

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**CARLOS ALBERTO DE ABREU LISBOA DE ALMEIDA
DEIVISON DOS SANTOS FARIA**

**ESTUDO E DIMENSIONAMENTO DE VIGAS MISTAS: AÇO
E CONCRETO**

ANÁPOLIS / GO

2019

**CARLOS ALBERTO DE ABREU LISBOA DE ALMEIDA
DEIVISON DOS SANTOS FARIA**

**ESTUDO E DIMENSIONAMENTO DE VIGAS MISTAS: AÇO
E CONCRETO**

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

ORIENTADOR: ROGÉRIO SANTOS CARDOSO

ANÁPOLIS / GO: 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

ALMEIDA, CARLOS ALBERTO DE ABREU LISBOA / FARIA, DEIVISON DOS SANTOS

Estudo e Dimensionamento de Vigas Mistas: Aço e Concreto

109P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|--------------------------|---------------------------------|
| 1. Viga Simples | 2. Viga Mista |
| 3. Armadura Longitudinal | 4. Conectores de Cisalhamento |
| I. ENC/UNI | II. Bacharel (10 ^o) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALMEIDA, Carlos Alberto de Abreu Lisboa; FARIA, Deivison dos Santos. Estudo e Dimensionamento de Vigas Mistas: Aço e Concreto. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 109p. 2019.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Carlos Alberto de Abreu Lisboa de Almeida


Deivison dos Santos Faria

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Estudo e Dimensionamento de Vigas Mistas: Aço e Concreto.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2019

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



Carlos Alberto de Abreu Lisboa de Almeida

E-mail: engcivil.lisboa@gmail.com



Deivison dos Santos Faria

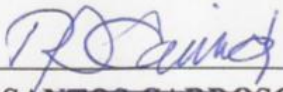
E-mail: deivi788@gmail.com

**CARLOS ALBERTO DE ABREU LISBOA DE ALMEIDA
DEIVISON DOS SANTOS FARIA**


**ESTUDO E DIMENSIONAMENTO DE VIGAS MISTAS: AÇO
E CONCRETO**

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


APROVADO POR:



**ROGÉRIO SANTOS CARDOSO, Mestre (UniEvangélica)
(ORIENTADOR)**



**EDUARDO MARTINS TOLEDO, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**WILLIAM PEREIRA DOS SANTOS JÚNIOR, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 03 de MAIO de 2019.

AGRADECIMENTOS

Em uma reflexão, é muito gratificante lembrar de cada passo realizado para chegar nesse momento, onde várias vezes a dificuldade e o cansaço do dia a dia tentou me desanimar, mas um eterno amigo sempre me sustentou, me deu as mãos e concedeu-me força para nunca desistir. E não poderia chegar nesse presente momento, sem que não agradecesse meu eterno e fiel amigo "Deus" em primeiro lugar, sem a presença dele em minha vida, nada teria motivo e tudo seria em vão. "Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo o propósito debaixo do céu (Bíblia, Ec 3:1)."

Agradeço ao meu pai incessantemente por toda confiança em minha pessoa, onde nunca mediu esforços mesmo com todas dificuldades nesse período para me ajudar desde o início até a conclusão dessa etapa, me oferecendo os melhores conselhos e realmente sendo um pilar de referência, de humildade e sabedoria em minha vida. Te agradeço pai, e sempre seremos melhores amigos.

Agradeço a minha esposa, que a sua paciência é sempre infinita com as minhas preocupações e ansiedade. Quantas foram as vezes que as suas sábias palavras me acalmaram e a sua determinação sempre me motivou. Realmente você é um presente inestimável de Deus em minha vida, juntos e com muito amor somos mais fortes. Obrigado por todo seu apoio.

Gratidão é uma atitude necessária em nossas vidas, logo sou totalmente grato pela minha sublime família, onde todos têm uma importante contribuição durante todos esses anos, mas tenho alguns agradecimentos em especial. Obrigado mãe pelo seu grandioso amor e preocupação, separando uma grande parte de sua vida, para batalhar e dedicar pela nossa família. Obrigado minha irmã Isadora pela sua amizade, pois também nunca mediu esforços para me ajudar no que fosse necessário. Obrigado minha irmã Isabela, mesmo residindo longe, sempre presente em minha vida, onde as suas mensagens de preocupação com meus estudos e conselhos sempre estarão guardadas em meu coração.

Tantas riquezas existe no mundo, mas quem tem um amigo tem tudo e durante essa jornada, conquistei amizades que serão levadas por toda minha vida, amizades sem ganância e sem individualismo, ou seja, amizades verdadeiras. Agradeço aos meus amigos Cleyton Lima, Daniella Silva, Isack Melo, Matheus Monteiro, pelo imenso apoio nesses anos. Em especial, ao meu amigo e dupla Deivison dos Santos, pela toda persistência, firmeza e colaboração na elaboração de nosso trabalho de conclusão de curso. Agradeço também ao meu amigo e coordenador de logística da empresa Porto Seco Centro Oeste Thiago Lisboa, que além de ser

um grande líder, foi de enorme importância nos ensinamentos profissionais e pessoais, que foram de fundamental importância nesta jornada.

Não poderia deixar de agradecer ao orientador e Mestre Rogério Santos Cardoso, pelos sábios ensinamentos e conselhos na sala de aula e em cada orientação, onde levarei por toda minha vida com muita gratidão e aplicarei os mesmos com exatidão em todas atividades que eu exercer na engenharia civil.

Obrigado a todos que contribuíram diretamente e indiretamente, cada um sempre estará em minhas orações, Deus abençoe infinitamente a todos nós.

Carlos Alberto de Abreu Lisboa de Almeida

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à Deus por ter me proporcionado saúde e a oportunidade de concluir a graduação em Engenharia Civil. Sem sua misericórdia não chegaria até onde cheguei, mesmo com muitas dificuldades. Segundo, a minha dupla Carlos Alberto, que por muitas vezes abriu mão de suas particularidades para dar andamento nesse trabalho.

Agradeço a minha família e minha namorada que me incentivaram a sempre querer buscar o melhor, especialmente minha mãe e o tio Miguel nos quais foram primordiais para que eu me interessasse em um curso superior. Vocês são a minha inspiração.

Agradeço também, aos professores pelos os ensinamentos tanto em conhecimentos técnicos quanto de valores humanos, e em especial, ao nosso orientador professor Mestre Rogério Cardoso, com toda a paciência nos orientou sem medir esforços e tirou nossas dúvidas, independente do horário. Sem o senhor não teríamos sucesso nesse trabalho de conclusão de curso. Por fim, agradeço aos meus amigos da faculdade, que mesmo indiretamente sempre nos apoiou. Deus continue abençoando a todos.

Deivison dos Santos Faria

RESUMO

Na construção civil, o uso de diferentes materiais pode proporcionar melhores resultados, principalmente em elementos estruturais. Desde séculos passados onde o ferro fundido e o ferro forjado que eram os mais utilizados, o aço surgiu para mudar a estrutura metálica, e desde então se tornou o material fundamental para essa categoria. O concreto armado é um dos elementos estruturais mais utilizado em edificações, por ter fácil acesso e manuseio. Com a utilização de ambas, surge várias vantagens como agilidade na execução, diminuição de custos, diminuição de carga própria e capacidade de suportar maiores vãos. Além disso, quando usufruírem o que uma pode proporcionar a outra, ao mesmo tempo se tornará apenas uma estrutura, denominado de sistema misto. Pode ser laje mista, pilar misto e viga mista. Nesse trabalho foi aplicado a viga mista. A união é associada à laje maciça de concreto armado com a viga de perfil de aço laminado, sendo soldado ou formado a frio, ligados com conectores de cisalhamento que são soldados na face superior do perfil e chumbados na face inferior da laje. A NBR 8800 (ABNT, 2008) faz análise ao comportamento do deslocamento vertical e emprega parâmetros de segurança ao cálculo de estados limites, para que a estrutura suporte o momento fletor e força cortante. A NBR 8800 (ABNT, 2008) também dimensiona a viga simples, sem estar conectada à laje, que a mesma sofrerá um deslocamento vertical maior ao comparado de quando estiverem interligadas (viga mista), assim resultando que laje e a viga trabalhem juntas para resistirem a flexão. No dimensionamento prático, obedecendo a NBR 8800 (ABNT, 2008), foi analisado as vigas de um edifício de múltiplos pavimentos de obra finalizada, sendo que foi apresentado ao final uma análise entre os resultados de duas vigas simples e duas vigas mistas.

PALAVRAS-CHAVE:

Introdução. Objetivo. Metodologia. Aço. Concreto armado. Viga simples. Viga mista. Dimensionamento. Resultados. Comparação. Conclusão.

ABSTRACT

In construction, the use of different materials can provide better results, especially in structural elements. Since centuries past where cast iron and wrought iron were the most used, steel has come to change the metal structure, and has since become the material for that category. Reinforced concrete is one of the most used structural elements in buildings because it has easy access and handling. With the use of both, there are several advantages such as agility in execution, reduction of costs, reduction of own load and capacity to withstand higher spans. Moreover, when they enjoy what one can give to the other, at the same time it becomes only a structure, called a mixed system. It can be mixed slab, mixed pillar and mixed beam. In this work the mixed beam was applied. The joining is associated with the solid concrete slab reinforced with the laminated steel profile beam, being welded or cold formed, connected with shear connectors that are welded on the upper face of the profile and plunged on the underside of the slab. The NBR 8800 (ABNT, 2008) analyzes the vertical displacement behavior and uses safety parameters to calculate boundary states, so that the structure supports the bending moment and shear force. The NBR 8800 (ABNT, 2008) also dimensions the single beam, without being connected to the slab, that it will suffer a greater vertical displacement compared to when they are interconnected (mixed beam), thus resulting that slab and beam work together to resist to flexion. In the practical design, obeying NBR 8800 (ABNT, 2008), the beams of a multi-floor building with finished work were analyzed, and an analysis was performed at the end between the results of two single beams and two composite beams.

KEYWORDS:

Introduction. Goal. Methodology. Steel. Reinforced concrete. Simple beam. Mixed beam. Sizing. Results. Comparison. Conclusion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ponte Coalbrookdale	15
Figura 2 - Castelo de Chazelet	16
Figura 3 - Estrutura mista	18
Figura 4 - Demonstração da flambagem lateral e local	26
Figura 5 - Tipos mais usuais de vigas mistas aço-concreto	31
Figura 6 - Vigas paralelas ligadas à Laje	40
Figura 7 - Diagramas tensões ELU de projeto vigas sob momento positivo de ligação total .	45
Figura 8 - Tipos mais usuais de conectores	47
Figura 9 - Exemplificação de um conector tipo pino com cabeça (Stud Bolt)	48
Figura 10 - Ilustração do valor a ser tomado para emh	50
Figura 11 - Lajes de concreto com fôrma de aço incorporada	50
Figura 12 - Estrutura biblioteca UniEvangélica	53
Figura 13 - Diagrama da carga total da laje (Claje) em kN//m	54
Figura 14 - Diagrama da carga total da sobrecarga (Csobrecarga) em kN//m	55
Figura 15 - Diagrama das forças gerais (para a combinação II) em kN/m.....	55
Figura 16 - Diagrama do esforço cortante (combinação II) kN/m-Pos15 410x38,8	56
Figura 17 - Diagrama momento fletor solicitante (combinação II) kN/m-Pos15 410x38,8.....	56
Figura 18 - Diagrama do esforço cortante (combinação II) kN/m-Pos18 410x38,8	56
Figura 19 - Diagrama momento fletor solicitante (combinação II) kN/m-Pos18 410x38,8.....	56
Figura 20 – Viga biapoiada Pos15	57
Figura 21 - Viga biapoiada Pos18	57
Figura 22 - Detalhamento do perfil I	58
Figura 23 - Homogeneização da seção	69
Figura 24 - Homogeneização da seção	75
Figura 25 - Conectores da estrutura biblioteca UniEvangélica	78
Figura 26 - Gráfico representativo para os deslocamentos viga simples e mista do Pos 15	81
Figura 27 - Gráfico representativo para os deslocamentos viga simples e mista do Pos 18	81
Figura 28 - Gráfico representativo para o esforço cortante da viga Pos15 e Pos18	82
Figura 29 - Gráfico representativo para o momento fletor resistente da viga Pos15 e Pos18 ..	83

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tabela comparativa com resultados do dimensionamento viga Pos 15	80
Quadro 2 - Tabela comparativa com resultados do dimensionamento viga Pos 18	80

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Valores dos coeficientes de ponderação das resistências γ_m	22
Tabela 2 - Coeficiente C_{dist} para vigas contínuas carregamento no comprimento L	40
Tabela 3 - Coeficiente C_{dist} para vigas contínuas carregamento no comprimento L	41
Tabela 4 - Coeficiente C_{dist} para vigas semicontínuas submetidas a carregamentos uniformemente distribuído no comprimento L	41
Tabela 5 - Critérios para o dimensionamento viga simples e viga mista	54
Tabela 6 - Combinações de carregamentos	55
Tabela 7 - Propriedades geométricas da seção homogeneizada	68
Tabela 8 - Valores limites característicos de W_k	72
Tabela 9 - Propriedades geométricas da seção homogeneizada	74

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBCA	Centro Brasileiro de Construção em Aço
FLA	Flambagem local na alma
FLM	Flambagem local na mesa
FLT	Flambagem lateral com torção
NBR	Norma Brasileira
TCC	Trabalho de conclusão de curso
ELU	Estado de limite último

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 CONTEXTO HISTÓRICO	15
1.1.1 Estrutura de aço	16
1.1.2 Estrutura de concreto armado	17
1.1.3 Estruturas mistas.....	17
1.2 JUSTIFICATIVA.....	18
1.3 OBJETIVOS.....	19
1.3.1 Objetivo geral.....	19
1.3.2 Objetivos específicos.....	19
1.4 METODOLOGIA	19
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2 EMBASAMENTO TEÓRICO	21
2.1 FLEXÃO EM VIGAS DE AÇO	21
2.1.1 Estados limites	21
2.1.1.1 Estado limite ultimo	21
2.1.1.2 Estado limite de serviço	22
2.1.2 Dimensionamento dos elementos estruturais	23
2.1.2.1 Verificação quanto ao deslocamento vertical.....	23
2.1.2.2 Verificação quanto ao cisalhamento	23
2.1.2.3 Verificação quanto ao momento resistente	25
2.2 FLEXÃO EM VIGAS MISTAS	30
2.2.1 Estado limite no sistema misto	31
2.2.1.1 Estado limite último	31
2.2.1.2 Estado limite de serviço	31
2.2.2 Dimensionamento dos elementos estruturais	32
2.2.2.1 Largura efetiva da laje	32
2.2.2.2 Momento de inércia efetivo.....	33
2.2.2.3 Verificação do momento fletor	33
2.2.2.3.1 <i>Momento fletor resistente de cálculo em regiões de momentos positivos</i>	33
2.2.2.3.2 <i>Momento fletor resistente de cálculo em regiões de momentos negativos</i>	38
2.2.2.4 Verificação da flambagem lateral com distorção da seção transversal.....	38

2.2.2.4.1	<i>Momento fletor resistente de cálculo na região de momentos negativos para flambagem lateral com torção da seção transversal</i>	39
2.2.2.5	Verificação da força cortante	43
2.2.2.6	Linha neutra.....	43
2.2.2.6.1	<i>Se a linha neutra estiver situada na laje de concreto</i>	44
2.2.2.6.2	<i>Se a linha neutra estiver situada na seção de aço</i>	45
2.2.2.7	Cálculo da armadura.....	45
2.3	CONECTORES DE CISALHAMENTO	46
2.3.1	Pinos com cabeça	48
2.3.1.1	Valores do coeficiente R_g	49
2.3.1.2	Valores do coeficiente R_p	49
2.3.2	Perfil U laminado ou formado a frio	51
3	DIMENSIONAMENTO PRÁTICO	52
3.1	CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO	57
3.1.1	Dimensionamento da viga simples Pos 15 W410x38,8	59
3.1.1.1	Deslocamento vertical.....	59
3.1.1.2	Cisalhamento	59
3.1.1.3	Momento fletor resistente.....	60
3.1.2	Dimensionamento da viga simples Pos 18 W410x38,8	63
3.1.2.1	Deslocamento vertical.....	63
3.1.2.2	Cisalhamento	63
3.1.2.3	Momento fletor resistente.....	64
3.1.3	Dimensionamento da viga mista Pos 15 W410x38,8	66
3.1.3.1	Estados limites da viga.....	66
3.1.3.2	Largura efetiva da laje	67
3.1.3.3	Homogeneização da seção	67
3.1.3.4	Linha neutra.....	69
3.1.3.5	Momento fletor resistente de cálculo em momentos positivos	70
3.1.3.6	Deslocamento vertical.....	70
3.1.3.7	Cisalhamento	71
3.1.3.8	Armadura longitudinal	71
3.1.4	Dimensionamento da viga mista Pos 18 W410x38,8	72
3.1.4.1	Estados limites da viga.....	72

3.1.4.2	Largura efetiva da laje	73
3.1.4.3	Homogeneização da seção	73
3.1.4.4	Linha neutra.....	75
3.1.4.5	Momento fletor resistente de cálculo em momentos positivos	76
3.1.4.6	Deslocamento vertical	76
3.1.4.7	Cisalhamento	77
3.1.4.8	Armadura longitudinal	77
3.1.5	Dimensionamento conectores	78
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	80
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
	REFERÊNCIAS.....	85
	ANEXO A – Tabela de bitolas dos perfis laminados da gerdau açominas.....	87
	ANEXO B – Tabela de bitolas dos perfis soldados pfeil & pfeil	92
	ANEXO C - Deslocamento vertical, Δ_{real}.....	99
	ANEXO D – Deslocamentos máximos $\delta_{m\acute{a}x}$.....	103
	ANEXO E – Parâmetros referentes ao momento fletor resistente.....	106
	ANEXO f – Tabela da área da seção de barras da armadura passiva por unidade de comprimento (cm²/m) e m bitolas padronizadas da nbr 7480:1996.....	108
	ANEXO G – Planta baixa do edifício biblioteca unievangélica.....	110

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO HISTÓRICO

A construção civil sempre teve contribuição para o desenvolvimento social e econômico para toda a sociedade. Pois, é perceptível desde a revolução industrial grande obras de edifícios, estradas, barragens, ferrovias, aeroportos, pontes e dentre outras infraestruturas.

As edificações que vieram surgindo com dimensões maiores, requeriam elementos estruturais mais aprimorados em relação ao aço e concreto, que são fundamentais na estrutura da construção.

No século XVIII o ferro fundido teve seu ápice, sendo utilizado para combater o esforço de compressão como tirantes e pendurais, auxiliando em estruturas de pontes treliçadas ou em arcos de madeira. Como exemplo a ponte Coalbrookdale que atravessa o rio Severn na Inglaterra, demonstrado na Figura 1 (PFEIL & PFEIL, 2012).

Figura 1 - Ponte Coalbrookdale.



Fonte: EDUCACIONAL, 2019.

Posteriormente no século XIX alavancou o uso do ferro forjado, que o mesmo por obter um material mais maleável, começou a ser utilizado em pontes ferroviárias para terem maiores vãos, porém foi necessário um estudo mais qualificado após grande escala de acidentes que haviam ocorrendo nessas estruturas, devido não reagir o suficiente à resistência de tração.

Logo após pesquisas levantadas, foi identificado que um material já existente possuía uma liga muito mais eficaz, conhecida como aço. No entanto faltava preços acessíveis para

industrialização. Com iniciativa de Henry Bessemer em 1856 ao inventar um forno que produzia em escala industrial, iniciou a fabricação do aço, mas em seguida os irmãos Martins no ano de 1864 criaram um forno com maior capacidade, assim substituindo a utilização do ferro fundido e ferro forjado na construção civil. Por fim em 1880 é implementado os laminadores para barra. E assim por diante foram surgindo novos processos de fabricação até a atualidade (PFEIL & PFEIL, 2012).

Outro elemento estrutural é o concreto armado formado por concreto e aço, no qual esses dois elementos foram acoplados a partir do século XIX, onde Monier construiu a primeira ponte no Castelo de Chazelet na França, demonstrado pela Figura 2. Entretanto sua composição “concreto” existe desde a civilização romana e grega. Na atualidade se tornou indispensável na maioria das construções, pela alta resistência a esforços de compressão devido ao concreto e tração devido ao aço.

Figura 2 - Castelo de Chazelet.



Fonte: PONTES VIDAS, 2013.

1.1.1 Estrutura de aço

Devido à urbanização, ou seja, ao crescimento populacional e extensão territorial, surgiu a importante necessidade de abrigar maiores números de pessoas e serviços num mesmo espaço, os prédios e galerias tem essa função permitindo a multiplicação vertical do solo. Mas, além disso, o setor de construção civil obteve um grande avanço com a utilização de estrutura de aço, pois trouxe para as construções maiores vãos, agilidade, confiabilidade, precisão, durabilidade e redução de patologias.

No Brasil, é predominante as estruturas de aço em edificações comerciais e industriais, mas nos últimos anos tem crescido para área de edificações habitacionais. A norma para execução e projetos de estruturas de aço no Brasil é a ABNT NBR 8800 (CBCA, 2014).

O principal processo de fabricação do aço consiste na produção de ferro fundido no alto-forno e posterior refinamento 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. Em ambos os processos, o objetivo é o refinamento do ferro fundido, ao qual são adicionados elementos de liga para produzir o aço especificado (PFEIL & PFEIL, 2012, p.06).

As peças produzidas com aço pelas usinas, para utilização estrutural, têm-se formas variadas, tais como: chapas, cabos, cordoalhas, fios treliçados e os perfis laminados (PFEIL & PFEIL, 2012).

1.1.2 Estrutura de concreto armado

O concreto é formado por água, cimento e os agregados que tem a função de reduzir a quantidade e conseqüentemente o custo do cimento, e também fazer da composição uma liga vantajosa sem perder nenhuma qualidade química.

Quando falamos de um projeto estrutural, o concreto não é indicado para trabalhar sozinho, devido apresentar somente uma boa resistência à compressão, mas uma péssima resistência quando se trata de tração. De maneira resultante, para aumentar a resistência de uma estrutura é imprescindível associar o concreto e aço de tal modo que ambos resistiram solidariamente aos esforços solicitantes.

É interessante ressaltar que o concreto e o aço têm coeficientes de dilatação térmica próxima (α concreto = $1 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e α aço = $1,2 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$) e também que o concreto, ao envolver o aço, o protege satisfatoriamente, em condições normais, contra a oxidação e altas temperaturas (CARVALHO & FILHO, 2012).

No Brasil a norma regulamentadora para execução de estrutura de concreto é a ABNT NBR 6118.

1.1.3 Estruturas mistas

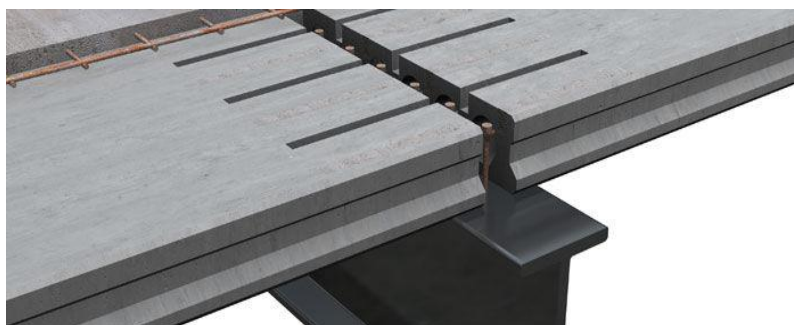
Em meados do século XIX, na construção de edifícios com múltiplos pavimentos já se empregava o uso do aço, mas existia a necessidade de uma proteção contra incêndio e

corrosão. O grande volume de concreto como revestimento parcial ou total de vigas e pilares, era a melhor opção para a proteção contra o fogo, devido à falta de materiais mais apropriados naquela época (SILVA & PANNONI, 2009).

Denomina-se uma estrutura mista aço-concreto, formada de um perfil metálico (laminado, soldado ou formado a frio) associado com o concreto (geralmente armado) formando um pilar misto, uma viga mista, uma laje ou uma ligação mista. Um exemplo de uma estrutura mista, se encontra bem exemplificada pela Figura 3.

As estruturas mistas apresentam algumas vantagens em relação às estruturas de concreto armado e às estruturas de aço. Os benefícios do sistema são, entre outros, a dispensa de fôrmas e escoramentos para as lajes, a economia no consumo de aço estrutural em relação aos pilares e vigas de aço e, no caso dos pilares, a redução das proteções contra incêndio e corrosão. São competitivas para estruturas de vãos médios a elevados, caracterizando-se pela rapidez de execução, pela precisão dimensional e pela significativa redução do peso total da estrutura (CBCA, 2014).

Figura 3 - Estrutura mista.



Fonte: ARCHIEXPO, 2019.

1.2 JUSTIFICATIVA

A construção em aço contribui em grande escala ao desenvolvimento ambiental sustentado, além de ser extramamente versátil e durável. O aço é material 100% reciclável, ou seja, quando sua vida útil da edificação é esgotada, retorna aos fornos em forma de sucata para se tornar um novo aço, com todas suas qualidades mantidas. A construção com estruturas em aço utiliza tecnologia limpa, reduz sensivelmente os impactos ambientais na etapa de construção e, concluída a obra, garante segurança e conforto aos ocupantes da edificação (CBCA, 2014).

Mais ainda, as vantagens de trabalhar com aço, vai além do que imaginamos. Pela facilidade de trabalhar com esse material, é possível reforçar ou ampliar uma estrutura de aço

já executada. Também é possível se a estrutura for somente de ligações parafusadas e não possuir lajes de concreto, a mesma pode ser desmontada e reaproveitada. Como a estrutura metálica é composta de peças pré-fabricadas, a execução da estrutura é feita com grande rapidez, resultando que o término da obra seja antecipado. Essas são uma das grandes vantagens de trabalhar com aço.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo desse trabalho é estudar o comportamento estrutural de vigas simples e vigas mistas, analisando as diferenças e comparações do dimensionamento de ambas, analisando também qual viga se destaca mais em relação a resistência.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Apresentar o comportamento estrutural de uma viga constituída de perfil metálico e uma viga mista, ambas com um perfil equivalente;
- b) Apresentar o dimensionamento de uma viga constituída de perfil metálico e uma viga mista (formada de perfis de aço com colaboração de laje de concreto).

1.4 METODOLOGIA

A metodologia consiste no levantamento teórico sobre dimensionamento de estruturas mistas e no dimensionamento prático de vigas mistas, como exemplos numéricos. Essas vigas são de aço e concreto, as quais serão comparadas com vigas simples (apenas de aço).

Nesta comparação é analisado o comportamento estrutural entre estruturas mistas e estruturas de aço além de um dimensionamento de acordo com a norma NBR 8800 (ABNT, 2008).

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo 1, definido como a introdução, apresenta informações primárias por meio do contexto histórico, onde detalhadamente foi identificado as partes mais importantes da história do aço e concreto, mas além disso é relatado o motivo do qual o aço e concreto juntos começaram a formar as estruturas mistas. Também é abordado a justificativa, objetivos e metodologia, onde os mesmos retratam o motivo e a importância do tema escolhido.

O capítulo 2 composto pelo embasamento teórico, apresenta todas as informações primordiais através da NBR 8800 (ABNT,2008) para promover o dimensionamento e verificação dos esforços de flexão em vigas simples compostas de aço e vigas mistas compostas de aço e concreto e verificação da resistência de cálculo, quantidade e espaçamento dos conectores de cisalhamento.

No capítulo 3, desenvolvido pelo dimensionamento prático, apresenta o passo a passo quanto a verificação da resistência de cálculo, quantidade e espaçamento dos conectores de cisalhamento, apresenta o dimensionamento e verificação dos esforços de flexão em viga simples e viga mista, de duas vigas com bitola $w410 \times 38,8$ de perfil laminado, ambas no mesmo projeto estrutural da biblioteca localizada na UniEvangélica.

O capítulo 4, integrado pela apresentação dos resultados, tem como objetivo, expor todos resultados com clareza encontrados no capítulo 3, para facilitar o entendimento do leitor para uma análise e comparação dos resultados obtidos.

Considerações finais, encontrados no capítulo 5, serão ponderados os resultados adquiridos, ressaltando o método construtivo mais eficiente.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

Para atender a demanda da construção civil sempre há novos sistemas construtivos para poder otimizar a edificação. Então, surge também a necessidade de empregar mais de um elemento estrutural, no qual o aço se destaca com o concreto, porque além de ser um serviço econômico e mais rápido, ele proporciona que seus vãos sejam maiores.

Na atualidade, os projetos mais comuns de edificações de estrutura de aço são constituídos por vigas e pilares de perfis metálicos e as lajes em concreto armado. A laje é travada com pinos, no qual são conectores mecânicos interligados com a mesa superior da viga, que fazem absorção dos esforços cisalhantes e impede os componentes ficarem soltos (PFEIL & PFEIL, 2012). Essa agregação entre os elementos que compõem a estrutura, ambas trabalham para resistirem à flexão.

Conforme (MALITE & ALVA 2015), os elementos mistos denominados de vigas mistas, lajes mistas e pilares mistos são compostos pela associação de perfis de aço e concreto, com pretensão de aproveitar os benefícios de cada material, tanto para modo estrutural quanto para o modo construtivo.

Contudo, as escolhas do sistema estrutural podem variar com a influência da arquitetura, pela infraestrutura das regiões e por normas construtivas.

Nos tópicos a seguir utilizaremos a NBR 8800 (ABNT, 2008) para fazer a verificação dos esforços de flexão em vigas de aço e em vigas mistas.

2.1 FLEXÃO EM VIGAS DE AÇO

2.1.1 Estados limites

As estruturas projetadas devem assegurar a vida útil e proporcionar uma estabilidade entre seus elementos, pois sempre que a estrutura não consegue manter um comportamento relacionado a rigidez, resistência e funcionalidade, acontecerá o estado limite, sendo divididos em dois grupos: de utilização e últimos.

2.1.1.1 Estado limite último

Conforme a NBR 8800 (ABNT,2008) o estado limite último está associado “com a segurança da estrutura sujeita a combinações mais desfavoráveis de ações previstas em toda a vida útil, durante a construção ou quando atuar uma ação especial ou excepcional. ”

As grandes cargas fazem com que as vigas das edificações sofram colapsos em virtude de ações como: Plastificação total de uma seção transversal ou de um elemento estrutural; flambagem local da alma; flambagem local da mesa, quando recebe o esforço de compressão; flambagem lateral com torção; ruptura de uma seção ou ligação.

Com intuito de promover uma segurança, há coeficientes de ponderação das resistências (γ_m) do aço estrutural, do concreto e do aço das armaduras, que são representados por γ_a , γ_s e γ_c respectivamente. Os valores são dados na Tabela 1 e classificados em combinações. Para o aço estrutural existem dois coeficientes, um para escoamento, flambagem e instabilidade, expresso pela incógnita γ_{a1} , e o outro para ruptura γ_{a2} .

Tabela 1 - Valores dos coeficientes de ponderação das resistências γ_m .

Combinações	Aço estrutural		Concreto γ_c	Aço das armaduras γ_s
	Escoamento, flambagem e instabilidade γ_{a1}	Ruptura γ_{a2}		
Normais	1,10	1,35	1,40	1,15
Especiais ou de construção	1,10	1,35	1,20	1,15
Excepcionais	1,10	1,15	1,20	1,00

^a Inclui o aço de fôrma incorporada, usada nas lajes mistas de aço e concreto, de pinos e parafusos.

Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

2.1.1.2 Estado limite de serviço

O estado limite de serviço é o critério de segurança que está relacionado a durabilidade da estrutura, aparência e boa utilização de um modo geral para proporcionar conforto físico e psicológico para os usuários. A NBR 8800 cita que possui relação com o desempenho da estrutura sob condições normais de utilização.

Geralmente o coeficiente de ponderação para este estado de serviço não necessitam de ser minorado, então, temos o $\gamma_m = 1,00$.

2.1.2 Dimensionamento dos elementos estruturais

A verificação a flexão em uma viga de aço, tem que ser determinada pelos seguintes fatores:

2.1.2.1 Verificação quanto ao deslocamento vertical

Conforme a NBR 8800 (ABNT,2008), para o dimensionamento de peças prismáticas submetidas a flexão, devem seguir os próximos cálculos:

O primeiro passo consiste na verificação do deslocamento elástico calculado (deslocamento vertical, Δ_{real}) através do uso do Anexo C, seja menor que o deslocamento máximo permitido ($\Delta_{máx}$) através do uso do Anexo D, representados na equação 01:

$$(\Delta_{real}) < (\Delta_{máx}) \quad (01)$$

2.1.2.2 Verificação quanto ao cisalhamento

De acordo com Fuzihara (2006), quando se trata de vigas mistas, uma parte do cisalhamento vertical é resistida pela laje de concreto. Porém, por não haver um método simples de cálculo reconhecido, a seção da laje não é levada em consideração nos procedimentos de cálculo das vigas de aço.

Pelos motivos que, a contribuição da laje para o cisalhamento vertical sofre diversas influências de fatores como a fissuração do concreto, o tipo de conexão de cisalhamento e continuidade dos apoios, na execução admite-se que o cisalhamento vertical seja absorvido exclusivamente pela viga de aço, ou seja, na verificação quanto ao cisalhamento consideramos somente que seja absorvido pela viga de aço, não considerando qualquer complemento como a laje.

Conforme a NBR 8800 (ABNT,2008), para seções I, H e U fletidas em relação ao eixo central de inércia perpendicular à alma, (eixo de maior momento inércia), a força cortante resistente de cálculo, V_{rd} , é dada por:

Para perfil laminado:

$$\lambda = \frac{d'}{t_w} \quad (02)$$

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} \quad (03)$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} \quad (04)$$

Sendo que:

λ = corresponde ao índice de esbeltez;

λ_p = corresponde ao parâmetro de esbeltez de plastificação;

λ_r = corresponde ao parâmetro de esbeltez de ruptura;

d' e t_w = corresponde à largura e a espessura do elemento, respectivamente. Dados encontra-se na tabela referente ao tipo de perfil laminado Anexo A;

k_v = corresponde ao coeficiente sendo um valor igual a 5,0 para almas sem enrijecedores transversais, e para todos os outros casos calcular através da seguinte formula $5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$;

E = corresponde ao módulo de elasticidade do aço;

f_y = corresponde à resistência ao escoamento do aço.

Quando:

- $\lambda \leq \lambda_p$ (seção compacta):

$$V_{rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (05)$$

- $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ (seção semi compacta):

$$V_{rd} = \frac{\lambda_p}{\lambda} \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (06)$$

- $\lambda > \lambda_r$ (seção esbelta):

$$V_{rd} = 1,24 \left(\frac{\lambda p}{\lambda} \right)^2 \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (07)$$

Sendo que:

V_{rd} = corresponde à valor resistente de cálculo.

A força cortante corresponde à plastificação (V_{pl}) da alma por cisalhamento é dada pela equação 08:

$$V_{pl} = 0,60 A_w f_y \quad (08)$$

Na equação 08, A_w é a área efetiva de cisalhamento, que deve ser calculada pela equação 09:

$$A_w = d t_w \quad (09)$$

Sendo que:

d = corresponde à altura total da seção transversal.

Após todas as verificações realizadas acima, o valor resistente de cálculo tem que ser maior que o valor cortante solicitado, demonstrada pela equação 10:

$$V_{rd} > V_{sd} \quad (10)$$

Para perfil soldado:

Segue as mesmas etapas, somente a nomenclatura da equação 02 se altera. Onde estiver d' coloca-se h_0 , e onde estiver t_w coloca-se t_0 . E para pesquisas de tabelas de perfis soldados, usa-se o anexo B.

2.1.2.3 Verificação quanto ao momento resistente

Flambagem local da seção de aço:

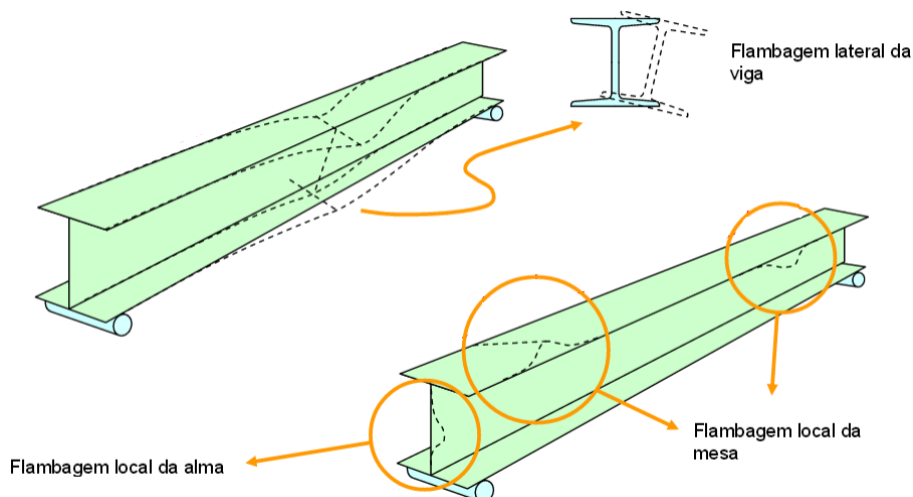
A flambagem local da seção é dividida pela flambagem local da mesa (FLM) e flambagem local da alma (FLA).

Quanto à flambagem local, as vigas com seção de aço compacta, têm o seu momento resistente determinado pela plastificação da seção, ou seja, quando a seção é totalmente atingida. Em seções semi compactas, o momento resistente à flexão se dá no início do regime plástico, ou seja, a flambagem local ocorre após ter sido desenvolvida a plastificação parcial. Em seções esbeltas, o momento resistente se torna crítico, pois é a seção na qual a ocorrência da flambagem local impede que seja atingido o momento de início da plastificação. Como demonstrado na figura 4.

Flambagem lateral:

Flambagem lateral (FLT) é um estado limite-ultimo que pode sobrevir nas vigas, causado pelo momento fletor (é um esforço ao qual tende a “curvar” uma viga). Tendo como exemplo nos perfis seção I, quando a parte comprimida da seção transversal se torna instável, o efeito estabilizador faz com que ocorra uma translação lateral ampliado de uma torção. E nesta seção a rigidez à torção é muito pequena, precisando prover contenção lateral. Como demonstrado na Figura 4.

Figura 4 - Demonstração da flambagem lateral e local.



Fonte: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, 2019 – Adaptada.

Para realizar os próximos cálculos a seguir, é necessário a utilização Anexo E para as verificações de estados limite FLM, FLA e FLT.

Flambagem Local da Mesa (FLM):

Quando a mesa comprimida há perda de estabilidade, o momento fletor resistente de cálculo, para o estado limite ultimo de flambagem é dado pelas seguintes equações:

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} \quad (11)$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (12)$$

$$\lambda_r = 0,83 \sqrt{\frac{E}{0,70 f_y}} \text{ para perfis laminados} \quad (13)$$

$$\lambda_r = 0,95 \sqrt{\frac{E}{\frac{0,70 f_y}{k_c}}} \text{ para perfis soldados} \quad (14)$$

Onde:

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h_o}{t_o}}} \quad (15)$$

Flambagem Local da Alma (FLA):

Quando a alma comprimida há perda de estabilidade, o momento fletor resistente de cálculo, para o estado limite ultimo de flambagem é dado pelas seguintes equações:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} \quad (16)$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (17)$$

$$\lambda_r = 5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (18)$$

Para os tipos de seções e eixos de flexão indicados no Anexo E, para o estado limite de flambagem local da mesa (FLM) e flambagem local da alma (FLA) o momento fletor resistente de cálculo é dado pelas seguintes condições (fórmulas 19, 20, 21 e 22):

- Para $\lambda \leq \lambda_p$ (desempenho compacto):

$$M_{rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (19)$$

- Para $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ (desempenho semi compacto):

$$M_{rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_{cr}) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \quad (20)$$

- Para $\lambda > \lambda_r$ (desempenho esbelto):

$$M_{rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}} \quad (21)$$

Onde:

$$M_{pl} = Z f_y \quad (22)$$

Sendo que:

λ = corresponde ao índice de esbeltez;

λ_p = corresponde ao índice de esbeltez de plastificação;

λ_r = corresponde ao índice de esbeltez ao escoamento inicial;

b_f = corresponde à largura da mesa retirada do Catálogo Técnico de Perfis Laminados da Gerdau Açominas (Verificar no Anexo A) ou perfis soldados (Verificar Anexo B);

t_f = corresponde a espessura da mesa;

E = corresponde ao módulo de elasticidade do aço;

f_y = corresponde à resistência ao escoamento do aço;

h_0 = corresponde à altura da alma de perfis soldados (Anexo B);

t_0 = corresponde a espessura da alma para perfis soldados (Anexo B);

h = corresponde à altura da alma de perfis laminados (Anexo A);

t_w = corresponde a espessura da alma para perfis laminado (Anexo A);

M_{rd} = corresponde ao momento fletor resistente de cálculo;

M_{pl} = corresponde ao momento fletor plástico;

M_{cr} = corresponde ao momento fletor crítico;

γ_{a1} = corresponde ao coeficiente de ponderação relacionado a escoamento, flambagem e instabilidade. Adotar valor igual a 1,10.

Z = corresponde ao módulo de resistência plástico.

d' e t_w = corresponde à largura e a espessura do elemento, respectivamente. Dados encontra-se na tabela referente ao tipo de perfil laminado no anexo A.

Flambagem Lateral com Torção (FLT):

O momento fletor resistente de cálculo, para o estado-limite último de flambagem lateral com torção, instabilidade por flexo-torção, quando há uma combinação dos dois efeitos simultaneamente e a rotação da seção pela instabilidade é dado por:

$$\lambda = \frac{L_B}{r_y} \quad (23)$$

$$\lambda_p = 1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (24)$$

$$\lambda_r = \frac{1,38\sqrt{I_y j}}{r_y j \beta_1} \left[\sqrt{\left(1 + \sqrt{\left(1 + \frac{27c_w \beta_1^2}{I_y}\right)}\right)} \right] \quad (25)$$

$$\beta_1 = \frac{0,70 \cdot f_y \cdot w}{E j} \quad (26)$$

Para seções I:

$$C_w = \frac{I_y (d - t_f)^2}{4} \quad (27)$$

Para seções U:

$$C_w = \frac{t_f (b_f - 0,5t_w)^3 (d - t_f)^2}{12} \left[\frac{3(b_f - 0,5t_w)t_f + 2(d - t_f)t_w}{6(b_f - 0,5t_w)t_f + (d - t_f)t_w} \right] \quad (28)$$

- Para $\lambda \leq \lambda_p$ (desempenho compacto):

$$M_{rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (29)$$

- Para $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ (desempenho semi compacto):

$$M_{rd} = \frac{C_b}{\gamma_{a1}} \left[M_{pl} - (M_{pl} - M_{cr}) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \leq \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (30)$$

- Para $\lambda > \lambda_r$ (desempenho esbelto):

$$M_{rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}} \leq \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} \quad (31)$$

Sendo que:

L_B = corresponde a distância entre travamento das seções que são abrangidas à flambagem lateral com torção;

r_y = corresponde ao raio de giração do eixo principal de inércia no sentido vertical ao eixo de flexão;

β_1 = corresponde ao coeficiente térmico de dilatação;

w = corresponde ao módulo elástico resistente da seção referente ao eixo da flexão;

j = corresponde à constante de torção da seção

C_w = corresponde a constante de empenamento da seção perpendicular ao eixo longitudinal;

I_y = corresponde ao momento de inércia da área em relação ao eixo longitudinal da alma;

d = corresponde à altura de face a face externa das mesas;

t_f = corresponde a espessura da mesa;

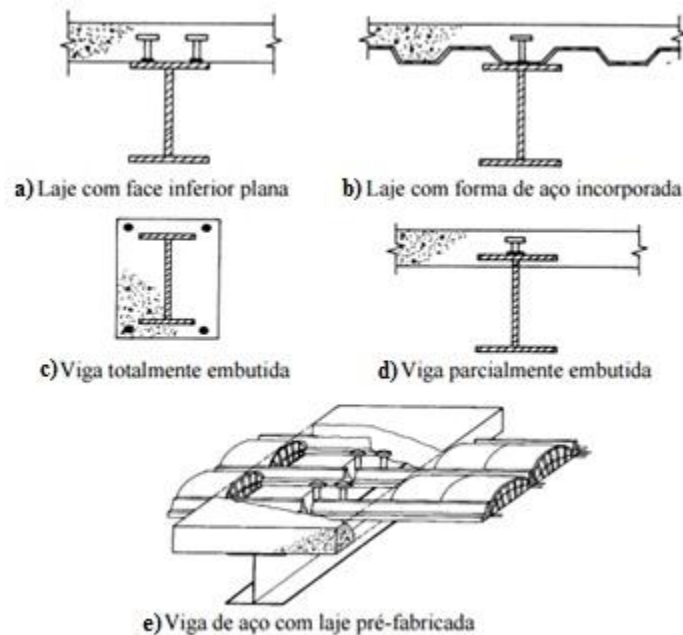
b_f = corresponde à largura da mesa;

C_b = corresponde ao fator de modificação para o diagrama do momento fletor não uniforme.

2.2 FLEXÃO EM VIGAS MISTAS

Para que as vigas mistas possam resistir aos esforços de flexão, o aço e o concreto são ligados através de conectores metálicos de cisalhamento soldados na mesa superior do perfil tipo “I” e chumbados ao concreto da laje. Nesse trabalho será utilizado o tipo Laje com face inferior plana de acordo com a ilustração na Figura 5-a.

Figura 5 - Tipos mais usuais de vigas mistas aço-concreto.



Fonte: MALITE, 1990 - Adaptada.

Ao invés de duas estruturas distintas, passarão a ser apenas uma, para impedir que a laje de concreto deslize no sentido horizontal e a viga de aço não haja torção.

2.2.1 Estado limite no sistema misto

2.2.1.1 Estado limite último

Com a atuação da força cortante e momento fletor no sistema misto, é atribuído os estados limites últimos. Na viga mista devido à união da laje com a mesa superior do perfil de aço através dos conectores, jamais ocorrerá a flambagem lateral por torção (FLT), assim obtendo contenção lateral contínua. Embora a compressão na mesa superior promova a flambagem local (FLM), tal efeito não gera o estado limite último. E o momento fletor provoca o estado limite último na flambagem lateral da alma (FLA).

2.2.1.2 Estado limite de serviço

As ações dinâmicas fazem que ocorra o estado limite de serviço através de vibrações em excesso e fadiga de materiais, de modo que possa comprometer a estética, a durabilidade, a utilidade e bem-estar dos residentes de um edifício.

Para garantir uma estrutura na qual seja absolutamente segura em sua utilização, todos os valores-limites devem ser determinados levando em conta as funções previstas para a estrutura e para os materiais a ela vinculados.

2.2.2 Dimensionamento dos elementos estruturais

Nesse subtópico será aplicado o dimensionamento da viga mista, no qual é para verificar o momento fletor em regiões de momento negativo e positivo, verificar a resistência aos esforços cortantes e a determinação do momento de inércia efetivo que as barras prismáticas resistem. Além disso, terá o estudo do comportamento em relação aos deslocamentos verticais.

Para o dimensionamento a seguir é aplicado às vigas de aço e concreto de alma cheia biapoiadas. Na equação 32, se a relação entre altura e espessura da alma for menor ou igual a $3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$, as vigas serão compactas e não haverá flambagem local antes da plastificação total da seção. No entanto, a equação 33 sendo atendida, a viga será semi compacta e ocorrerá flambagem local da alma somente depois a plastificação total.

$$\frac{h}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (32)$$

$$3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{h}{t_w} \leq 5,7 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (33)$$

Sendo que:

h = corresponde a altura da alma;

t_w = corresponde a espessura da alma;

E = corresponde ao módulo de elasticidade do aço;

f_y = corresponde a tensão de escoamento do aço.

2.2.2.1 Largura efetiva da laje

Segundo a NBR 8800(ABNT, 2008), a largura efetiva da laje de concreto sobre a viga mista biapoiada, cada lado da linha de centro da viga deve ser igual ao menor dos seguintes valores:

- 1/8 do vão da viga mista, considerando entre linhas do centro dos apoios;
- Metade (1/2) da distância entre a linha do centro da viga analisada e a linha do centro da viga adjacente;
- Distância da linha do centro da viga à borda de uma laje em balanço.

2.2.2.2 Momento de inércia efetivo

Para calcular o momento de inércia efetivo nas vigas mistas de alma cheia é utilizado a equação 34:

$$I_{ef} = I_a + \sqrt{\frac{\sum Q_{Rd}}{F_{hd}}} (I_{tr} - I_a) \quad (34)$$

Sendo que:

I_a = corresponde ao momento de inércia da seção do perfil de aço isolado;

I_{tr} = corresponde ao momento de inércia da seção mista homogeneizada;

$\sum Q_{Rd}$ e F_{hd} ambos são determinados respectivamente pelo item 2.2.2.3.1.

2.2.2.3 Verificação do momento fletor

2.2.2.3.1 *Momento fletor resistente de cálculo em regiões de momentos positivos*

- Vigas mistas de alma cheia com $\frac{h}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ e treliças mistas:

a. Viga mista de alma cheia com interação completa e linha neutra da seção plastificada na laje de concreto:

$$\sum Q_{Rd} \geq A_e f_{yd} \quad (35)$$

$$0,85f_{yd}bt_c \geq A_a f_{yd} \quad (36)$$

Realizadas essas condições:

$$C_d = 0,85f_{cd}ba \quad (37)$$

$$T_{ad} = A_a f_{yd} \quad (38)$$

$$a = \frac{T_{ad}}{0,85f_{yd}b} \leq t_c \quad (39)$$

$$M_{Rd} = \beta_{vm} T_{ad} \left(d_1 + h_F + t_c - \frac{a}{2} \right) \quad (40)$$

b. Vigas mista de alma cheia com interação completa e linha neutra da seção plastificada no perfil de aço:

$$\sum Q_{Rd} \geq 0,85f_{cd}bt_c \quad (41)$$

$$A_a f_{yd} \geq 0,85f_{cd}bt_c \quad (42)$$

Realizadas essas condições:

$$C_{cd} = 0,85f_{cd}bt_c \quad (43)$$

$$C_{ad} = \frac{1}{2}(A_a f_{yd} - C_{cd}) \quad (44)$$

$$T_{ad} = C_{cd} + C_{ad} \quad (45)$$

c. Viga mista de alma cheia com interação parcial:

$$\sum Q_{Rd} < A_a f_{yd} \quad (46)$$

$$\sum Q_{Rd} < 0,85 f_{cd} b t_c \quad (47)$$

Realizadas essas condições:

$$M_{Rd} = \beta_{vm} \left[C_{ad} (d - y_t - y_c) + C_{cd} \left(t_c - \frac{a}{2} + h_F + d - y_t \right) \right] \quad (48)$$

Com:

$$a = \frac{C_{cd}}{0,85 f_{cd} b} \quad (49)$$

d. Trelça mista com interação completa e linha neutra da seção plastificada na laje de concreto:

$$\sum Q_{Rd} \geq A_{bi} f_{yd} \quad (50)$$

$$0,85 f_{cd} b t_c \geq A_{bi} f_{yd} \quad (51)$$

Realizadas essas condições:

$$C_{cd} = 0,85 f_{cd} b a \quad (52)$$

$$T_{ad} = A_{bi} f_{yd} \quad (53)$$

$$a = \frac{T_a}{0,85 f_{cd} b} \quad (54)$$

$$M_{Rd} = T_{ad}d_2 \quad (55)$$

Sendo que:

C_{cd} = corresponde à força de cálculo da espessura comprimida da laje de concreto;

T_{ad} = corresponde à força resistente de cálculo da região tracionada do perfil de aço;

C_{ad} = corresponde à força resistente de cálculo da região comprimida do perfil de aço;

A_a = corresponde à área do perfil de aço;

A_{af} = corresponde à área da mesa superior do perfil de aço;

A_{aw} = corresponde à área da alma do perfil de aço, igual ao produto $h_w t_w$;

A_{bi} = corresponde à área do banzo inferior da treliça de aço;

b = corresponde à largura efetiva da laje de concreto;

t_c = corresponde à altura da laje de concreto;

a = corresponde à espessura da região comprimida da laje ou, para interação parcial, a espessura considerada efetiva;

$\sum Q_{Rd}$ = corresponde ao somatório das forças resistentes de cálculo individuais Q_{Rd} dos conectores de cisalhamento situados entre a relação de momento positivo máximo e a seção adjacente de momento nulo;

h_F = corresponde à espessura da pré-laje pré-moldada de concreto;

d = corresponde à altura total do perfil de aço;

h_w = corresponde à altura da alma, tomada como a distância das faces internas das mesas;

t_w = corresponde à espessura da alma;

d_1 = corresponde à distância do centro geométrico do perfil de aço até a face superior desse perfil;

d_2 = corresponde à distância entre as forças de compressão e tração na treliça;

y_c = corresponde à distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até a face superior desse perfil;

y_t = corresponde à distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até a face inferior desse perfil;

y_p = corresponde à distância da linha neutra da seção plastificada até a face superior do perfil de aço;

M_{Rd} = corresponde ao momento fletor resistente de cálculo;

f_{cd} = corresponde à resistência de cálculo do concreto à compressão;

f_{yd} = corresponde à resistência de cálculo ao escoamento do aço;

β_{vm} = corresponde ao coeficiente igual a 1,00 para vigas biapoiadas.

- Vigas mistas de alma cheia com $3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{h}{t_w} \leq 5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$:

a. Interação completa ($\sum Q_{Rd}$ igual ou superior ao menor dos dois valores: $A_a f_{yd}$ ou $0,85 f_{cd} b t_c$):

$$\sigma_{td} = \frac{M_{Sd}}{(W_{tr})_i} \quad (56)$$

$$\sigma_{cd} = \frac{M_{Sd}}{[\sigma_E (W_{tr})_s]} \quad (57)$$

b. Interação parcial:

$$W_{ef} = W_a + \sqrt{\frac{\sum Q_{Rd}}{F_{hd}}} [(W_{tr})_i - W_a] \quad (58)$$

Sendo que:

σ_{td} = corresponde à tensão de tração de cálculo na mesa inferior do perfil de aço;

σ_{cd} = corresponde tensão compressão de cálculo na face superior da laje de concreto;

$(W_{tr})_i$ = corresponde ao módulo de resistência elástico inferior da seção mista;

$(W_{tr})_s$ = corresponde ao módulo de resistência elástico superior da seção mista;

W_a = corresponde ao módulo de resistência elástico inferior do perfil de aço;

M_{Sd} = corresponde ao momento fletor solicitante de cálculo;

σ_E = corresponde à tensão do aço;

W_{ef} = corresponde ao módulo de resistência elástico efetivo;

Q_{Rd} = corresponde ao somatório da força resistente de cálculo de um conector;

$(W_{tr})_s$ = corresponde ao módulo de resistência elástico superior da seção mista;

2.2.2.3.2 Momento fletor resistente de cálculo em regiões de momentos negativos

- A equação 59 determina o cálculo da força resistente de tração de cálculo (T_{ds}) nas barras da armadura longitudinal :

$$T_{ds} = A_{sl} f_{sd} \quad (59)$$

Sendo que:

A_{sl} corresponde à área da armadura longitudinal entre a largura efetiva da laje de concreto.

- E a determinação do momento resistente de cálculo para vigas compactas é dado pela equação a seguir:

$$M_{Rd} = T_{ds} d_3 + A_{at} f_{yd} d_4 + A_{ac} f_{yd} d_5 \quad (60)$$

Sendo que:

A_{at} = corresponde à área tracionada da seção do perfil de aço;

A_{ac} = corresponde à área comprimida da seção do perfil de aço;

d_3 = corresponde à distância entre o centro geométrico da armadura longitudinal à linha neutra da seção plastificada;

d_4 = corresponde à distância da força de tração, localizada no centro geométrico da área tracionada da seção do perfil de aço, à linha neutra da seção plastificada;

d_5 = corresponde à distância da força de compressão, situada no centro geométrico da área comprimida da seção do perfil de aço, à linha neutra da seção plastificada.

2.2.2.4 Verificação da flambagem lateral com distorção da seção transversal

Devido ao momento negativo da viga mista é necessário garantir que não ocorra a flambagem lateral com distorção da seção transversal. Para isso, deve ser usada a seguinte condição:

$$M_{Sd}^- \leq M_{dist,Rd}^- \quad (61)$$

Sendo que:

M_{Sd}^- = corresponde ao momento fletor solicitante de cálculo na região de momentos negativos;

$M_{dist,Rd}^-$ = corresponde ao momento fletor resistente cálculo na região de momentos negativos, para o estado limite de flambagem lateral com distorção da seção transversal, determinado no subitem 2.2.2.4.1.

2.2.2.4.1 Momento fletor resistente de cálculo na região de momentos negativos para flambagem lateral com torção da seção transversal

Para vigas mistas e semicontínuas:

$$M_{dist,Rd}^- = X_{dist} M_{Rd}^- \quad (62)$$

Sendo que:

M_{Rd}^- = corresponde ao momento fletor resistente de cálculo da seção transversal;

X_{dist} = corresponde ao fator de redução para flambagem lateral com distorção da seção transversal, expresso por:

$$\lambda_{dist} = \sqrt{\frac{M_{Rk}^-}{M_{cr}}} \quad (63)$$

Sendo que:

M_{Rk}^- = corresponde ao momento fletor resistente característico na região de momentos negativos, tomando todos os coeficientes de ponderação da resistência iguais a 1,00;

M_{cr} = corresponde ao momento crítico elástico na região de momentos negativos.

Se λ_{dist} for inferior a 0,4 pode-se tomar X_{dist} igual a 1,00.

Caso exista duas ou mais vigas ligadas paralelas (Figura 4) conectadas à mesma laje de concreto o momento crítico elástico (M_{cr}) é dado por:

$$M_{cr} = \alpha_g \frac{C_{dist}}{L} \sqrt{\left(GJ + \frac{K_r L^2}{\pi^2} \right) E I_{af,y}} \quad (64)$$

Sendo que:

G = corresponde ao módulo de elasticidade transversal do aço;

L = corresponde ao comprimento da viga entre dois apoios verticais;

J = corresponde à constante de torção do perfil de aço;

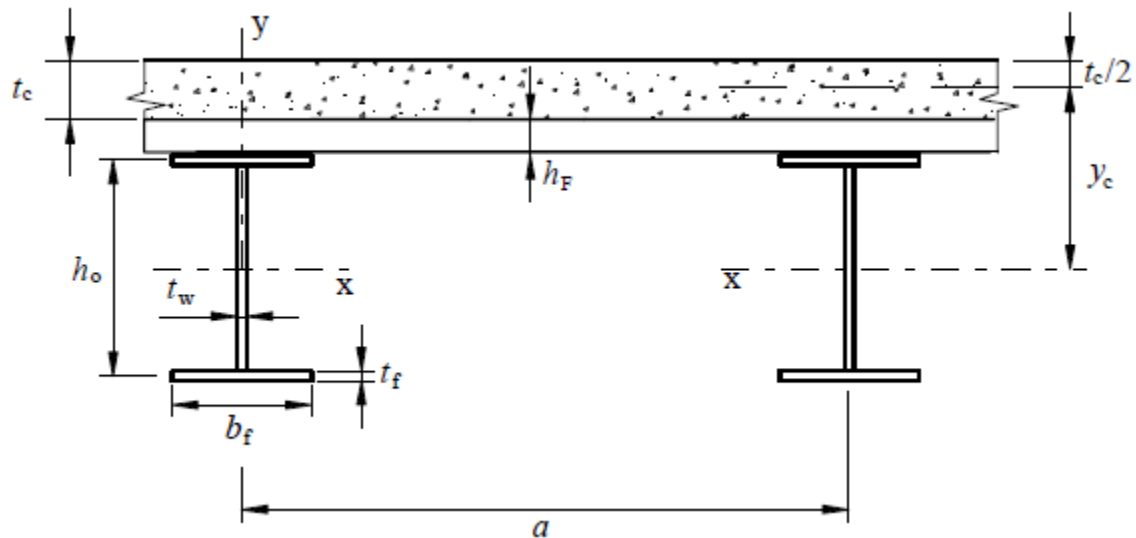
$I_{af,y}$ = corresponde ao momento de inércia da mesa inferior do perfil de aço em relação ao eixo y ;

C_{dist} = corresponde ao coeficiente que depende de distribuição de momentos fletores no comprimento L , dado nas Tabelas 3 e 4 para vigas contínuas e nas Tabelas 4 e 5 para vigas semicontínuas para alguns carregamentos;

K_r = corresponde à rigidez rotacional da viga mista;

α_g = corresponde um fator relacionado à geometria da seção transversal da viga mista.

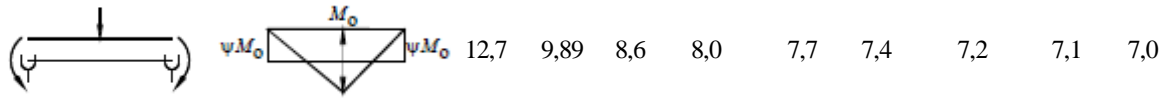
Figura 6 - Vigas paralelas ligadas à Laje.



Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008) – Adaptada.

Tabela 2 - Coeficiente C_{dist} para vigas contínuas carregamento no comprimento L .

Condições de carregamento e apoio	Diagrama de momento fletor ^a	Ψ								
		0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50
		33,9	22,7	17,3	14,1	13,0	12,0	11,4	10,9	10,6
		28,2	18,0	13,7	11,7	10,6	10,0	9,5	9,1	8,9
		21,9	13,9	11,0	9,6	8,8	8,3	8,0	7,8	7,6
		28,4	21,8	18,6	16,7	15,6	14,8	14,2	13,8	13,5



^a M_o é o momento máximo solicitante de cálculo, considerando o tramo analisado como biapoado.
 Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

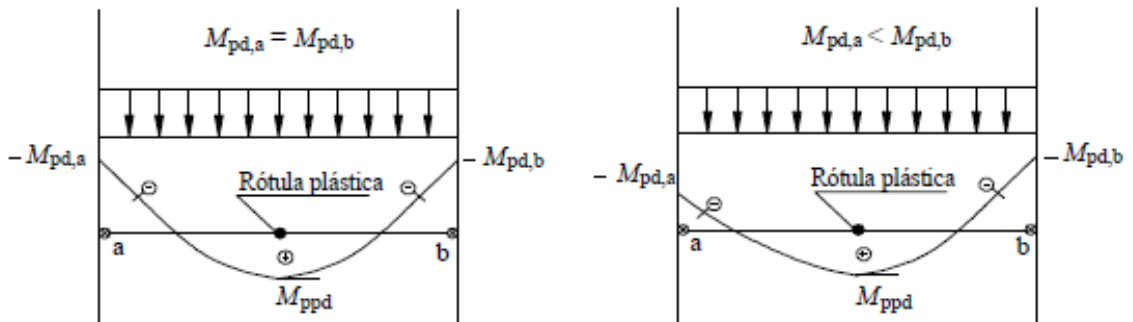
Tabela 3 - Coeficiente C_{dist} para vigas contínuas carregamento no comprimento L.

Condições de carregamento de apoio	Diagrama de momento fletor ^a	Ψ				
		0,00	0,25	0,50	0,75	1,00
		11,1	9,5	8,2	7,1	6,2
		11,1	12,8	14,6	16,3	18,1

^a M é o maior momento negativo solicitante de cálculo, em módulo, no trecho analisado, sendo que valores de Ψ maiores que 1,00 devem ser considerados iguais a 1,00.
 Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

Tabela 4 - Coeficiente C_{dist} para vigas semicontínuas submetidas a carregamentos uniformemente distribuído no comprimento L.

$\Psi_1 = M_{pd,b}/M_{ppd}^a$	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	
$\Psi_2 = M_{pd,a}/M_{pd,b}^a$	1,00	21,9	24,0	26,7	29,5	32,7	34,2
	0,75	26,5	29,0	32,0	35,0	38,0	39,8
	0,50	30,5	33,9	37,0	40,4	44,3	45,7
$\Psi_1 = M_{pd,b}/M_{ppd}^a$	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	
$\Psi_2 = M_{pd,a}/M_{pd,b}^a$	0,00	32,4	36,5	42,6	47,6	51,8	53,5



^a M_{ppd} é o momento plástico resistente de cálculo da viga mista determinado conforme item 2.2.3.2.1. (igual a M_{Rd}), mas com o coeficiente β_{vm} igual a 1,00; $M_{pd,a}$ é o menor momento plástico resistente de cálculo, em módulo, nas extremidades do tramo considerado; $M_{pd,b}$ é o maior momento plástico resistente de cálculo, em módulo, nas extremidades do tramo considerado.

Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

A rigidez rotacional é determinada pela seguinte equação :

$$K_r = \frac{K_1 K_2}{K_1 + K_2} \quad (65)$$

Onde K_1 é a rigidez à flexão da laje, por unidade de comprimento da viga, determinada por :

$$K_1 = \frac{\alpha(EI)_2}{a} \quad (66)$$

K_2 é a rigidez à flexão da alma do perfil de aço, por unidade de comprimento da viga, determinada por:

$$K_2 = \frac{E t_w^3}{4 h_0 (1 - \nu_a^2)} \quad (67)$$

Sendo que:

α é igual a 2 para vigas de borda, com ou sem balanço, e 3 para vigas internas;

$(EI)_2$ é a rigidez à flexão da seção mista homogeneizada da laje, por unidade de comprimento da viga, tomada como o menor valor, considerando o meio do vão da laje, para momento positivo, e um apoio interno da laje, para momento negativo;

a = corresponde à distância entre as vigas;

t_w = corresponde à espessura da alma do perfil de aço;

h_0 = corresponde à distância entre os centros geométricos das mesas do perfil do aço;

ν_a = corresponde ao coeficiente de Poisson do aço.

Caso o perfil de aço é duplamente simétrico, temos a expressão:

$$\alpha_g = \frac{\left(h_0 I_x / I_{ax} \right)}{\frac{\left[\frac{h_0^2}{4} + \left(\frac{I_{ax} + I_{ay}}{A_a} \right) \right]}{e} + h_0} \quad (68)$$

E quando o perfil de aço é simétrico apenas em relação ao eixo situado no plano de flexão:

$$\alpha_g = \frac{\left(h_0 I_x / I_{ax} \right)}{\frac{(y_f - y_s)^2 + (I_{ax} + I_{ay}) / A_a}{e} + 2(y_f - y_j)} \quad (69)$$

Sendo que:

$$e = \frac{A I_{ax}}{A_a y_c (A - A_a)};$$

y_c = corresponde à distancia do centro geométrico do perfil de aço à metade da altura da laje de concreto;

I_x = corresponde ao momento de inércia da seção mista na região do momento negativo com relação ao eixo x;

I_{ax} e I_{ay} = ambos correspondem os momentos de inércia da seção de aço com relação aos seus eixos baricentros;

A_a = corresponde à área do perfil de aço;

A = corresponde à área da seção mista na região de momento negativo;

y_s = corresponde à distância do centro geométrico ao centro de cisalhamento do perfil de aço;

$$y_f = \frac{h_0 I_{afy}}{I_{ay}} ;$$

$$y_j = y_s - \int_{A_a}^0 \frac{y(x^2 + y^2) dA}{2I_{ax}} ; \text{ quando } I_{af,y} > 0,5I_{ay}, \text{ torna-se } y_j = 0,40h_0 \left(2 \frac{I_{af,y}}{I_{ay}} - 1 \right).$$

2.2.2.5 Verificação da força cortante

Deve-se considerar apenas a resistência do perfil de aço, portanto:

$$V_{sd} \leq V_{Rd} \quad (70)$$

2.2.2.6 Linha neutra

Para fazer uma verificação se a linha neutra está na laje de concreto ou na seção de aço, é preciso calcular o valor máximo da resistência à compressão no concreto utilizando a equação 71 abaixo :

$$R_{cd} = \frac{0,85f_{ck}}{\gamma_c} b_e h_c \quad (71)$$

Para obter o valor máximo da resistência à tração aplica-se a equação abaixo :

$$R_{td} = \frac{f_y A}{\gamma_{a1}} \quad (72)$$

Como equilíbrio das forças na seção, chega na conclusão que :

- Se $R_{cd} > R_{td}$ a linha neutra plástica está na laje de concreto;
- Se $R_{cd} < R_{td}$ a linha neutra plástica está na seção de aço.

2.2.2.6.1 Se a linha neutra estiver situada na laje de concreto

Deve-se calcular a profundidade da linha neutra utilizando a equação 73:

$$x = \frac{f_y A / \gamma_{a1}}{0,85 f_{ck} b_e / \gamma_c} < h_c \quad (73)$$

Sendo que:

x = corresponde à profundidade da linha neutra;

f_y = corresponde à resistência ao cisalhamento do aço;

A = corresponde à área da seção de aço;

γ_{a1} = corresponde ao coeficiente de ponderação de resistência, dado na Tabela 1;

f_{ck} = corresponde à resistência característica do concreto à compressão;

b_e = corresponde à largura efetiva da laje;

γ_{ac} = corresponde ao coeficiente de ponderação de resistência, dado na Tabela 1;

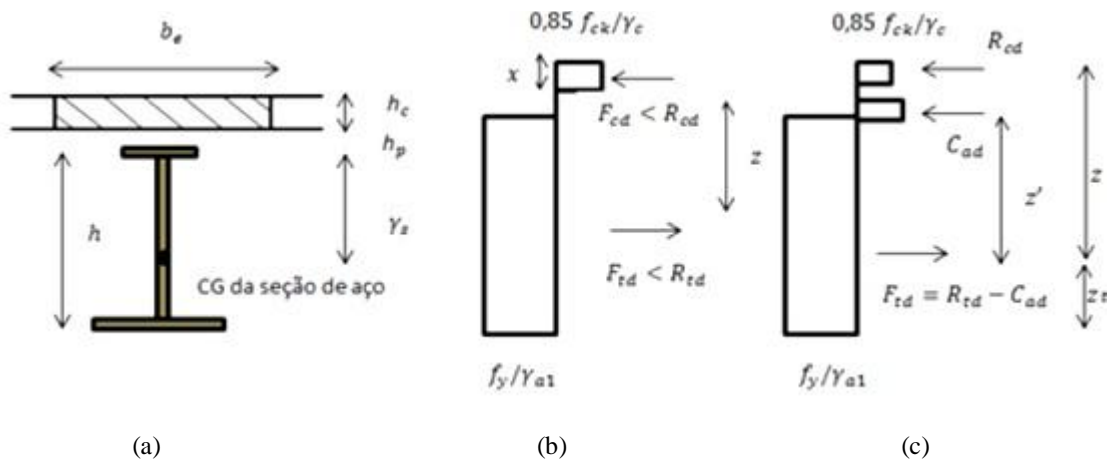
h_c = corresponde à altura da laje.

E para calcular o momento resistente é empregada a equação 74:

$$M_{dres} = R_{td}Z = \frac{f_y A}{\gamma_{a1}} \left(y_s + h_p + h_c - \frac{x}{2} \right) \quad (74)$$

Logo, a Figura 7 ilustra as incógnitas :

Figura 7 – Diagramas tensões ELU de projeto vigas sob momento positivo de ligação total.



(a) é a seção mista; (b) é a linha neutra plástica na laje; (c) é a linha neutra plástica na seção de aço.

Fonte: Pfeil, 2009.

2.2.2.6.2 Se a linha neutra estiver situada na seção de aço

Através da equação 75 é determinada a força de compressão no aço (C_{ad}) :

$$C_{ad} = \frac{1}{2}(R_{td} - R_{cd}) \quad (75)$$

Logo após resolver a equação 75 necessita-se encontrar o momento resistente pela expressão a seguir:

$$M_{dres} = R_{cd}z + C_{ad}z' = R_{cd} \left(h - y_t + h_p + \frac{h_c}{2} \right) + C_{ad}(h - y_t - y_c) \quad (76)$$

Nas quais as incógnitas também são mostradas na Figura 7.

2.2.2.7 Cálculo da armadura

Para determinarmos a armadura necessária para o controle de fissuração é preciso calcular a área efetiva da laje de concreto (A_{ct}) usa-se a seguinte equação :

$$A_{ct} = b_e t_c \quad (77)$$

Sendo que:

b_e = corresponde à largura efetiva da laje;

t_c = corresponde à espessura da laje.

Para obter a máxima tensão de tração permitida na armadura, é empregada a equação a seguir:

$$\sigma_{st} = 810 \sqrt{\frac{W_k \sqrt[3]{f_{ck}^2}}{\phi}} \leq f_{ys} \quad (78)$$

Sendo que:

W_k = corresponde à abertura máxima característica das fissuras;

f_{ys} = corresponde à resistência ao escoamento do aço da armadura;

ϕ = corresponde ao diâmetro das barras da armadura.

Para calcular a armadura da seção deve-se usar a fórmula abaixo:

$$A_s = \frac{0,72 f_{ct,ef} A_{ct}}{\sigma_{st}} \quad (79)$$

Sendo que:

$f_{ct,ef}$ = corresponde à resistência média a tração efetiva do concreto no instante em que se formam as primeiras fissuras.

2.3 CONECTORES DE CISALHAMENTO

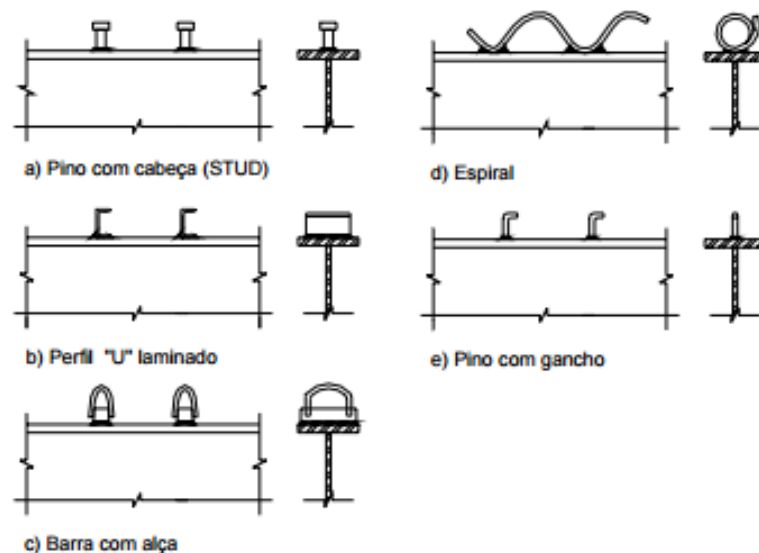
A sua ação é promover ligação entre a viga de aço e a laje de concreto. Ele faz a absorção dos esforços de cisalhamento horizontais nas duas direções longitudinais e impede a separação vertical entre a laje e a viga de aço.

De acordo com Pfeil (2012) a classificação dos conectores podem ser flexíveis ou rígidos, sendo definidos pelo esforço cortante submetido a deformação no deslizamento entre a superfície do aço e concreto.

O conector mais usado é o pino com cabeça, também chamado de “Stud Bolt” (figura 8-a), desenvolvido pela Nelson Studo Welding na década de 40. Ele foi criado para que tenha função de eletrodo de solda a arco elétrico e simultaneamente logo após soldado, como conector de cisalhamento. Alguns dos tipos de conectores mais comuns na viga mista está sendo ilustrada na Figura 8.

Alva & Malite (2005) diz que um conector dúctil ao receber um carregamento crescente consegue continuar deformando sem que exista ruptura, até mesmo depois que atingir a sua resistência máxima. Dessa forma faz que os conectores vizinhos suportem maior força de corte, de modo que adquiram a sua capacidade total. São instalados com espaçamentos iguais de um para ao outro proporcionando para não que ocorra diminuição da resistência máxima da ligação.

Figura 8 - Tipos mais usuais de conectores.



Fonte: Alva & Malite, 2005.

A seguir nos subtópico, tem a forma de realizar o dimensionamento de conectores de cisalhamento do tipo pino com cabeça e em perfil em U laminado ou formado a frio com uma espessura de chapa igual ou superior a 3 mm, conforme a NBR 8800 (ABNT, 2008).

2.3.1 Pinos com cabeça

O cálculo da força resistente de cálculo (Q_{Rd}) para conectores de cisalhamento tipo pino com cabeça é dado pelas equações a seguir:

$$Q_{Rd} = \frac{1}{2} \frac{A_{cs} \sqrt{f_{ck} E_c}}{\gamma_{cs}} \quad (80)$$

$$Q_{Rd} = \frac{R_g R_p A_{cs} f_{ucs}}{\gamma_{cs}} \quad (81)$$

Sendo que:

γ_{cs} = corresponde ao coeficiente de ponderação da resistência do conector, igual a 1,25 para combinações últimas de ações normais, especiais ou de construção e igual a 1,10 para combinações excepcionais;

A_{cs} = corresponde à área da seção transversal do conector;

f_{ucs} = corresponde à resistência à ruptura do aço do conector;

E_c = corresponde ao módulo de elasticidade do concreto;

R_g = corresponde à um coeficiente para consideração do efeito de atuação de grupos de conectores, mostrado no subitem 2.3.1.1;

R_p = corresponde à um coeficiente para consideração da posição do conector, mostrado no subitem 2.3.1.2;

Figura 9 - Exemplificação de um conector tipo pino com cabeça (Stud Bolt).



Fonte: Copyright, 2017.

2.3.1.1 Valores do coeficiente R_g

Segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008) é preciso aplicar os seguintes valores:

- 1,00 : para um conector soldado em uma nervura de fôrma de aço perpendicular ao perfil de aço; para qualquer número de conectores em uma linha soldados diretamente no perfil de aço ou para qualquer número de conectores em uma linha soldados através de uma fôrma de aço em uma nervura paralela ao perfil de aço com relação $\frac{b_F}{h_F}$ igual ou superior a 1,5;
- 0,85 : para dois conectores soldados em uma nervura de fôrma de aço perpendicular ao perfil de aço ou para um conector soldado através de uma fôrma de aço em uma nervura paralela ao perfil de aço e com relação $\frac{b_F}{h_F}$ inferior a 1,5;
- 0,70 : para três ou mais conectores soldados em uma nervura de fôrma de aço perpendicular ao perfil de aço.

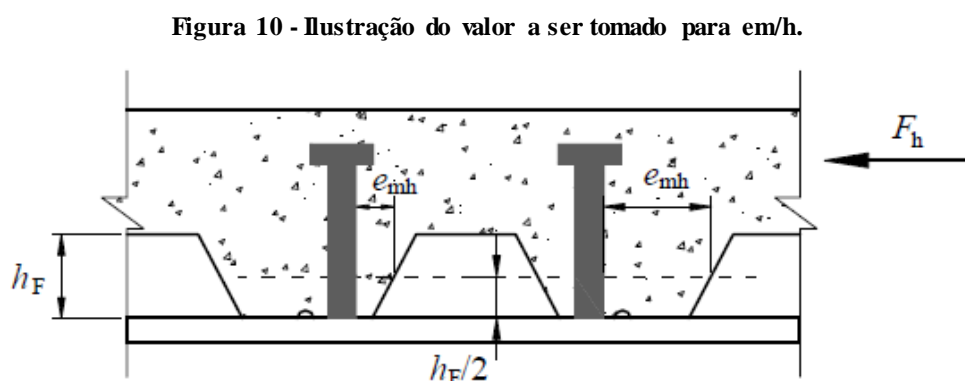
2.3.1.2 Valores do coeficiente R_p

Segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008) é preciso aplicar os seguintes valores:

- 1,00 : para conectores soldados diretamente no perfil de aço e, no caso de haver nervuras paralelas a essa perfil, pelo menos 50% da largura da mesa deve estar em contato direto com o concreto;
- 0,75 : para conectores soldados em uma laje mista com as nervuras perpendiculares ao perfil de aço e e_{mh} igual ou superior a 50 mm ou para conectores soldados através de uma fôrma de aço e embutidos em uma laje mista com nervuras paralelas ao perfil de aço;
- 0,60 : para conectores soldados em uma laje mista com nervuras perpendiculares ao perfil de aço e e_{mh} inferior a 50 mm.

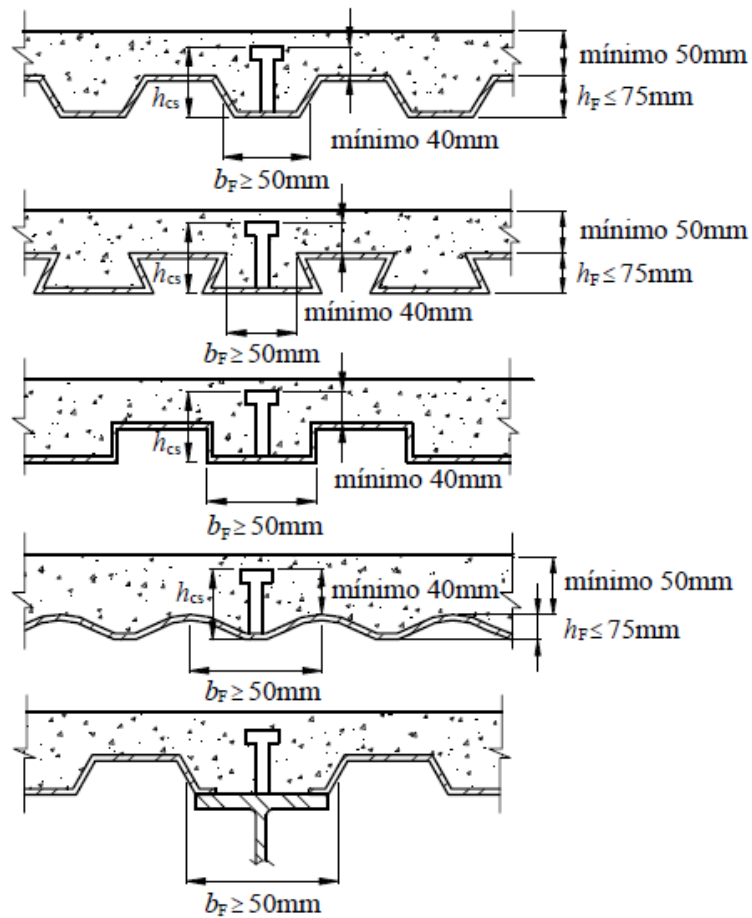
Sendo que:

e_{mh} = corresponde a distância entre a borda do fuste do conector até a alma da nervura da fôrma de aço, ilustrado na Figura 10 e 11.



Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

Figura 11 - Lajes de concreto com fôrma de aço incorporada.



Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008).

2.3.2 Perfil U laminado ou formado a frio

Conforme com a NBR 8800 (ABNT, 2008) a determinação da força resistente de cálculo para conectores de cisalhamento em perfil U laminado, com altura da seção transversal igual ou superior a 75 mm totalmente embutido na laje maciça de concreto com face inferior plana diretamente apoiada sobre a viga de aço, é obtido pela expressão abaixo:

$$Q_{Rd} = \frac{0,3(t_{fcs} + 0,5t_{wcs})L_{cs}\sqrt{f_{ck}E_c}}{\gamma_{cs}} \quad (82)$$

Sendo que:

$M_{P,Sd}$ = corresponde ao momento fletor solicitante de cálculo na seção da carga concentrada;

$M_{a,Rd}$ = corresponde ao momento fletor resistente de cálculo da viga de aço isolada, para o estado limite FLA;

M_{Sd} = corresponde ao momento fletor solicitante de cálculo máximo;

n = corresponde ao número de conectores de cisalhamento a serem colocados entre a seção do momento fletor positivo solicitante de cálculo máximo e a seção adjacente de momento nulo.

A NBR 8800 (ABNT, 2008) diz que nas linhas de centro de conectores, o espaçamento entre elas tem que ser igual a oito vezes a espessura total da laje, contudo também não pode ser superior a 915 mm em lajes com fôrmas de aço incorporadas, com nervuras perpendiculares ao perfil de aço.

3 DIMENSIONAMENTO PRÁTICO

Foram analisadas as vigas localizadas na biblioteca do Centro Universitário de Anápolis – UniEvangélica, através do projeto, pois a mesma já se encontra com as obras concluídas. Cálculos realizados em vigas biapoiadas pelo dimensionamento de vigas com bitola W410x38,8, em vigas simples e vigas mistas com recebimento de lajes maciças.

O bloco da biblioteca, possui uma distância de piso a piso igual á 3,20 metros, resultando em uma edificação com altura total de 12,80 metros e o edifício possui 4600m² de area construída, como mostrado na figura 12, quando se encontrava em processo de construção. Para a averiguação, consideramos somente o térreo e mais três pavimentos tipos, desprezando a existência de outros pavimentos, tais como cobertura e mezanino.

A planta baixa do edifício que será dimensionado se encontra no anexo G.

Figura 12 - Estrutura biblioteca UniEvangélica.



Fonte: RC METÁLICAS – 2018.

Os dados calculados a seguir serão utilizados tanto no dimensionamento de viga simples como no dimensionamento de viga mista.

- Peso próprio do aço:

$$P_{aço} = 38,8 \text{ kgf/m (de acordo com anexo A)}$$

- Peso próprio da laje:

$$P_{laje} = h \times \text{peso específico do concreto armado}$$

$$P_{laje} = 0,10 \times 2500 = 250 \text{ kgf/ m}^2$$

- Revestimento:

$$R_{ev} = 0,035 \times 2100 = 73,5 \text{ kgf/ m}^2$$

- Sobrecarga:

$$S_{ob} = 250 \text{ kgf/ m}^2$$

- Carga total da laje:

$$C_{laje} = 250 \times 2,5 = 625 \text{ kgf/m}$$

- Carga total da sobrecarga:

$$C_{sobrecarga} = S_{ob} + P_{aço} + P_{laje}$$

$$C_{sobrecarga} = 538,8 \text{ kgf/m}$$

Lançamentos dos resultados na tabela 5:

Tabela 5 - Critérios para o dimensionamento viga simples e viga mista.

	Dados de carregamentos
$P_{aço}$	38,8 kgf/m
P_{laje}	250 kgf/m ²
R_{ev}	73,5 kgf/ m ²
Sobrecarga	250 kgf/m ²
C_{laje}	625 kgf/m
$C_{sobrecarga}$	538,8 kgf/m

$P_{aço}$ é o peso próprio do aço;

P_{laje} é o peso próprio da laje;

R_{ev} é o revestimento;

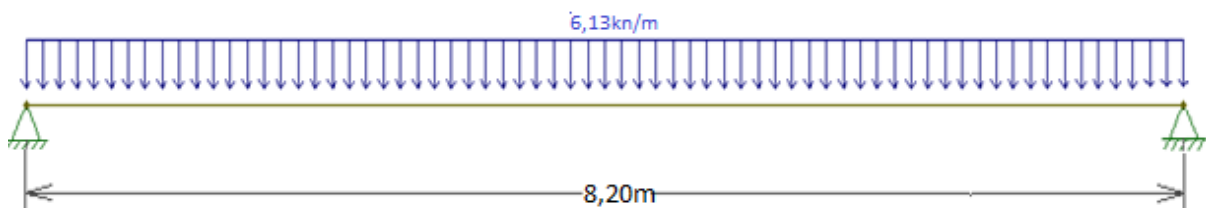
C_{laje} é a carga total da laje;

$C_{sobrecarga}$ é a carga total da sobrecarga.

Fonte: Autoria própria (2019).

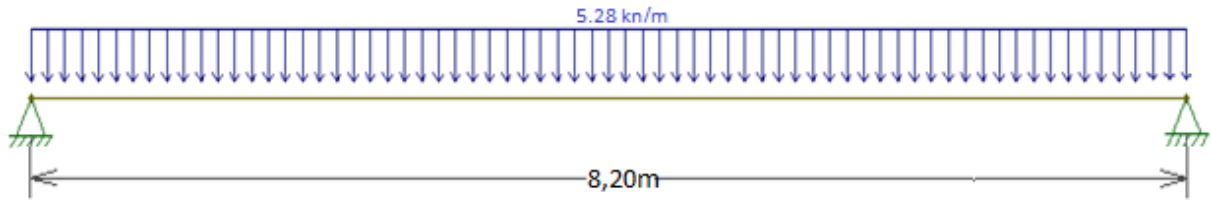
Assim obtemos os diagramas carga total da laje e carga total da sobrecarga mostrados nas Figuras 13 e 14:

Figura 13 - Diagrama da carga total da laje (Claje) em kN/m.



Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 14 - Diagrama da carga total da sobrecarga ($C_{sobrecarga}$) em kN/m.



Fonte: Autoria própria, 2019.

Após calcular as cargas atuantes na estrutura, é fundamental definir as combinações de cargas, com intenção de determinar os efeitos mais desfavoráveis aos quais a estrutura será submetida, ou seja, estaremos superdimensionando a viga simples e a viga mista, para estarmos a favor da segurança. Resultados serão lançados na Tabela 6.

$$\text{Combinação}_1 = 1,1C_{laje} + 1,3 C_{sobrecarga}$$

$$\text{Combinação}_1 = 1,1 \times 625 + 1,3 \times 538,8 = 1387,94 \text{ kgf/m}$$

$$\text{Combinação}_2 = 1,2C_{laje} + 1,3 C_{sobrecarga}$$

$$\text{Combinação}_2 = 1,2 \times 625 + 1,3 \times 538,8 = 1450,44 \text{ kgf/m}$$

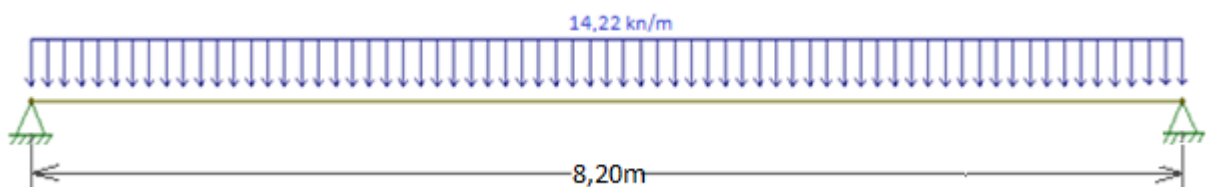
Tabela 6 - Combinações de carregamentos.

Combinação	Carregamento
I	1387,94 kgf/m
II	1450,44 kgf/m

Fonte: Autoria própria (2019).

Utilizaremos a combinação II com resultado igual a 1450,44 kgf/m, ou seja, 14,22 kN/m. Pois é o resultado que está mais a favor da segurança. Logo o diagrama das forças gerais (para a combinação II) é demonstrado pela figura 15.

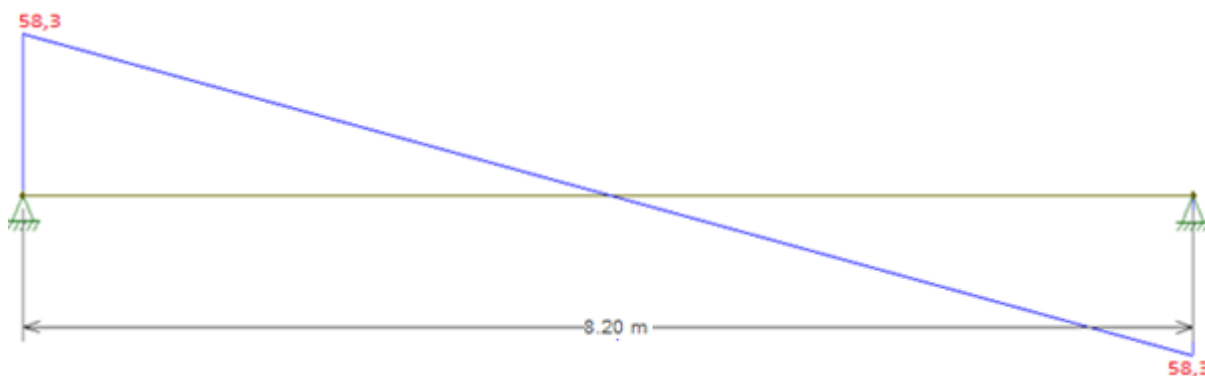
Figura 15 - Diagrama das forças gerais (para a combinação II) em kN/m.



Fonte: Autoria própria, 2019.

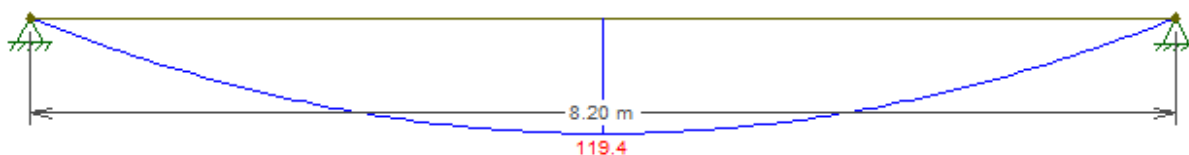
Em seguida, será mostrado o diagrama do esforço cortante e do momento fletor solicitando das vigas Pos15 e Pos18, pelas figuras 16,17,18 e 19.

Figura 16 - Diagrama do esforço cortante (combinação II) kN/m-Pos15 410x38,8.



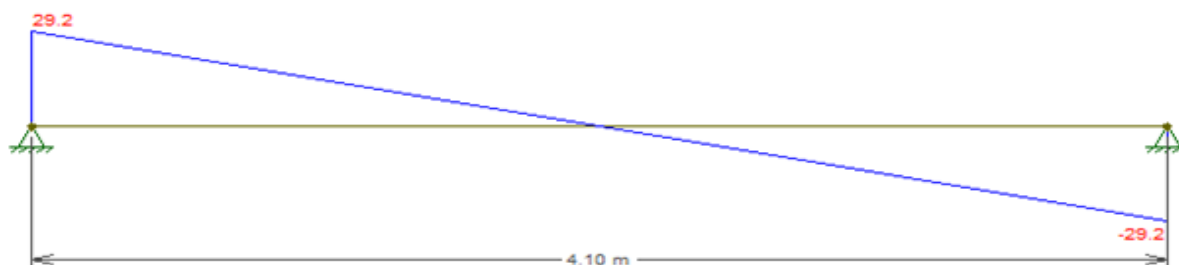
Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 17 - Diagrama momento fletor solicitante (combinação II) kN/m-Pos15 410x38,8.



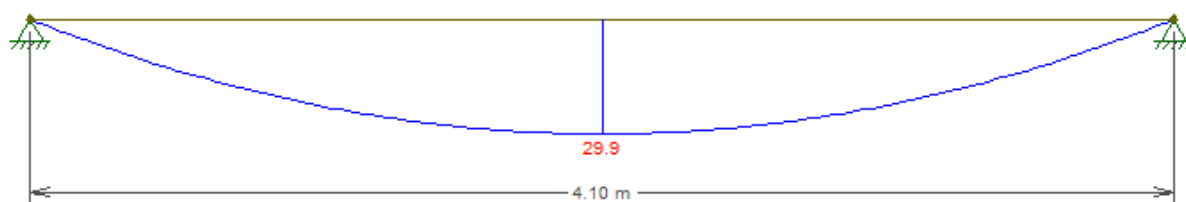
Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 18 - Diagrama do esforço cortante (combinação II) kN/m-Pos18 410x38,8.



Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 19 - Diagrama momento fletor solicitante (combinação II) kN/m-Pos18 410x38,8.

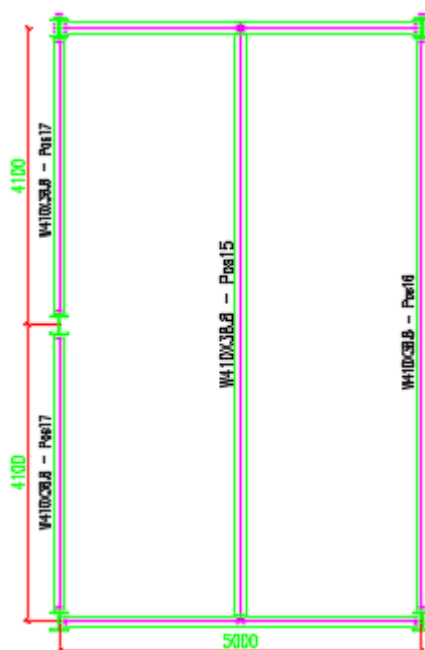


Fonte: Autoria própria, 2019.

3.1 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

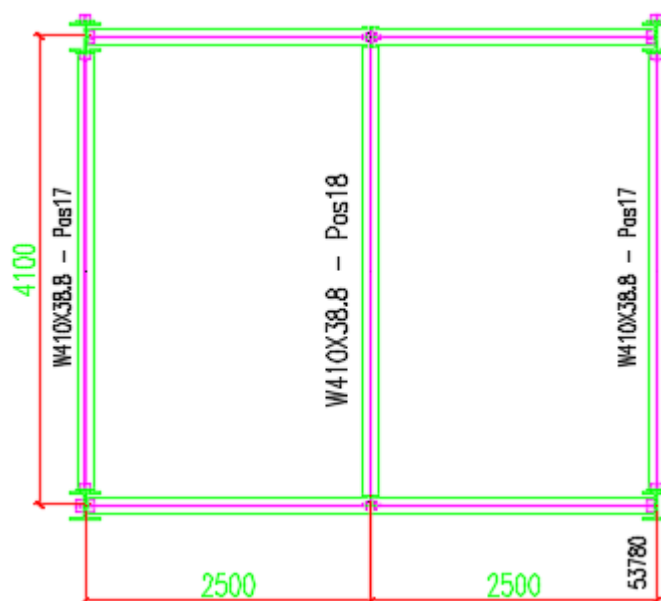
Iremos calcular o dimensionamento das vigas biapoiadas Pos 15 w410x38,8 e Pos 18 w410x38,8, como demonstrado a seguir:

Figura 20 – Viga biapoiada Pos15.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2019.

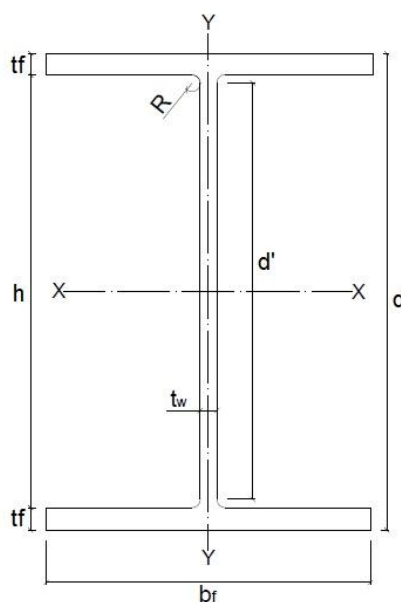
Figura 21 - Viga biapoiada Pos18.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2019.

Os valores das incógnitas do perfil I, de bitola W 410 mm x 38,8 kg/m são obtidos através da tabela de bitolas dos perfis laminados da gerdaui, anexo A. Logo teremos os seguintes valores:

Figura 22 - Detalhamento do perfil I.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2019.

$d = 399 \text{ mm}$; $h = 381 \text{ mm}$; $b_f = 140 \text{ mm}$; $d' = 357 \text{ mm}$; $t_w = 6,4 \text{ mm}$; $t_f = 8,8 \text{ mm}$; $r_y = 2,83 \text{ cm}$.

3.1.1 Dimensionamento da viga simples Pos 15 W410x38,8

3.1.1.1 Deslocamento vertical

Inicia-se a verificação quanto ao deslocamento vertical para evitar ocorrências de deslocamentos excessivos na viga, ou seja, o deslocamento real da viga nunca pode ser maior que o deslocamento limite da viga.

Retirando a seguinte fórmula do Anexo D, utilizando a descrição de viga de piso, para saber qual o deslocamento vertical máximo da viga, temos $l = 820$ cm.

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \frac{l}{350} = 2,34 \text{ cm}$$

Proximo passo é retirar a fórmula do Anexo C, adotando o caso 6. Temos os seguintes valores: $P = 0,1422$ KN/cm, $l = 820$ cm, $E = 20000$ KN/cm² e $I = 12777$ cm⁴.

$$\Delta = \frac{5Pl^4}{384EI} = \frac{5 \times 0,1422 \times 820^4}{384 \times 20000 \times 12777} = 3,28 \text{ cm}$$

Como $\Delta > \Delta_{m\acute{a}x}$ a viga não passou na verificação do deslocamento vertical.

3.1.1.2 Cisalhamento

Agora será feito a verificação ao cisalhamento, ou seja, cálculos para comparação da força cortante de cálculo com a força cortante solicitante de cálculo. Esta etapa encontra-se nas formulas 02 à 10. para os respectivos valores: $d' = 35,7$ cm, $t_w = 0,64$ cm, $k_v = 5$, $E = 20000$ KN/cm² e $f_y = 35$ KN/cm².

$$\lambda = \frac{d'}{t_w} = \frac{35,7}{0,64} = 55,78$$

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} = 1,10 \sqrt{\frac{5 \times 20000}{35}} = 58,80$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} = 1,37 \sqrt{\frac{5 \times 20000}{35}} = 73,23$$

Como $\lambda < \lambda_p$, a seção é compacta, portanto deve-se calcular agora a força cortante resistente de cálculo (V_{rd}), dada pela equação 05, utilizando o seguinte dado: $\gamma_{a1} = 1,10$.

$$A_w = d t_w = 39,9 \times 0,64 = 25,54 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl} = 0,60 A_w f_y = 0,60 \times 25,54 \times 35 = 536,34 \text{ kN}$$

$$V_{rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}} = \frac{536,34}{1,10} = 487,58 \text{ kN}$$

Através do software ftool, foi calculado o maior esforço cortante (V_s), demonstrado pela figura 16, onde tem valor de 58,3 kN. Logo:

$$V_{rd} > V_s$$

Logo a viga passou na verificação do cisalhamento.

3.1.1.3 Momento fletor resistente

Para averiguação da viga simples quanto ao momento fletor resistente, devem ser calculados a flambagem local da mesa (FLM), flambagem local da alma (FLA), flambagem lateral com torção (FLT). Esta etapa encontra-se nas equações 11 à 31.

Para a flambagem local da mesa (FLM):

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{140}{2 \times 8,8} = 7,95 \text{ mm}$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{20000}{35}} = 9,08 \text{ mm}$$

Como $\lambda < \lambda_p$ a seção é compacta, portanto utiliza-se a equação 19 para cálculo do momento fletor resistente. Pela tabela da gerda, Z_x é igual a 736,8.

$$M_{pl} = Z f_y = 736,8 \times 35 = 25788$$

$$M_{rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} = \frac{25788}{1,10} = 23443,6 \text{ kN.cm}$$

Para a flambagem local da alma (FLA):

$$\lambda = \frac{d'}{t_w} = \frac{357}{6,4} = 55,78 \text{ mm}$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{20000}{35}} = 89,88 \text{ mm}$$

Como $\lambda < \lambda_p$ a seção é compacta, portanto utiliza-se a equação 19 para cálculo do momento fletor resistente.

$$M_{rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} = \frac{25788}{1,10} = 23443,6 \text{ kN.cm}$$

Para a flambagem lateral por torção (FLT):

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y} = \frac{820}{2,83} = 289,75$$

$$\lambda_p = 1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \sqrt{\frac{20000}{35}} = 42,07$$

$$\beta_1 = \frac{0,70 \cdot f_y \cdot w}{E \cdot j} = \frac{0,70 \times 35 \times 640,5}{20000 \times 11,69} = 0,067$$

$$c_w = \frac{I_y(d - t_f)^2}{4} = \frac{404 \times (39,9 - 0,88)^2}{4} = 153778,6004$$

$$\lambda_r = \frac{1,38\sqrt{I_y j}}{r_y j \beta_1} \left[\sqrt{\left(1 + \sqrt{\left(1 + \frac{27c_w \beta_1^2}{I_y}\right)}\right)} \right]$$

$$\lambda_r = \frac{1,38\sqrt{404 \times 11,69}}{2,83 \times 11,69 \times 0,067} \left[\sqrt{\left(1 + \sqrt{\left(1 + \frac{27 \times 153778,6004 \times 0,067^2}{404}\right)}\right)} \right]$$

$$\lambda_r = 119,978$$

Como $\lambda > \lambda_r$, define-se a seção como esbelta, utilizando equação 31. Adota-se $\gamma a_1 = 1,10$; $C_b = 1,14$.

$$M_{Cr} = \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_b^2} \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \left(1 + 0,039 \frac{J \cdot L_b^2}{C_w}\right)}$$

$$M_{Cr} = \frac{1,14 \cdot \pi^2 \cdot 20000 \cdot 404}{820^2} \sqrt{\frac{153778,6004}{404} \left(1 + 0,039 \frac{11,69 \cdot 820^2}{153778,6004}\right)}$$

$$M_{Cr} = 4563,871$$

$$M_{Rd} = \frac{4563,871}{1,10} = 4148,97$$

Logo:

$$M_{Rd} = \frac{4563,871}{1,10} = 4148,97 \leq \frac{25788}{1,10} = 23443,6$$

Ok!

3.1.2 Dimensionamento da viga simples Pos 18 W410x38,8

3.1.2.1 Deslocamento vertical

Inicia-se a verificação quanto ao deslocamento vertical para evitar ocorrências de deslocamentos excessivos na viga, ou seja, o deslocamento real da viga nunca pode ser maior que o deslocamento limite da viga.

Retirando a seguinte fórmula do Anexo D, utilizando a descrição de viga de piso, para saber qual o deslocamento vertical máximo da viga, temos $l = 410$ cm.

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \frac{l}{350} = 1,17 \text{ cm}$$

Proximo passo é retirar a fórmula do Anexo c – Deslocamentos elásticos em viga, adota-se o caso 6. Temos os seguintes valores: $P = 0,1422$ KN/cm, $l = 410$ cm, $E = 20000$ KN/cm² e $I = 12777$ cm⁴.

$$\Delta = \frac{5Pl^4}{384EI} = \frac{5 \times 0,1422 \times 410^4}{384 \times 20000 \times 12777} = 0,2047 \text{ cm}$$

Como $\Delta < \Delta_{m\acute{a}x}$ a viga passou na verificação do deslocamento vertical.

3.1.2.2 Cisalhamento

Teremos os mesmos valores obtidos na verificação quanto ao esforço cortante da viga simples anterior. Valores: $\lambda = 55,78$; $\lambda_p = 58,80$; $\lambda_r = 73,23$ (Como $\lambda < \lambda_p$ a seção é compacta). $V_{pl} = 536,34$ kN; $V_{rd} = 487,58$ kN.

Através do software ftool, foi calculado o maior esforço cortante (V_s), demonstrado pela figura 18, onde tem valor de 29,2 kN. Logo:

$$V_{rd} > V_s$$

Logo a viga passou na verificação do cisalhamento.

3.1.2.3 Momento fletor resistente

Para averiguação da viga simples quanto ao momento fletor resistente, devem ser calculados a flambagem local da mesa (FLM), flambagem local da alma (FLA), flambagem lateral com torção (FLT). Esta etapa encontra-se nas equações 11 à 31.

Para a flambagem local da mesa (FLM):

Teremos os mesmos valores obtidos na verificação quanto a flambagem local da mesa (FLM) da viga simples anterior. Valores: $\lambda = 7,95\text{mm}$; $\lambda_p = 9,08\text{ mm}$; (Como $\lambda < \lambda_p$ a seção é compacta). $M_{pl} = 25788$; $M_{rd} = 23443,6\text{ kN.cm}$.

Para a flambagem local da alma (FLA):

Teremos os mesmos valores obtidos na verificação quanto a flambagem local da alma (FLA) da viga simples anterior. Valores: $\lambda = 55,78\text{ mm}$; $\lambda_p = 89,88\text{ mm}$; (Como $\lambda < \lambda_p$ a seção é compacta). $M_{pl} = 25788$; $M_{rd} = 23443,6\text{ kN.cm}$.

Para a flambagem lateral por torção (FLT):

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y} = \frac{410}{2,83} = 144,88$$

$$\lambda_p = 1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \sqrt{\frac{20000}{35}} = 42,07$$

$$\beta_1 = \frac{0,70 \cdot f_y \cdot w}{E \cdot j} = \frac{0,70 \times 35 \times 640,5}{20000 \times 11,69} = 0,067$$

$$c_w = \frac{I_y (d - t_f)^2}{4} = \frac{404 \times (39,9 - 0,88)^2}{4} = 153778,6004$$

$$\lambda_r = \frac{1,38\sqrt{I_y j}}{r_y j \beta_1} \left[\sqrt{\left(1 + \sqrt{\left(1 + \frac{27c_w \beta_1^2}{I_y}\right)}\right)} \right]$$

$$\lambda_r = \frac{1,38\sqrt{404 \times 11,69}}{2,83 \times 11,69 \times 0,067} \left[\sqrt{\left(1 + \sqrt{\left(1 + \frac{27 \times 153778,6004 \times 0,067^2}{404}\right)}\right)} \right]$$

$$\lambda_r = 119,978$$

Como $\lambda > \lambda_r$, define-se a seção como esbelta, utilizando equação 31. Adota-se $\gamma a1 = 1,10$; $C_b=1,14$.

$$M_{CR} = \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_Y}{L_b^2} \sqrt{\frac{C_W}{I_Y} \left(1 + 0,039 \frac{J \cdot L_b^2}{C_W}\right)}$$

$$M_{Cr} = \frac{1,14 \cdot \pi^2 \cdot 20000 \cdot 404}{410^2} \sqrt{\frac{153778,6004}{404} \left(1 + 0,039 \frac{11,69 \cdot 410^2}{153778,6004}\right)}$$

$$M_{Cr} = 12915,608$$

$$M_{Rd} = \frac{12915,608}{1,10} = 11741,46$$

Logo:

$$M_{Rd} = \frac{12915,608}{1,10} = 11741,46 \leq \frac{25788}{1,10} = 23443,6$$

Ok!

3.1.3 Dimensionamento da viga mista Pos 15 W410x38,8

3.1.3.1 Estados limites da viga

Para averiguação da viga mista, é preciso iniciar calculando os estados limites da viga, considerando que a laje com seus conectores impeça a flambagem lateral por torção (FLT), ou seja, não haverá flambagem lateral por torção.

Para a flambagem local da mesa (FLM):

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{140}{2 \times 8,8} = 7,95 \text{ mm}$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{20000}{35}} = 9,08 \text{ mm}$$

Como $\lambda < \lambda_p$ a seção é compacta, portanto utiliza-se a equação 19 para cálculo do momento fletor resistente. Pela tabela da gerdau, Z_x é igual a 736,8.

$$M_{pl} = Zf_y = 736,8 \times 35 = 25788$$

$$M_{rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} = \frac{25788}{1,10} = 23443,63 \text{ kN.cm}$$

Para a flambagem local da alma (FLA):

$$\lambda = \frac{d'}{t_w} = \frac{357}{6,4} = 55,78 \text{ mm}$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{20000}{35}} = 89,88 \text{ mm}$$

Como $\lambda < \lambda_p$ a seção é compacta, portanto utiliza-se a equação 19 para calculo do momento fletor resistente.

$$M_{rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} = \frac{25788}{1,10} = 23443,6 \text{ kN.cm}$$

Através da Figura 17, cálculos isostáticos e software ftool, temos que o momento solicitante de cálculo (M_{sd}) é igual a 11940 kN.cm

Logo:

$M_{sd} < M_{rd}$, não ocorrerá flambagem local.

3.1.3.2 Largura efetiva da laje

Para verificação da largura efetiva da laje, deve-se considerar o vão da viga que corresponde a distância entre os pontos de momento nulo. Diante orientações da norma, temos que efetuar verificações, adotando o menor valor obtido.

Distância entre as linhas de centro dos apoios:

$$b_e = \frac{l}{8} = \frac{820}{8} = 102,5 \text{ cm}$$

Metade da distância de eixo a eixo de duas vigas adjacentes:

$$b_e = \frac{250}{2} = 125 \text{ cm}$$

Multiplicando as distâncias encontradas por dois ($b_e \times 2$), adotaremos a de menor valor. Logo $b_e = 205 \text{ cm}$.

3.1.3.3 Homogeneização da seção

A seção transversal de uma seção mista é constituída de aço e concreto, elementos com propriedades diferentes, mas que exercem suas funções conjuntamente, para resistir as cargas aplicadas em si. Considera uma seção homogeneizada a partir da determinação das propriedades elásticas da seção mista.

Descobrir α_0 , utilizado para cálculo de cargas de curta duração:

$$E_{\text{concreto}} = 4760\sqrt{25} = 23800 \text{ MPa}$$

$$E_{\text{aço}} = 200000 \text{ MPa}$$

$$\alpha_0 = \frac{200000}{23800} = 8,40 \text{ Mpa}$$

Área de concreto efetiva:

$$A_c = \frac{b_e}{\alpha} hc = \frac{205}{8,4} \times 10 = 244,05 \text{ cm}^2$$

Tabela 7 - Propriedades geométricas da seção homogeneizada.

	A_{cm^2}	Y_{cm}	$A \times Y_{\text{cm}^3}$	$A \times Y^2_{\text{cm}^4}$	$I_{0\text{cm}^4}$
Laje	244,05	5	1220,25	6101,25	2033,75
Perfil	50,3	30	1509	45270	12777
Total Σ	294,35	35	2729,25	51371,25	14810,75

Fonte: A autoria própria (2019).

Distância do centro de gravidade da seção para as bordas inferiores e superiores:

$$Y_{\text{sup}} = \frac{\Sigma A \times Y}{\Sigma A} = \frac{2729,25}{294,35} = 9,27 \text{ cm}$$

$$Y_{\text{inf}} = h - Y_{\text{sup}} = 49,99 - 9,27 = 40,72 \text{ cm}$$

Momento de inércia da seção mista:

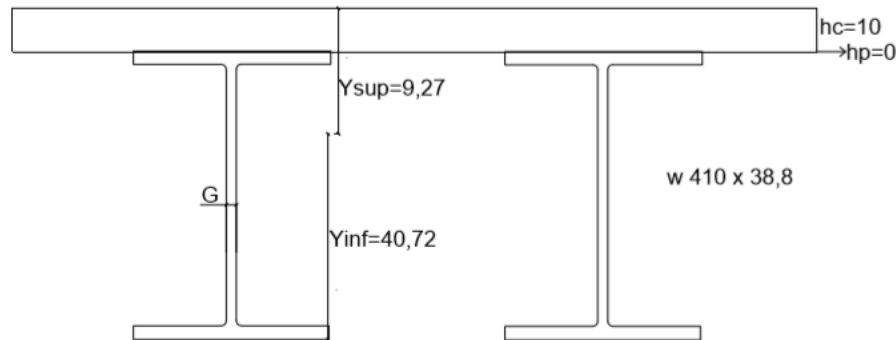
$$I = \Sigma I_0 + \Sigma A \times Y^2 - \Sigma A \times Y_{\text{sup}}^2 = 14810,75 + 51371,25 - 294,35 \times 9,27^2 = 40887,65 \text{ cm}^4$$

Módulo de resistência elástico da seção transversal mista em relação ao eixo de flexão:

$$W_{\text{superior}} = \frac{I}{Y_{\text{sup}}} = \frac{40887,65}{9,27} = 4410,75 \text{ cm}^3$$

$$W_{inferior} = \frac{I}{Y_{inf}} = \frac{40887,65}{40,72} = 1004,12 \text{ cm}^3$$

Figura 23 - Homogeneização da seção.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2019.

3.1.3.4 Linha neutra

É necessário saber se a linha neutra está localizada na laje de concreto ou na seção de aço, adotando os seguintes dados: $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$, $f_y = 35 \text{ KN/cm}^2$, $\gamma_c = 1,40$, $\gamma_{a1} = 1,10$, $A = 50,3 \text{ cm}^2$, $b_e = 205 \text{ cm}$ e $h_c = 10 \text{ cm}$.

$$R_{cd} = \frac{0,85f_{ck}}{\gamma_c} b_e h_c = \frac{0,85 \times 2,5}{1,4} 205 \times 10 = 3111,607 \text{ kN}$$

$$R_{td} = \frac{f_y A}{\gamma_{a1}} = \frac{35 \times 50,3}{1,10} = 1600,45 \text{ kN}$$

Como $R_{cd} > R_{td}$ a linha neutra plástica está localizada na laje de concreto, portanto deve-se calcular agora a profundidade da linha neutra:

$$x = \frac{f_y A / \gamma_{a1}}{0,85 f_{ck} b_e / \gamma_c} < h_c$$

$$x = \frac{35 \times 50,3 / 1,10}{0,85 \times 2,5 \times 205 / 1,4} = 5,14 \text{ cm}$$

$$x = 5,14\text{cm} < 10\text{cm}$$

3.1.3.5 Momento fletor resistente de cálculo em momentos positivos

Após descobrir a posição da linha neutra, e a mesma está localizada na laje de concreto, calcula-se o momento resistente:

$$M_{dres} = R_{tdZ} = \frac{f_y A}{\gamma_{a1}} \left(y_s + h_p + h_c - \frac{x}{2} \right) = \frac{35 \times 50,3}{1,10} \left(19,95 + 0 + 10 - \frac{5,14}{2} \right)$$

$$M_{dres} = 43820,44 \text{ kN.cm}$$

3.1.3.6 Deslocamento vertical

Assim como foi realizado nos dimensionamentos de viga simples, é necessário fazer a verificação quanto ao deslocamento vertical da viga mista, retirando a seguinte fórmula do Anexo D, utilizando a descrição de viga de piso. Para saber qual o deslocamento vertical máximo da viga, temos $l = 820 \text{ cm}$.

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \frac{l}{350} = 2,34 \text{ cm}$$

Proximo passo é fazer a verificação quanto ao deslocamento máximo, retirando a fórmula do Anexo C, adota-se o caso 6. Temos os seguintes valores: $P = 0,1422 \text{ KN/cm}$, $l = 820 \text{ cm}$, $E = 20000 \text{ KN/cm}^2$ e $I = 40887,65 \text{ cm}^4$.

$$\Delta = \frac{5Pl^4}{384EI} = \frac{5 \times 0,1422 \times 820^4}{384 \times 20000 \times 40887,65} = 1,02 \text{ cm}$$

Como $\Delta < \Delta_{m\acute{a}x}$, logo concluímos que a viga passou na verificação quanto ao deslocamento vertical. Observa-se que no dimensionamento de viga simples não havia passado na verificação, mas quando adicionamos a laje com seus conectores a verificação foi bem sucedida.

3.1.3.7 Cisalhamento

Teremos os mesmos valores obtidos na verificação quanto ao esforço cortante da viga simples pos 15 em aço. Valores: $\lambda = 55,78$; $\lambda_p = 58,80$; $\lambda_r = 73,23$ (Como $\lambda < \lambda_p$ a seção é compacta). $V_{pl} = 536,34$ kn; $V_{rd} = 487,58$ KN; $V_s = 58,3$ KN

$$V_{rd} > V_s$$

Logo a viga passou na verificação do cisalhamento.

3.1.3.8 Armadura longitudinal

Como as vigas que estamos dimensionamento são biapoiadas, as mesmas necessitam de uma quantidade de armadura necessária para o controle de fissuração. Utilizando os seguintes valores: $b_e = 205$ cm, $t_c = 10$ cm (espessura da laje), $f_{ct,ef} = 3,0$ MPa, $W_k = 0,3$ mm, $f_{ck} = 25$ MPa, $\phi = 12,5$ mm e $f_{ys} = 500$ MPa.

Teremos que utilizar a tabela 08 para encontrar o valor de W_k (abertura máxima característica das fissuras), onde a mesma foi retirada da norma 6118-2014. Em nosso caso, iremos adotar classe de agressividade II e III.

E para identificarmos o valor de $f_{ct,ef}$ (resistência média a tração efetiva do concreto no instante em que formam as primeiras fissuras), diante da norma 6118-2014, página 131, é recomendado adotar o valor de 3 Mpa.

Área Efetiva da Laje de Concreto:

$$A_{ct} = b_e t_c = 205 \times 10 = 2050 \text{ cm}^2$$

Cálculo da máxima tensão de tração a ser absorvida pela armadura:

Tabela 8 - Valores limites característicos de W_k .

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	
Concreto armado	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	Combinação frequente
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	

Fonte: NBR 6118-2014.

$$\sigma_{st} = 810 \sqrt{\frac{W_k^3 \sqrt{f_{ck}^2}}{\phi}} = 810 \sqrt{\frac{0,3^3 \sqrt{25^2}}{12,5}} = 366,92 \text{ Mpa} \leq f_{ys} 500 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{st} = 366,92 \leq 500$$

Armadura da seção:

$$A_s = \frac{0,72 f_{ct,ef} A_{ct}}{\sigma_{st}} = \frac{0,72 \times 3 \times 2050}{366,92} = 12,068 \text{ cm}^2$$

Logo através do anexo F, conclui-se que necessita de barras de aço de $\phi = 12,5$, espaçadas a cada 10cm, que resultarão em uma $A_s = 12,27 \text{ cm}^2$.

3.1.4 Dimensionamento da viga mista Pos 18 W410x38,8

3.1.4.1 Estados limites da viga

Para averiguação da viga mista, é preciso iniciar calculando os estados limites da viga, considerando que a laje com seus conectores impeça a flambagem lateral por torção (FLT), ou seja, não haverá flambagem lateral por torção.

Para a flambagem local da mesa (FLM):

Teremos os mesmos valores obtidos na verificação quanto a flambagem local da mesa (FLM) da viga simples pos 18 de aço. $\lambda = 7,95mm$; $\lambda_p = 9,08 mm$; (Como $\lambda < \lambda_p$ a seção é compacta). $M_{pl} = 25788$; $M_{rd} = 23443,6 kN.cm$.

Para a flambagem local da alma (FLA):

Teremos os mesmos valores obtidos na verificação quanto a flambagem local da alma (FLA) da viga simples pos 18. Valores: $\lambda = 55,78 mm$; $\lambda_p = 89,88 mm$; (Como $\lambda < \lambda_p$ a seção é compacta). $M_{pl} = 25788$; $M_{rd} = 23443,6 kN.cm$.

Através da Figura 19, cálculos isostáticos e software fool, temos que o momento solicitante de cálculo (M_{sd}) é igual a 2990 kN.cm

Logo:

$$M_{sd} < M_{rd}, \text{ não ocorrerá flambagem local.}$$

3.1.4.2 Largura efetiva da laje

Para verificação da largura efetiva da laje, deve-se considerar o vão da viga que corresponde a distância entre os pontos de momento nulo. Diante orientações da norma, temos que efetuar verificações, adotando o menor valor obtido.

Distância entre as linhas de centro dos apoios:

$$b_e = \frac{l}{8} = \frac{410}{8} = 51,25cm$$

Metade da distância de eixo a eixo de duas vigas adjacentes:

$$b_e = \frac{189}{2} = 94,5cm$$

Multiplicando as distâncias encontradas por dois ($b_e \times 2$), adotaremos a de menor valor. Logo $b_e = 102,5cm$

3.1.4.3 Homogeneização da seção

A seção transversal de uma seção mista é constituída de aço e concreto, elementos com propriedades diferentes, mas que exercem suas funções conjuntamente, para resistir as cargas aplicadas em si. Considera uma seção homogeneizada a partir da determinação das propriedades elásticas da seção mista.

Descobrir α_0 , utilizado para cálculo de cargas de curta duração:

$$\alpha_0 = \frac{200000}{23800} = 8,40 \text{ Mpa}$$

Área de concreto efetiva:

$$A_c = \frac{b_e}{\alpha} hc = \frac{102,5}{8,4} \times 10 = 122,02 \text{ cm}^2$$

Tabela 9 - Propriedades geométricas da seção homogeneizada.

	A_{cm^2}	Y_{cm}	$A \times Y_{\text{cm}^3}$	$A \times Y^2_{\text{cm}^4}$	$I_0_{\text{cm}^4}$
Laje	122,02	5	610,10	3050,50	1016,83
Perfil	50,3	30	1509	45270	12777
Total Σ	172,32	35	2119,10	48320,50	13793,83

Fonte: Autoria própria (2019).

Distância do centro de gravidade da seção para as bordas inferiores e superiores:

$$Y_{sup} = \frac{\Sigma A \times Y}{\Sigma A} = \frac{2119,10}{172,32} = 12,29 \text{ cm}$$

$$Y_{inf} = h - Y_{sup} = 49,99 - 12,29 = 37,7 \text{ cm}$$

Momento de inércia da seção mista:

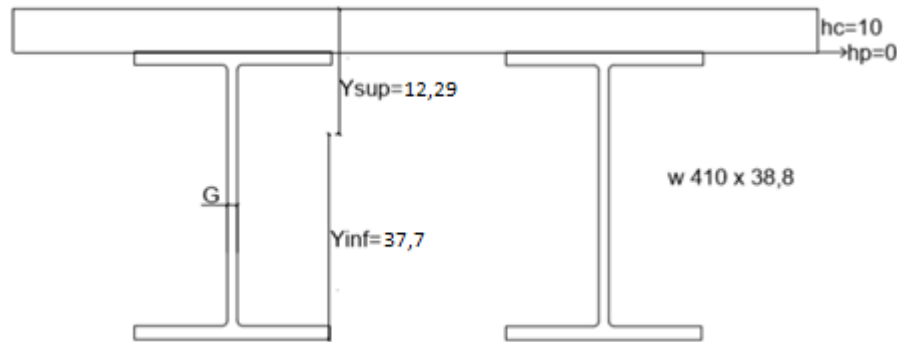
$$I = \Sigma I_0 + \Sigma A \times Y^2 - \Sigma A \times Y_{sup}^2 = 13793,83 + 48320,50 - 172,32 \times 12,29^2 = 36086,41 \text{ cm}^4$$

Módulo de resistência elástico da seção transversal mista em relação ao eixo de flexão:

$$W_{superior} = \frac{I}{Y_{sup}} = \frac{36086,41}{12,29} = 2936,24 \text{ cm}^3$$

$$W_{inferior} = \frac{I}{Y_{inf}} = \frac{36086,41}{37,7} = 957,19 \text{ cm}^3$$

Figura 24 - Homogeneização da seção.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2019.

3.1.4.4 Linha neutra

É necessário saber se a linha neutra está localizada na laje de concreto ou na seção de aço, adotando os seguintes dados: $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$, $f_y = 35 \text{ KN/cm}^2$, $\gamma_c = 1,40$, $\gamma_{a1} = 1,10$, $A = 50,3 \text{ cm}^2$, $b_e = 102,5 \text{ cm}$ e $h_c = 10 \text{ cm}$.

$$R_{cd} = \frac{0,85f_{ck}}{\gamma_c} b_e h_c = \frac{0,85 \times 2,5}{1,4} 102,5 \times 10 = 1555,80 \text{ kN}$$

$$R_{td} = \frac{f_y A}{\gamma_{a1}} = \frac{35 \times 50,3}{1,10} = 1600,45 \text{ kN}$$

Como $R_{cd} < R_{td}$ a linha neutra plástica está localizada na seção de aço, logo a parte comprimida da seção de aço irá contribuir para a resultante de compressão F_{cd} , com uma força C_{ad} , calculada pela equação a seguir:

$$C_{ad} = \frac{1}{2} (R_{td} - R_{cd}) = \frac{1}{2} (1600,45 - 1555,80) = 22,33$$

$$C_{ad} = 22,33 < \frac{f_y b_f t_f}{\gamma_{a1}} = \frac{35 \times 14 \times 0,88}{1,10} = 392$$

Logo, temos que a linha neutra está situada na mesa superior do perfil de aço.

$$y = \frac{C_{ad}}{f_y b_f / \gamma_{a1}} = \frac{22,33}{35 \times 14 / 1,10} = 0,050$$

3.1.4.5 Momento fletor resistente de cálculo em momentos positivos

Após descobrir a posição da linha neutra, e a mesma está localizada na mesa superior do perfil de aço, calcula-se o momento resistente:

$$\begin{aligned} M_{dres} &= R_{cd}Z + C_{ad}Z' = R_{cd} \left(h - y_t + h_p + \frac{h}{2} \right) + C_{ad}(h - y_t + y_c) \\ &= 1555,80 \left(38,1 - 19,95 + 0 + \frac{38,1}{2} \right) + 22,33(38,1 - 19,95 + 19,95) \\ M_{dres} &= 58726,533 \text{ kN.cm} \end{aligned}$$

3.1.4.6 Deslocamento vertical

Assim como foi realizado nos dimensionamentos de viga simples, é necessário fazer a verificação quanto ao deslocamento vertical da viga mista, retirando a seguinte fórmula do Anexo D, utilizando a descrição de viga de piso. Para saber qual o deslocamento vertical máximo da viga, temos $l = 410$ cm.

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \frac{l}{350} = 1,17 \text{ cm}$$

Proximo passo é fazer a verificação quanto ao deslocamento máximo, retirando a fórmula do Anexo C, adota-se o caso 6. Temos os seguintes valores: $P = 0,1422$ KN/cm, $l = 410$ cm, $E = 20000$ KN/cm² e $I = 36086,41$ cm⁴.

$$\Delta = \frac{5P l^4}{384EI} = \frac{5 \times 0,1422 \times 410^4}{384 \times 20000 \times 36086,41} = 0,0725 \text{ cm}$$

Como $\Delta < \Delta_{m\acute{a}x}$, logo concluímos que a viga passou na verificação quanto ao deslocamento vertical.

3.1.4.7 Cisalhamento

Teremos os mesmos valores obtidos na verificação quanto ao esforço cortante da viga simples em aço. Valores: $\lambda = 55,78$; $\lambda_p = 58,80$; $\lambda_r = 73,23$ (Como $\lambda < \lambda_p$ a seção é compacta). $V_{pl} = 536,34$ kN; $V_{rd} = 487,58$ kN; $V_s = 29,2$ kN.

$$V_{rd} > V_s$$

Logo a viga passou na verificação do cisalhamento.

3.1.4.8 Armadura longitudinal

Como as vigas que estamos dimensionando são biapoiadas, as mesmas necessitam de uma quantidade de armadura necessária para o controle de fissuração. Utilizando os seguintes valores: $b_e = 102,5$ cm, $t_c = 10$ cm, $f_{ct,ef} = 3,0$ MPa, $W_k = 0,3$ mm, $f_{ck} = 25$ MPa, $\phi = 12,5$ mm e $f_{ys} = 500$ MPa.

Teremos que utilizar a tabela 08 para encontrar o valor de W_k (abertura máxima característica das fissuras), onde a mesma foi retirada da norma 6118-2014. Em nosso caso, iremos adotar classe de agressividade II e III.

E para identificarmos o valor de $f_{ct,ef}$ (resistência média a tração efetiva do concreto no instante em que formam as primeiras fissuras), diante da norma 6118-2014, página 131, é recomendado adotar o valor de 3 Mpa.

Área Efetiva da Laje de Concreto:

$$A_{ct} = b_e t_c = 102,5 \times 10 = 1025 \text{ cm}^2$$

Cálculo da máxima tensão de tração a ser absorvida pela armadura:

$$\sigma_{st} = 810 \sqrt{\frac{W_k^3 \sqrt{f_{ck}^2}}{\phi}} = 810 \sqrt{\frac{0,3^3 \sqrt{25^2}}{12,5}} = 366,92 \text{ Mpa} \leq f_{ys} 500 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{st} = 366,92 \leq 500$$

Armadura da seção:

$$A_s = \frac{0,72f_{ct,ef}A_{ct}}{\sigma_{st}} = \frac{0,72 \times 3 \times 1025}{366,92} = 6,03\text{cm}^2$$

Logo através do anexo F, conclui-se que se necessita de barras de aço de $\phi = 12,5$, espaçadas a cada 20cm, que resultarão em uma $A_s=6,14\text{cm}^2$.

3.1.5 Dimensionamento conectores

E a última etapa é feito o detalhadamente dos cálculos do dimensionamento dos conectores soldados de ambas as vigas. Como previsto em projeto e pela Figura 25, será utilizado conectores de cisalhamento do tipo perfil U laminado, onde os mesmos são embutidos na laje maciça de concreto com face inferior plana diretamente apoiada sobre a viga de aço.

Figura 25 - Conectores da estrutura biblioteca UniEvangélica.



Fonte: RC METÁLICAS – 2018.

Para determinar a Resistência de cálculo, adotamos $\gamma_{cs} = 1,25$, $L_{cs} = 100\text{mm}$, $t_{wcs}=4,67\text{mm}$, $t_{fcs}=7,52\text{mm}$; $E_c=23800\text{Mpa}$.

$$Q_{Rd} = \frac{0,3(t_{fcs} + 0,5t_{wcs})L_{cs}\sqrt{f_{ck}E_c}}{\gamma_{cs}}$$

$$Q_{Rd} = \frac{0,3(7,52 + 0,5 \times 4,67) \times 100 \times \sqrt{25 \times 23800}}{1,25} = 182442,64 \text{ N}$$

$$Q_{Rd} = 182,4 \text{ kN}$$

Determinação de quantidade mínima de conectores: O espaçamento máximo entre linhas de centro de conectores deve ser igual a oito vezes a espessura total da laje; esse espaçamento também não pode ser superior a 915 mm no caso de lajes com fôrmas de aço incorporadas, com nervuras perpendiculares ao perfil de aço. (NBR8800, ABNT 2008)

$$n = \frac{A f_y}{Q_{Rd}} = \frac{50,3 \times 35}{182,4} \cong 10 \text{ Conectores}$$

Espaçamento necessário entre os conectores:

$$s = \frac{l}{n} = \frac{820}{10} = 82 \text{ cm para viga Pos15}$$

$$s = \frac{l}{n} = \frac{410}{10} = 41 \text{ cm para viga Pos18}$$

Conforme a norma cita logo acima, o espaçamento máximo foi ultrapassado na viga Pos 15, dessa forma iremos aumentar a quantidade de conectores e deixar os espaçamentos iguais aos da viga Pos 18 (41 cm), utilizando a equação seguinte:

$$n = \frac{l}{s} = \frac{820}{41} = 20 \text{ conectores para viga Pos15}$$

Então:

$$n = \frac{l}{s} = \frac{820}{20} = 41 \text{ cm para a viga Pos 15}$$

As distribuições dos conectores nas vigas serão simétricas, sendo 10 para cada metade do vão da viga Pos 15 e 5 para cada metade do vão da viga Pos 18.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Após realizar todos os cálculos, reservamos essa parte para expor detalhadamente os resultados finais através de tabelas e gráficos, com objetivo de uma análise e comparação dos resultados obtidos entre a viga simples e a viga mista.

Os resultados encontrados em relação ao espaçamento e quantidade de conectores encontram-se no Capítulo 3.1.5.

Quadro 1, apresenta os resultados da viga Pos 15:

Quadro 1 - Tabela comparativa com resultados do dimensionamento viga Pos 15.

	Deslocamento Vertical		Cisalhamento	Momento Resis.
	Δ cm	$\Delta_{m\acute{a}x}$ cm	V_{Rd} kN	M_{rd} kN.cm
Viga simples	3,28	2,34	487,58	4148,97
Viga mista	1,02	2,34	487,58	43820,44

Fonte: Aatoria própria (2019).

Quadro 2, apresenta os resultados da viga Pos 18:

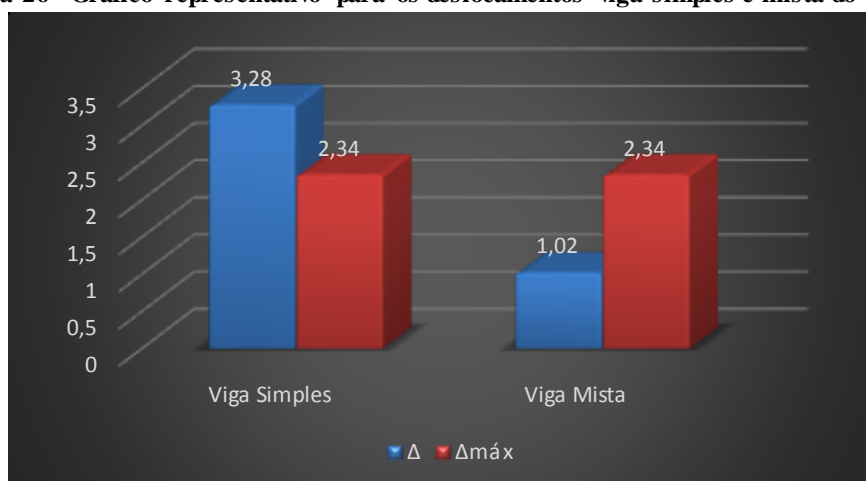
Quadro 2 - Tabela comparativa com resultados do dimensionamento viga Pos 18.

	Deslocamento Vertical		Cisalhamento	Momento Resis.
	Δ cm	$\Delta_{m\acute{a}x}$ cm	V_{Rd} kN	M_{rd} kN.cm
Viga simples	0,2047	1,17	487,58	11741,19
Viga mista	0,0725	1,17	487,58	58726,53

Fonte: Aatoria própria (2019).

Na figura 26, mostra que a viga simples Pos 15 obteve 3,28 cm de deslocamento real, no qual foi maior que o deslocamento máximo de 2,34 cm, sendo que a mesma não passou na verificação. Posteriormente, a mesma viga Pos 15, porém sendo mista, obteve 1,02 cm de deslocamento real, sendo menor que 2,34 cm ($\Delta_{m\acute{a}x}$), logo passou na verificação.

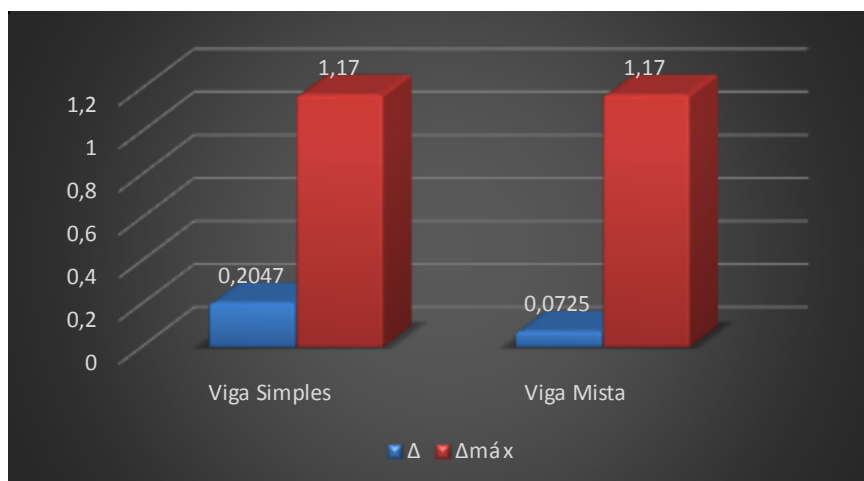
Figura 26 - Gráfico representativo para os deslocamentos viga simples e mista do Pos 15.



Fonte: Autoria própria, 2019.

Já na figura 27, a flecha passou na verificação na viga simples, portanto foi maior em comparação ao da viga mista.

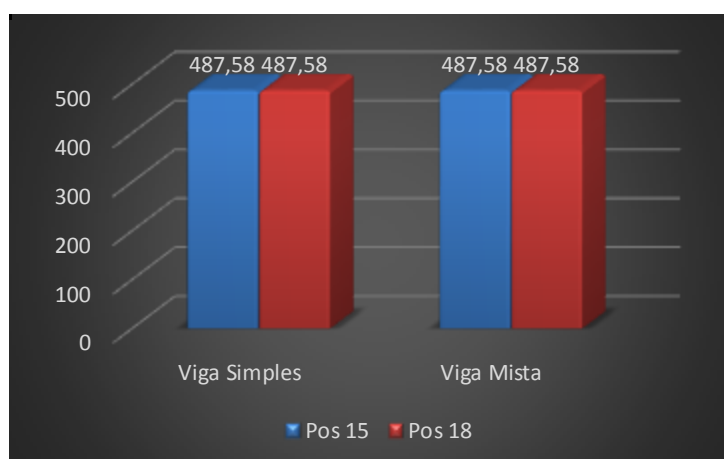
Figura 27 - Gráfico representativo para os deslocamentos viga simples e mista do Pos 18.



Fonte: Autoria própria, 2019.

A força cortante sempre será a mesma para ambas as vigas, porque valor resultante depende apenas da área do perfil, ou seja, tanto para a viga de aço quanto para a viga de aço com laje de concreto. Demonstração na figura 28.

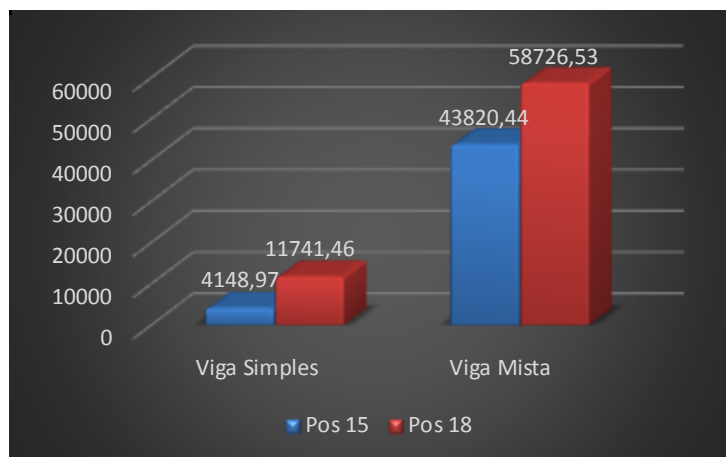
Figura 28 - Gráfico representativo para o esforço cortante da viga Pos15 e Pos18.



Fonte: Autoria própria, 2019.

Como a laje de concreto armado trabalha junto com o perfil de aço (viga mista) para combater a flexão, passarão a ter uma resistência maior em relação à viga simples. Na figura 29 mostra a viga simples Pos 15 e Pos 18 com seus respectivos valores, de 4148,97 kN.cm e 43820,44 kN.cm, nos quais apresentam uma diferença significativa comparado com os valores da viga mista, de 11741,46 kN.cm para a Pos 15 e 58726,53 kN.cm para a viga Pos 18.

Figura 29 - Gráfico representativo para o momento fletor resistente da viga Pos15 e Pos18.



Fonte: Autoria própria, 2019.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando as tabelas 10 e 11, do dimensionamento de vigas simples e viga mista, conclui-se que há um grande benefício em utilizar a viga mista em uma edificação. A estrutura verificada houve uma melhora considerável no deslocamento e resistência da viga mista em comparação a viga simples.

O deslocamento menor na viga Pos 15 e Pos 18 está relacionada à inércia aplicada em toda estrutura, e subsequente, à viga mista pelo fato de ser composta, ou seja, a inércia é comum ao mesmo tempo para a laje de concreto armado e viga de aço. Já a viga sendo somente de aço, faz com que a flecha seja maior.

A viga mista consegue resistir um momento fletor muito maior em relação a viga simples, devido aos conectores que promove ligação com o perfil à laje. Os conectores têm um grande ponto positivo pois ao promover a ligação entre o perfil e a laje, impede a flambagem lateral de torção (FLT), de outro modo, a viga simples pode sofrer torção por não ser travada entre seus apoios.

Já o esforço cortante não houve distinção de valores, por que o concreto não é considerado na verificação em ambas estruturas e sim somente a seção do aço.

Fundamentada nas comparações dos meios construtivos de estrutura, a viga mista se destaca em todos os parâmetros. Além do ganho de maior resistência sobre as cargas atuantes, ela obtém maior rigidez, diminuição da altura do perfil, redução no consumo de aço estrutural, proteção contra incêndio e corrosão, agilidade na montagem, diminuição da carga própria que até influencia no dimensionamento da fundação de concreto armado, conseqüentemente economia e melhor custo benefício. Tudo isso se torna bastante competitivo aos demais meios construtivos.

REFERÊNCIAS

PFEIL, W; PFEIL, M. **Estruturas de Aço – Dimensionamento Prático**. 8º ed. Rio de Janeiro, RJ. Ed LTC, 2012.

BRAGANÇA PINHEIRO, A. C. F. **Estruturas Metálicas**. 2º ed. São Paulo, SP. Ed Blucher, 2005.

NBR 8800. **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 2008.

SILVA, V. P.; PANNONI, F. D. **Estruturas de aço para edifícios**. 5º ed. São Paulo, SP, 2009.

CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. F.; **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. 4º ed. São Carlos, 2014.

QUEIROZ, Gilson. **Estruturas híbridas e mistas de concreto e aço**. CBCA - Centro Brasileiro de Construção em Aço. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/noticias-detalhes.php?cod=6155>>. Acesso em: 20 set. 2018 e 26 set. 2018.

DAVID, D.L, *et al.* **Vigas mistas com laje treliçada e perfis formados a frio: análise do comportamento estrutural**. 1v. 218p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, 2005.

CASTRO E SILVA, Ana Lydia Reis de; CALDAS, Rodrigo Barreto; FAKURY, Ricardo Hallal. **Introdução ao aço: histórico**. Minas Gerais: CEAM – UFMG. Disponível em: <<https://www.sites.google.com/site/acoufmg/home/historico>>. Acesso em: 08 set. 2018.

COPYRIGHT, Instituto Aço Brasil. **O Aço**. Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site2015/introducao_historia.html>. Acesso em: 10 set. 2018.

FUZHARA, Marisa Aparecida Leonel da Silva. **Ligações e amaduras de lajes em vigas mistas de aço e concreto**. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. São Paulo, 2006. 165p. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde-07082007-120045/pt-br.php>>. Acesso em: 06 dez. 2018 as 09:30.

CARDOSO, Cleverson Gomes. **Estrutura metálica – flexão**. Disponível em: <<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15116/material/Flex%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 06 dez. 2018 as 10:39.

SARDÁ, Alexandre Augusto Pescador. **Estruturas Metálicas Vigas de Alma Cheia**. Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec_NOTURNO/TM370/EstruturasMet%C3%A1licas_VigasdeAlmaCheia.pdf>. Acesso em: 06 dez. 2018 as 10:54.

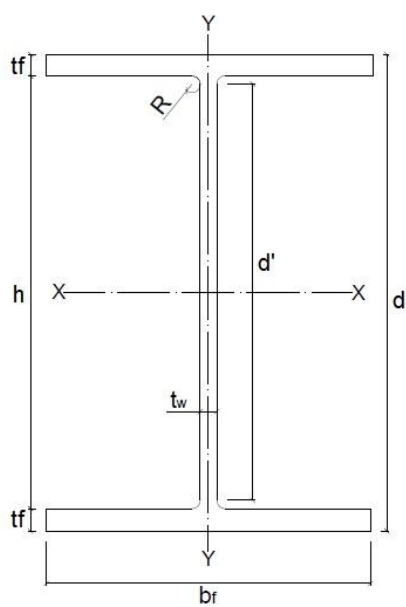
BEZERRA, Eduardo Matos. **Determinação do Momento Fletor Resistente à Flambagem Lateral com Torção de Vigas de Aço Casteladas**. Universidade Federal de Minas Gerais – Escola de Engenharia – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas. 2011.

120p. Disponível em: <<http://pos.dees.ufmg.br/defesas/707M.PDF>>. Acesso em: 06 dez. 2018 as 11:40.

PINHEIRO, CATOIA, CATOIA, Libânio Miranda, Bruna, Thiago. **Tabela de Vigas: Deslocamentos e Momentos de Engastamento Perfeito.** Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Engenharia de Estruturas. 2010. 120p. Disponível em: <<http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/concreto/Textos/22%20Tabelas%20de%20vigas.pdf>>. Acesso em: 06 dez. 2018 as 14:40.

ALVA, Gerson Moacyr Sisniegas; MALITE, Maximiliano. **Comportamento estrutural e dimensionamento de elementos mistos aço-concreto.** Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/nova_versao/pdf/cee25_51.pdf>. Acesso em: 03 dez. 2018

**ANEXO A – TABELA DE BITOLAS DOS PERFIS LAMINADOS DA GERDAU
AÇOMINAS**

Detalhamento do Perfil I Gerdau Açominas

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA, 2019

Parte 1/3

BITOLA mm x kg/m	Massa Lineare kg/m	ESPESSURA			EIXO X - X			EIXO Y - Y			ESBELTEZ			u m ² /m	BITOLA In x lb/ft								
		d	b _t	t _c	h	d'	Area cm ²	I _x cm ⁴	W _x cm ³	r _x cm	Z _x cm ³	I _y cm ⁴	W _y cm ³			r _y cm	Z _y cm ³	I _t cm ⁴	r _t cm	I _t cm ⁴	C _e cm ⁴	MESA-λ _y b _y /2t _c	ALMA-λ _x d'/t _c
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	6,64	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	428,5	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	141,130	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	305,5	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	10,64	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	1085,1	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

Parte 2/3

BITOLA mm x kg/m	Masa Linear kg/m	ESPESSURA			EIXO X - X			EIXO Y - Y				ESBELTEZ			C _c cm ⁴	u m ² /m	BITOLA In x lb/ft						
		d	b ₁	t	h	d'	Area cm ²	I _x	W _x	r _x	Z _x	I _y	W _y	r _y				Z _y	r _c	I _c cm ⁴	MESA- λ_1 b ₁ /2t	ALMA- λ_2 d'/t ₂	
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	2063,7	11,86	2435,3	9880	745,7	6,79	1140,2	7,33	644,95	4,17	10,07	1.631,158	1,57	W 10 x 112
W 310 x 210	210	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	8,66	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	2,59	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	227	88,1	3,82	134,9	4,38	13,20	8,51	46,66	163,728	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	255	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	306	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	1289,1	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	277	245	123,6	22284	1447,0	13,43	1594,2	7286	477,8	7,68	725,0	8,38	92,12	9,00	24,77	1.558,682	1,79	W 12 x 65
W 310 x 107,0 (H)	107,0	311	306	10,9	17,0	277	245	136,4	24859	1597,3	13,49	1768,2	8123	530,9	7,72	806,1	8,41	122,68	9,00	22,48	1.754,271	1,80	W 12 x 72
HP 310 x 110,0 (H)	110,0	308	310	15,4	15,5	277	245	141,0	23703	1539,1	12,97	1730,6	7707	497,3	7,39	763,7	8,33	125,66	10,00	15,91	1.646,104	1,80	HP 12 x 74
W 310 x 117,0 (H)	117,0	314	307	11,9	18,7	277	245	149,9	27563	1755,6	13,56	1952,6	9024	587,9	7,76	893,1	8,44	161,61	8,21	20,55	1.965,950	1,80	W 12 x 79
HP 310 x 125,0 (H)	125,0	312	312	17,4	17,4	277	245	159,0	27076	1735,6	13,05	1963,3	8823	585,6	7,45	870,6	8,38	177,98	8,97	14,09	1.911,029	1,81	HP 12 x 84
W 310 x 129,0 (H)*	129,0	318	308	13,1	20,6	277	245	165,4	30819	1938,3	13,65	2167,6	10039	651,9	7,79	991,2	8,48	214,66	7,48	16,69	2.216,146	1,81	W 12 x 87
HP 310 x 132 (H)	132,0	314	313	18,3	18,3	277	245	167,5	28731	1830,0	13,10	2075,5	9371	598,8	7,48	922,4	8,41	206,79	8,55	13,41	2.044,445	1,82	HP 12 x 89
W 310 x 143,0 (H)*	143,0	323	309	14,0	22,9	277	245	182,5	34812	2155,6	13,81	2422,2	11270	729,4	7,86	1109,2	8,52	288,76	6,75	17,51	2.535,314	1,83	W 12 x 96
W 310 x 158,0 (H)*	158,0	327	310	15,5	25,1	277	245	200,7	38681	2365,8	13,88	2875,7	12474	804,8	7,88	1225,2	8,55	379,96	6,18	15,79	2.839,709	1,84	W 12 x 106
W 310 x 179,0 (H)*	179,0	333	313	18,0	28,1	277	245	227,9	44580	2677,5	13,99	3056,2	14378	918,7	7,94	1401,7	8,62	541,03	5,57	13,60	3.337,666	1,85	W 12 x 120
W 310 x 202,0 (H)*	202,0	341	315	20,1	31,8	277	245	258,3	52030	3051,6	14,19	3513,7	16589	1053,2	8,01	1608,7	8,69	777,99	4,95	12,21	3.959,374	1,87	W 12 x 136
W 360 x 32,9	32,9	349	127	5,8	8,5	332	308	42,1	8358	479,0	14,09	547,6	291	45,9	2,63	72,0	3,20	9,15	7,47	53,10	84,111	1,17	W 14 x 22
W 360 x 39,0	39,0	353	128	6,5	10,7	332	308	50,2	10331	585,3	14,35	667,7	375	58,6	2,73	91,9	3,27	15,83	5,98	47,32	109,551	1,18	W 14 x 26
W 360 x 44,6	44,6	352	171	6,9	9,8	332	308	57,7	12258	696,5	14,58	764,3	816	95,7	3,77	148,0	4,43	16,70	8,72	44,70	239,091	1,35	W 14 x 30
W 360 x 51,0	51,0	355	171	7,2	11,6	332	308	64,8	14222	801,2	14,81	869,5	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	264,5	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	599,062	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	288	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	684,5	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	2268,8	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

Parte 3/3

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	ESPESSURA				EIXO X - X				EIXO Y - Y				ESBELTEZ			C _c cm ³	u m ² /m	BITOLA In x lbf/ft				
		d	b ₁	t ₁	h	d'	Area	I _x	W _x	r _x	Z _x	I _y	W _y	r _y	Z _y	r _x				I _x	MESA [→] ₁ b ₁ /2t ₁	ALMA [←] ₂ d ₂ /t ₂	
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	150	9,0	14,5	428	404	94,9	33415	1462,4	18,77	1657,4	1681	174,8	4,18	271,3	4,93	52,97	5,55	44,89	811,417	1,64	W 18 x 50
W 460 x 82,0	82,0	460	151	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	152	10,5	17,7	428	404	114,1	41105	1775,6	18,98	2019,4	2093	216,0	4,28	339,0	5,01	92,49	5,42	38,44	1035,073	1,65	W 18 x 60
W 460 x 97,0	97,0	466	153	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	154	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	63,6	34971	1332,2	20,46	1559,0	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	2852	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	3804	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	2185,1	23,48	2535,8	1442	161,1	3,49	259,3	4,37	74,73	5,97	49,63	1.238,349	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	7,65	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	489,7	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	3833	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	382,6	5,02	614,0	5,94	225,01	5,18	41,27	3.981,687	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	4.456,965	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	685,6	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	781,5	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	984,9	7,66	1531,6	8,73	570,21	5,92	32,76	14.676,643	2,51	W 24 x 146

ANEXO B – TABELA DE BITOLAS DOS PERFIS SOLDADOS PFEIL & PFEIL

Perfil	Massa	Alt.	Área	Alma		Mesa		Eixo X-X				Eixo Y-Y			Sokla	i/i_y	i_z	J		
CS	m	h	A	t_0	h_0	t_f	h_f	I_x	W_x	i_x	Z_x	I_y	W_y	i_y	b				$b_f/2t_f$	h_f/t_0
	kg/m	mm	cm ²	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	mm					
250 × 52	51,8	250	66,0	8,0	231	9,5	250	7 694	616	10,80	678	2 475	198	6,12	5	1,8	6,79	18	13,2	28,9
250 × 63	63,2	250	80,5	8,0	225	12,5	250	9 581	766	10,91	843	3 256	260	6,36	5	1,7	6,89	36	10,0	28,1
250 × 66	65,8	250	83,9	9,5	225	12,5	250	9 723	778	10,77	862	3 257	261	6,23	5	1,7	6,84	39	10,0	23,7
250 × 76	76,5	250	97,4	8,0	218	16,0	250	11 659	933	10,94	1 031	4 168	333	6,54	6	1,7	6,97	72	7,8	27,3
250 × 79	79,1	250	100,7	9,5	218	16,0	250	11 788	943	10,82	1 049	4 168	333	6,43	6	1,7	6,92	74	7,8	22,9
250 × 84	84,2	250	107,3	12,5	218	16,0	250	12 047	964	10,60	1 085	4 170	334	6,24	6	1,7	6,84	82	7,8	17,4
250 × 90	90,4	250	115,1	9,5	212	19,0	250	13 456	1 076	10,81	1 204	4 949	396	6,56	6	1,6	6,97	120	6,6	22,3
250 × 95	95,4	250	121,5	12,5	212	19,0	250	13 694	1 096	10,62	1 238	4 951	396	6,38	6	1,7	6,90	128	6,6	17,0
250 × 108	108,1	250	137,7	12,5	205	22,4	250	15 451	1 236	10,59	1 406	5 837	467	6,51	8	1,6	6,96	201	5,6	16,4
300 × 62	62,4	300	79,5	8,0	281	9,5	300	13 509	901	13,04	986	4 276	285	7,33	5	1,8	8,14	22	15,8	35,1
300 × 76	76,1	300	97,0	8,0	275	12,5	300	16 894	1 126	13,20	1 229	5 626	375	7,62	5	1,7	8,27	44	12,0	34,4
300 × 95	95,3	300	121,5	9,5	268	16,0	300	20 902	1 393	13,12	1 534	7 202	480	7,70	6	1,7	8,30	90	9,4	28,2
300 × 102	101,7	300	129,5	12,5	268	16,0	300	21 383	1 426	12,85	1 588	7 204	480	7,46	6	1,7	8,20	99	9,4	21,4
300 × 109	109,0	300	138,9	9,5	262	19,0	300	23 962	1 597	13,13	1 765	8 552	570	7,85	6	1,7	8,36	145	7,9	27,6
300 × 115	115,2	300	146,8	12,5	262	19,0	300	24 412	1 627	12,90	1 816	8 554	570	7,63	6	1,7	8,27	154	7,9	21,0
300 × 122	122,4	300	155,9	16,0	262	19,0	300	24 936	1 662	12,65	1 876	8 559	571	7,41	8	1,7	8,17	173	7,9	16,4
300 × 131	130,5	300	166,3	12,5	255	22,4	300	27 680	1 845	12,90	2 069	10 084	672	7,79	8	1,7	8,34	241	6,7	20,4
300 × 138	137,6	300	175,2	16,0	255	22,4	300	28 165	1 878	12,68	2 126	10 089	673	7,59	8	1,7	8,25	260	6,7	16,0
300 × 149	149,1	300	190,0	16,0	250	25,0	300	30 521	2 035	12,67	2 313	11 259	751	7,70	8	1,6	8,30	347	6,0	15,6
350 × 93	92,9	350	118,4	9,5	325	12,5	350	27 646	1 580	15,28	1 727	8 935	511	8,69	5	1,8	9,56	55	14,0	34,2
350 × 112	111,6	350	142,2	9,5	318	16,0	350	33 805	1 932	15,42	2 111	11 436	653	8,97	6	1,7	9,68	105	10,9	33,5
350 × 119	119,1	350	151,8	12,5	318	16,0	350	34 609	1 978	15,10	2 186	11 439	654	8,68	6	1,7	9,55	116	10,9	25,4
350 × 128	127,7	350	162,6	9,5	312	19,0	350	38 873	2 221	15,46	2 432	13 579	776	9,14	6	1,7	9,75	169	9,2	32,8
350 × 135	135,0	350	172,0	12,5	312	19,0	350	39 633	2 265	15,18	2 505	13 582	776	8,89	6	1,7	9,64	180	9,2	25,0
350 × 144	143,6	350	182,9	16,0	312	19,0	350	40 519	2 315	14,88	2 591	13 588	776	8,62	8	1,7	9,53	203	9,2	19,5
350 × 153	153,0	350	195,0	12,5	305	22,4	350	45 097	2 577	15,21	2 859	16 012	915	9,06	8	1,7	9,72	282	7,8	24,4
350 × 161	161,4	350	205,6	16,0	305	22,4	350	45 926	2 624	14,94	2 941	16 017	915	8,83	8	1,7	9,62	304	7,8	19,1
350 × 175	175,1	350	223,0	16,0	300	25,0	350	49 902	2 852	14,96	3 204	17 875	1 021	8,95	8	1,7	9,67	406	7,0	18,8
350 × 182	182,1	350	232,0	19,0	300	25,0	350	50 577	2 890	14,76	3 271	17 882	1 022	8,78	10	1,7	9,60	433	7,0	15,8
350 × 216	215,9	350	275,0	19,0	287	31,5	350	59 845	3 420	14,75	3 903	22 526	1 287	9,05	10	1,6	9,71	795	5,6	15,1
400 × 106	106,5	400	135,6	9,5	375	12,5	400	41 727	2 086	17,54	2 271	13 336	667	9,92	5	1,8	10,92	63	16,0	39,5
400 × 128	127,9	400	163,0	9,5	368	16,0	400	51 159	2 558	17,72	2 779	17 069	853	10,23	6	1,7	11,05	120	12,5	38,7
400 × 137	136,6	400	174,0	12,5	368	16,0	400	52 404	2 620	17,35	2 881	17 073	854	9,91	6	1,8	10,91	133	12,5	29,4
400 × 146	146,3	400	186,4	9,5	362	19,0	400	58 962	2 948	17,79	3 207	20 269	1 013	10,43	6	1,7	11,13	193	10,5	38,1
400 × 155	154,8	400	197,3	12,5	362	19,0	400	60 148	3 007	17,46	3 305	20 273	1 014	10,14	6	1,7	11,01	206	10,5	29,0
400 × 165	164,8	400	209,9	16,0	362	19,0	400	61 532	3 077	17,12	3 420	20 279	1 014	9,83	8	1,7	10,88	232	10,5	22,6
400 × 176	175,5	400	223,6	12,5	355	22,4	400	68 620	3 431	17,52	3 778	23 899	1 195	10,34	8	1,7	11,10	323	8,9	28,4
400 × 185	185,3	400	236,0	16,0	355	22,4	400	69 927	3 496	17,21	3 888	23 905	1 195	10,06	8	1,7	10,98	348	8,9	22,2
400 × 201	201,0	400	256,0	16,0	350	25,0	400	76 133	3 807	17,25	4 240	26 679	1 334	10,21	8	1,7	11,04	464	8,0	21,9
400 × 209	209,2	400	266,5	19,0	350	25,0	400	77 205	3 860	17,02	4 332	26 687	1 334	10,01	10	1,7	10,96	497	8,0	18,4
400 × 248	248,1	400	316,0	19,0	337	31,5	400	91 817	4 591	17,05	5 183	33 619	1 681	10,31	10	1,7	11,09	911	6,3	17,7
450 × 154	154,1	450	196,3	12,5	418	16,0	450	75 447	3 353	19,61	3 671	24 307	1 080	11,13	6	1,8	12,27	150	14,1	33,4
450 × 175	174,7	450	222,5	12,5	412	19,0	450	86 749	3 856	19,75	4 216	28 863	1 283	11,39	8	1,7	12,38	233	11,8	33,0
450 × 186	186,0	450	236,9	16,0	412	19,0	450	88 789	3 946	19,36	4 364	28 870	1 283	11,04	8	1,8	12,23	262	11,8	25,8
450 × 198	198,0	450	252,3	12,5	405	22,4	450	99 167	4 407	19,83	4 823	34 027	1 512	11,61	8	1,7	12,48	364	10,0	32,4
450 × 209	209,1	450	266,4	16,0	405	22,4	450	101 107	4 494	19,48	4 967	34 034	1 513	11,30	8	1,7	12,35	393	10,0	25,3
450 × 227	226,9	450	289,0	16,0	400	25,0	450	110 252	4 900	19,53	5 421	37 982	1 688	11,46	8	1,7	12,42	523	9,0	25,0
450 × 236	236,3	450	301,0	19,0	400	25,0	450	111 852	4 971	19,28	5 541	37 992	1 689	11,23	10	1,7	12,32	560	9,0	21,1
450 × 280	280,3	450	357,0	19,0	387	31,5	450	133 544	5 935	19,34	6 644	47 863	2 127	11,58	10	1,7	12,46	1 026	7,1	20,4
450 × 291	290,6	450	370,2	22,4	387	31,5	450	135 186	6 008	19,11	6 771	47 877	2 128	11,37	13	1,7	12,38	1 083	7,1	17,3
450 × 321	320,9	450	408,8	19,0	375	37,5	450	152 314	6 770	19,30	7 629	56 975	2 532	11,81	10	1,6	12,56	1 668	6,0	19,7
450 × 331	330,9	450	421,5	22,4	375	37,5	450	153 809	6 836	19,10	7 748	56 988	2 533	11,63	13	1,6	12,48	1 723	6,0	16,7

500 × 172	171,5	500	218,5	12,5	468	16,0	500	104 414	4 177	21,86	4 556	33 341	1 334	12,35	6	1,8	13,63	167	15,6	37,4
500 × 194	194,5	500	247,8	12,5	462	19,0	500	120 226	4 809	22,03	5 237	39 591	1 584	12,64	8	1,7	13,75	259	13,2	37,0
500 × 207	207,2	500	263,9	16,0	462	19,0	500	123 102	4 924	21,60	5 423	39 599	1 584	12,25	8	1,8	13,58	292	13,2	28,9
500 × 221	220,5	500	280,9	12,5	455	22,4	500	137 656	5 506	22,14	5 997	46 674	1 867	12,89	8	1,7	13,86	404	11,2	36,4
500 × 233	233,0	500	296,8	16,0	455	22,4	500	140 407	5 616	21,75	6 178	46 682	1 867	12,54	8	1,7	13,71	437	11,2	28,5
500 × 253	252,8	500	322,0	16,0	450	25,0	500	153 296	6 132	21,82	6 748	52 099	2 084	12,72	8	1,7	13,79	582	10,0	28,1
500 × 263	263,4	500	335,5	19,0	450	25,0	500	155 574	6 223	21,53	6 899	52 109	2 084	12,46	10	1,7	13,68	624	10,0	23,7
500 × 312	312,5	500	398,0	19,0	437	31,5	500	186 324	7 453	21,64	8 286	65 650	2 626	12,84	10	1,7	13,84	1 142	7,9	23,0
500 × 324	324,1	500	412,9	22,4	437	31,5	500	188 689	7 548	21,38	8 448	65 666	2 627	12,61	13	1,7	13,74	1 206	7,9	19,5
500 × 333	333,0	500	424,3	25,0	437	31,5	500	190 497	7 620	21,19	8 572	65 682	2 627	12,44	13	1,7	13,67	1 269	7,9	17,5
500 × 369	369,1	500	470,2	22,4	425	37,5	500	215 306	8 612	21,40	9 683	78 165	3 127	12,89	13	1,7	13,86	1 917	6,7	19,0
500 × 378	377,8	500	481,3	25,0	425	37,5	500	216 969	8 679	21,23	9 801	78 180	3 127	12,75	13	1,7	13,80	1 979	6,7	17,0
550 × 228	228,4	550	290,9	16,0	512	19,0	550	165 283	6 010	23,84	6 598	52 703	1 916	13,46	8	1,8	14,93	321	14,5	32,0
550 × 257	256,9	550	327,2	16,0	505	22,4	550	188 766	6 864	24,02	7 521	62 131	2 259	13,78	8	1,7	15,07	481	12,3	31,6
550 × 279	278,7	550	355,0	16,0	500	25,0	550	206 302	7 502	24,11	8 219	69 340	2 521	13,98	8	1,7	15,16	641	11,0	31,3
550 × 290	290,4	550	370,0	19,0	500	25,0	550	209 427	7 616	23,79	8 406	69 351	2 522	13,69	10	1,7	15,04	687	11,0	26,3
550 × 345	344,6	550	439,0	19,0	487	31,5	550	251 459	9 144	23,93	10 110	87 375	3 177	14,11	10	1,7	15,21	1 257	8,7	25,6
550 × 358	357,6	550	455,6	22,4	487	31,5	550	254 731	9 263	23,65	10 311	87 392	3 178	13,85	13	1,7	15,10	1 329	8,7	21,7
550 × 368	367,6	550	468,3	25,0	487	31,5	550	257 234	9 354	23,44	10 465	87 410	3 179	13,66	13	1,7	15,02	1 400	8,7	19,5
550 × 395	394,7	550	502,8	19,0	475	37,5	550	288 317	10 484	23,95	11 642	104 012	3 782	14,38	10	1,7	15,33	2 042	7,3	25,0
550 × 407	407,3	550	518,9	22,4	475	37,5	550	291 353	10 595	23,70	11 834	104 029	3 783	14,16	13	1,7	15,24	2 112	7,3	21,2
550 × 417	417,0	550	531,3	25,0	475	37,5	550	293 675	10 679	23,51	11 980	104 046	3 783	13,99	13	1,7	15,17	2 181	7,3	19,0
550 × 441	441,3	550	562,1	31,5	475	37,5	550	299 480	10 890	23,08	12 347	104 108	3 786	13,61	16	1,7	15,00	2 428	7,3	15,1
550 × 502	502,3	550	639,9	31,5	460	45,0	550	341 979	12 436	23,12	14 165	124 901	4 542	13,97	16	1,7	15,15	3 821	6,1	14,6
600 × 250	249,6	600	317,9	16,0	562	19,0	600	216 146	7 205	26,07	7 887	68 419	2 281	14,67	8	1,8	16,28	351	15,8	35,1
600 × 281	280,7	600	357,6	16,0	555	22,4	600	247 125	8 237	26,29	8 996	80 659	2 689	15,02	8	1,8	16,44	525	13,4	34,7
600 × 305	304,6	600	388,0	16,0	550	25,0	600	270 308	9 010	26,39	9 835	90 019	3 001	15,23	8	1,7	16,53	700	12,0	34,4
600 × 318	317,5	600	404,5	19,0	550	25,0	600	274 468	9 149	26,05	10 062	90 031	3 001	14,92	10	1,7	16,39	751	12,0	28,9
600 × 377	376,8	600	480,0	19,0	537	31,5	600	330 248	11 008	26,23	12 114	113 431	3 781	15,37	10	1,7	16,59	1 373	9,5	28,3
600 × 391	391,2	600	498,3	22,4	537	31,5	600	334 635	11 155	25,91	12 360	113 450	3 782	15,09	13	1,7	16,47	1 451	9,5	24,0
600 × 402	402,1	600	512,3	25,0	537	31,5	600	337 991	11 266	25,69	12 547	113 470	3 782	14,88	13	1,7	16,38	1 530	9,5	21,5
600 × 432	431,6	600	549,8	19,0	525	37,5	600	379 396	12 647	26,27	13 965	135 030	4 501	15,67	10	1,7	16,71	2 229	8,0	27,6
600 × 446	445,6	600	567,6	22,4	525	37,5	600	383 496	12 783	25,99	14 200	135 049	4 502	15,42	13	1,7	16,61	2 306	8,0	23,4
600 × 456	456,3	600	581,3	25,0	525	37,5	600	386 631	12 888	25,79	14 379	135 068	4 502	15,24	13	1,7	16,54	2 383	8,0	21,0
600 × 483	483,1	600	615,4	31,5	525	37,5	600	394 469	13 149	25,32	14 827	135 137	4 505	14,82	16	1,7	16,35	2 656	8,0	16,7
600 × 550	550,0	600	700,7	31,5	510	45,0	600	451 566	15 052	25,39	17 033	162 133	5 404	15,21	16	1,7	16,52	4 176	6,7	16,2
650 × 305	304,6	650	388,0	16,0	605	22,4	650	316 423	9 736	28,56	10 603	102 547	3 155	16,26	8	1,8	17,80	570	14,5	37,8
650 × 330	330,5	650	421,0	16,0	600	25,0	650	346 352	10 657	28,68	11 596	114 448	3 521	16,49	8	1,7	17,90	759	13,0	37,5
650 × 345	344,6	650	439,0	19,0	600	25,0	650	351 752	10 823	28,31	11 866	114 461	3 522	16,15	10	1,8	17,75	814	13,0	31,6
650 × 395	395,2	650	503,4	16,0	587	31,5	650	418 935	12 890	28,85	14 042	144 198	4 437	16,92	8	1,7	18,09	1 435	10,3	36,7
650 × 409	409,0	650	521,0	19,0	587	31,5	650	423 991	13 046	28,53	14 300	144 212	4 437	16,64	10	1,7	17,97	1 489	10,3	30,9
650 × 425	424,7	650	541,0	22,4	587	31,5	650	429 722	13 222	28,18	14 593	144 233	4 438	16,33	13	1,7	17,83	1 574	10,3	26,2
650 × 437	436,7	650	556,3	25,0	587	31,5	650	434 104	13 357	27,94	14 817	144 255	4 439	16,10	13	1,7	17,73	1 660	10,3	23,5
650 × 468	468,4	650	596,8	19,0	575	37,5	650	487 894	15 012	28,59	16 500	171 673	5 282	16,96	10	1,7	18,10	2 417	8,7	30,3
650 × 484	483,8	650	616,3	22,4	575	37,5	650	493 280	15 178	28,29	16 781	171 694	5 283	16,69	13	1,7	17,99	2 501	8,7	25,7
650 × 496	495,5	650	631,3	25,0	575	37,5	650	497 399	15 305	28,07	16 996	171 715	5 284	16,49	13	1,7	17,90	2 585	8,7	23,0
650 × 525	524,9	650	668,6	31,5	575	37,5	650	507 697	15 621	27,56	17 533	171 790	5 286	16,03	16	1,7	17,70	2 884	8,7	18,3
650 × 598	597,7	650	761,4	31,5	560	45,0	650	582 398	17 920	27,66	20 166	206 115	6 342	16,45	16	1,7	17,89	4 532	7,2	17,8

Perfil	Massa	Alt.	Área	Alma		Mesa		Eixo X-X				Eixo Y-Y			Solda	i_x/i_y	i_T	J		
CVS	m	h	A	t_0	h_0	t_f	b_f	I_x	W_x	i_x	Z_x	I_y	W_y	i_y	b				$b_f/2t_f$	h_0/t_0
	kg/m	mm	cm ²	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	mm		cm	cm ⁴		
300 × 47	47,5	300	60,5	8,0	281	9,5	200	9 499	633	12,53	710	1 268	127	4,58	5	2,7	5,28	16	10,5	35,1
300 × 57	56,5	300	72,0	8,0	275	12,5	200	11 725	782	12,76	870	1 668	167	4,81	5	2,7	5,39	31	8,0	34,4
300 × 67	67,1	300	85,4	8,0	268	16,0	200	14 202	947	12,89	1 052	2 134	213	5,00	6	2,6	5,48	59	6,3	33,5
300 × 70	70,2	300	89,5	9,5	268	16,0	200	14 442	963	12,71	1 079	2 135	214	4,89	6	2,6	5,43	62	6,3	28,2
300 × 79	79,2	300	100,9	9,5	262	19,0	200	16 449	1 097	12,77	1 231	2 535	254	5,01	6	2,5	5,48	99	5,3	27,6
300 × 85	85,4	300	108,8	12,5	262	19,0	200	16 899	1 127	12,47	1 282	2 538	254	4,83	6	2,6	5,40	109	5,3	21,0
300 × 95	95,4	300	121,5	12,5	255	22,4	200	19 031	1 269	12,52	1 447	2 991	299	4,96	8	2,5	5,46	166	4,5	20,4
300 × 55	54,9	300	70,0	8,0	281	9,5	250	11 504	767	12,82	848	2 475	198	5,95	5	2,2	6,71	19	13,2	35,1
300 × 66	66,3	300	84,5	8,0	275	12,5	250	14 310	954	13,01	1 050	3 256	261	6,21	5	2,1	6,83	37	10,0	34,4
300 × 80	79,6	300	101,4	8,0	268	16,0	250	17 432	1 162	13,11	1 280	4 168	333	6,41	6	2,0	6,91	73	7,8	33,5
300 × 83	82,8	300	105,5	9,5	268	16,0	250	17 672	1 178	12,94	1 307	4 169	333	6,29	6	2,1	6,86	76	7,8	28,2
300 × 94	94,1	300	119,9	9,5	262	19,0	250	20 206	1 347	12,98	1 498	4 950	396	6,43	6	2,0	6,92	122	6,6	27,6
300 × 100	100,3	300	127,8	12,5	262	19,0	250	20 655	1 377	12,72	1 549	4 952	396	6,23	6	2,0	6,83	131	6,6	21,0
300 × 113	113,0	300	143,9	12,5	255	22,4	250	23 355	1 557	12,74	1 758	5 837	467	6,37	8	2,0	6,90	204	5,6	20,4
350 × 73	73,3	350	93,4	9,5	325	12,5	250	20 524	1 173	14,83	1 306	3 258	261	5,91	5	2,5	6,69	42	10,0	34,2
350 × 87	86,5	350	110,2	9,5	318	16,0	250	24 874	1 421	15,02	1 576	4 169	334	6,15	6	2,4	6,80	77	7,8	33,5
350 × 98	97,8	350	124,6	9,5	312	19,0	250	28 454	1 626	15,11	1 803	4 950	396	6,30	6	2,4	6,87	123	6,6	32,8
350 × 105	105,2	350	134,0	12,5	312	19,0	250	29 213	1 669	14,77	1 876	4 953	396	6,08	6	2,4	6,77	135	6,6	25,0
350 × 118	117,9	350	150,2	12,5	305	22,4	250	33 058	1 889	14,84	2 126	5 838	467	6,24	8	2,4	6,84	207	5,6	24,4
350 × 128	127,6	350	162,5	12,5	300	25,0	250	35 885	2 051	14,86	2 313	6 515	521	6,33	8	2,3	6,88	280	5,0	24,0
350 × 136	135,8	350	173,0	16,0	300	25,0	250	36 673	2 096	14,56	2 391	6 521	522	6,14	8	2,4	6,80	301	5,0	18,8
400 × 87	86,8	400	110,6	9,5	375	12,5	300	32 339	1 617	17,10	1 787	5 628	375	7,13	5	2,4	8,05	50	12,0	39,5
400 × 103	102,8	400	131,0	9,5	368	16,0	300	39 355	1 968	17,34	2 165	7 203	480	7,42	6	2,3	8,18	92	9,4	38,7
400 × 116	116,5	400	148,4	9,5	362	19,0	300	45 161	2 258	17,45	2 483	8 553	570	7,59	6	2,3	8,26	148	7,9	38,1
400 × 125	125,0	400	159,3	12,5	362	19,0	300	46 347	2 317	17,06	2 581	8 556	570	7,33	6	2,3	8,14	161	7,9	29,0
400 × 140	140,4	400	178,8	12,5	355	22,4	300	52 632	2 632	17,16	2 932	10 086	672	7,51	8	2,3	8,22	248	6,7	28,4
400 × 152	152,1	400	193,8	12,5	350	25,0	300	57 279	2 864	17,19	3 195	11 256	750	7,62	8	2,3	8,27	335	6,0	28,0
400 × 162	161,7	400	206,0	16,0	350	25,0	300	58 529	2 926	16,86	3 303	11 262	751	7,39	8	2,3	8,17	360	6,0	21,9
450 × 116	116,4	450	148,3	12,5	418	16,0	300	52 834	2 348	18,88	2 629	7 207	480	6,97	6	2,7	7,97	109	9,4	33,4
450 × 130	129,9	450	165,5	12,5	412	19,0	300	60 261	2 678	19,08	2 987	8 557	570	7,19	6	2,7	8,07	164	7,9	33,0
450 × 141	141,2	450	179,9	16,0	412	19,0	300	62 301	2 769	18,61	3 136	8 564	571	6,90	8	2,7	7,93	193	7,9	25,8
450 × 156	156,4	450	199,2	16,0	405	22,4	300	70 362	3 127	18,79	3 530	10 094	673	7,12	8	2,6	8,04	280	6,7	25,3
450 × 168	168,0	450	214,0	16,0	400	25,0	300	76 346	3 393	18,89	3 828	11 264	751	7,25	8	2,6	8,10	367	6,0	25,0
450 × 177	177,4	450	226,0	19,0	400	25,0	300	77 946	3 464	18,57	3 948	11 273	752	7,06	10	2,6	8,01	404	6,0	21,1
450 × 188	188,1	450	239,6	22,4	400	25,0	300	79 759	3 545	18,25	4 084	11 287	752	6,86	10	2,7	7,91	462	6,0	17,9
450 × 206	206,1	450	262,5	19,0	387	31,5	300	92 088	4 093	18,73	4 666	14 197	946	7,35	10	2,5	8,15	714	4,8	20,4
450 × 216	216,4	450	275,7	22,4	387	31,5	300	93 730	4 166	18,44	4 794	14 211	947	7,18	13	2,6	8,07	770	4,8	17,3
500 × 134	133,8	500,0	170,5	12,5	468	16,0	350	76 293	3 052	21,15	3 395	11 441	654	8,19	6	2,6	9,32	126	10,9	37,4
500 × 150	149,7	500,0	190,8	12,5	462	19,0	350	87 240	3 490	21,39	3 866	13 585	776	8,44	6	2,5	9,44	190	9,2	37,0
500 × 162	162,4	500,0	206,9	16,0	462	19,0	350	90 116	3 605	20,87	4 052	13 593	777	8,11	8	2,6	9,28	223	9,2	28,9
500 × 180	180,3	500,0	229,6	16,0	455	22,4	350	102 058	4 082	21,08	4 573	16 022	916	8,35	8	2,5	9,40	324	7,8	28,5
500 × 194	193,9	500,0	247,0	16,0	450	25,0	350	110 952	4 438	21,19	4 966	17 880	1 022	8,51	8	2,5	9,47	426	7,0	28,1
500 × 204	204,5	500,0	260,5	19,0	450	25,0	350	113 230	4 529	20,85	5 118	17 890	1 022	8,29	10	2,5	9,37	467	7,0	23,7
500 × 217	216,5	500,0	275,8	22,4	450	25,0	350	115 812	4 632	20,49	5 290	17 907	1 023	8,06	10	2,5	9,25	533	7,0	20,1
500 × 238	238,3	500,0	303,5	19,0	437	31,5	350	134 391	5 376	21,04	6 072	22 534	1 288	8,62	10	2,4	9,52	829	5,6	23,0
500 × 250	249,9	500,0	318,4	22,4	437	31,5	350	136 755	5 470	20,72	6 235	22 550	1 289	8,42	13	2,5	9,43	893	5,6	19,5
500 × 259	258,9	500,0	329,8	25,0	437	31,5	350	138 564	5 543	20,50	6 359	22 566	1 290	8,27	13	2,5	9,36	957	5,6	17,5
500 × 281	280,8	500,0	357,7	22,4	425	37,5	350	155 013	6 201	20,82	7 082	26 837	1 534	8,66	13	2,4	9,54	1 390	4,7	19,0
500 × 319	319,4	500,0	406,8	22,4	410	45,0	350	176 429	7 057	20,82	8 108	32 195	1 840	8,90	13	2,3	9,65	2 280	3,9	18,3
550 × 184	183,6	550,0	233,9	16,0	512	19,0	400	125 087	4 549	23,12	5 084	20 284	1 014	9,31	8	2,5	10,63	253	10,5	32,0
550 × 204	204,1	550,0	260,0	16,0	505	22,4	400	141 973	5 163	23,37	5 748	23 911	1 196	9,59	8	2,4	10,77	369	8,9	31,6
550 × 220	219,8	550,0	280,0	16,0	500	25,0	400	154 583	5 621	23,50	6 250	26 684	1 334	9,76	8	2,4	10,85	485	8,0	31,3
550 × 232	231,6	550,0	295,0	19,0	500	25,0	400	157 708	5 735	23,12	6 438	26 695	1 335	9,51	10	2,4	10,73	531	8,0	26,3
550 × 245	244,9	550,0	312,0	22,4	500	25,0	400	161 250	5 864	22,73	6 650	26 713	1 336	9,25	13	2,5	10,60	604	8,0	22,3
550 × 270	270,5	550,0	344,5	19,0	487	31,5	400	187 867	6 832	23,35	7 660	33 628	1 681	9,88	10	2,4	10,90	945	6,3	25,6
550 × 283	283,5	550,0	361,1	22,4	487	31,5	400	191 139	6 951	23,01	7 861	33 646	1 682	9,65	13	2,4	10,79	1 016	6,3	21,7
550 × 293	293,4	550,0	373,8	25,0	487	31,5	400	193 642	7 042	22,76	8 015	33 663	1 683	9,49	13	2,4	10,72	1 087	6,3	19,5
550 × 319	319,0	550,0	406,4	22,4	475	37,5	400	217 349	7 904	23,13	8 951	40 044	2 002	9,93	13	2,3	10,92	1 584	5,3	21,2
550 × 329	328,7	550,0	418,8	25,0	475	37,5	400	219 671	7 988	22,90	9 098	40 062	2 003	9,78	13	2,3	10,85	1 654	5,3	19,0
550 × 363	363,5	550,0	463,0	22,4	460	45,0	400	248 299	9 029	23,16	10 275	48 043	2							





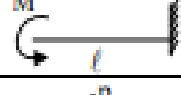


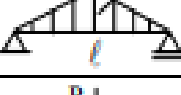
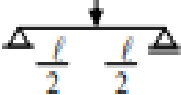
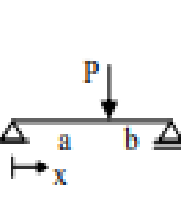
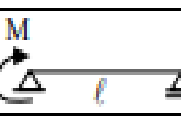
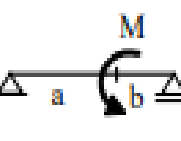
600 × 190	189,9	600,0	241,9	16,0	562	19,0	400	151 986	5 066	25,06	5 679	20 286	1 014	9,16	8	2,7	10,55	260	10,5	35,1
600 × 210	210,4	600,0	268,0	16,0	555	22,4	400	172 356	5 745	25,36	6 408	23 912	1 196	9,45	8	2,7	10,70	376	8,9	34,7
600 × 226	226,1	600,0	288,0	16,0	550	25,0	400	187 600	6 253	25,52	6 960	26 685	1 334	9,63	8	2,7	10,78	492	8,0	34,4
600 × 239	239,0	600,0	304,5	19,0	550	25,0	400	191 759	6 392	25,09	7 187	26 698	1 335	9,36	10	2,7	10,66	542	8,0	28,9
600 × 278	277,9	600,0	354,0	19,0	537	31,5	400	228 338	7 611	25,40	8 533	33 631	1 682	9,75	10	2,6	10,84	956	6,3	28,3
600 × 292	292,2	600,0	372,3	22,4	537	31,5	400	232 726	7 758	25,00	8 778	33 650	1 683	9,51	13	2,6	10,73	1 035	6,3	24,0
600 × 328	327,8	600,0	417,6	22,4	525	37,5	400	264 668	8 822	25,18	9 981	40 049	2 002	9,79	13	2,6	10,86	1 603	5,3	23,4
600 × 339	338,5	600,0	431,3	25,0	525	37,5	400	267 803	8 927	24,92	10 160	40 068	2 003	9,64	13	2,6	10,79	1 680	5,3	21,0
600 × 372	372,3	600,0	474,2	22,4	510	45,0	400	302 592	10 086	25,26	11 447	48 048	2 402	10,07	13	2,5	10,98	2 621	4,4	28,8
600 × 412	412,1	600,0	525,0	25,0	500	50,0	400	329 375	10 979	25,05	12 563	53 398	2 670	10,09	13	2,5	10,99	3 594	4,0	20,0
650 × 211	211,1	650,0	268,9	16,0	612	19,0	450	200 828	6 179	27,33	6 893	28 877	1 283	10,36	8	2,6	11,90	289	11,8	38,3
650 × 234	234,3	650,0	298,4	16,0	605	22,4	450	228 156	7 020	27,65	7 791	34 041	1 513	10,68	8	2,6	12,06	420	10,0	37,8
650 × 252	252,0	650,0	321,0	16,0	600	25,0	450	248 644	7 651	27,83	8 471	37 989	1 688	10,88	8	2,6	12,15	551	9,0	37,5
650 × 266	266,1	650,0	339,0	19,0	600	25,0	450	254 044	7 817	27,38	8 741	38 003	1 689	10,59	10	2,6	12,02	606	9,0	31,6
650 × 282	282,1	650,0	359,4	22,4	600	25,0	450	260 164	8 005	26,91	9 047	38 025	1 690	10,29	13	2,6	11,86	694	9,0	26,8
650 × 310	310,1	650,0	395,0	19,0	587	31,5	450	303 386	9 335	27,71	10 404	47 874	2 128	11,01	10	2,5	12,21	1 072	7,1	30,9
650 × 326	325,8	650,0	415,0	22,4	587	31,5	450	309 117	9 511	27,29	10 697	47 896	2 129	10,74	13	2,5	12,09	1 158	7,1	26,2
650 × 351	350,7	650,0	446,8	19,0	575	37,5	450	347 034	10 678	27,87	11 906	56 986	2 533	11,29	10	2,5	12,34	1 713	6,0	30,3
650 × 366	366,0	650,0	466,3	22,4	575	37,5	450	352 421	10 844	27,49	12 187	57 007	2 534	11,06	13	2,5	12,24	1 797	6,0	25,7
650 × 416	416,4	650,0	530,4	22,4	560	45,0	450	404 065	12 433	27,60	14 007	68 396	3 040	11,36	13	2,4	12,37	2 944	5,0	25,0
650 × 461	416,2	650,0	587,5	25,0	550	50,0	450	440 599	13 557	27,39	15 391	76 009	3 378	11,37	13	2,4	12,38	4 036	4,5	22,0

Perfil	Massa	Alt.	Área	Alma		Mesa		Eixo X-X				Eixo X-Y			Solda	i/i_y	i_r	J	$h/2i_x$	h_d/i_0		
	m	h	A	i_0	h_0	i_x	b_y	i_x	W_x	i_x	Z_x	i_y	W_y	i_y	b	cm	cm	cm ⁴			$h/2i_x$	h_d/i_0
	kg/m	mm	cm ²	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	mm							
400 × 49	48,7	400	62,0	6,3	381	9,5	200	17 393	870	16,75	971	1 267	127	4,52	5	3,7	5,25	15	10,5	60,5		
400 × 58	57,8	400	73,6	6,3	375	12,5	200	21 545	1 077	17,11	1 190	1 667	167	4,76	5	3,6	5,37	29	8,0	59,5		
400 × 68	68,4	400	87,2	6,3	368	16,0	200	26 223	1 311	17,34	1 442	2 134	213	4,95	6	3,5	5,45	58	6,3	58,4		
400 × 78	77,6	400	98,8	6,3	362	19,0	200	30 094	1 505	17,45	1 654	2 534	253	5,06	6	3,4	5,50	94	5,3	57,5		
450 × 51	51,1	450	65,2	6,3	431	9,5	200	22 640	1 006	18,64	1 130	1 268	127	4,41	5	4,2	5,19	15	10,5	68,4		
450 × 60	60,3	450	76,8	6,3	425	12,5	200	27 962	1 243	19,08	1 378	1 668	167	4,66	5	4,1	5,32	30	8,0	67,5		
450 × 71	70,9	450	90,3	6,3	418	16,0	200	33 985	1 510	19,40	1 664	2 134	213	4,86	6	4,0	5,41	58	6,3	66,3		
450 × 80	80,0	450	102,0	6,3	412	19,0	200	38 989	1 733	19,56	1 905	2 534	253	4,99	6	3,9	5,47	95	5,3	65,4		
500 × 61	61,1	500	77,8	6,3	481	9,5	250	34 416	1 377	21,03	1 529	2 475	198	5,64	5	3,7	6,55	18	13,2	76,3		
500 × 73	72,6	500	92,4	6,3	475	12,5	250	42 768	1 711	21,51	1 879	3 256	260	5,94	5	3,6	6,70	37	10,0	75,4		
500 × 86	85,9	500	109,5	6,3	468	16,0	250	52 250	2 090	21,85	2 281	4 168	333	6,17	6	3,5	6,81	72	7,8	74,3		
500 × 97	97,4	500	124,1	6,3	462	19,0	250	60 154	2 406	22,02	2 621	4 949	396	6,31	6	3,5	6,87	118	6,6	73,3		
550 × 64	63,5	550	81,0	6,3	531	9,5	250	42 556	1 547	22,93	1 728	2 475	198	5,53	5	4,1	6,49	19	13,2	84,3		
550 × 75	75,0	550	95,6	6,3	525	12,5	250	52 747	1 918	23,49	2 114	3 256	261	5,84	5	4,0	6,65	37	10,0	83,3		
550 × 88	88,4	550	112,6	6,3	518	16,0	250	64 345	2 340	23,90	2 559	4 168	333	6,08	6	3,9	6,77	73	7,8	82,2		
550 × 100	99,9	550	127,3	6,3	512	19,0	250	74 041	2 692	24,12	2 935	4 949	396	6,24	6	3,9	6,84	119	6,6	81,3		
600 × 95	95,0	600	121,0	8,0	575	12,5	300	77 401	2 580	25,29	2 864	5 627	375	6,82	5	3,7	7,89	49	12,0	71,9		
600 × 111	111,0	600	141,4	8,0	568	16,0	300	94 091	3 136	25,79	3 448	7 202	480	7,14	6	3,6	8,05	92	9,4	71,0		
600 × 125	124,8	600	159,0	8,0	562	19,0	300	108 073	3 602	26,07	3 943	8 552	570	7,33	6	3,6	8,14	147	7,9	70,3		
600 × 140	140,4	600	178,8	8,0	555	22,4	300	123 562	4 119	26,29	4 498	10 082	672	7,51	8	3,5	8,22	234	6,7	69,4		
600 × 152	152,3	600	194,0	8,0	550	25,0	300	135 154	4 505	26,39	4 918	11 252	750	7,62	8	3,5	8,27	322	6,0	68,8		
650 × 98	98,1	650	125,0	8,0	625	12,5	300	92 487	2 846	27,20	3 172	5 628	375	6,71	5	4,1	7,83	50	12,0	78,1		
650 × 114	114,2	650	145,4	8,0	618	16,0	300	112 225	3 453	27,78	3 807	7 203	480	7,04	6	3,9	8,00	92	9,4	77,3		
650 × 128	127,9	650	163,0	8,0	612	19,0	300	128 792	3 963	28,11	4 346	8 553	570	7,24	6	3,9	8,10	148	7,9	76,5		
650 × 144	143,5	650	182,8	8,0	605	22,4	300	147 178	4 529	28,37	4 950	10 083	672	7,43	8	3,8	8,18	235	6,7	75,7		
650 × 155	155,4	650	198,0	8,0	600	25,0	300	160 963	4 953	28,51	5 408	11 253	750	7,54	8	3,8	8,23	323	6,0	75,0		

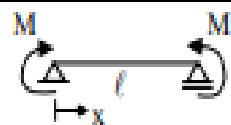
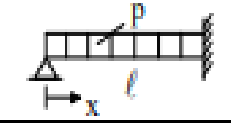
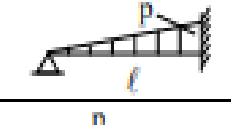




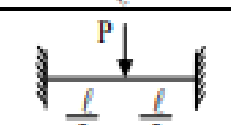
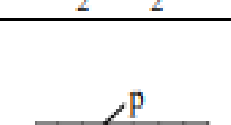

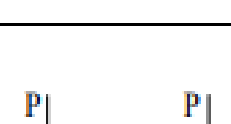
700 × 105	105,2	700	134,0	8,0	675	12,5	320	115 045	3 287	29,30	3 661	6 830	427	7,14	5	4,1	8,35	53	12,8	84,4
700 × 122	122,3	700	155,8	8,0	668	16,0	320	139 665	3 990	29,94	4 395	8 741	546	7,49	6	4,0	8,53	99	10,0	83,5
700 × 137	137,0	700	174,6	8,0	662	19,0	320	160 361	4 582	30,31	5 017	10 379	649	7,71	6	3,9	8,63	158	8,4	82,8
700 × 154	153,7	700	195,8	8,0	655	22,4	320	183 368	5 239	30,60	5 716	12 236	765	7,91	8	3,9	8,72	251	7,1	81,9
700 × 166	166,4	700	212,0	8,0	650	25,0	320	200 642	5 733	30,76	6 245	13 656	854	8,03	8	3,8	8,77	344	6,4	81,3
750 × 108	108,3	750	138,0	8,0	725	12,5	320	134 197	3 579	31,18	4 001	6 830	427	7,03	5	4,4	8,29	54	12,8	90,6
750 × 125	125,5	750	159,8	8,0	718	16,0	320	162 620	4 337	31,90	4 789	8 741	546	7,40	6	4,3	8,48	100	10,0	89,8
750 × 140	140,2	750	178,6	8,0	712	19,0	320	186 545	4 975	32,32	5 458	10 380	649	7,62	6	4,2	8,59	158	8,4	89,0
750 × 157	156,8	750	199,8	8,0	705	22,4	320	213 178	5 685	32,67	6 210	12 236	765	7,83	8	4,2	8,69	252	7,1	88,2
750 × 170	169,6	750	216,0	8,0	700	25,0	320	233 200	6 219	32,86	6 780	13 656	854	7,95	8	4,1	8,74	345	6,4	87,5
800 × 111	111,5	800	142,0	8,0	775	12,5	320	155 074	3 877	33,05	4 351	6 830	427	6,94	5	4,8	8,23	55	12,8	96,9
800 × 129	128,6	800	163,8	8,0	768	16,0	320	187 573	4 689	33,84	5 194	8 741	546	7,30	6	4,6	8,43	100	10,0	96,0
800 × 143	143,3	800	182,6	8,0	762	19,0	320	214 961	5 374	34,31	5 910	10 380	649	7,54	6	4,6	8,55	159	8,4	95,3
800 × 160	160,0	800	203,8	8,0	755	22,4	320	245 485	6 137	34,71	6 714	12 237	765	7,75	8	4,5	8,65	253	7,1	94,4
800 × 173	172,7	800	220,0	8,0	750	25,0	320	268 458	6 711	34,93	7 325	13 657	854	7,88	8	4,4	8,71	346	6,4	93,8
850 × 120	120,5	850	153,5	8,0	825	12,5	350	190 878	4 491	35,26	5 025	8 936	511	7,63	5	4,6	9,03	60	14,0	103,1
850 × 139	139,3	850	177,4	8,0	818	16,0	350	231 269	5 442	36,10	6 009	11 437	654	8,03	6	4,5	9,24	110	10,9	102,3
850 × 155	155,4	850	198,0	8,0	812	19,0	350	265 344	6 243	36,61	6 845	13 581	776	8,28	6	4,4	9,37	174	9,2	101,5
850 × 174	173,7	850	221,2	8,0	805	22,4	350	303 358	7 138	37,03	7 785	16 010	915	8,51	8	4,4	9,48	276	7,8	100,7
850 × 188	187,6	850	239,0	8,0	800	25,0	350	331 998	7 812	37,27	8 499	17 868	1 021	8,65	8	4,3	9,54	378	7,0	100,0
900 × 124	123,6	900	157,5	8,0	875	12,5	350	216 973	4 822	37,12	5 414	8 936	511	7,53	5	4,9	8,98	61	14,0	109,4
900 × 142	142,4	900	181,4	8,0	868	16,0	350	262 430	5 832	38,03	6 457	11 437	654	7,94	6	4,8	9,20	110	10,9	108,5
900 × 159	158,5	900	202,0	8,0	862	19,0	350	300 814	6 685	38,59	7 345	13 581	776	8,20	6	4,7	9,33	175	9,2	107,8
900 × 177	176,8	900	225,2	8,0	855	22,4	350	343 674	7 637	39,06	8 343	16 010	915	8,43	8	4,6	9,44	277	7,8	106,9
900 × 191	190,8	900	243,0	8,0	850	25,0	350	375 994	8 355	39,34	9 101	17 868	1 021	8,58	8	4,6	9,51	379	7,0	106,3
950 × 127	126,8	950	161,5	8,0	925	12,5	350	245 036	5 159	38,95	5 813	8 936	511	7,44	5	5,2	8,92	61	14,0	115,6
950 × 146	145,6	950	185,4	8,0	918	16,0	350	295 858	6 229	39,94	6 916	11 437	654	7,85	6	5,1	9,15	111	10,9	114,8
950 × 162	161,7	950	206,0	8,0	912	19,0	350	338 808	7 133	40,56	7 855	13 581	776	8,12	6	5,0	9,29	176	9,2	114,0
950 × 180	179,9	950	229,2	8,0	905	22,4	350	386 806	8 143	41,08	8 911	16 011	915	8,36	8	4,9	9,41	278	7,8	113,2
950 × 194	193,9	950	247,0	8,0	900	25,0	350	423 027	8 906	41,38	9 714	17 868	1 021	8,51	8	4,9	9,47	380	7,0	112,5
1000 × 140	139,7	1000	178,0	8,0	975	12,5	400	305 593	6 112	41,43	6 839	13 337	667	8,66	5	4,8	10,29	69	16,0	121,9
1000 × 161	161,3	1000	205,4	8,0	968	16,0	400	370 339	7 407	42,46	8 172	17 071	854	9,12	6	4,7	10,53	126	12,5	121,0
1000 × 180	179,7	1000	229,0	8,0	962	19,0	400	425 095	8 502	43,09	9 306	20 271	1 014	9,41	6	4,6	10,68	199	10,5	120,3
1000 × 201	200,7	1000	255,6	8,0	955	22,4	400	486 331	9 727	43,62	10 584	23 897	1 195	9,57	8	4,5	10,80	316	8,9	119,4
1000 × 217	216,7	1000	276,0	8,0	950	25,0	400	532 575	10 652	43,93	11 555	26 671	1 334	9,83	8	4,5	10,88	433	8,0	118,8
1100 × 159	158,7	1100	202,1	9,5	1075	12,5	400	394 026	7 164	44,15	8 182	13 341	667	8,12	5	5,4	9,97	83	16,0	113,2
1100 × 180	180,1	1100	229,5	9,5	1068	16,0	400	472 485	8 591	45,38	9 647	17 074	854	8,63	6	5,3	10,27	140	12,5	112,4
1100 × 199	198,5	1100	252,9	9,5	1062	19,0	400	538 922	9 799	46,16	10 894	20 274	1 014	8,95	6	5,2	10,45	213	10,5	111,8
1100 × 219	219,4	1100	279,4	9,5	1055	22,4	400	613 316	11 151	46,85	12 300	23 901	1 195	9,25	8	5,1	10,60	330	8,9	111,1
1100 × 235	235,3	1100	299,8	9,5	1050	25,0	400	669 562	12 174	47,26	13 368	26 674	1 334	9,43	8	5,0	10,69	447	8,0	110,5
1200 × 200	200,1	1200	255,0	9,5	1168	16,0	450	630 844	10 514	49,74	11 765	24 308	1 080	9,76	6	5,1	11,59	156	14,1	122,9
1200 × 221	220,9	1200	281,4	9,5	1162	19,0	450	720 523	12 009	50,60	13 304	28 865	1 283	10,13	6	5,0	11,78	239	11,8	122,3
1200 × 244	244,4	1200	311,3	9,5	1155	22,4	450	821 045	13 684	51,35	15 040	34 028	1 512	10,45	8	4,9	11,95	370	10,0	121,6
1200 × 262	262,4	1200	334,3	9,5	1150	25,0	450	897 121	14 952	51,81	16 360	37 977	1 688	10,66	8	4,9	12,05	502	9,0	121,1
1200 × 307	307,3	1200	391,5	9,5	1137	31,5	450	1084 322	18 072	52,63	19 634	47 849	2 127	11,06	8	4,8	12,24	970	7,1	119,7
1300 × 237	237,5	1300	302,5	12,5	1268	16,0	450	805 914	12 399	51,62	14 269	24 321	1 081	8,97	6	5,8	11,11	205	14,1	101,4
1300 × 258	258,1	1300	328,8	12,5	1262	19,0	450	910 929	14 014	52,64	15 930	28 877	1 283	9,37	6	5,6	11,36	288	11,8	101,0
1300 × 281	281,4	1300	358,5	12,5	1255	22,4	450	1028 744	15 827	53,57	17 802	34 040	1 513	9,74	8	5,5	11,58	419	10,0	100,4
1300 × 299	299,3	1300	381,3	12,5	1250	25,0	450	1117 982	17 200	54,15	19 227	37 989	1 688	9,98	8	5,4	11,71	550	9,0	100,0
1300 × 344	343,9	1300	438,1	12,5	1237	31,5	450	1337 847	20 852	55,26	22 763	47 861	2 127	10,45	8	5,3	11,95	1 018	7,1	99,0
1400 × 260	259,8	1400	331,0	12,5	1368	16,0	500	1032 894	14 756	55,86	16 920	33 356	1 334	10,04	6	5,6	12,39	226	15,6	109,4
1400 × 283	282,8	1400	360,3	12,5	1362	19,0	500	1169 143	16 702	56,97	18 917	39 606	1 584	10,49	6	5,4	12,67	317	13,2	109,0
1400 × 309	308,8	1400	393,4	12,5	1355	22,4	500	1322 113	18 887	57,97	21 168	46 689	1 868	10,89	8	5,3	12,90	463	11,2	108,4
1400 × 329	328,7	1400	418,8	12,5	1350	25,0	500	1438 060	20 544	56,60	22 883	52 105	2 084	11,15	8	5,3	13,04	609	10,0	108,0
1400 × 378	378,5	1400	482,1	12,5	1337	31,5	500	1724 041	24 629	59,80	27 140	65 647	2 626	11,67	8	5,1	13,31	1 129	7,9	107,0
1400 × 424	424,4	1400	540,6	12,5	1325	37,5	500	1983 133	28 330	60,57	31 033	78 147	3 126	12,02	8	5,0	13,48	1 844	6,7	106,0
1400 × 482	481,8	1400	613,6	12,5	1310	45,0	500	2300 464	32 864	61,22	35 850	93 771	3 751	12,36	10	5,0	13,63	3 123	5,6	104,8

1500 × 270	269,6	1500	343,5	12,5	1468	16,0	500	1210 476	16 140	59,36	18 606	33 357	1 334	9,85	6	6,0	12,28	232	15,6	117,4
1500 × 293	292,6	1500	372,8	12,5	1462	19,0	500	1367 419	18 232	60,57	20 749	39 607	1 584	10,31	6	5,9	12,56	324	13,2	117,0
1500 × 319	318,6	1500	405,9	12,5	1455	22,4	500	1543 737	20 583	61,67	23 167	46 690	1 868	10,73	8	5,8	12,80	469	11,2	116,4
1500 × 339	338,5	1500	431,3	12,5	1450	25,0	500	1677 461	22 366	62,37	25 008	52 107	2 084	10,99	8	5,7	12,95	615	10,0	116,0
1500 × 388	388,3	1500	494,6	12,5	1437	31,5	500	2007 598	26 768	63,71	29 582	65 648	2 626	11,52	8	5,5	13,23	1 135	7,9	115,0
1500 × 434	434,2	1500	553,1	12,5	1425	37,5	500	2307 085	30 761	64,58	33 768	78 148	3 126	11,89	8	5,4	13,41	1 851	6,7	114,0
1500 × 492	491,6	1500	626,3	12,5	1410	45,0	500	2674 415	35 659	65,35	38 950	93 773	3 751	12,24	10	5,3	13,57	3 129	5,6	112,8





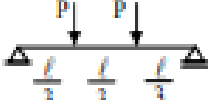
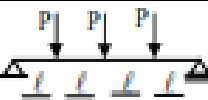
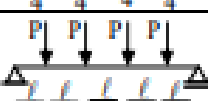


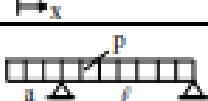


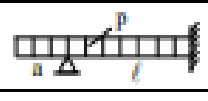


ANEXO C - DESLOCAMENTO VERTICAL, Δ_{real}

DESLOCAMENTOS ELÁSTICOS EM VIGAS				
CASO	VINCULAÇÃO E CARREGAMENTO	FLECHA		EQUAÇÃO DA ELÁSTICA
		W_{max}	x	
1		$\frac{1}{8} \frac{p\ell^4}{EI}$	0	$\frac{p\ell^4}{24EI} (\alpha^4 - 4\alpha + 3)$
2		$\frac{1}{30} \frac{p\ell^4}{EI}$	0	$\frac{p\ell^4}{120EI} (\alpha^5 - 5\alpha + 4)$
3		$\frac{11}{120} \frac{p\ell^4}{EI}$	0	$\frac{p\ell^4}{120EI} (-\alpha^5 + 5\alpha^4 - 15\alpha + 11)$
4		$\frac{1}{3} \frac{P\ell^3}{EI}$	0	$\frac{P\ell^3}{6EI} (\alpha^3 - 3\alpha + 2)$
5		$\frac{1}{2} \frac{M\ell^2}{EI}$	0	$\frac{M\ell^2}{2EI} (1 - \alpha)^2$
6		$\frac{5}{384} \frac{p\ell^4}{EI}$	$0,5\ell$	$\frac{p\ell^4\alpha}{24EI} (\alpha^3 - 2\alpha^2 + 1)$
7		$\frac{3}{460} \frac{p\ell^4}{EI}$ (*)	$0,519\ell$	$\frac{p\ell^4\alpha}{360EI} (3\alpha^4 - 10\alpha^2 + 7)$
8		$\frac{1}{120} \frac{p\ell^4}{EI}$	$0,5\ell$	$\frac{p\ell^4\alpha}{960EI} (16\alpha^4 - 40\alpha^2 + 25)$ (**)
9		$\frac{1}{48} \frac{P\ell^3}{EI}$	$0,5\ell$	$\frac{P\ell^3\alpha}{48EI} (-4\alpha^2 + 3)$ (**)
10		$(a \geq b)$ $\frac{Pb}{3EI\ell} \sqrt{\left(\frac{\ell^2 - b^2}{3}\right)^3}$	$\sqrt{\left(\frac{\ell^2 - b^2}{3}\right)}$	$x < a: \frac{Pbx}{6EI\ell} (\ell^2 - b^2 - x^2)$ $x = a: \frac{Pa^2b^2}{3EI\ell}$ $x > a: \frac{Pa(\ell - x)}{6EI\ell} (2\ell x - a^2 - x^2)$
11		$\frac{1}{9\sqrt{3}} \frac{M\ell^2}{EI}$	$0,423\ell$	$\frac{M\ell^2\alpha}{6EI} (\alpha^2 - 3\alpha + 2)$
12		$(a \geq 0,423\ell)$ $\frac{M}{3EI\ell} \sqrt{\left(\frac{\ell^2}{3} - b^2\right)^3}$	$\sqrt{\left(\frac{\ell^2}{3} - b^2\right)}$	$x < a: \frac{Mx}{6EI\ell} (\ell^2 - 3b^2 - x^2)$ $x > a: \frac{M(\ell - x)}{6EI} (x^2 + 3a^2 - 2\ell x)$

Extraída de ISNARD; GREKOW; MROZOWICZ (1971) e de SCHIEL (1976).
 Revista e adaptada por Libânio M. Pinheiro, Bruna Catola e Thiago Catola.
 $\alpha = x/\ell$ (*) Valor aproximado (***) $\alpha \leq 0,5$

DESLOCAMENTOS ELÁSTICOS EM VIGAS				
CASO	VINCULAÇÃO E CARREGAMENTO	FLECHA		EQUAÇÃO DA ELÁSTICA
		W_{\max}	x	
13		$\frac{M\ell^2}{8EI}$	$0,5\ell$	$\frac{M\ell^2\alpha}{2EI}(1-\alpha)$
14		$\frac{3}{554} \frac{P\ell^4}{EI}$ (*)	$0,422\ell$	$\frac{P\ell^4}{48EI}(2\alpha^4 - 3\alpha^3 + \alpha)$
15		$\frac{3}{1258} \frac{P\ell^4}{EI}$ (*)	$0,447\ell$	$\frac{P\ell^4}{120EI}(\alpha^5 - 2\alpha^3 + \alpha)$
16		$\frac{1}{328} \frac{P\ell^4}{EI}$ (*)	$0,402\ell$	$\frac{P\ell^4}{240EI}(-2\alpha^5 + 10\alpha^4 - 11\alpha^3 + 3\alpha)$
17		$\frac{M\ell^2}{27EI}$	$\frac{1}{3}\ell$	$\frac{M\ell^2}{4EI}(\alpha^3 - 2\alpha^2 + \alpha)$
18		$\frac{1}{384} \frac{P\ell^4}{EI}$	$0,5\ell$	$\frac{P\ell^4}{24EI}(\alpha^4 - 2\alpha^3 + \alpha^2)$
19		$\frac{1}{764} \frac{P\ell^4}{EI}$ (*)	$0,525\ell$	$\frac{P\ell^4}{120EI}(\alpha^5 - 3\alpha^3 + 2\alpha^2)$
20		$\frac{7}{3840} \frac{P\ell^4}{EI}$	$0,5\ell$	$\frac{P\ell^4}{960EI}(16\alpha^5 - 40\alpha^3 + 25\alpha^2)$ (**)
21		$\frac{1}{192} \frac{P\ell^3}{EI}$	$0,5\ell$	$\frac{P\ell^3}{48EI}(-4\alpha^3 + 3\alpha^2)$ (**)
22		$\frac{Pa}{24EI}(6a^2\ell + 3a^3 - \ell^3)$ $\frac{P\ell^2}{384EI}(5\ell^2 - 24a^2)$	$-a$ $0,5\ell$	$x < 0:$ $\frac{Px}{24EI}(x^3 + 4ax^2 + 6a^2x + \ell^3 - 6a^2\ell)$ $0 < x < \ell:$ $\frac{Px}{24EI}(x^3 - 2\ell x^2 + 6a^2x - 6a^2\ell + \ell^3)$
23		$\frac{Pa^2}{6EI}(2a + 3\ell)$ $-\frac{Pa\ell^2}{8EI}$	$-a$ $0,5\ell$	$x < 0:$ $\frac{Px}{6EI}(x^2 + 3ax - 3a\ell)$ $0 < x < \ell:$ $\frac{Pa}{2EI}x(x - \ell)$

Extraída de ISNARD; GREKOW; MROZOWICZ (1971) e de SCHIEL (1976).
 Revista e adaptada por Libânio M. Pinheiro, Bruna Catoia e Thiago Catoia.
 $\alpha = x/\ell$ (*) Valor aproximado (**) $\alpha \leq 0,5$

DESLOCAMENTOS ELÁSTICOS EM VIGAS			
CASO	VINCULAÇÃO E CARREGAMENTO	FLECHA	
		W_{max}	X
24		$\frac{P}{24EI} (3\ell^4 - 4b^3\ell + b^4)$	0
25		$\frac{Pa}{120EI} (20\ell^3 - 10a\ell^2 + a^3)$	0
26		$\frac{pc}{6EI} \left[\frac{ab}{\ell} \left(2a\ell - 2a^2 - \frac{c^2}{4} \right) \right] + \frac{c^3}{64}$ (*)	a
27		$\frac{Pa}{24EI} (3\ell^2 - 4a^2)$	0,5\ell
28		$\frac{23}{648} \frac{P\ell^3}{EI}$	0,5\ell
29		$\frac{19}{384} \frac{P\ell^3}{EI}$	0,5\ell
30		$\frac{63}{1000} \frac{P\ell^3}{EI}$	0,5\ell
31		$\frac{\sqrt{5}}{240} \frac{P\ell^3}{EI}$	0,447\ell
32		$\frac{1}{24} \frac{Pa^2b}{EI}$	0,5\ell
33		$\frac{Pa}{24EI} (3a^3 + 4a^2\ell - \ell^3)$	-a
34		$\frac{P\ell}{360EI(a+\ell)} (20a^4 - 15a^2\ell^2 - 7a\ell^3 + 12)$	-a
35		$\frac{Pa^2}{3EI} (a + \ell)$	-a
36		$\frac{Pa}{48EI} (6a^3 + 6a^2\ell - \ell^3)$	-a
37		$\frac{Pa^2}{6EI} (4a + 3)$	-a
38		$\frac{Ma}{4EI} (\ell + 2a)$	-a

Extraída de ISNARD; GREKOW; MROZOWICZ (1971).

Revista e adaptada por Libânio M. Pinheiro, Bruna Catoia e Thiago Catoia.

(*) Não corresponde necessariamente ao deslocamento máximo

ANEXO D – DESLOCAMENTOS MÁXIMOS $\Delta_{MÁX}$

(continua)

Descrição	δ^a
Travessas de fechamento	$L/180^b$
	$L/120^{cd}$
Terças de cobertura ^g	$L/180^e$
	$L/180^f$
Vigas de cobertura ^g	$L/250^h$
Vigas de piso	$L/350^h$
Vigas que suportam pilares	$L/500^h$
Vigas de rolamento: ^j Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal inferior a 200 KN; Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal igual ou superior a 200 KN, exceto pontes siderúrgicas; Deslocamento vertical para pontes rolantes siderúrgicas com capacidade nominal igual ou superior a 200 KN; Deslocamento horizontal, exceto para pontes rolantes siderúrgicas; Deslocamento horizontal para pontes rolantes siderúrgicas.	$L/600^i$ $L/800^i$ $L/1000^i$ $L/400$ $L/600$
Galpões em geral e edifícios de um pavimento: Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base; Deslocamento horizontal do nível da viga de rolamento em relação à base.	$H/300$ $H/400^{kl}$
Edifícios de dois ou mais pavimentos: Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base; Deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos.	$H/400$ $h/500^m$
Lajes mistas	Ver anexo Q da norma NBR 8800 (ABNT 200

- ^a L é o vão teórico entre apoios ou o dobro do comprimento teórico do balanço, H é a altura total do pilar ou a distância do nível da viga de rolamento à base, h é a altura do andar.
- ^b Deslocamento paralelo ao plano de fechamento.
- ^c Deslocamento perpendicular ao plano de fechamento.
- ^d Considerar apenas as ações variáveis perpendiculares ao plano de fechamento com seu valor característico.
- ^e Considerar combinações raras de serviço, utilizando-se ações variáveis de mesmo sentido que o da ação permanente.
- ^f Considerar apenas as ações variáveis de sentido oposto ao da ação permanente com seu valor característico.
- ^g Deve-se evitar também a ocorrência de empoçamento.
- ^h Caso haja paredes de alvenaria sobre ou sob uma viga, solidarizadas com essa viga, o deslocamento vertical também não deve exceder a 15 mm.
- ⁱ Valor não majorado pelo coeficiente de impacto.
- ^j Considerar combinações raras de serviço.
- ^k No caso de pontes rolantes siderúrgicas, o deslocamento também não pode ser superior a 50 mm.
- ^l O diferencial do deslocamento horizontal entre pilares do pórtico que suportam as vigas de rolamento não pode superar 15 mm.
- ^m Tomar apenas os deslocamentos provocados pelas forças cortantes no andar considerado, desprezando-se os deslocamentos do corpo rígido provocados pelas deformações axiais dos pilares e das vigas.

Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008)

**ANEXO E – PARÂMETROS REFERENTES AO MOMENTO FLETOR
RESISTENTE**

Tipos de seção e eixo de flexão	Estados limites aplicáveis	M_r	M_{cr}	λ	λ_p	λ_r
Seções I e H com dois eixos de simetria e seções U não sujeitas a momento de torção, fletidas em relação ao eixo de maior momento de inércia	FLT	$(f_y - \sigma_r)W$ Ver nota 5	Ver nota 1	$\frac{L_b}{r}$	$1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver nota 1
	FLM	$(f_y - \sigma_r)W$ Ver nota 5	Ver nota 6	$\frac{b}{t}$ Ver nota 8	$0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver nota 6
	FLA	$f_y W$	Viga de alma esbelta (Anexo C) ²	$\frac{h}{t_w}$	$3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
Tipos de seção e eixo de flexão	Estados limites aplicáveis	M_r	M_{cr}	λ	λ_p	λ_r
Seções I e H com apenas um eixo de simetria situado no plano médio da alma, fletidas em relação ao eixo de maior momento de inércia (Ver nota 9)	FLT	$(f_y - \sigma_r)W_c$ $\leq f_y W_t$ Ver nota 5	Ver nota 2	$\frac{L_b}{r_{yc}}$	$1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver nota 2
	FLM	$(f_y - \sigma_r)W_c$ Ver nota 5	Ver nota 6	$\frac{b}{t}$ Ver nota 8	$0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver nota 6
	FLA	$f_y W$	Viga de alma esbelta (Anexo C) ²	$\frac{h}{t_w}$	$\frac{h_c \sqrt{\frac{E}{f_y}}}{(0,54 \frac{M_{pl}}{M_r} - 0,9)} \leq \lambda_r$	$5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
Seções I e H com dois eixos de simetria e seções U fletidas em relação ao eixo de menor momento de inércia	FLM Ver nota 3	$(f_y - \sigma_r)W$	Ver nota 6	$\frac{b}{t}$ Ver nota 8	$0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver nota 6
	FLA Ver nota 3	$f_y W_{ef}$ Ver nota 4	$\frac{ef}{W} f_y$ Ver nota 4	$\frac{h_c}{t_w}$	$1,12 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
Seções sólidas retangulares fletidas em relação ao eixo de maior momento de inércia	FLT	$f_y W$	$\frac{2,00 C_b E}{\lambda} \sqrt{JA}$	$\frac{L_b}{r_y}$	$\frac{0,13 E}{M_{pl}} \sqrt{JA}$	$\frac{2,00 E}{M_r} \sqrt{JA}$

Fonte: NBR 8800 (ABNT, 2008)

**ANEXO F – TABELA DA ÁREA DA SEÇÃO DE BARRAS DA ARMADURA
PASSIVA POR UNIDADE DE COMPRIMENTO (CM²/M) EM BITOLAS
PADRONIZADAS DA NBR 7480:1996**

ÁREA DA SEÇÃO DE BARRAS POR METRO DE LARGURA a_s (cm ² /m)							
s (cm)	DIÂMETRO NOMINAL (mm)						s (cm)
	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0	
5,0	3,92	6,24	10,06	15,70	24,54	40,22	5,0
5,5	3,56	5,67	9,15	14,27	22,31	36,56	5,5
6,0	3,27	5,20	8,38	13,08	20,45	33,52	6,0
6,5	3,02	4,80	7,74	12,08	18,88	30,94	6,5
7,0	2,80	4,46	7,19	11,21	17,53	28,73	7,0
7,5	2,61	4,16	6,71	10,47	16,36	26,81	7,5
8,0	2,45	3,90	6,29	9,81	15,34	25,14	8,0
8,5	2,31	3,67	5,92	9,24	14,44	23,66	8,5
9,0	2,18	3,47	5,59	8,72	13,63	22,34	9,0
9,5	2,06	3,28	5,29	8,26	12,92	21,17	9,5
10,0	1,96	3,12	5,03	7,85	12,27	20,11	10,0
11,0	1,78	2,84	4,57	7,14	11,15	18,28	11,0
12,0	1,63	2,60	4,19	6,54	10,23	16,76	12,0
12,5	1,57	2,50	4,02	6,28	9,82	16,09	12,5
13,0	1,51	2,40	3,87	6,04	9,44	15,47	13,0
14,0	1,40	2,23	3,59	5,61	8,76	14,36	14,0
15,0	1,31	2,08	3,35	5,23	8,18	13,41	15,0
16,0	1,23	1,95	3,14	4,91	7,67	12,57	16,0
17,0	1,15	1,84	2,96	4,62	7,22	11,83	17,0
17,5	1,12	1,78	2,87	4,49	7,01	11,49	17,5
18,0	1,09	1,73	2,79	4,36	6,82	11,17	18,0
19,0	1,03	1,64	2,65	4,13	6,46	10,58	19,0
20,0	0,98	1,56	2,52	3,93	6,14	10,06	20,0
22,0	0,89	1,42	2,29	3,57	5,58	9,14	22,0
24,0	0,82	1,30	2,10	3,27	5,11	8,38	24,0
25,0	0,78	1,25	2,01	3,14	4,91	8,04	25,0
26,0	0,75	1,20	1,93	3,02	4,72	7,73	26,0
28,0	0,70	1,11	1,80	2,80	4,38	7,18	28,0
30,0	0,65	1,04	1,68	2,62	4,09	6,70	30,0
33,0	0,59	0,95	1,52	2,38	3,72	6,09	33,0

ANEXO G – PLANTA BAIXA DO EDIFÍCIO BIBLIOTECA UNIEVANGÉLICA

