesa Superior	Laje	Laje	Laje	Laje
W 360 x 44	Mesa Superior	Laje	Laje	Laje	Laje
W 360 x 39	Laje	Laje	Laje	Laje	Laje
W 360 x 32,9	Laje	Laje	Laje	Laje	Laje

Fonte: Autor.

Nos perfis W 410, a Tabela 33 indica um maior número de situações onde a linha neutra se encontra na mesa superior, os perfis W 410 x 75 e W 410 x 85 apresentam exclusivamente a linha neutra plástica na mesa superior e somente o perfil W 410 x 38,8 mantém a posição da linha neutra na laje, os demais perfis componentes da família W 410 em análise tendem a mudar a posição da linha neutra da mesa para a laje com o aumento do comprimento da viga. O gráfico desta família, tem o mesmo comportamento do gráfico anterior no qual todos os momentos resistentes variam positivamente com o aumento do vão e no momento em que ocorre a mudança da posição da linha neutra as variações de resistência se tornam menores.

Tabela 33 - Posição da LNP para perfis W 410

Perfil	Posição da Linha Neutra Plástica para cada vão				
	600	700	800	900	1000
W 410 x 85	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior
W 410 x 75	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior
W 410 x 67	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Laje
W 410 x 60	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Laje	Laje
W 410 x 53	Mesa Superior	Mesa Superior	Laje	Laje	Laje
W 410 x 46,1	Mesa Superior	Laje	Laje	Laje	Laje
W 410 x 38,8	Laje	Laje	Laje	Laje	Laje

Fonte: Autor.

Na família de perfis W 460, o gráfico tem as mesmas características das famílias anteriores. A Tabela 34 é majoritariamente composta por situações em que a linha neutra se encontra na mesa superior e em alguns casos a mesma pode se encontrar na laje. Apenas os perfis W 460 x 52; W 460 x 60 e W 460 x 68 apresentam a tendência de transição da localização da linha neutra da mesa para a laje com o aumento do vão, os demais perfis tem a mesma localizada na mesa superior para todos os casos observados.

Tabela 34 - Posição da LNP para perfis W 460

Perfil	Posição da Linha Neutra Plástica para cada vão				
	600	700	800	900	1000
W 460 x 97	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior
W 460 x 89	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior
W 460 x 82	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior
W 460 x 74	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior
W 460 x 68	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Laje
W 460 x 60	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Laje	Laje
W 460 x 52	Mesa Superior	Mesa Superior	Laje	Laje	Laje
W 460 x 106	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior

Fonte: Autor.

Para a família de perfis W 530, a Tabela 35 expõe novamente uma maior quantidade de situações onde a linha neutra se encontra na mesa superior com a ocorrência de apenas alguns casos onde tem se a mesma na alma ou na laje. O gráfico demonstra que com a passagem da linha neutra da alma para a mesa superior do perfil, ocorre um aumento brusco do valor do momento fletor resistente.

Tabela 35 - Posição da LNP para perfis W 530

Perfil	Posição da Linha Neutra Plástica para cada vão				
	600	700	800	900	1000
W 530 x 92	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior
W 530 x 85	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior
W 530 x 82	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior
W 530 x 74	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior
W 530 x 72	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Laje
W 530 x 66	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Laje	Laje
W 530 x 109	Alma	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior
W 530 x 101	Alma	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior

Fonte: Autor.

Na família W 610, a Tabela 36 apresentam uma diversidade de posições da linha neutra para cada situação observada. Os perfis apresentam inicialmente a linha neutra plástica na alma e com o aumento do vão a mesma se direciona para a mesa superior. O gráfico além de apresentar as características relacionadas ao aumento da resistência e largura efetiva, também demonstra que para todos os perfis quando acontece a transição da linha neutra da alma para a mesa superior ocorre uma variação brusca do momento resistente.

Tabela 36 - Posição da LNP para perfis W 610

Perfil	Posição da Linha Neutra Plástica para cada vão				
	600	700	800	900	1000
W 610 x 174	Alma	Alma	Alma	Mesa Superior	Mesa Superior
W 610 x 155	Alma	Alma	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior
W 610 x 140	Alma	Alma	Alma	Mesa Superior	Mesa Superior
W 610 x 125	Alma	Alma	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior
W 610 x 113	Alma	Alma	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior
W 610 x 101	Alma	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior	Mesa Superior

Fonte: Autor.

Para os gráficos que apresentam ganho de resistência acentuado fez-se estudo e constatou-se que as alterações acentuadas na resistência têm ligação direta com a mudança de posição da linha neutra plástica (LNP).

Conforme a Figura 23 a seguir, constata-se que a linha neutra plástica mudou da alma do perfil de aço para a mesa do mesmo e com isso o valor da força resistente de cálculo da região comprimida (C_{ad}) do perfil de aço diminui. Já para a força resistente de cálculo da região comprimida da laje de concreto aumenta.

Figura 23 – Comparação do dimensionamento do perfil W 610 x 174 para dois vãos.

L = 800 cm		L = 900 cm	
LNP na Alma		LNP na Mesa Superior	
Espessura comprimida da laje (cm) =	6,50	Espessura comprimida da laje (cm) =	6,50
Ccd	2367,86	Ccd	2663,84
Cad	2309,98	Cad	2161,99
Tad (kN) =	4677,84	Tad (kN) =	4825,83
yp	4,63	yp	2,12
yc	3,44	yc	1,06
yt	41,02	yt	17,29
Momento Resistente de Cálculo (kN*cm) =	113799,16	Momento Resistente de Cálculo (kN*cm) =	240173,99
Momento Resistente de Cálculo (kN*m) =	1137,99	Momento Resistente de Cálculo (kN*m) =	2401,74

Fonte: Autor.

Pode-se concluir que quando a linha neutra se movimenta e faz o sistema misto trabalhar mais próximo do ideal, no caso, laje de concreto resistindo a compressão e viga de aço resistindo a tração, ganha-se mais resistência ao conjunto misto.

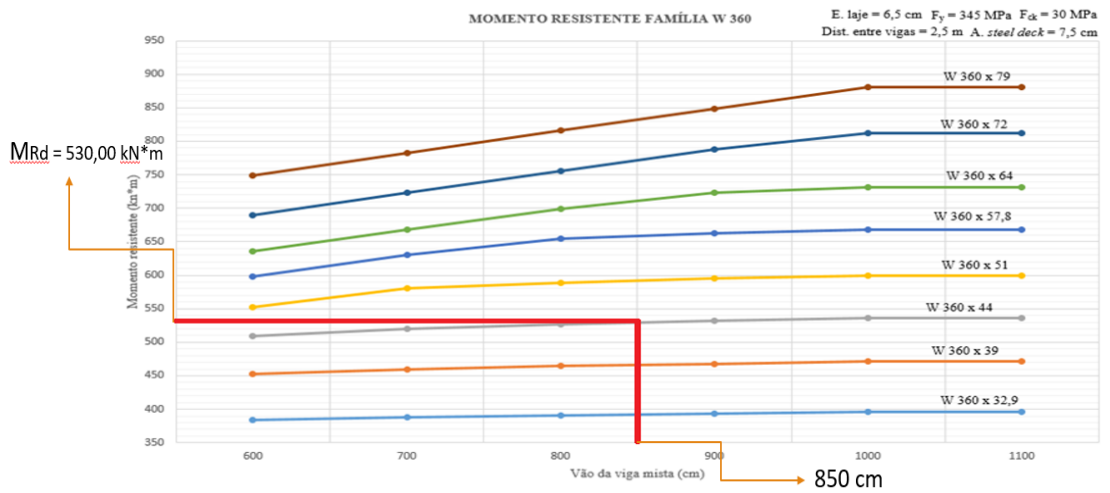
Após a análise de todos os perfis percebe-se que existe uma tendência da linha neutra em direcionar-se para a laje com o aumento do vão, isto ocorre devido ao aumento da largura efetiva, o que torna o valor da máxima força de plastificação na laje maior enquanto as características do perfil se mantêm inalteradas. As mudanças da alma para mesa superior fazem com que a viga mista tenha uma maior resistência evidenciando uma melhor situação.

Outro ponto preponderante para verificação de confiabilidade dos gráficos gerados pela tabela de dimensionamento fez-se um contraponto do momento resistente de cálculo encontrado na planilha para a mesma situação adotada no gráfico.

Tem-se então para o gráfico da família W360 nela foi selecionado o perfil W 360 x 66 que apresenta o momento fletor resistente de cálculo igual a aproximadamente 530,00 kN * m para o vão de 8,5 metros.

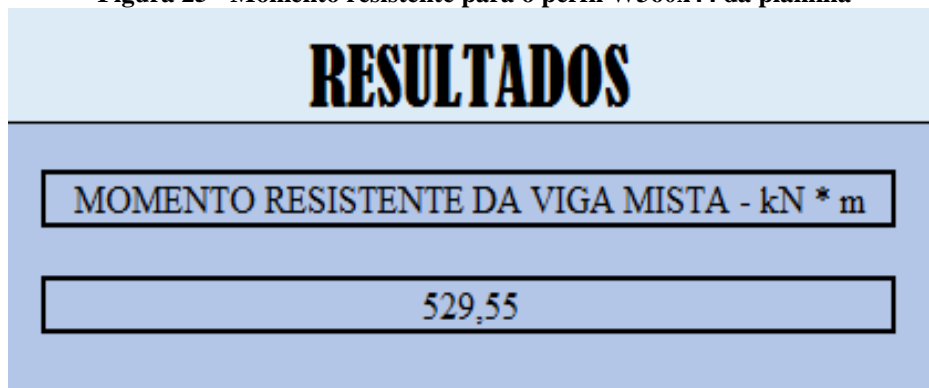
Posteriormente, foram inseridos estes dados de entrada na planilha e o resultado obtido através do *software* foi de 529,55 kN * m. Comparando o resultado encontrado no gráfico através do ponto de intersecção das linhas com o valor de momento resistente calculado através da planilha, percebe-se que a utilização do gráfico para obtenção do momento resistente da peça cumpre o mesmo papel da planilha.

Figura 24 - Momento resistente para o perfil W360x44



Fonte: Autor.

Figura 25 - Momento resistente para o perfil W360x44 da planilha



Fonte: Autor.

Por fim, pode-se notar que a planilha e os gráficos fornecem um dimensionamento prático para as vigas mistas de aço e concreto.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A maior contribuição deste trabalho é a apresentação e demonstração do processo de otimização do dimensionamento de viga mista com a utilização de *software*, que após a comparação dos estudos manuais com os resultados da tabela, provou-se eficaz na proposta inicial e posteriormente trouxe à tona o debate sobre a importância da posição da linha neutra e atuação do sistema misto.

Sendo assim são apresentadas, a seguir as considerações finais do trabalho.

6.1 CONCLUSÕES

Este trabalho buscou desenvolver um estudo teórico das vigas mistas biapoiadas com interação completa e seu dimensionamento possuindo como objetivo elaborar uma planilha na qual se contempla o dimensionamento desta estrutura de acordo com a NBR 8800:2008. Para isto, foram propostas três situações exemplo, com dados de entrada previamente determinados que proporcionaram a modelagem através do *software* possibilitando assim a automatização do procedimento de cálculo.

Através dos estudos teóricos, notou-se que o tópico estruturas mistas é bem amplo e que este sistema tem grandes vantagens relacionadas a tempo de execução e resistência.

Com relação a elaboração da planilha, percebe-se que a mesma executa o dimensionamento das vigas mistas de forma eficiente e precisa. Os gráficos feitos, assim como as tabelas mostram que a viga mista sofre bastante influência da posição na qual a linha neutra se encontra e que a mesma tende a se posicionar na laje de concreto quando alguns valores de dados de entrada são fixados.

Por fim, este trabalho abordou diante do tempo disponível, a teoria e o dimensionamento das vigas mistas de modo satisfatório.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Assim como foi citado anteriormente, o tema estrutura mista de aço e concreto consiste num assunto pouco abordado na graduação em Engenharia civil, logo é muito pouco explorado academicamente. Levando-se em conta a evolução dos sistemas construtivos, em especial o sistema misto, para que haja um maior desenvolvimento do assunto e no intuito de difundido-lo cada vez mais, recomenda-se possíveis temas para novos trabalhos nessa linha de pesquisa:

- Comparação entre as dimensões obtidas para as vigas mistas, as vigas somente metálicas e as vigas de concreto armado;
- Estudo do dimensionamento das vigas mistas ao esforço cortante;
- Verificação dos deslocamentos em vigas mistas de aço e concreto;
- Estudo sobre o dimensionamento das ligações mistas;

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Sebastião; VELLASCO, Pedro. **Comportamento e projeto de estruturas de aço**. 1. ed. Rio de Janeiro: Puc Rio, 2016. 390 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6355, Perfis estruturais formados a frio - Padronização** 2003, 37p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800, Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**, 2008, 235p.
- BELLEI, Ildony H.; PINHO, Fernando O.; PINHO, Mauro O. **Edifícios de múltiplos andares em aço**. 2^a. ed. São Paulo: PINI, 2008. 556p.
- BORGES, Rone S. F.; GOMES, Orlando F. **Análise experimental da resistência à flexão simples de vigas de aço tipo "i" compostas de perfis laminados dotados de emendas soldadas**. Goiás, 2p. Artigo. Revista Eletrônica Engenharia civil, 2016. (DISPONÍVEL EM SITE, ACESSADO EM 24/07/18)
- DA SILVA, Luís Simões et al. **Dimensionamento de estruturas de aço**: Comparação entre o Eurocódigo 3 e a Norma Brasileira NBR8800. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2016. 764 p.
- DE SOUZA, Alex Sander Clemente. **Dimensionamento de elementos e ligações em estruturas de aço**. São Carlos: EdUFSCar, 2017. 261 p.
- FAKURY, Ricardo H.; SILVA, Ana Lydia R Castro; CALDAS, Rodrigo B. **Dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto**. Editora Pearson, 2016. São Paulo.
- FERRANTE, Cesar Augusto de Oliveira. **Estudo Teórico-Experimental do Comportamento à Flexão de Vigas Mistas com Perfil Assimétrico Parcialmente Embutido**, 2015. 139p. Dissertação (Mestrado em Educação). Departamento de Engenharia Civil do Centro Técnico Científico da PUCRio., Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- Instituto Aço Brasil**. Processo de Fabricação, 2015. Disponível em: < <http://www.acobrasil.org.br/site2015/processo.html> >. Acesso em: 15 setembro. 2018.
- PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de Aço: Dimensionamento Prático**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. 357p.
- QUEIROZ, Gilson; PIMENTA, Roberval José; MARTINS, Alexander Galvão. **Estruturas Mistas**. 2^a. ed. Rio de Janeiro: CBCA, 2012. 68 p. v. 1.
- QUEIROZ, Gilson; PIMENTA, Roberval José; MARTINS, Alexander Galvão. **Estruturas Mistas**. 2^a. ed. Rio de Janeiro: CBCA, 2012. 55 p. v. 2.
- QUEIROZ, Gilson; PIMENTA, Roberval José. **Elementos das estruturas mistas aço-concreto**. Belo Horizonte: O Lutador, 2001. 336 p.
- SILVA, Edson Lubas; SILVA, Valdir Pignata. **Dimensionamento de perfis formados a frio conforme NBR 1462 e NBR 6355**. Rio de Janeiro: CBCA, 2008. 121 p.

ANEXO A - Tabela de Perfis I GERDAU e Catálogo METFORM

TABELA DE BITOLAS

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b ₁ mm	ESPESSURA				d' mm	Área cm ²	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r _i cm	l _i cm ³	ESBELTEZ		C _e cm ³	u m ³ /m	BITOLA in x lb/ft
				t _e mm	t _f mm	h mm	l _x cm ²			W _x cm ³	r _x cm	Z _x cm ³	l _y cm ²	W _y cm ³	r _y cm	Z _y cm ³	MESA - _s b ₁ /2t _e			ALMA - _s d'/t _e				
W 150 x 13,0	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6	635	85,8	6,18	96,4	82	16,4	2,22	25,5	2,60	1,72	10,20	27,49	4,181	0,67	W 6 x 8.5	
W 150 x 18,0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4	939	122,8	6,34	139,4	126	24,7	2,32	38,5	2,69	4,34	7,18	20,48	6,683	0,69	W 6 x 12	
W 150 x 22,5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0	1229	161,7	6,51	179,6	387	50,9	3,65	77,9	4,10	4,75	11,52	20,48	20,417	0,88	W 6 x 15	
W 150 x 24,0	24,0	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5	1384	173,0	6,63	197,6	183	35,9	2,41	55,8	2,73	11,08	4,95	17,48	10,206	0,69	W 6 x 16	
W 150 x 29,8 (H)	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5	1739	221,5	6,72	247,5	556	72,6	3,80	110,8	4,18	10,95	8,23	17,94	30,277	0,90	W 6 x 20	
W 150 x 37,1 (H)	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8	2244	277,0	6,85	313,5	707	91,8	3,84	140,4	4,22	20,58	6,84	14,67	39,930	0,91	W 6 x 25	
W 200 x 15,0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4	1305	130,5	8,20	147,9	87	17,4	2,12	27,3	2,55	2,05	9,62	39,44	8,222	0,77	W 8 x 10	
W 200 x 19,3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1	1686	166,1	8,19	190,6	116	22,7	2,14	35,9	2,59	4,02	7,85	29,31	11,098	0,79	W 8 x 13	
W 200 x 22,5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0	2029	197,0	8,37	225,5	142	27,9	2,22	43,9	2,63	6,18	6,38	27,42	13,868	0,79	W 8 x 15	
W 200 x 26,6	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2	2611	252,3	8,73	282,3	330	49,6	3,10	76,3	3,54	7,65	7,92	29,34	32,477	0,92	W 8 x 18	
W 200 x 31,3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3	3168	301,7	8,86	338,6	410	61,2	3,19	94,0	3,60	12,59	6,57	26,50	40,822	0,93	W 8 x 21	
W 200 x 35,9 (H)	35,9	201	165	6,2	10,2	181	161	45,7	3437	342,0	8,67	379,2	764	92,6	4,09	141,0	4,50	14,51	8,09	25,90	69,502	1,03	W 8 x 24	
W 200 x 41,7 (H)	41,7	205	166	7,2	11,8	181	157	53,5	4114	401,4	8,77	448,6	901	108,5	4,10	165,7	4,53	23,19	7,03	21,86	83,948	1,04	W 8 x 28	
W 200 x 46,1 (H)	46,1	203	203	7,2	11,0	181	161	58,6	4543	447,6	8,81	495,3	1535	151,2	5,12	229,5	5,58	22,01	9,23	22,36	141,342	1,19	W 8 x 31	
W 200 x 52,0 (H)	52,0	206	204	7,9	12,6	181	157	66,9	5298	514,4	8,90	572,5	1784	174,9	5,16	265,8	5,61	33,34	8,10	19,85	166,710	1,19	W 8 x 35	
HP 200 x 53,0 (H)	53,0	204	207	11,3	11,3	181	161	68,1	4977	488,0	8,55	551,3	1673	161,7	4,96	248,6	5,57	31,93	9,16	14,28	155,075	1,20	HP 8 x 36	
W 200 x 59,0 (H)	59,0	210	205	9,1	14,2	182	158	76,0	6140	584,8	8,99	655,9	2041	199,1	5,18	303,0	5,64	47,69	7,22	17,32	195,418	1,20	W 8 x 40	
W 200 x 71,0 (H)	71,0	216	206	10,2	17,4	181	161	91,0	7660	709,2	9,17	803,2	2537	246,3	5,28	374,5	5,70	81,66	5,92	15,80	249,976	1,22	W 8 x 48	
W 200 x 86,0 (H)	86,0	222	209	13,0	20,6	181	157	110,9	9498	855,7	9,26	984,2	3139	300,4	5,32	458,7	5,77	142,19	5,07	12,06	317,844	1,23	W 8 x 58	
W 200 x 100,0 (H)*	100,0	229	210	14,5	23,7	182	158	127,1	11355	991,7	9,45	1152,2	3664	349,0	5,37	533,4	5,80	212,61	4,43	10,87	385,454	1,25	W 8 x 67	
W 250 x 17,9	17,9	251	101	4,8	5,3	240	220	23,1	2291	182,6	9,96	211,0	91	18,1	1,99	28,8	2,48	2,54	9,53	45,92	13,735	0,88	W 10 x 12	
W 250 x 22,3	22,3	254	102	5,8	6,9	240	220	28,9	2939	231,4	10,09	267,7	123	24,1	2,06	38,4	2,54	4,77	7,39	37,97	18,629	0,89	W 10 x 15	
W 250 x 25,3	25,3	257	102	6,1	8,4	240	220	32,6	3473	270,2	10,31	311,1	149	29,3	2,14	46,4	2,58	7,06	6,07	36,10	22,955	0,89	W 10 x 17	
W 250 x 28,4	28,4	260	102	6,4	10,0	240	220	36,6	4046	311,2	10,51	357,3	178	34,8	2,20	54,9	2,62	10,34	5,10	34,38	27,636	0,90	W 10 x 19	
W 250 x 32,7	32,7	258	146	6,1	9,1	240	220	42,1	4937	382,7	10,83	425,8	473	64,8	3,35	99,7	3,86	10,44	8,02	36,03	73,104	1,07	W 10 x 22	
W 250 x 38,5	38,5	262	147	6,6	11,2	240	220	49,6	6057	462,4	11,05	517,8	594	80,8	3,46	124,1	3,93	17,63	6,56	33,27	93,242	1,08	W 10 x 26	
W 250 x 44,8	44,8	266	148	7,6	13,0	240	220	57,6	7158	538,2	11,15	606,3	704	95,1	3,50	146,4	3,96	27,14	5,69	28,95	112,398	1,09	W 10 x 30	
HP 250 x 62,0 (H)	62,0	246	256	10,5	10,7	225	201	79,6	8728	709,6	10,47	790,5	2995	234,0	6,13	357,8	6,89	33,46	11,96	19,10	414,130	1,47	HP 10 x 42	
W 250 x 73,0 (H)	73,0	253	254	8,6	14,2	225	201	92,7	11257	889,9	11,02	983,3	3880	300,5	6,47	463,1	7,01	56,94	8,94	23,33	552,900	1,48	W 10 x 49	
W 250 x 80,0 (H)	80,0	256	255	9,4	15,6	225	201	101,9	12550	980,5	11,10	1088,7	4313	338,3	6,51	513,1	7,04	75,02	8,17	21,36	622,878	1,49	W 10 x 54	
HP 250 x 85,0 (H)	85,0	254	260	14,4	14,4	225	201	108,5	12280	966,9	10,84	1093,2	4225	325,0	6,24	499,6	7,00	82,07	9,03	13,97	605,403	1,50	HP 10 x 57	
W 250 x 89,0 (H)	89,0	260	256	10,7	17,3	225	201	113,9	14237	1095,1	11,18	1224,4	4841	378,2	6,52	574,3	7,06	102,81	7,40	18,82	712,351	1,50	W 10 x 60	
W 250 x 101,0 (H)	101,0	264	257	11,9	19,6	225	201	128,7	16352	1238,8	11,27	1395,0	5549	431,8	6,57	656,3	7,10	147,70	6,56	16,87	828,031	1,51	W 10 x 68	
W 250 x 115,0 (H)	115,0	269	259	13,5	22,1	225	201	146,1	18920	1406,7	11,38	1597,4	6405	494,6	6,62	752,7	7,16	212,00	5,86	14,87	975,265	1,53	W 10 x 77	
W 250 x 131,0 (H)*	131,0	275	261	15,4	25,1	225	193	167,8	22243	1617,7	11,51	1855,6	7448	570,7	6,66	870,7	7,21	321,06	5,20	12,52	1.161.225	1,54	W 10 x 88	
W 250 x 149,0 (H)*	149,0	282	263	17,3	28,4	225	193	190,5	26027	1845,9	11,69	2137,5	8624	655,8	6,73	1001,7	7,27	462,06	4,63	11,17	1.384.436	1,55	W 10 x 100	
W 250 x 167,0 (H)*	167,0	289	265	19,2	31,8	225	193	214,0	30110	2083,7	11,86	2435,3	9880	745,7	6,79	1140,2	7,33	644,95	4,17	10,07	1.631.156	1,57	W 10 x 112	
W 310 x 21,0	21,0	303	101	5,1	5,7	292	272	27,2	3776	249,2	11,77	291,9	98	19,5	1,90	31,4	2,42	3,27	8,86	53,25	21,628	0,98	W 12 x 14	
W 310 x 23,8	23,8	305	101	5,6	6,7	292	272	30,7	4346	285,0	11,89	333,2	116	22,9	1,94	36,9	2,45	4,65	7,54	48,50	25,594	0,99	W 12 x 16	
W 310 x 28,3	28,3	309	102	6,0	8,9	291	271	36,5	5500	356,0	12,28	412,0	158	31,0	2,08	49,4	2,55	8,14	5,73	45,20	35,441	1,00	W 12 x 19	
W 310 x 32,7	32,7	313	102	6,6	10,8	291	271	42,1	6570	419,8	12,49	485,3	192	37,6	2,13	59,8	2,58	12,91	4,72	41,12	43,612	1,00	W 12 x 22	
W 310 x 38,7	38,7	310	165	5,8	9,7	291	271	49,7	8581	553,6	13,14	615,4	727	88,1	3,82	134,9	4,38	13,20	8,51	46,66	63,728	1,25	W 12 x 26	
W 310 x 44,5	44,5	313	166	6,6	11,2	291	271	57,2	9997	638,8	13,22	712,8	855	103,0	3,87	158,0	4,41	19,90	7,41	41,00	194,433	1,26	W 12 x 30	
W 310 x 52,0	52,0	317	167	7,6	13,2	291	271	67,0	11909	751,4	13,33	842,5	1026	122,9	3,91	188,8	4,45	31,81	6,33	35,61	236,422	1,27	W 12 x 35	
W 310 x 60,0*	60,0	303	203	7,5	13,1	277	245	76,1	12908	852,0	13,02	944,3	1829	228,7	4,90	275,4	5,48	40,46	6,29	26,11	383,747	1,38	W 12 x 40	
W 310 x 67,0*	67,0	306	204	8,5	14,6	277	245	85,3	14559	951,5	13,06	1060,4	2069	202,8	4,92	310,5	5,51	55,35	6,99	28,80	438,542	1,38	W 12 x 45	
W 310 x 74,0*	74,0	310	205	9,4	16,3	277	245	95,1	16501	1064,6	13,17	1192,0	2344	180,2	4,96	350,5	5,54	75,51	7,75	32,64	504,715	1,39	W 12 x 50	
HP 310 x 79,0 (H)	79,0	299	306	11,0	11,0	277	245	100,0	16316	1091,3	12,77	1210,1	5258	343,7	7,25	525,4	8,20	46,72	13,91	22,27	1.089.258	1,77	HP 12 x 53	
HP 310 x 93,0 (H)	93,0	303	308	13,1	13,1	277	245	119,2	19682	1299,1	12,85	1450,3	6387	414,7	7,32	635,5	8,26	77,33	11,76	18,69	1.340.320	1,78	HP 12 x 63	
W 310 x 97,0 (H)	97,0	308	305	9,9	15,4</																			

W 360 x 51,0	51,0	355	171	7,2	11,6	332	308	64,8	14222	801,2	14,81	899,5	968	113,3	3,87	174,7	4,49	24,65	7,37	42,75	284,994	1,36	W 14 x 34
W 360 x 58	58,0	358	172	7,9	13,1	332	308	72,5	16143	901,8	14,92	1014,8	1113	129,4	3,92	199,8	4,53	34,45	6,56	38,96	330,394	1,37	W 14 x 38
W 360 x 64,0	64,0	347	203	7,7	13,5	320	288	81,7	17890	1031,1	14,80	1145,5	1885	185,7	4,80	284,5	5,44	44,57	7,52	37,40	523,362	1,46	W 14 x 43
W 360 x 72,0	72,0	350	204	8,6	15,1	320	288	91,3	20169	1152,5	14,86	1285,9	2140	209,8	4,84	321,8	5,47	61,18	6,75	33,47	599,082	1,47	W 14 x 48
W 360 x 79,0	79,0	354	205	9,4	16,8	320	288	101,2	22713	1283,2	14,98	1437,0	2416	235,7	4,89	361,9	5,51	82,41	6,10	30,68	685,701	1,48	W 14 x 53
W 360 x 91,0 (H)	91,0	353	254	9,5	16,4	320	288	115,9	26755	1515,9	15,19	1680,1	4483	353,0	6,22	538,1	6,90	92,61	7,74	30,34	1.268,709	1,68	W 14 x 61
W 360 x 101,0 (H)	101,0	357	255	10,5	18,3	320	286	129,5	30279	1696,3	15,29	1888,9	5063	397,1	6,25	606,1	6,93	128,47	6,97	27,28	1.450,410	1,68	W 14 x 68
W 360 x 110,0 (H)	110,0	360	256	11,4	19,9	320	288	140,6	33155	1841,9	15,36	2059,3	5570	435,2	6,29	664,5	6,96	161,93	6,43	25,28	1.609,070	1,69	W 14 x 74
W 360 x 122,0 (H)	122,0	363	257	13,0	21,7	320	288	155,3	36599	2016,5	15,35	2269,8	6147	478,4	6,29	732,4	6,98	212,70	5,92	22,12	1.787,806	1,70	W 14 x 82
W 410 x 38,8	38,8	399	140	6,4	8,8	381	357	50,3	12777	640,5	15,94	736,8	404	57,7	2,83	90,9	3,49	11,69	7,95	55,84	153,190	1,32	W 16 x 26
W 410 x 46,1	46,1	403	140	7,0	11,2	381	357	59,2	15690	778,7	16,27	891,1	514	73,4	2,95	115,2	3,55	20,06	6,25	50,94	196,571	1,33	W 16 x 31
W 410 x 53,0	53,0	403	177	7,5	10,9	381	357	68,4	18734	929,7	16,55	1052,2	1009	114,0	3,84	176,9	4,56	23,38	8,12	47,63	387,194	1,48	W 16 x 36
W 410 x 60,0	60,0	407	178	7,7	12,8	381	357	76,2	21707	1066,7	16,88	1201,5	1205	135,4	3,98	209,2	4,65	33,78	6,95	46,42	467,404	1,49	W 16 x 40
W 410 x 67,0	67,0	410	179	8,8	14,4	381	357	86,3	24678	1203,8	16,91	1362,7	1379	154,1	4,00	239,0	4,67	48,11	6,22	40,59	538,546	1,50	W 16 x 45
W 410 x 75,0	75,0	413	180	9,7	16,0	381	357	95,8	27616	1337,3	16,98	1518,6	1559	173,2	4,03	269,1	4,70	65,21	5,63	36,80	612,784	1,51	W 16 x 50
W 410 x 85,0	85,0	417	181	10,9	18,2	381	357	108,6	31658	1518,4	17,07	1731,7	1804	199,3	4,08	310,4	4,74	94,48	4,97	32,72	715,165	1,52	W 16 x 57
W 460 x 52,0	52,0	450	152	7,6	10,8	428	404	66,6	21370	949,8	17,91	1095,9	634	83,5	3,09	131,7	3,79	21,79	7,04	53,21	304,837	1,47	W 18 x 35
W 460 x 60,0	60,0	455	153	8,0	13,3	428	404	76,2	25652	1127,6	18,35	1292,1	796	104,1	3,23	163,4	3,89	34,60	5,75	50,55	387,230	1,49	W 18 x 40
W 460 x 68,0	68,0	459	154	9,1	15,4	428	404	87,6	29851	1300,7	18,46	1495,4	941	122,2	3,28	192,4	3,93	52,29	5,00	44,42	461,163	1,50	W 18 x 46
W 460 x 74,0	74,0	457	190	9,0	14,5	428	404	94,9	33415	1462,4	18,77	1657,4	1661	174,8	4,18	271,3	4,93	52,97	6,55	44,89	811,417	1,64	W 18 x 50
W 460 x 82,0	82,0	460	191	9,9	16,0	428	404	104,7	37157	1615,5	18,84	1836,4	1862	195,0	4,22	303,3	4,96	70,62	5,97	40,81	915,745	1,64	W 18 x 55
W 460 x 89,0	89,0	463	192	10,5	17,7	428	404	114,1	41105	1775,6	18,98	2019,4	2293	218,0	4,28	339,0	5,01	92,49	5,42	38,44	1.035,073	1,65	W 18 x 60
W 460 x 97,0	97,0	466	193	11,4	19,0	428	404	123,4	44658	1916,7	19,03	2187,4	2283	236,6	4,30	368,8	5,03	115,05	5,08	35,44	1.137,180	1,66	W 18 x 65
W 460 x 106,0	106,0	469	194	12,6	20,6	428	404	135,1	48978	2088,6	19,04	2394,6	2515	259,3	4,32	405,7	5,05	148,19	4,71	32,05	1.260,063	1,67	W 18 x 71
W 530 x 66,0	66,0	525	165	8,9	11,4	502	478	83,6	34971	1332,2	20,46	1558,0	857	103,9	3,20	166,0	4,02	31,52	7,24	53,73	562,854	1,67	W 21 x 44
W 530 x 72,0	72,0	524	207	9,0	10,9	502	478	91,6	39969	1525,5	20,89	1755,9	1615	156,0	4,20	244,6	5,16	33,41	9,50	53,13	1.060,548	1,84	W 21 x 48
W 530 x 74,0	74,0	529	166	9,7	13,6	502	478	95,1	40969	1548,9	20,76	1804,9	1041	125,5	3,31	200,1	4,10	47,39	6,10	49,26	688,558	1,68	W 21 x 50
W 530 x 82,0	82,0	528	209	9,5	13,3	501	477	104,5	47589	1801,8	21,34	2058,5	2028	194,1	4,41	302,7	5,31	51,23	7,86	50,25	1.340,255	1,85	W 21 x 55
W 530 x 85,0	85,0	535	166	10,3	16,5	502	478	107,7	48453	1811,3	21,21	2099,8	1263	152,2	3,42	241,6	4,17	72,93	5,03	46,41	845,463	1,69	W 21 x 57
W 530 x 92,0	92,0	533	209	10,2	15,6	502	478	117,6	55157	2069,7	21,65	2359,8	2379	227,6	4,50	354,7	5,36	75,50	6,70	46,84	1.588,565	1,86	W 21 x 62
W 530 x 101,0	101,0	537	210	10,9	17,4	502	470	130,0	62198	2316,5	21,87	2640,4	2693	256,5	4,55	400,6	5,40	106,04	6,03	43,14	1.812,734	1,86	W 21 x 68
W 530 x 109,0	109,0	539	211	11,6	18,8	501	469	139,7	67226	2494,5	21,94	2847,0	2952	279,8	4,60	437,4	5,44	131,38	5,61	40,47	1.991,291	1,87	W 21 x 73
W 530 x 123,0*	123,0	544	212	13,1	21,2	502	470	157,8	76577	2815,3	22,03	3228,1	3378	318,7	4,63	500,2	5,47	186,69	5,00	35,85	2.300,400	1,88	W 21 x 83
W 530 x 138,0*	138,0	549	214	14,7	23,8	501	469	177,8	87079	3172,3	22,13	3653,3	3904	364,8	4,69	574,5	5,53	262,76	4,50	31,93	2.680,751	1,90	W 21 x 93
W 610 x 82,0	82,0	599	178	10,0	12,8	573	541	105,1	58628	1890,8	23,21	2219,9	1210	135,9	3,39	219,0	4,29	51,82	6,95	54,14	1.033,595	1,86	W 24 x 55
W 610 x 92,0	92,0	603	179	10,9	15,0	573	541	118,4	65277	2165,1	23,48	2535,8	1442	161,1	3,49	259,3	4,37	74,73	5,97	49,63	1.239,349	1,87	W 24 x 62
W 610 x 101,0	101,0	603	228	10,5	14,9	573	541	130,3	77003	2554,0	24,31	2922,7	2951	258,8	4,76	405,0	5,76	81,68	7,85	51,54	2.544,966	2,07	W 24 x 68
W 610 x 113,0	113,0	608	228	11,2	17,3	573	541	145,3	88196	2901,2	24,64	3312,9	3426	300,5	4,86	469,7	5,82	116,50	6,59	48,34	2.981,078	2,08	W 24 x 76
W 610 x 125,0	125,0	612	229	11,9	19,6	573	541	160,1	99184	3241,3	24,89	3697,3	3933	343,5	4,96	536,3	5,89	159,50	5,84	45,45	3.441,766	2,09	W 24 x 84
W 610 x 140,0	140,0	617	230	13,1	22,2	573	541	179,3	112619	3650,5	25,06	4173,1	4515	392,6	5,02	614,0	5,94	225,01	5,18	41,27	3.981,887	2,10	W 24 x 94
W 610 x 153,0*	153,0	623	229	14,0	24,9	573	541	196,5	125783	4038,0	25,30	4622,7	4999	436,6	5,04	683,3	5,94	303,29	4,60	38,66	4.456,995	2,11	W 24 x 103
W 610 x 155,0	155,0	611	324	12,7	19,0	573	541	198,1	129583	4241,7	25,58	4749,1	10783	665,6	7,38	1022,6	8,53	200,77	8,53	42,60	9.436,714	2,47	W 24 x 104
W 610 x 174,0	174,0	616	325	14,0	21,6	573	541	222,8	147754	4797,2	25,75	5383,3	12374	761,5	7,45	1171,1	8,58	286,88	7,52	38,63	10.915,665	2,48	W 24 x 117
W 610 x 195,0	195,0	622	327	15,4	24,4	573	541	250,1	168484	5417,5	25,96	6095,4	14240	870,9	7,55	1341,0	8,66	405,29	6,70	35,14	12.695,302	2,49	W 24 x 131
W 610 x 217,0	217,0	628	328	16,5	27,7	573	541	278,4	191395	6095,4	26,22	6868,8	16316	994,9	7,66	1531,6	8,73	570,21	5,92	32,76	14.676,643	2,51	W 24 x 146

Revisão da tabela: 09/2017

*Bólas produzidas sob encomenda.

Características Dimensionais e Propriedades Geométricas de acordo com as normas ABNT NBR 15980:2011 e ASTM A6/AM.



PROPRIEDADES MECÂNICAS

	ASTM A 572 Grau 50	ASTM A 572 Grau 60*	ASTM A 992*	AÇO COR 500*	ASTM A 131 AH32*	ASTM A 131 AH36*
Limite de escoamento (MPa)	345 mín.	415 mín.	345 a 450	370 mín.	315 mín.	355 mín.
Limite de Resistência (MPa)	450 mín.	520 mín.	450 mín.	500 mín.	440 a 590	490 a 620
Alongamento após ruptura (%)	18 mín.	16 mín.	18 mín.	18 mín.	19 mín.	19 mín.

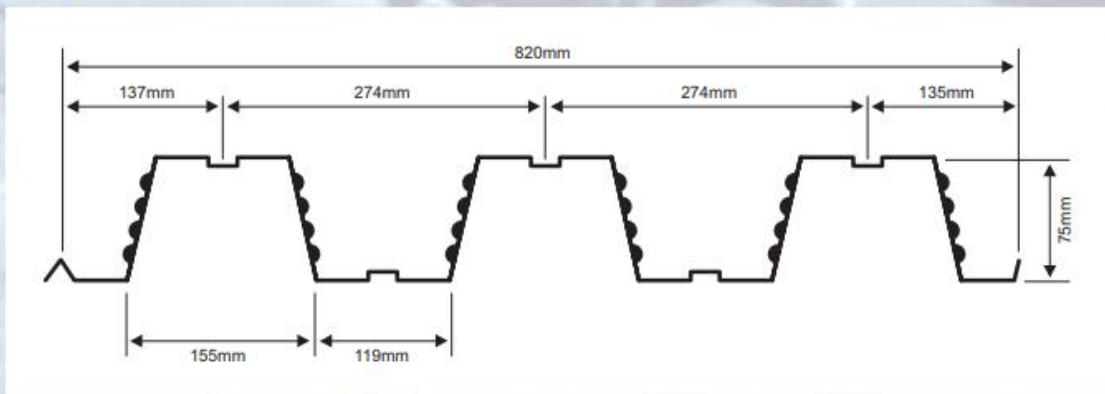
*Sob encomenda.

As especificações dos aços ASTM A 572 Grau 50 e AÇO COR 500, de acordo com a Norma NBR 7007:2011, são AR 350 e AR 350 COR, respectivamente.

Tabela de cargas e vão máximos - MF-75

	Altura total da laje (mm)	Espessura Steel Deck (mm)	Vãos Máximos sem Escoramento				Peso Próprio (kN/m ²)	M. Inércia Laje Mista (10 ⁶ mm ⁴ /m)	Vãos Máximos							
			Simples (mm)	Duplos (mm)	Triplos (mm)	Balanço (mm)			2.000	2.100	2.200	2.300	2.400	2.500	2.600 Carga sobreposta	2.700
Lajes de Forro	130	0,80	2.350	3.200	3.300	1.150	2,27	10,66	11,87	10,56	9,42	8,43	7,56	6,79	6,11	5,51
		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
		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
Lajes de Piso	140	0,80	2.200	3.100	3.200	1.150	2,50	13,17	13,16	11,71	10,45	9,35	8,39	7,54	6,78	6,11
		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
		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
	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
		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
		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
	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
		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
		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
	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
		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
		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
	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
		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
		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
	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
		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
		1,25	3.000	3.600	3.700	1.400	3,73	37,52	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	19,06	17,43	15,97
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	
	0,95	1.950	2.950	3.050	1.150	3,93	39,19	20,00	20,00	20,00	18,08	16,33	14,78	13,40	12,17	
	1,25	2.900	3.500	3.650	1.400	3,97	43,51	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	18,58	17,03	

Dimensões



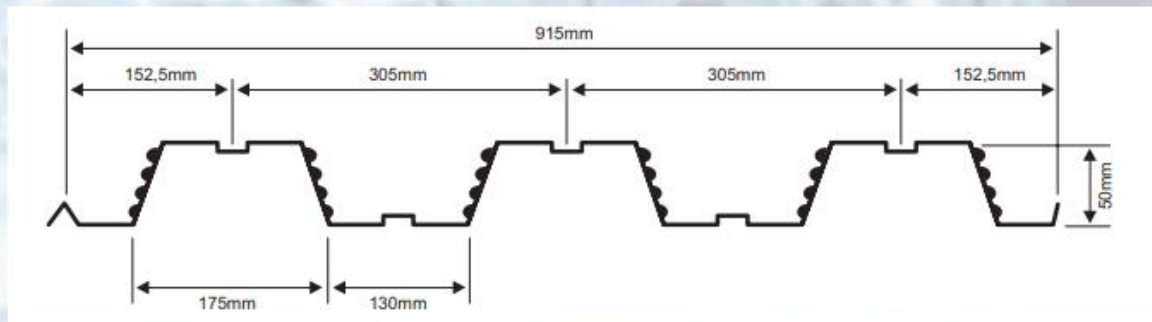
Propriedades físicas - para largura de 1.000mm

Esp. Final (mm)	Esp. projeto (mm)	Altura total (mm)	Peso (kg/m ²)	Reações máximas de apoio		Módulo de Resistência (mm ³)	Inércia para Deformação (mm ⁴)	Área de aço (mm ²)	Centro de Gravidade (mm)
				Externo kN	Interno kN				
0,80	0,76	74,98	9,37	6,76	21,01	22.710	1.017.138	1.112	37,49
0,95	0,91	75,13	11,12	8,90	29,70	28.788	1.254.749	1.332	37,57
1,25	1,21	75,43	14,63	14,62	49,53	40.599	1.666.741	1.771	37,72

Tabela de cargas e vão máximos - MF-50

Altura total da laje (mm)	Espessura Steel Deck (mm)	Vãos Máximos sem Escoramento				Peso Próprio (kN/m ²)	M. Inércia Laje Mista (10 ⁴ mm ² /m)	Vãos Máximos								
		Simples (mm)	Duplos (mm)	Triplos (mm)	Balanço (mm)			1.800	1.900	2.000	2.100	2.200	2.300	2.400	2.500	
Lajes de Forro	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
		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
		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
Lajes de Piso	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
		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
		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
Lajes de Piso	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
		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
		1,25	2.950	3.550	3.550	1.350	2,36	10,49	20,00	18,33	16,20	14,36	12,77	11,40	10,19	9,13
Lajes de Piso	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
		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
		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
Lajes de Piso	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
		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
		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
Lajes de Piso	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
		0,95	1.700	2.650	2.750	950	3,04	17,98	19,54	17,13	15,08	13,33	11,80	10,48	9,32	8,30
		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
Lajes de Piso	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
		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
		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
Lajes de Piso	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
		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
		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

Dimensões



Propriedades físicas - para largura de 1.000mm

Esp. Nominal (mm)	Esp. projeto (mm)	Altura total (mm)	Peso (kg/m ²)	Reações máximas de apoio		Módulo de Resistência (mm ²)	Inércia para Deformação (mm ⁴)	Área de aço (mm ²)	Centro de Gravidade (mm)
				Externo kN	Interno kN				
0,80	0,76	52,26	8,39	4,95	14,67	14.599	449.419	997	26,13
0,95	0,91	52,41	9,97	6,51	20,89	18.778	562.372	1.193	26,21
1,25	1,21	52,71	13,11	11,41	35,43	27.791	786.502	1.587	26,36

APÊNDICE B – Gráficos momento resistente x vão

