

UNIVERSIDADE TIRADENTES

ENGENHARIA CIVIL

ALOISIO SANTOS MELO

ANA GABRIELLY NÔLETO DE CASTRO

MARIA LAYRA DIAS ARAGÃO

**OTIMIZAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS METÁLICOS
SUBMETIDOS À COMPRESSÃO SIMPLES CONFORME NBR 8800:2008**

Aracaju

2018

**ALOISIO SANTOS MELO
ANA GABRIELLY NÔLETO DE CASTRO
MARIA LAYRA DIAS ARAGÃO**

**OTIMIZAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS METÁLICOS
SUBMETIDOS À COMPRESSÃO SIMPLES CONFORME NBR 8800:2008**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tiradentes.

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

Aracaju
2018

ALOISIO SANTOS MELO
ANA GABRIELLY NÔLETO DE CASTRO
MARIA LAYRA DIAS ARAGÃO

OTIMIZAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS METÁLICOS
SUBMETIDOS À COMPRESSÃO SIMPLES CONFORME NBR 8800:2008

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tiradentes.

Aprovado em: _____/_____/_____

Banca Examinadora

Nota _____

Prof^a. Ma. Raquel Alves Cabral Silva

Orientadora - UNIT

Nota _____

Prof. Me. Diego Faro Alves

Avaliador interno - UNIT

Nota _____

Prof. Me. Adysson André de Souza Fortuna

Avaliador externo - IFS

AGRADECIMENTOS

Nós somos cercados de pessoas que a todo momento entram e saem das nossas vidas, algumas podem permanecer por um curto prazo de tempo, porém são capazes de nos marcar para uma eternidade. Tendo vivido isso, queremos agradecer a algumas que realmente fizeram a diferença no nosso meio.

Agradecemos primeiro a Deus, que é Aquele que nos deu a vida, nos dá força e sabedoria para enfrentar os desafios e cuida de cada um de nós.

Aos nossos familiares, nossos agradecimentos por todo apoio, paciência e dedicação, pelo amor dado a nós. Essa conquista não seria possível sem vocês.

Aos nossos amigos, por estarem sempre presentes nos momentos de alegria e tristeza, por tornar nossa rotina de estudos mais leve.

Aos nossos professores que foram essenciais durante a nossa formação, obrigado por todo o conhecimento transmitido.

E finalmente, reafirmar nossa gratidão a Raquel Cabral, nossa orientadora, por toda a dedicação e paciência durante essa jornada, por incentivarmos a enfrentar o desafio de produzir um trabalho como este. Você é inspiração para nós. Nosso Muito Obrigado!!

RESUMO

A engenharia como um todo vem passando por um processo de modernização constante, na qual a dinâmica de evolução científica e de inovações tecnológicas, juntamente com a grande concorrência no mercado de trabalho, impõe mudanças na formação dos novos engenheiros, que tendem a buscar cada vez mais se envolver em atividades interdisciplinares e explorar seu campo de atuação. Com este avanço da construção civil, é possível observar o aumento da demanda por elementos metálicos e com isso cresce no mercado a necessidade de profissionais aptos a desenvolverem projetos em estruturas deste tipo. Buscando conhecer mais as estruturas de aço e o que elas podem oferecer à humanidade, assim como difundir um dos seus procedimentos de cálculo, surgiu a necessidade desse trabalho. A proposta foi apresentar e analisar as metodologias de dimensionamento de elementos comprimidos de aço e desenvolver, a partir de um *software*, uma ferramenta que otimize o dimensionamento desse tipo de elemento. Todas as etapas de cálculo apresentadas seguem as prescrições da NBR 8800:2008 e foram limitadas a utilização dos perfis laminados. Com o estudo, foram desenvolvidos alguns ábacos para otimização do dimensionamento de elementos comprimidos, nos quais escolhendo-se o comprimento da peça, o perfil desejado e a presença ou não de travamento chega-se a força de compressão resistente de cálculo.

Palavras-chave: Engenharia, Construção Civil, Estruturas metálicas, Elementos Comprimidos.

ABSTRACT

Engineering as a whole has been passing through a constant modernization, in which the dynamic scientific and technological evolution, together with the great job market competition, requires changes in the new engineers formation, who tend to search and involve themselves in interdisciplinary activities and explore their field of activity. With this advancement of civil construction, it is possible to observe the increasing demand for metallic elements and, at the same time, to add to the market the necessity of professionals capable of developing such structuring projects like that. Seeking to know more about steel structures and what they can provide to humanity, as well as spreading the calculation procedures, the need arose for this work. The proposal was to introduce and analyze the methodologies for dimensioning compressed steel elements and develop, through software, a tool that optimizes the dimensioning of this type of element. All the calculus stages shown follow the accuracy of the NBR 8800:2008 and were narrow for the rolled profile. With the study, some abacus were developed for the optimization of the dimensioning of compressed elements, in which the length of the workpiece, the desired profile and the presence or not of the locking were obtained, the strength of the compression was reached.

Keywords: Engineering, Civil Construction, Steel Structures, Compressed Elements.

LISTAS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Primeira ferrovia, inaugurada por George Stephenson	16
Figura 2 - Ponte de Coalbrookdale, sobre o rio Severn na Inglaterra, 1779.	16
Figura 3 - Edifício Avenida Central	17
Figura 4 - Fluxograma da utilização do aço na construção civil	17
Figura 5 - Diagrama simplificado de tração versus deformação dos aços estruturais.....	20
Figura 6 - Perfis formados à frio	22
Figura 7 - Esquemas da laminação	23
Figura 8 - Barras redondas.....	23
Figura 9 - Chapas grossas	24
Figura 10 - Perfis laminados de seção aberta produzidos no Brasil	24
Figura 11 - Exemplos de perfis soldados.....	25
Figura 12 – Coluna bi rotulada.	26
Figura 13 – Coluna com extremidade engastada e outra livre	27
Figura 14 - Coluna com extremidades engastadas	27
Figura 15 - Coluna com extremidade engastada e rotulada.....	28
Figura 16 - Travamentos em pilares	29
Figura 17 - Representação do raio de giração	30
Figura 18 – Comportamento de uma coluna comprimida	32
Figura 19 - Valor de χ em função do índice de esbeltez λ_0	39
Figura 20 – Fluxograma das etapas para dimensionamento.....	41
Figura 21 - Pilar destravado.....	42
Figura 22 - Pilar travado no eixo Y	42
Figura 23 - Planilha Dados de Entrada	48
Figura 24 - Planilha de dimensionamento	49
Figura 25 - Continuação da planilha de dimensionamento	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficiente de flambagem por flexão de elementos isolado	31
Tabela 2 - Valores de $(b/t)_{lim}$	34
Tabela 3 - Valor de χ em função do índice de esbeltez λ_o	38
Tabela 4 - Dados do perfil HP310x79	42
Tabela 5 - Comparativo dos resultados para o Perfil HP310x79 destravado (Situação 1).....	51
Tabela 6 - Comparativo dos resultados para o Perfil HP310x79 travado (Situação 2).....	51
Tabela 7 – Comprimento x Força Resistente de Cálculo Família 150 Sem Travamento	52
Tabela 8 - Comprimento x Força Resistente de Cálculo Família 200 Sem Travamento	53
Tabela 9 - Comprimento x Força Resistente de Cálculo Família 250 Sem Travamento	53
Tabela 10 - Comprimento x Força Resistente de Cálculo Família 310 Sem Travamento	54
Tabela 11 - Comprimento x Força Resistente de Cálculo Família 360 Sem Travamento	54
Tabela 12 - Comprimento x Força Resistente de Cálculo Família 150 com Travamento.....	55
Tabela 13 - Comprimento x Força Resistente de Cálculo Família 200 com Travamento.....	55
Tabela 14 - Comprimento x Força Resistente de Cálculo Família 250 com Travamento.....	56
Tabela 15 - Comprimento x Força Resistente de Cálculo Família 310 com Travamento.....	56
Tabela 16 - Comprimento x Força Resistente de Cálculo Família 360 com Travamento.....	57

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Força resistente de cálculo Perfil W360x91 (H)	57
Gráfico 2 - Força resistente de cálculo Perfis HP	58
Gráfico 3 - Força resistente de cálculo Perfis W	59
Gráfico 4 – Perfis HP310x125 (H) e W360x122 (H) com e sem travamento.....	59
Gráfico 5 - Força resistente de cálculo Perfis HP com e sem travamento.....	60

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS.....	12
1.1.1 Objetivo geral.....	12
1.1.2 Objetivos específicos	13
1.2 JUSTIFICATIVA.....	13
1.3 METODOLOGIA.....	13
1.4 LIMITAÇÕES.....	14
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	14
2. AÇO ESTRUTURAL	15
2.1 DEFINIÇÃO.....	15
2.2 BREVE HISTÓRICO.....	15
2.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO AÇO COMO MATERIAL ESTRUTURAL	18
2.4 PROPRIEDADES DO AÇO	19
2.5 TIPOS DE AÇO	21
2.5.1 Aço-carbono	21
2.5.2 Aços de baixa liga.....	21
2.5.3 Aços resistentes à corrosão atmosférica.....	22
2.6 PERFIS METÁLICOS	22
2.6.1 Perfis formados à frio	22
2.6.2 Perfis laminados.....	23
2.6.3 Perfis soldados.....	25
3. DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS COMPRIMIDOS CONFORME A NBR 8800:2008.....	26
3.1 COMPRIMENTO DE FLAMBAGEM.....	26
3.2 RAIOS DE GIRAÇÃO E ÍNDICE DE ESBELTEZ.....	29
3.3 FORÇA AXIAL DE FLAMBAGEM ELÁSTICA	30
3.4 CÁLCULO DO COEFICIENTE DE INSTABILIDADE LOCAL	33
3.4.1 Elementos comprimidos AL (mesa)	35
3.4.2 Elementos comprimidos AA (alma)	36
3.5 CÁLCULO DO ÍNDICE DE ESBELTEZ REDUZIDO	37
3.6 CÁLCULO DA FORÇA DE COMPRESSÃO AXIAL RESISTENTE DE PROJETO... 39	
4. METODOLOGIA.....	40
4.1 OBJETO DE ESTUDO	42
4.2 CÁLCULO DA RESISTÊNCIA PARA A SITUAÇÃO 1	43

4.3 CÁLCULO DA RESISTÊNCIA PARA A SITUAÇÃO 2	45
4.4 OTIMIZAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO ATRAVÉS DE UMA PLANILHA	48
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
6.1 CONCLUSÃO.....	61
6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
ANEXO – Perfis estruturais Gerdau	65
APÊNDICE – Gráficos por famílias de comprimento x força resistente de cálculo	67

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil vem passando por um processo de modernização oriundo das mudanças aceleradas que estão acontecendo na sociedade. A evolução científica e as inovações tecnológicas, juntamente com a crescente competição do mercado estão forçando este setor a abandonar suas práticas tradicionalistas, exemplo disto é o avanço da utilização do aço como material estrutural (ANDRADE E VELLASCO, 2016)

O emprego do aço na construção civil de modo geral é antigo, visto que se têm construções na Europa desde o século XVIII (QUEIROZ, 1988). Porém, países como Brasil, por exemplo, demoraram a ter um mercado expressivo quando relacionado à utilização do aço em meio a construção civil. A causa deste baixo mercado, muitas vezes, são provenientes da falta de conhecimento sobre o material e seu comportamento, porém, a globalização vem mudando este cenário nos dias atuais.

A construção em aço detém numerosas características especiais que a torna solução para várias aplicações dentro da indústria civil. O uso de soluções estruturais em aço possibilita construções rápidas, eficientes e arrojadas, entre várias outras possibilidades que esse material apresenta. Todas essas vantagens só podem ser realmente obtidas com um conhecimento técnico das etapas relacionadas ao projeto e execução deste tipo de estrutura.

Visando conhecer mais sobre este material e o que ele pode proporcionar a construção civil, o presente trabalho aborda o estudo do dimensionamento de elementos comprimidos de aço de acordo com a NBR 8800:2008. Buscou-se ainda desenvolver uma ferramenta que otimize o dimensionamento deste tipo de elemento, para que assim sejam materializados gráficos que facilitem este tipo de cálculo. Todas as etapas desenvolvidas neste trabalho, foram direcionadas para perfis laminados, com aço de tipo A-572.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho é detalhar o dimensionamento de elementos comprimidos de aço e desenvolver uma planilha no *Microsoft Office Excel* de forma a otimizar o cálculo deste tipo de elemento, esta será base para o desenvolvimento de gráficos que facilitem o processo de escolha do perfil de forma segura.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Realizar um estudo teórico sobre o aço e suas características;
- b) Fazer um estudo sobre o dimensionamento dos elementos comprimidos de acordo com a NBR 8800:2008;
- c) Propor um modelo estrutural que servirá de base para o detalhamento do dimensionamento e conferência da confiabilidade da planilha desenvolvida;
- d) Calcular o elemento proposto com várias condições de contorno (diferentes tipos de apoio, comprimentos e utilização de travamentos);
- e) Desenvolver uma planilha no *Microsoft Office Excel* para otimização do dimensionamento de perfis laminados comprimidos;
- f) Desenvolver gráficos que facilitem a escolha de perfis comprimidos através de sua força de compressão resistente de cálculo.

1.2 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista a ampla utilização do aço para a construção civil em países desenvolvidos e ainda um baixo mercado no Brasil, muitas vezes proveniente do preconceito, ou até mesmo da falta de conhecimento do material e seu comportamento, despertou-se o interesse dos autores em explorar mais sobre o assunto e trazer de forma simples, objetiva e acessível a todos uma ferramenta que auxilie o dimensionamento de um elemento metálico submetido a um dos esforços simples existentes – a força de compressão.

1.3 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho é considerada do tipo exploratória e o seu procedimento acontece por meio de um estudo de caso, onde é apresentado através das seguintes etapas:

- a) Na pesquisa bibliográfica são apresentadas todas as informações e normas necessárias referentes ao conteúdo de estudo;
- b) Detalhamento do processo de dimensionamento de elementos comprimidos conforme a NBR 8800:2008;
- c) Determinação do estudo de caso, através de uma situação exemplo com várias condições e a execução do dimensionamento para o mesmo;
- d) Elaboração de uma ferramenta no *software* para a obtenção dos gráficos;

e) Análise e discussão dos resultados obtidos.

1.4 LIMITAÇÕES

O presente trabalho está limitado ao estudo e dimensionamento de elementos submetidos à compressão simples em estruturas metálicas, sendo estes trabalhados somente com perfis W laminados e de aço A 572.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho encontra-se dividido em 06 (seis) capítulos, conforme apresentado a seguir:

Capítulo 01 – Introdução: este capítulo é composto por uma breve descrição do tema a ser abordado, os objetivos, justificativa, metodologia e limitações do presente trabalho.

Capítulo 02 – Aço estrutural: apresenta o material com o qual será trabalhado, sua definição e tipos encontrados, como também um breve histórico, vantagens e desvantagens comparado a outros materiais e suas propriedades.

Capítulo 03 – Dimensionamento de elementos comprimidos conforme a NBR 8800:2008: apresenta os critérios e o processo de dimensionamento de elementos comprimidos.

Capítulo 04 – Metodologia: apresenta o desenvolvimento do estudo de caso, de forma manual e automatizada, sendo o último através de um *software*.

Capítulo 05 – Resultados e Discussões: Apresenta os gráficos obtidos a partir da planilha desenvolvida no *software* e compara com os resultados obtidos do Capítulo 4.

Capítulo 06 – Considerações finais: Faz uma análise final dos gráficos e da planilha de cálculo para o dimensionamento de elementos comprimidos.

2. AÇO ESTRUTURAL

Desde o século XIX, o aço tem sido cada vez mais utilizado na construção civil por ser um material que proporciona soluções eficientes e arrojadas nos diversos segmentos da construção (QUEIROZ, 1988). As obras em aço sempre estiveram ligadas à ideia de modernidade e inovação, porém a utilização desse material vai muito além da estética. Este capítulo irá apresentar brevemente o aço e seus tipos, um breve histórico a respeito da utilização do mesmo, suas vantagens e desvantagens, as peças formadas por ele e por fim, suas propriedades.

2.1 DEFINIÇÃO

Para Souza (2017), o aço é uma liga metálica composta basicamente de ferro e de pequenas quantidades de carbono, sendo este o responsável pela resistência do material. Na composição do aço, podem também ser adicionados outros elementos que melhoram suas propriedades mecânicas, ou os fazem adquirir propriedades especiais como resistência à corrosão e à temperaturas elevadas. É possível, em função da composição química, produzir vários tipos de aços estruturais com características diferentes.

O aumento do teor de carbono eleva a resistência do aço, porém reduz a sua ductilidade (capacidade de se deformar), o que conduz à problemas de soldabilidade. (PFEIL E PFEIL, 2009).

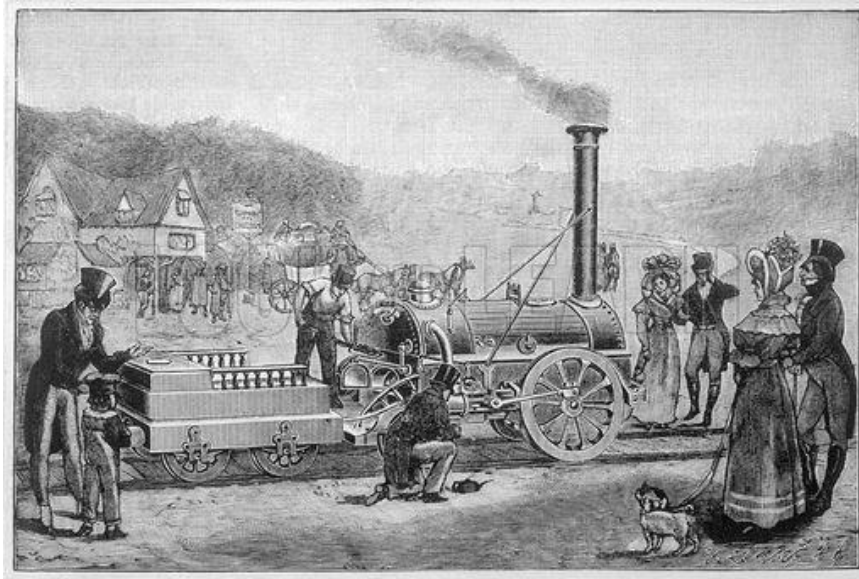
De acordo com Chiaverini (1996 *apud* Pfeil e Pfeil, 2009), do panorama de suas aplicações, o aço pode ser classificado em várias categorias, tendo cada um suas características próprias. Para os aços estruturais, por exemplo, são pretendidas propriedades como boa ductilidade, homogeneidade e soldabilidade, além de elevada relação entre tensão resistente e a de escoamento (PFEIL E PFEIL, 2009).

2.2 BREVE HISTÓRICO

Para Queiroz (1988) a primeira forma metálica de ferro surgiu ainda no período neolítico, quando fragmentos de minério que rodeavam as fogueiras foram reduzidos a metal sólido, pela ação do calor e do contato com a madeira carbonizada. Porém, completa ele que o processo de obtenção de ferro e aço se deu durante a idade média e mais a frente tendo o

aparecimento do primeiro alto-forno à carvão mineral por volta de 1630 e o surgimento das ferrovias em 1827.

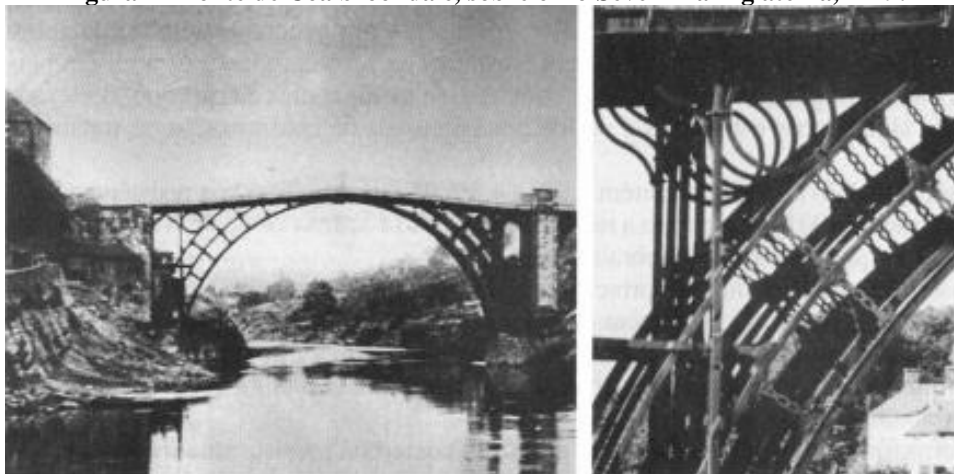
Figura 1 – Primeira ferrovia, inaugurada por George Stephenson



Fonte: Ferreoclube, 2015

Foi em meados do século XIX, que a utilização do ferro em escala industrial ganhou espaço, em decorrência dos processos de industrialização que passavam os países mais desenvolvidos pela revolução industrial, tais como Inglaterra, França e Alemanha. Como exemplo, têm-se a primeira obra importante construída em ferro, a Ponte sobre o Rio Severn em Coalbrookdale na Inglaterra, de 1779, ilustrado na Figura 2. Essa ponte tem um vão simples de 42m, é formada por um arco de elementos de ferro fundido e existe até hoje (BELLEI, PINHO E PINHO, 2008).

Figura 2 - Ponte de Coalbrookdale, sobre o rio Severn na Inglaterra, 1779.

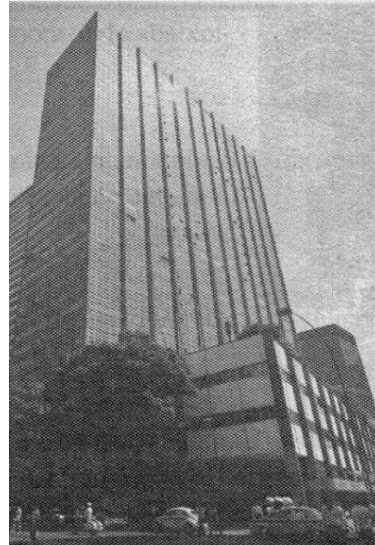


Fonte: Petero, T., The Development, apud Pfeil 2009.

No Brasil, foi na década de 20 que se deu início ao desenvolvimento da indústria siderúrgica, com a criação da Companhia Siderúrgica Belgo Mineira. Em 1940, foi instituída a Comissão Executiva do Plano Siderúrgico Nacional, e em plena Segunda Guerra Mundial foi fundada a Companhia Siderúrgica Nacional, que entrou em operação em 12 de outubro de 1945, com a finalidade de produzir chapas, trilhos e perfis nas bitolas americanas (BELLEI, PINHO E PINHO, 2008).

“Um Exemplo histórico é o Edifício Avenida Central, no Rio de Janeiro (Figura 3), primeiro edifício alto em estrutura metálica do Brasil, fabricado e montado pela extinta FEM-Fábrica de Estruturas Metálicas da CSN, em 1961” (PFEIL E PFEIL, 2009, p.05).

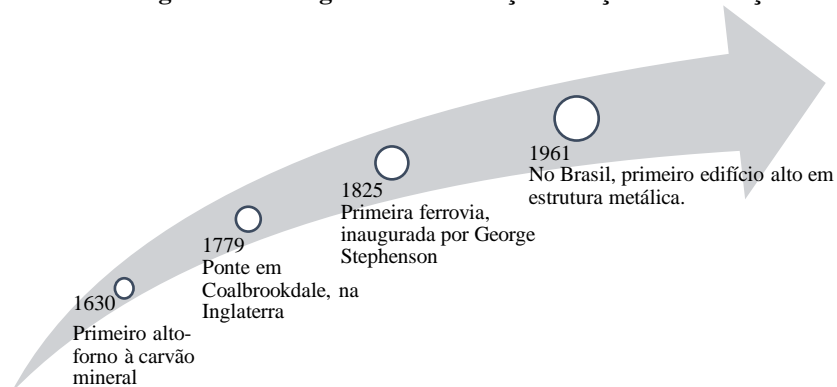
Figura 3 - Edifício Avenida Central



Fonte: Bellei, Pinho e Pinho, 2008.

A Figura 4 ilustra os principais acontecimentos citados anteriormente.

Figura 4 - Fluxograma da utilização do aço na construção civil



Fonte: Adaptado de Bellei, Pinho e Pinho (2008); Queiroz (1988).

2.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO AÇO COMO MATERIAL ESTRUTURAL

De acordo com Fakury, Silva e Caldas (2016), algumas das principais vantagens da utilização do aço como material estrutural, seja em elementos puramente de aço ou mistos (aço e concreto) são:

- a) Elevada resistência: o aço é o material estrutural que possui maior índice de resistência (relação entre resistência e peso específico). Por isso, os elementos estruturais de aço possuem seções transversais com menores dimensões que aqueles fabricados com outros materiais.
- b) Elevada ductilidade: os aços estruturais são materiais que possuem elevada ductilidade (a deformação antes do rompimento se situa entre 15% e 40%), o que faz com que sejam resistentes a choques bruscos e, que haja uma redistribuição em pontos de alta concentração de tensões.
- c) Alto grau de confiança: como o aço é um material homogêneo e isotrópico, suas características são bem definidas. Assim, consegue-se uma aproximação muito boa entre seu comportamento estrutural definido teoricamente e o que efetivamente ocorre na prática.
- d) Canteiro de obras menor, limpo e organizado: em construção com elementos de aço, a dispensa de escoramento e fôrmas e a ausência de manuseio de materiais diferentes reduzem a área necessária ao canteiro de obras e à estocagem e colaboram para manter o canteiro limpo e organizado.
- e) Facilidade de reforço e ampliação: como exemplo de reforço, tem-se chapas soldadas nas mesas de um pilar para aumentar sua capacidade de resistir às ações atuantes. Como exemplo de ampliação de um galpão, pela construção de mais um vão adicional, cuja viga é ligada por meio de parafusos a um pilar existente.
- f) Reciclagem e reaproveitamento: o aço está entre os materiais mais recicláveis e reciclados do mundo. Os elementos estruturais ou qualquer produto de aço, ao final da vida útil, ou quando perdem sua finalidade, são transformados em sucata, que, por sua vez, pode ser empregada na fabricação de novos produtos siderúrgicos. A estrutura metálica, por exemplo, em especial quando as ligações forem parafusadas, pode ser desmontada e reaproveitada.

- g) Rapidez de execução: como a estrutura metálica é composta de peças pré-fabricadas, a montagem pode ser executada com grande rapidez, o que permite que se termine a obra em um prazo menor.

Ainda segundo Fakury, Silva e Caldas (2016), o aço como qualquer material estrutural, exige certos cuidados ao ser usado, para que sejam evitadas situações indesejáveis. Estes, podem ser considerados desvantagens do aço, sendo eles:

- a) Corrosão: processo espontâneo que reduz gradualmente as espessuras das chapas que formam as seções transversais dos componentes estruturais, que podem se tornar inválidos para as finalidades pretendidas.
- b) Comportamento em situação de incêndio: uma redução da resistência ao escoamento e do módulo de elasticidade com o aumento da temperatura. Quando ocorre incêndio, a temperatura do aço alcança valores elevados, e, em decorrência das reduções de resistência e rigidez, a estrutura pode perder a capacidade de suportar as ações atuantes e sofrer colapso total ou parcial.
- c) Custo elevado: a escolha adequada do melhor sistema estrutural compatível com o processo de fabricação é crucial para se otimizar os custos. Ter ligações bem confeccionadas durante a fase de detalhamento, faz com que haja economia na fabricação e montagem. Outro item de grande importância é a proteção contra corrosão, que em muitos casos pode chegar a até 30% do valor da estrutura (BELLEI, PINHO E PINHO, 2008).

2.4 PROPRIEDADES DO AÇO

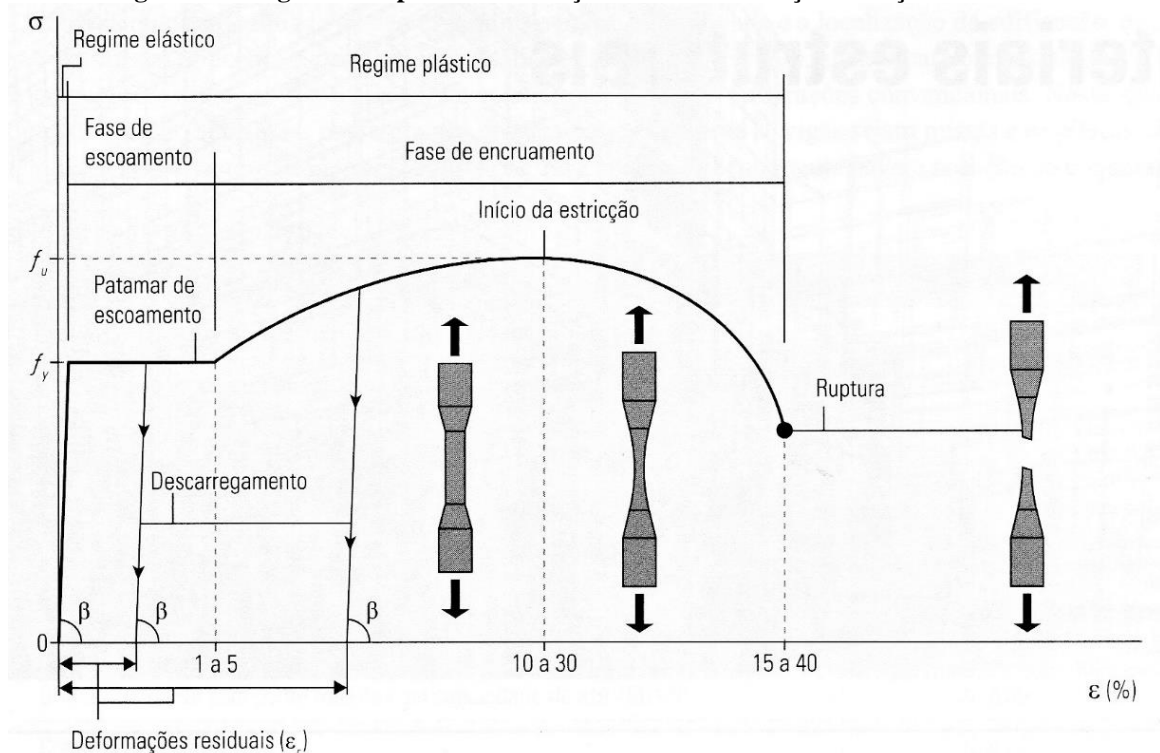
Segundo a NBR 8800:2008 para efeito de cálculo devem ser adotados para o aço os seguintes valores de propriedades mecânicas:

- a) Módulo de deformação longitudinal ou módulo de elasticidade, $E = 200.000 \text{ MPa}$
- b) Coeficiente de Poisson, $\nu = 0,3$
- c) Módulo de elasticidade transversal, $G = 77.000 \text{ MPa}$
- d) Coeficiente de dilatação térmica, $\beta_a = 12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- e) Massa específica, $\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$

Para a obtenção das propriedades do aço é necessário a realização de ensaios de tração onde, a partir deste, chega-se a diagramas de tensão *versus* deformação (ilustrado na Figura 5) em que apresenta os principais regimes de comportamento do aço.

O regime elástico inicia na origem e termina quando o aço atinge a tensão f_y , chamada resistência de escoamento. No regime plástico é onde a tensão fica constante, a deformação aumenta consideravelmente, esse trecho é chamado de patamar de escoamento. Depois disso, o aço sofre um rearranjo cristalino, denominado encruamento, que faz a tensão crescer novamente, porém sem relação linear com a deformação. Ao sair da fase de encruamento o aço atinge sua tensão mais elevada, chamada resistência à ruptura (f_u), em seguida acontece a estricção, onde a área da seção transversal na região central reduz mais rapidamente com a ruptura (FAKURY, SILVA E CALDAS, 2016).

Figura 5 - Diagrama simplificado de tração versus deformação dos aços estruturais



Fonte: Fakury, Silva e Caldas, 2016.

Andrade e Vellasco (2016) e Pfeil e Pfeil (2009) citam outras propriedades do aço como:

- Ductilidade: a capacidade do material se deformar sob ação das cargas;
- Fragilidade: o oposto de ductilidade, o aço pode se tornar frágil pela ação de diversos agentes como efeitos térmicos;
- Resiliência e Tenacidade: essas duas propriedades se relacionam com a capacidade do metal absorver energia mecânica. Sendo resiliência a capacidade de absorver energia mecânica em regime elástico e tenacidade a capacidade do material de absorver energia sem ruptura;

- d) Dureza: é a resistência ao risco ou abrasão;
- e) Fadiga: é a resistência à cargas repetitivas;
- f) Corrosão: é o processo eletroquímico em reações de oxido redução, é a reação do aço com alguns elementos presentes no ambiente.

2.5 TIPOS DE AÇO

Segundo Queiroz (1988), os aços estruturais, em função da composição química, propriedades mecânicas e métodos de obtenção, são divididos em aços-carbono, aços de baixa liga e alta resistência mecânica. Estes, podem ainda apresentar resistência à corrosão atmosférica normal ou superior à normal. Sendo o último caso, denominados aços resistentes à corrosão atmosférica.

2.5.1 Aço-carbono

Possuem resistência ao escoamento máxima de 300 MPa. Esta, por sua vez, se deve principalmente à presença do carbono, e do manganês, em porcentagem máxima de 1,5%, além desses, podem possuir silício, cobre, fósforo e enxofre (FAKURY, SILVA E CALDAS, 2016).

Segundo Dias (1997), os aços-carbono podem ser divididos, em função do teor nominal de carbono, em três classes: baixo carbono ($C \leq 0,30\%$), médio carbono ($0,30\% < C < 0,50\%$) e alto carbono ($C \geq 0,50\%$). O aumento do teor produz redução na ductibilidade, o que resulta em problemas na soldagem. Os aços com até 0,30% de carbono podem ser soldados sem precauções especiais, sendo os mais adequados à construção civil.

2.5.2 Aços de baixa liga

Segundo Fakury, Silva e Caldas (2016), os aços de baixa liga têm teor de carbono entre 0,05% e 0,25% e de manganês inferior a 2%, acrescidos de elementos de liga, como cobre, níquel, cromo e outros elementos que melhoram suas propriedades mecânicas. Esses aços foram desenvolvidos para garantir propriedades mecânicas superiores às dos aços-carbono, com baixo custo de produção, tendo resistência ao escoamento situada entre 275 MPa e 450MPa.

“Alguns elementos de liga produzem aumento de resistência do aço através da modificação da microestrutura para grãos finos. Graças a esse fato, pode-se obter resistência

elevada, o que permite a soldagem dos aços sem preocupações especiais”. (PFEIL E PFEIL, 2009, p. 10).

2.5.3 Aços resistentes à corrosão atmosférica

Os aços-carbono e aços de baixa liga e alta resistência, em porcentagem adequada de cobre, cromo e níquel, podem ter resistência à corrosão atmosférica superior à normal, constituindo os aços resistentes à corrosão atmosférica. Eles também são conhecidos como aços patináveis e, exceto nos ambientes que impedem a formação de pátina, podem ser utilizados sem pinturas ou sem qualquer outro tipo de proteção (FAKURY, SILVA E CALDAS, 2016).

2.6 PERFIS METÁLICOS

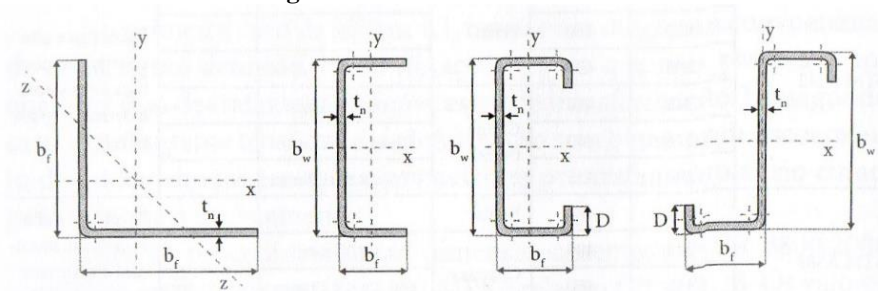
“Os perfis estruturais podem ser classificados em três grupos em função do processo de obtenção/fabricação. São os perfis formados a frio, os perfis laminados e os perfis soldados” (SOUZA, 2017, p.16).

2.6.1 Perfis formados à frio

Os perfis formados a frio são conseguidos por dobragem de chapas planas em temperatura ambiente, onde oferecem liberdade de forma e dimensões, além de serem também estruturas leves por apresentar grande relação inércia-peso. Porém, por serem fabricados com chapas de pequena espessura (de 1,5mm a 6,3mm), podem ser mais sensíveis à flambagem local e perda de seção por corrosão (SOUZA, 2017)

Algumas seções destes tipos de perfis são apresentadas na Figura 6.

Figura 6 - Perfis formados à frio

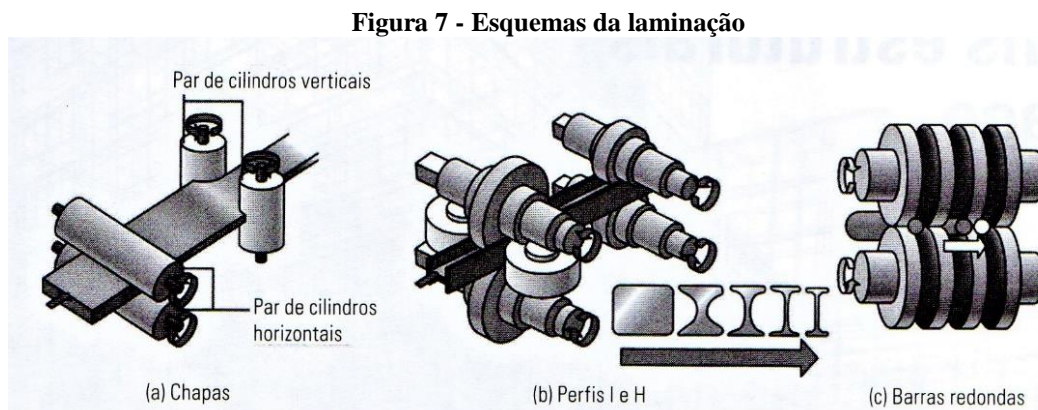


Fonte: Souza, 2017.

2.6.2 Perfis laminados

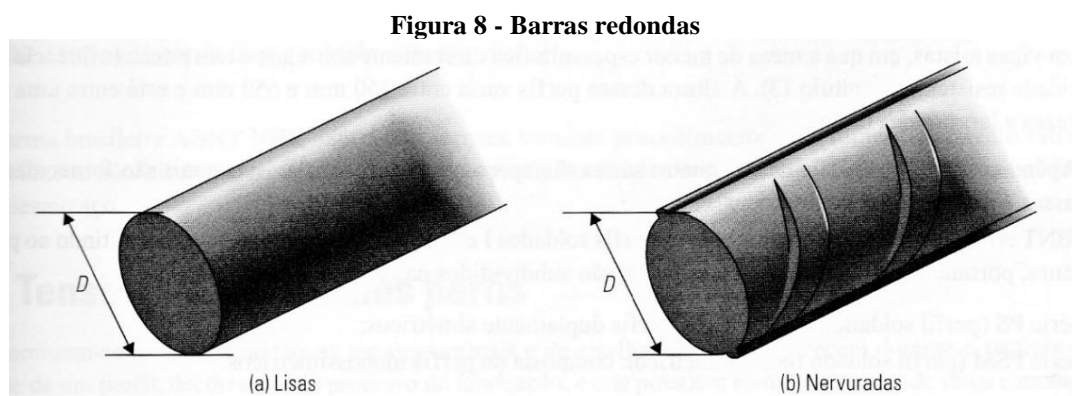
“Os produtos laminados, em geral, se classificam em barras, chapas e perfis (PFEIL E PFEIL, 2009, p.19)”. Segundo Fakury, Silva e Caldas (2016), estes produtos são, em geral, obtidos a partir da laminação a quente, com temperatura superior a 1000°C.

Ilustrações dos esquemas de laminação para chapas, perfis I e H e barras redondas são apresentados na Figura 7.



Fonte: Fakury, Silva e Caldas, 2016.

“As barras são produtos laminados onde duas de suas dimensões (seção transversal) são pequenas em relação à terceira (comprimento), podendo ser em seção circular, conforme Figura 8, quadrada ou retangular alongada” (PFEIL E PFEIL, 2009, p.19).

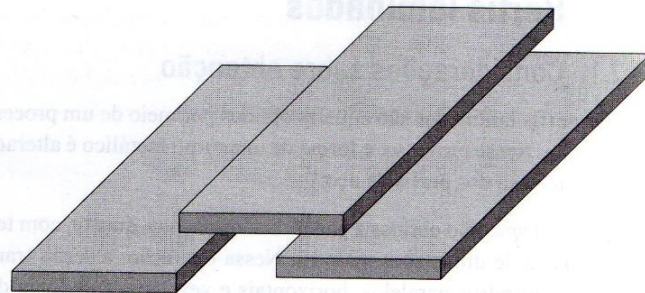


Fonte: Fakury, Silva e Caldas, 2016.

Pfeil e Pfeil (2009) dizem que as chapas são produtos laminados, onde uma dimensão (espessura) é muito menor que as outras duas (largura e comprimento). Fakury, Silva e Caldas (2016) completam que estas podem ser classificadas em grossas (Figura 9), quando sua

espessura é superior a 4,75mm, e finas, quando espessura inferior a 4,75mm, podendo as finas ser laminadas à quente ou à frio.

Figura 9 - Chapas grossas

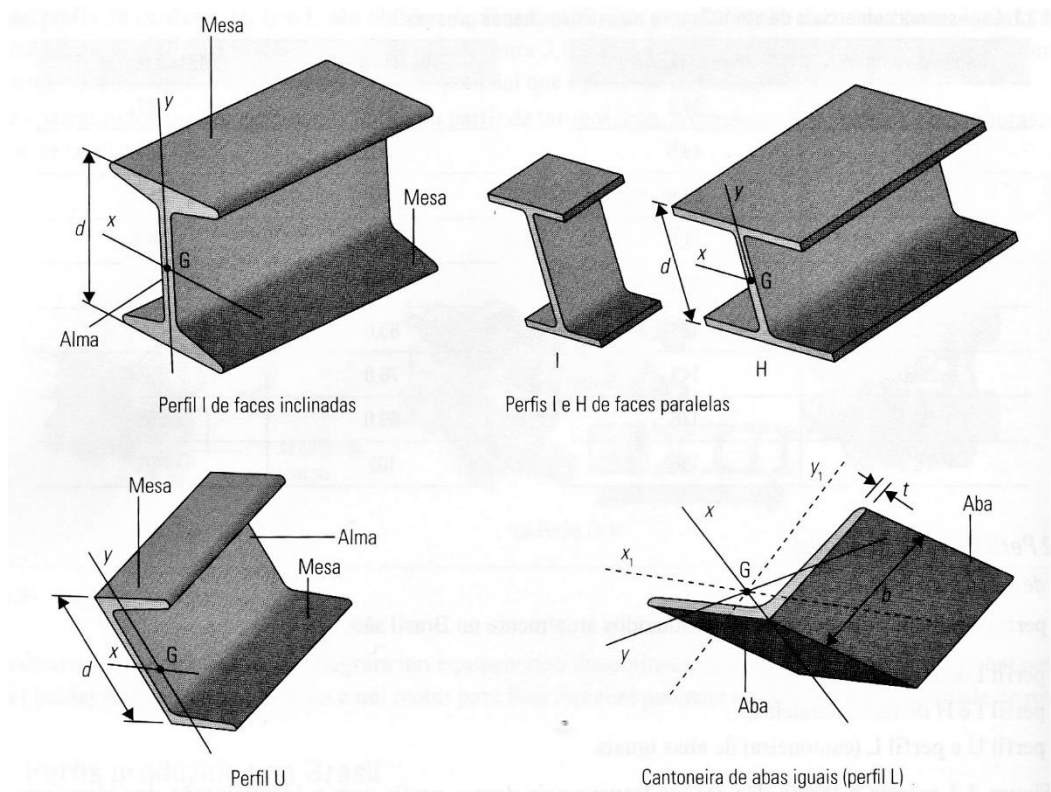


Fonte: Fakury, Silva e Caldas, 2016.

“Os laminadores produzem perfis de grande eficiência estrutural, em forma de H, I, L (cantoneira) e C, este último também chamado de perfil U, onde todos são classificados em perfis laminados” (PFEIL E PFEIL, 2009, p.20).

Estes tipos de perfis são apresentados na Figura 10.

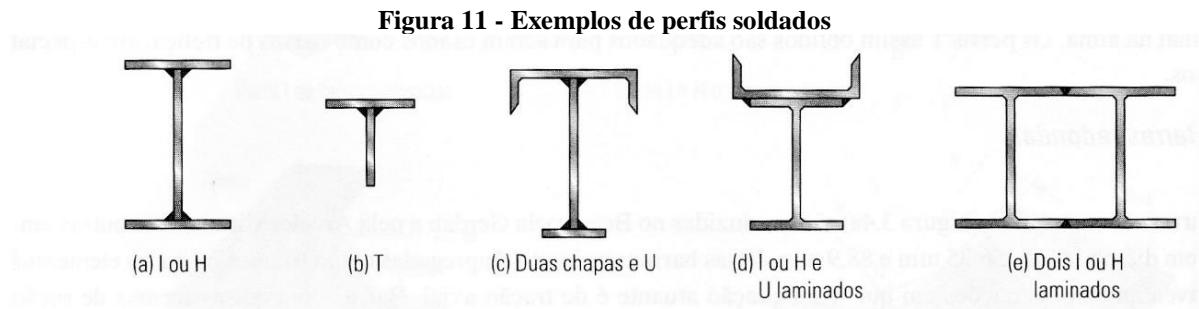
Figura 10 - Perfis laminados de seção aberta produzidos no Brasil



Fonte: Fakury, Silva e Caldas, 2016.

2.6.3 Perfis soldados

Fakury, Silva e Caldas (2016) definem perfis soldados como aqueles formados por dois ou mais perfis laminados. A NBR 5884:2013 estabeleceu três séries de perfis soldados, chamados de CS (colunas soldadas), VS (vigas soldadas) e CVS (colunas e vigas soldadas). Sendo estes são apresentados na Figura 11.



Fonte: Fakury, Silva e Caldas, 2016.

3. DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS COMPRIMIDOS CONFORME A NBR 8800:2008

As barras de aço axialmente comprimidas, juntamente com as tracionadas, aparecem na composição de vigas e pilares treliçados, e também em alguns tipos de contraventamento. Os pilares, nos quais as vigas se ligam por meio de rótulas, são também barras axialmente comprimidas que aparecem frequentemente nas estruturas de aço (FAKURY, SILVA E CALDAS, 2016).

De acordo com Pfeil e Pfeil (2009), os deslocamentos laterais produzidos pelos esforços de compressão são denominados flambagem por flexão. Bellei, Pinho e Pinho (2008) completam que a ruína de um elemento comprimido é, portanto, quase sempre comandada pela carga crítica de flambagem global, desde que não exista nenhum tipo de instabilidade local de seus componentes.

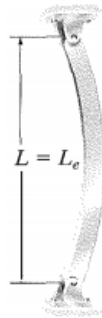
As etapas envolvidas no dimensionamento deste tipo de elemento, com base nas prescrições da NBR 8800:2008 serão apresentadas nos itens a seguir.

3.1 COMPRIMENTO DE FLAMBAGEM

Segundo Hibbeler (2010), é representado pela fórmula (KL), onde K é um coeficiente que representa a distância sem apoio entre os pontos de momento nulo. Essa distância é denominada também de comprimento efetivo da coluna (L_e). Desta forma, K pode ser entendido também como uma porcentagem do comprimento total da peça que estará submetido a flambagem. Este depende dos tipos de apoio nas extremidades da peça.

Por exemplo, para uma coluna presa por pinos nas suas extremidades o comprimento efetivo é igual ao comprimento total da mesma, ou seja, $L_e = L$, como mostra a Figura 12.

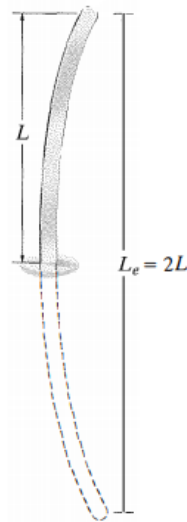
Figura 12 – Coluna bi rotulada.



Fonte: Hibbeler, 2010.

No caso da coluna com uma extremidade engastada e a outra livre, constatou-se que a curva de deflexão é a metade da curva para uma coluna acoplada por pinos com comprimento $2L$, desse modo o comprimento efetivo entre os pontos de momento nulo é $L_e=2L$, conforme Figura 13.

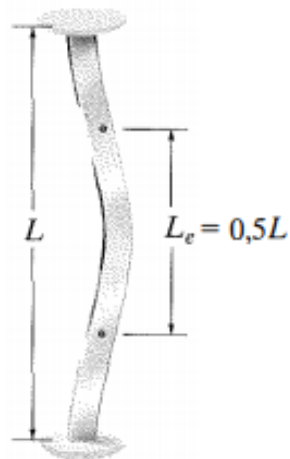
Figura 13 – Coluna com extremidade engastada e outra livre



Fonte: Hibbeler, 2010.

Outro exemplo é a coluna ser presa nas duas extremidades onde tem pontos de inflexão ou pontos de momento nulo à distância $L/4$ de cada apoio, com isso tem-se o comprimento efetivo representado pela metade central do seu comprimento, ou seja $L_e=0,5L$ (Figura 14).

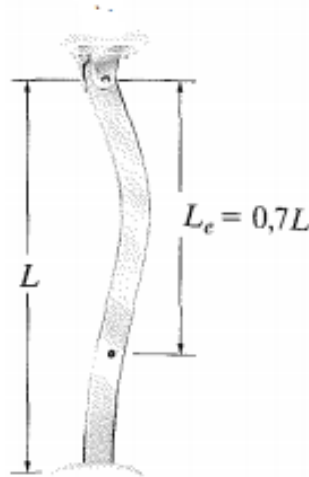
Figura 14 - Coluna com extremidades engastadas



Fonte: Hibbeler, 2010.

Por fim, uma coluna onde uma extremidade é presa por pino e a outra engastada, nesta seu ponto de inflexão é de aproximadamente $0,7L$ de sua extremidade presa por pino, de modo que $L_e = 0,7L$, conforme Figura 15.

Figura 15 - Coluna com extremidade engastada e rotulada



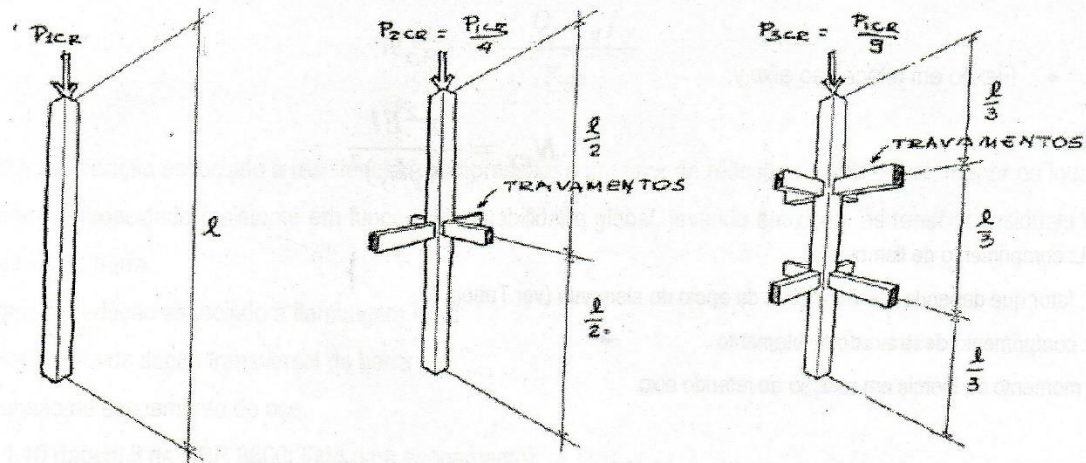
Fonte: Hibbeler, 2010.

Hibbeler (2010) ainda fala que em vez de especificar o comprimento efetivo da coluna é comum o emprego de um coeficiente adimensional K, denominado fator de comprimento efetivo, assim o comprimento efetivo é encontrado através da seguinte fórmula:

$$L_e = KL \quad (1)$$

Para que haja a redução do comprimento efetivo é de fundamental importância o travamento lateral das barras submetidas a compressão. Os mais comuns são por contraventamento, que para Silva (2012), as subestruturas de contraventamento não são apenas as formadas pelos travamentos em “X”, mas toda e qualquer subestrutura que garanta a estabilidade lateral do conjunto estrutural. Para os elementos contraventados, $K = 1,0$, a menos que se demonstre que pode ser utilizado um valor menor. Um deles é demonstrado na Figura 16, o qual é feito a partir de vigas ou do próprio contraventamento da estrutura.

Figura 16 - Travamentos em pilares



Fonte: Rebello, 2000.

Em suma, o comprimento de flambagem de uma peça comprimida depende das condições de apoio desta peça, representadas através do coeficiente K , e do comprimento destravado deste elemento.

3.2 RAIOS DE GIRAÇÃO E ÍNDICE DE ESBELTEZ

De acordo com Rebello (2010), a partir do conceito de momento de inércia, tem-se a seguinte relação:

$$I = Y^2 \times A \quad (2)$$

Chamando a distância ao centro de gravidade ou centro de giro da seção de r , tem-se:

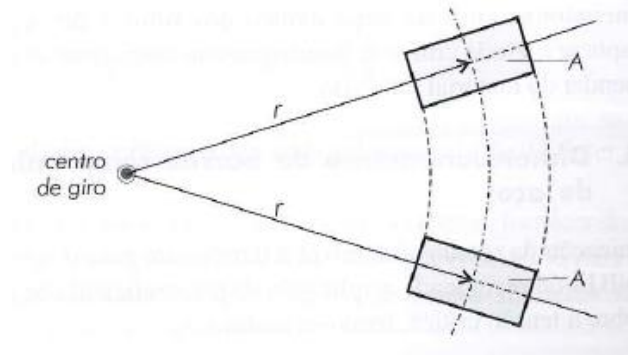
$$I = r^2 \times A \quad (3)$$

Ou seja, isto significa que a inércia da seção (dificuldade de uma seção girar em relação a outra) aumenta com o quadrado da distância da massa (ou área) ao centro da gravidade da seção (centro de giro). Logo, a distância r é denominada raio de giração. Da relação acima tem-se:

$$r^2 = \frac{I}{A} \rightarrow r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (4)$$

A denominação raio de giração pode ser facilmente entendida pela representação física mostrada na Figura 17.

Figura 17 - Representação do raio de giração



Fonte: Rebello, 2005.

Já em relação ao índice de esbeltez, Hibbeler (2010) afirma que esta é uma medida da flexibilidade da coluna que serve para classificar colunas como compridas, intermediárias ou curtas.

O índice de esbeltez (λ) das barras comprimidas, tomado como a relação entre o produto KL e o raio de giração r , ou seja, $\lambda = KL/r$, não deve ser superior a 200 (limite imposto pela NBR 8800:2008).

Segundo Pfeil e Pfeil (2009), esta limitação imposta pela norma tem como finalidade evitar a grande flexibilidade de peças excessivamente esbeltas.

3.3 FORÇA AXIAL DE FLAMBAGEM ELÁSTICA

“Em estruturas metálicas, os problemas de instabilidade são particularmente importantes, já que seus elementos apresentam elevada esbeltez em função da grande resistência do aço” (SOUZA, 2017, p.59).

Pfeil e Pfeil (2009) define flambagem de uma haste como a distância entre os pontos de momento nulo da barra comprimida, deformada lateralmente. Nos pontos de inflexão o momento fletor é nulo e a carga crítica é dada em regime elástico, pela Fórmula de Euler.

De acordo com Hibbeler (2010), na prática da engenharia, em geral as colunas são classificadas de acordo com o tipo de tensão desenvolvida em seu interior no momento da falha. Colunas compridas e esbeltas se tornarão instáveis quando a tensão de compressão permanecer elástica. A aplicação da equação de Euler exige que a tensão na coluna permaneça abaixo do

limite de escoamento do material quando a coluna sofre flambagem e por isso, a equação aplica-se somente às colunas comprimidas.

Segundo Rebello (2000) ao se comprimir barras, com as mesmas seções e de comprimentos diferentes, nota-se que as barras flambarão com forças diferentes, ou seja, quanto maior o comprimento da barra menor será a força necessária para provocar flambagem. Verifica-se também que a flambagem da barra depende do quadrado do seu comprimento. Em outras palavras, o comprimento de uma barra for duplicado, a força necessária para provocar sua flambagem ficará reduzida a apenas um quarto, ou seja, barra ficará quatro vezes mais instável.

Ainda segundo Hibbeler (2010), a carga axial máxima que uma coluna pode suportar quando está na iminência de sofrer flambagem é denominada de carga crítica (N_e), representada pela Equação 5.

$$N_e = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad (5)$$

Onde:

KL: comprimento de flambagem;




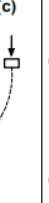






L: comprimento destravado do elemento;

K: parâmetro de flambagem encontrado na Tabela 1;

I: momento de inércia;

E: módulo de elasticidade.

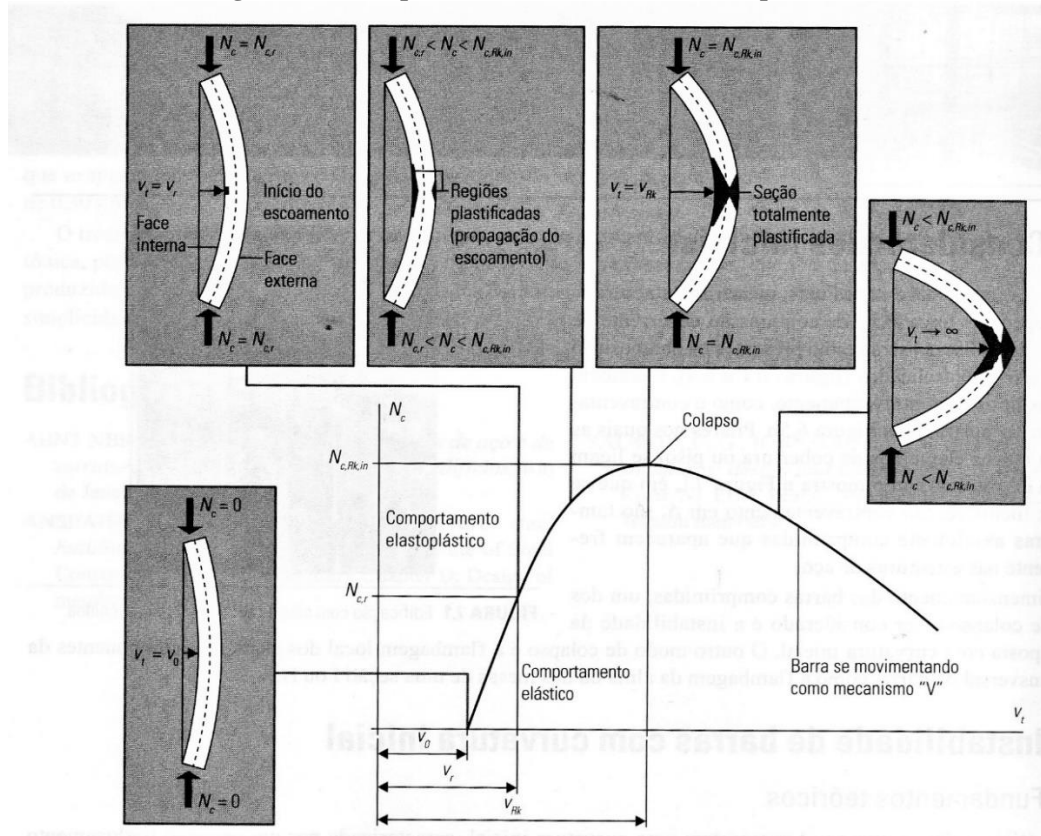
Tabela 1 - Coeficiente de flambagem por flexão de elementos isolado

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
A linha tracejada indica a linha elástica de flambagem						
Valores teóricos de K_x ou K_y	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valores recomendados	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Código para condição de apoio	 Rotação e translação impedidas  Rotação livre, translação impedida  Rotação impedida, translação livre  Rotação e translação livres					

Fonte: NBR 8800:2008

O comportamento de uma coluna comprimida pode ser representado pela Figura 18.

Figura 18 – Comportamento de uma coluna comprimida



Fonte: Fakury, Silva e Caldas, 2016.

Segundo a NBR 8800:2008 a força axial de flambagem elástica, N_e , de uma barra com seção transversal duplamente simétrica (como o perfil W, por exemplo) ou simétrica em relação a um ponto é dada por:

- a) Para flambagem por flexão em relação ao eixo central de inercia x da seção transversal:

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 EI_x}{(K_x L_x)^2} \quad (6)$$

- b) Para flambagem por flexão em relação ao eixo central de inercia y da seção transversal:

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 EI_y}{(K_y L_y)^2} \quad (7)$$

3.4 CÁLCULO DO COEFICIENTE DE INSTABILIDADE LOCAL

“Os componentes que fazem parte das seções transversais usuais, exceto as seções tubulares, para efeito de flambagem local são classificados em AA (duas bordas longitudinais vinculadas) e AL (apenas uma borda longitudinal vinculada)” (BELLEI, PINHO E PINHO, 2008, p.332).

Segundo a NBR 8800:2008 o coeficiente de instabilidade local, Q , que considera a influência da flambagem local na resistência do elemento, é dividido em dois coeficientes:

Q_s – coeficiente de redução da resistência devido à flambagem local em elementos apoiados e livres – AL.

Q_a – coeficiente de redução da resistência devido à flambagem local em elementos apoiados e apoiado – AA.

Onde o coeficiente Q é dado pelo produto dos coeficientes Q_s e Q_a :

$$Q = Q_s Q_a \quad (8)$$

Por exemplo, nos perfis “I” os elementos do tipo AL são as mesas e os elementos dos tipos AA são as almas.

Segundo a NBR 8800:2008, pode-se desconsiderar o efeito da flambagem local, ou seja, o parâmetro de instabilidade local Q pode ser tomado igual a 1 quando a relação largura-espessura (b/t) dos elementos componentes da seção não ultrapassar os limites $(b/t)_{lim}$ indicados na Tabela 2.

$$b/t < (b/t)_{lim} \quad (9)$$

Tabela 2 - Valores de $(b/t)_{lim}$

Elementos	Grupo	Descrição dos elementos	Alguns exemplos com indicação de b e t	$(b/t)_{lim}$
AA	1	<ul style="list-style-type: none"> Mesas ou almas de seções tubulares retangulares Lamelas e chapas de diafragmas entre linhas de parafusos ou soldas 		$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	2	<ul style="list-style-type: none"> Almas de seções I, H ou U Mesas ou almas de seção-caixão Todos os demais elementos que não integram o Grupo 1 		$1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
AL	3	Abas de cantoneiras simples ou múltiplas providas de chapas de travessamento		$0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	4	<ul style="list-style-type: none"> Mesas de seções I, H, T ou U laminadas Abas de cantoneiras ligadas continuamente ou projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas Chapas projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas 		$0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	5	Mesas de seções I, H, T ou U soldadas ^a		$0,64 \sqrt{\frac{E}{(f_y/k_c)}}$
	6	Almas de seções T		$0,75 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

Fonte: NBR 8800:2008

Por exemplo, de acordo com a Tabela 2, para perfis do tipo I, as relações a serem atendidas são:

a) Caso 2 – Alma:

$$\frac{d'}{t_w} \leq 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (10)$$

b) Caso 4 – Mesa:

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (11)$$

E para barras comprimidas em que os elementos da seção transversal possuem relações b/t maiores que os valores de $(b/t)_{lim}$ da Tabela 2, deve-se determinar o parâmetro de instabilidade local Q_s e Q_a , calculados de acordo com o tipo de elemento e apresentados nos subitens a seguir.

3.4.1 Elementos comprimidos AL (mesa)

Os valores de Q_s a serem usados para os elementos comprimidos AL são os seguintes:

a) Elementos do Grupo 3 da Tabela 2:

$$Q_s = 1,340 - 0,76 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}}, \quad \text{para} \quad 0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{b}{t} \leq 0,91 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (12)$$

$$Q_s = \frac{0,53E}{f_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}, \quad \text{para} \quad \frac{b}{t} > 0,91 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (13)$$

b) Elementos do Grupo 4 da Tabela 2:

$$Q_s = 1,415 - 0,74 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}}, \quad \text{para} \quad 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{b}{t} \leq 1,03 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (14)$$

$$Q_s = \frac{0,69E}{f_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}, \quad \text{para} \quad \frac{b}{t} > 1,03 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (15)$$

c) Elementos do Grupo 5 da Tabela 2:

$$Q_s = 1,415 - 0,65 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{k_c E}}, \quad \text{para} \quad 0,64 \sqrt{\frac{E}{(f_y/k_c)}} < \frac{b}{t} \leq 1,17 \sqrt{\frac{E}{(f_y/k_c)}} \quad (16)$$

$$Q_s = \frac{0,90Ek_c}{f_y\left(\frac{b}{t}\right)^2}, \text{ para } \frac{b}{t} > 1,17\sqrt{\frac{E}{(f_y/k_c)}} \quad (17)$$

Com o coeficiente k_c dado por:

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}}, \text{ sendo } 0,35 \leq k_c \leq 0,76 \quad (18)$$

d) Elementos do Grupo 6 da Tabela 2:

$$Q_s = 1,908 - 1,22 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}}, \text{ para } 0,75\sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{b}{t} \leq 1,03\sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (19)$$

$$Q_s = \frac{0,69E}{f_y\left(\frac{b}{t}\right)^2}, \text{ para } \frac{b}{t} > 1,03\sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (20)$$

Onde:

h é a altura da alma;

t_w é a espessura da alma;

b e t são a largura e espessura do elemento, respectivamente (Tabela 2)

Se existirem dois ou mais elementos AL com fatores de redução Q_s diferentes, deve-se adotar o menor destes fatores.

3.4.2 Elementos comprimidos AA (alma)

O fator de redução Q_a das seções transversais com elementos comprimidos AA, cuja relação entre largura e espessura ultrapassa os valores indicados na Tabela 2 é definido como:

$$Q_a = \frac{A_{ef}}{A_g} \quad (21)$$

Onde:

A_g : a área bruta

A_{ef} : área efetiva da seção transversal

$$A_{ef} = A_g - \sum (b - b_{ef})t \quad (22)$$

Na Equação 22, o somatório estende-se a todos os elementos AA. E ainda, b e t são, respectivamente, a largura e a espessura de um elemento comprimento AA, conforme a Tabela 2; b_{ef} é a largura efetiva de um elemento comprimido AA, conforme a Equação 23.

$$b_{ef} = 1,92 t \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \left[1 - \frac{c_a}{b/t} \sqrt{\frac{E}{\sigma}} \right] \leq b \quad (23)$$

Onde c_a é um coeficiente, igual a 0,38 para mesas ou almas de seções tubulares retangulares e 0,34 para todos os outros elementos e σ é a tensão que pode atuar no elemento analisado, tomada igual a:

$$\sigma = \chi f_y \quad (24)$$

Com o χ obtido conforme o item 3.5, adotando o Q igual a 1,0. Opcionalmente, segundo a NBR 8800:2008, de forma conservadora, pode-se tomar:

$$\sigma = f_y \quad (25)$$

3.5 CÁLCULO DO ÍNDICE DE ESBELTEZ REDUZIDO

Segundo a NBR 8800:2008 o índice de esbeltez reduzido, λ_0 , é dado por:

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{QA_g f_y}{N_e}} \quad (26)$$

Onde:

N_e : a força axial de flambagem elástica;

A_g : área bruta da seção transversal da barra;

f_y : tensão de escoamento.

De acordo com a NBR 8800:2008, o χ , que é o fator de redução associado à instabilidade global, é dado pelas Equações 27 e 28.

$$\text{Para } \lambda_0 \leq 1,5 : \chi = 0,658\lambda_0^2 \quad (27)$$

$$\text{Para } \lambda_0 > 1,5 : \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2} \quad (28)$$

O valor do coeficiente χ também pode ser encontrado através da curva de flambagem apresentada na Figura 19 ou da Tabela 3.

Tabela 3 - Valor de χ em função do índice de esbeltez λ_0

λ_0	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	λ_0
0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999	0,998	0,998	0,997	0,997	0,0
0,1	0,996	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991	0,989	0,988	0,987	0,985	0,1
0,2	0,983	0,982	0,980	0,978	0,976	0,974	0,972	0,970	0,968	0,965	0,2
0,3	0,963	0,961	0,958	0,955	0,953	0,950	0,947	0,944	0,941	0,938	0,3
0,4	0,935	0,932	0,929	0,926	0,922	0,919	0,915	0,912	0,908	0,904	0,4
0,5	0,901	0,897	0,893	0,889	0,885	0,881	0,877	0,873	0,869	0,864	0,5
0,6	0,860	0,856	0,851	0,847	0,842	0,838	0,833	0,829	0,824	0,819	0,6
0,7	0,815	0,810	0,805	0,800	0,795	0,790	0,785	0,780	0,775	0,770	0,7
0,8	0,765	0,760	0,755	0,750	0,744	0,739	0,734	0,728	0,723	0,718	0,8
0,9	0,712	0,707	0,702	0,696	0,691	0,685	0,680	0,674	0,669	0,664	0,9
1,0	0,658	0,652	0,647	0,641	0,636	0,630	0,625	0,619	0,614	0,608	1,0
1,1	0,603	0,597	0,592	0,586	0,580	0,575	0,569	0,564	0,558	0,553	1,1
1,2	0,547	0,542	0,536	0,531	0,525	0,520	0,515	0,509	0,504	0,498	1,2
1,3	0,493	0,488	0,482	0,477	0,472	0,466	0,461	0,456	0,451	0,445	1,3
1,4	0,440	0,435	0,430	0,425	0,420	0,415	0,410	0,405	0,400	0,395	1,4
1,5	0,390	0,385	0,380	0,375	0,370	0,365	0,360	0,356	0,351	0,347	1,5
1,6	0,343	0,338	0,334	0,330	0,326	0,322	0,318	0,314	0,311	0,307	1,6
1,7	0,303	0,300	0,296	0,293	0,290	0,286	0,283	0,280	0,277	0,274	1,7
1,8	0,271	0,268	0,265	0,262	0,259	0,256	0,253	0,251	0,248	0,246	1,8
1,9	0,243	0,240	0,238	0,235	0,233	0,231	0,228	0,226	0,224	0,221	1,9
2,0	0,219	0,217	0,215	0,213	0,211	0,209	0,207	0,205	0,203	0,201	2,0
2,1	0,199	0,197	0,195	0,193	0,192	0,190	0,188	0,186	0,185	0,183	2,1
2,2	0,181	0,180	0,178	0,176	0,175	0,173	0,172	0,170	0,169	0,167	2,2
2,3	0,166	0,164	0,163	0,162	0,160	0,159	0,157	0,156	0,155	0,154	2,3
2,4	0,152	0,151	0,150	0,149	0,147	0,146	0,145	0,144	0,143	0,141	2,4
2,5	0,140	0,139	0,138	0,137	0,136	0,135	0,134	0,133	0,132	0,131	2,5
2,6	0,130	0,129	0,128	0,127	0,126	0,125	0,124	0,123	0,122	0,121	2,6
2,7	0,120	0,119	0,119	0,118	0,117	0,116	0,115	0,114	0,113	0,113	2,7
2,8	0,112	0,111	0,110	0,110	0,109	0,108	0,107	0,106	0,106	0,105	2,8
2,9	0,104	0,104	0,103	0,102	0,101	0,101	0,100	0,099	0,099	0,098	2,9
3,0	0,097	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,0

Fonte: NBR 8800:2008

Figura 19 - Valor de χ em função do índice de esbeltez λ_0



Fonte: NBR 8800:2008

3.6 CÁLCULO DA FORÇA DE COMPRESSÃO AXIAL RESISTENTE DE PROJETO

De acordo com a NBR 8800:2008, a determinação da força normal resistente de cálculo a compressão ($N_{c,Rd}$) é dada pela Equação 29. Nesta Equação, já se considera a possibilidade de escoamento da seção, flambagem local e flambagem global.

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi Q A_g f_y}{\gamma} \quad (29)$$

Onde:

γ é o coeficiente de ponderação da resistência para compressão, igual a 1,10;

χ é o fator de redução associado à instabilidade global;

Q é o coeficiente de flambagem local;

A_g é a área bruta da seção transversal da barra;

f_y é a resistência ao escoamento do aço.

4. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho foi realizada através de um estudo bibliográfico e o procedimento acontece por meio de um estudo de caso, desenvolvido a partir de uma abordagem quantitativa, onde são reunidos e analisados dados da pesquisa baseadas em números, gráficos e tabelas a partir da análise e dimensionamento de elementos comprimidos.

A ideia é baseada na elaboração de uma planilha no *Microsoft Office Excel* que dimensione, de forma prática e simplificada, elementos sujeitos à compressão em seus diferentes perfis, seguindo as prescrições da NBR 8800:2008, e forneça os valores máximos de cargas permitidas a atuar no determinado tipo de perfil escolhido.

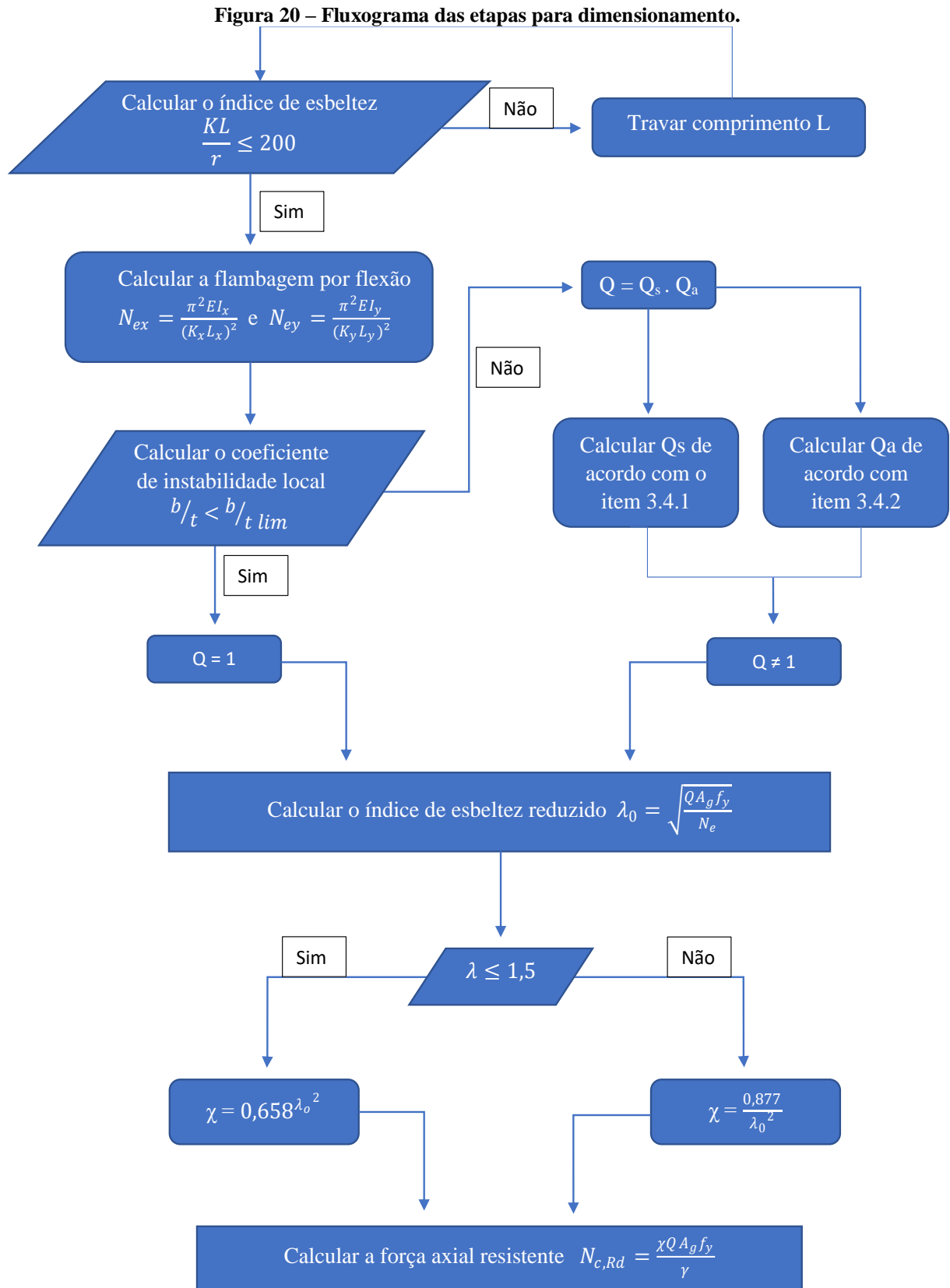
Para o desenvolvimento da planilha, foi proposto um exemplo que servisse de base para o cálculo de dimensionamento e posterior conferência da mesma. Este apresentava condições pré-estabelecidas como tipo do perfil, o tipo de aço utilizado, a condição de apoio e o comprimento do elemento comprimido, com a finalidade de obter a força resistente a compressão e detalhar o processo de dimensionamento da referida norma.

Tendo em vista que o comprimento interfere diretamente no cálculo, foram estabelecidas situações diferentes para o elemento comprimido, onde a primeira situação consiste na utilização do comprimento do elemento como um todo, e a segunda apresenta um travamento no eixo de menor resistência, o qual foi feito a partir de uma viga, reduzindo-se assim pela metade o comprimento efetivo da peça.

Com base no exemplo supracitado, e seguindo a norma NBR 8800:2008 como referência, foram calculados: o índice de esbeltez, não podendo este ultrapassar o limite estabelecido pela norma que é 200; força axial de flambagem elástica, encontrado a partir da fórmula de Euler para cada um dos seus eixos; coeficiente de instabilidade local; índice de esbeltez reduzido; e por fim, com os valores encontrados, a determinação da força axial resistente de cálculo.

Com isso, foi montada a planilha no *software* para a otimização do dimensionamento dos perfis laminados H e HP (tipos de perfis utilizados para pilares, por apresentarem momentos de inércia com menores discrepâncias entre os dois eixos), onde obteve-se a força resistente de cálculo para todos estes perfis com diferentes comprimentos e a partir disso, foram desenvolvidos gráficos dinâmicos que mostram o comportamento dos perfis, no qual permite auxiliar, por exemplo, um usuário a escolher o melhor tipo de perfil para trabalhar como peça comprimida.

A Figura 20 apresenta, de forma sucinta, as etapas seguidas no estudo de caso para determinação da força resistente de projeto.



Fonte: Autoria Própria (2018).

4.1 OBJETO DE ESTUDO

Foram propostos dois tipos de elementos sujeitos à compressão, sendo o primeiro modelo composto por uma coluna destravada e o segundo utilizando-se um travamento no eixo com menor momento de inércia (eixo Y), adotando um comprimento de 3,50 m para ambos os modelos. O perfil utilizado foi o HP 310x79, já que os perfis H e HP são os mais indicados para utilização em pilares, e aço ASMT A572.

Os dois modelos a serem analisados estão expostos na Figura 21 e 22.

Figura 21 - Pilar destravado

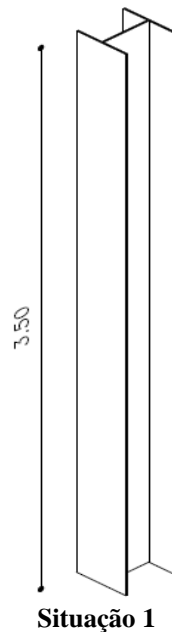
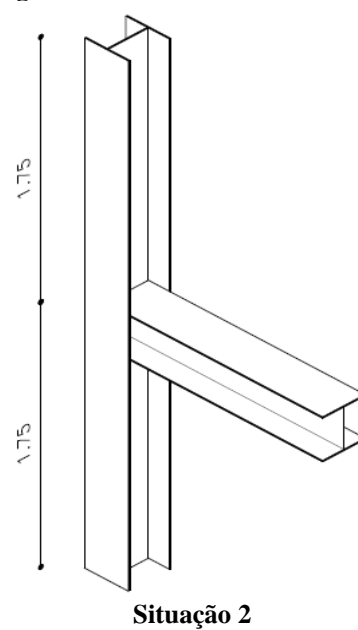


Figura 22 - Pilar travado no eixo Y



Para o perfil HP310x79, adotado na resolução do modelo proposto, tem-se as propriedades apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Dados do perfil HP310x79

BITOLA mm x kg/m	d mm	b _f mm	ESPESSURA		h mm	d' mm	Área cm ²	EIXO X - X		EIXO Y - Y	
			t _w mm	t _f mm				I _x cm ⁴	r _x cm	I _y cm ⁴	r _y cm
HP 310 X 79	299	306	11	11	277	245	100	16.316	12,77	5.258	7,25

Fonte: Gerdau, 2018

Além disto, para o aço estrutural A 572, tem-se que o limite de escoamento (f_y) vale 345 MPa ou 34,5 kN/cm².

4.2 CÁLCULO DA RESISTÊNCIA PARA A SITUAÇÃO 1

Antes de iniciar o dimensionamento da peça, foi calculado o índice de esbeltez com o intuito de analisar se o tipo de perfil com as características impostas, poderia ser utilizado. Ou seja, verificar se o índice de esbeltez estaria dentro do limite estabelecido pela norma, pois caso não houvesse necessitaria trocar o tipo de perfil.

$$KL/r_x \leq 200 \qquad \frac{1 \times 350}{12,77} = 27,41 \leq 200 \quad OK$$

$$KL/r_y \leq 200 \qquad \frac{1 \times 350}{7,25} = 48,28 \leq 200 \quad OK$$

Sendo essa condição aceita, prossegue-se ao dimensionamento calculando a força axial de flambagem elástica (N_e), também conhecida como carga crítica de Euler, para os dois eixos, x e y, verificando qual seria a pior situação para assim, ser dimensiona-la a partir desta.

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \times 20000 \times 16316}{(1 \times 350)^2} = 26291,01 \text{ kN}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \times 20000 \times 5258}{(1 \times 350)^2} = 8472,55 \text{ kN}$$

A partir dos resultados apresentados, percebe-se que a força elástica em “y” possui menor valor, sendo então este o eixo limitante da peça. Assim, não há necessidade de verificação do eixo “x”.

Após isso, determina-se o coeficiente de instabilidade local, sendo a primeira condição para a alma da peça, e a segunda para a mesa da peça. Para as duas condições, verifica-se se a relação largura/espessura são menores que a relação limite imposta pela NBR 8800:2008. Sendo menores, o coeficiente é estabelecido pela norma como sendo igual a 1, caso não sejam, devem ser calculados de acordo com as condições estabelecidas no Item 3.4.

As condições apresentadas nas alíneas a seguir foram retiradas da Tabela 2 para o tipo de perfil analisado neste exemplo.

a) Para alma no grupo 2:

$$\frac{b}{t} = \frac{245}{11} = 22,27$$

$$\text{Relação } \left(\frac{b}{t}\right)_{lim} \rightarrow 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \rightarrow 1,49 \sqrt{\frac{2000000}{345}} = 35,87$$

$$\frac{b}{t} < \left(\frac{b}{t}\right)_{lim} \rightarrow \text{Logo } Q_a = 1,0$$

b) Para mesa no grupo 4:

$$\frac{b}{2t} = \frac{306}{2 \times 11} = 13,91$$

$$\text{Relação } \left(\frac{b}{t}\right)_{lim} \rightarrow 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \rightarrow 0,56 \sqrt{\frac{2000000}{345}} = 13,48$$

$$\frac{b}{t} > \left(\frac{b}{t}\right)_{lim} \rightarrow 13,91 > 13,48 \rightarrow \text{Logo } Q_s \neq 1,0$$

Como o valor da relação largura/espessura foi superior ao limite estabelecido pela norma, deve-se encontrar o novo valor para o coeficiente de estabilidade local na mesa (Q_s).

$$Q_s = 1,415 - 0,74 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

$$Q_s = 1,415 - 0,74 \frac{153}{11} \sqrt{\frac{345}{200000}} = 0,99$$

Portanto, o coeficiente de estabilidade local (Q) total é obtido através da multiplicação dos dois fatores determinados anteriormente.

$$Q = Q_a \times Q_s \rightarrow 1,00 \times 0,99 \rightarrow \text{Logo } Q = 0,99$$

Determina-se então o índice de esbeltez reduzido da peça (λ_0).

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Af_y Q}{N_e}} \rightarrow \sqrt{\frac{100 \times 34,5 \times 0,99}{8472,55}} = 0,63$$

Tendo o índice de esbeltez reduzido, é necessário verificar qual a condição ele atende para calcular o fator de redução (χ), logo:

Para $\lambda_0 \leq 1,5$ tem-se o valor de χ obtido através da equação abaixo.

$$\chi = 0,658^{\lambda_0^2} \rightarrow 0,658^{0,63^2} = 0,85$$

Por fim, é calculado a força resistente de compressão de cálculo da peça:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi Q A f_y}{\gamma} \rightarrow \frac{0,85 \times 0,99 \times 100 \times 34,5}{1,1} = 2639,25 \text{ kN}$$

4.3 CÁLCULO DA RESISTÊNCIA PARA A SITUAÇÃO 2

Antes de iniciar o dimensionamento da peça, foi calculado o índice de esbeltez com o intuito de analisar se o tipo de perfil, com as características impostas, poderia ser utilizado. Ou seja, verificar se o índice de esbeltez estaria dentro do limite estabelecido pela norma, pois caso não houvesse necessitaria trocar o tipo de perfil.

$$KL/r_x \leq 200 \quad \frac{1 \times 350}{12,77} = 27,41 \leq 200 \quad OK$$

$$KL/r_y \leq 200 \quad \frac{1 \times 175}{7,25} = 24,14 \leq 200 \quad OK$$

Sendo essa condição aceita, prossegue-se ao início do dimensionamento calculando a força axial de flambagem elástica (N_e) para os dois eixos, x e y, verificando qual seria a pior situação para assim dimensioná-la a partir desta.

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \times 20000 \times 16316}{(1 \times 350)^2} = 26291,01 \text{ kN}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \times 20000 \times 5258}{(1 \times 175)^2} = 33890,21 \text{ kN}$$

Neste caso, devido a utilização do travamento, percebe-se que o eixo “x” torna-se o limitante, já que este possui uma menor força elástica.

Após isso, determina-se o coeficiente de instabilidade local, sendo a primeira condição para a alma da peça, e a segunda para a mesa da peça. Para as duas condições, verifica-se se a relação largura/espessura são menores que a relação limite. Sendo menores, o coeficiente é estabelecido pela norma como sendo igual a 1, caso não sejam, devem ser calculados de acordo com as condições estabelecidas no Item 3.4.

As condições apresentadas nas alíneas a seguir foram retiradas da Tabela 2 para o tipo de perfil analisado neste exemplo.

a) Para alma no grupo 2:

$$\frac{b}{t} = \frac{245}{11} = 22,27$$

$$\text{Relação } \left(\frac{b}{t}\right)_{lim} \rightarrow 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \rightarrow 1,49 \sqrt{\frac{2000000}{345}} = 35,87$$

$$\frac{b}{t} < \left(\frac{b}{t}\right)_{lim} \rightarrow Q_a = 1,0$$

b) Para mesa no grupo 4:

$$\frac{b}{2t} = \frac{306}{2 \times 11} = 13,91$$

$$\text{Relação } \left(\frac{b}{t}\right)_{lim} \rightarrow 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \rightarrow 0,56 \sqrt{\frac{2000000}{345}} = 13,48$$

$$\frac{b}{t} > \left(\frac{b}{t}\right)_{lim} \rightarrow 13,91 > 13,48 \rightarrow Q_s \neq 1,0$$

Como o valor da relação largura/espessura foi superior ao limite estabelecido pela norma, deve-se encontrar o novo valor para o coeficiente de estabilidade local na mesa (Q_s).

$$Q_s = 1,415 - 0,74 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

$$Q_s = 1,415 - 0,74 \frac{153}{11} \sqrt{\frac{345}{200000}} = 0,99$$

Portanto, o coeficiente de estabilidade local total (Q) é calculado com a multiplicação dos dois fatores determinados anteriormente.

$$Q = Q_a \times Q_s \rightarrow 1,00 \times 0,99 \rightarrow \text{Logo } Q = 0,99$$

Determina-se agora o índice de esbeltez reduzido (λ_0).

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A f_y Q}{N_e}} \rightarrow \sqrt{\frac{100 \times 34,5 \times 0,99}{26291,01}} = 0,36$$

Tendo o índice de esbeltez reduzido, verifica qual a condição ele atende para então calcular-se o fator de redução (χ).

Para $\lambda_0 \leq 1,5$ tem-se o valor de χ por:

$$\chi = 0,658 \lambda_0^2 \rightarrow 0,658^{0,36^2} = 0,95$$

Por fim, é calculado a força resistente de cálculo da peça:

$$N_{rd} = \frac{\chi Q A f_y}{\gamma} \rightarrow \frac{0,95 \times 0,99 \times 100 \times 34,5}{1,1} = 2949,75 \text{ kN}$$

4.4 OTIMIZAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO ATRAVÉS DE UMA PLANILHA

Após o desenvolvimento dos estudos de casos, apresentados nos itens 4.2 e 4.3, procurou-se uma ferramenta que pudesse otimizar o cálculo de força resistente de projeto para diferentes situações que podem ser impostas a um elemento comprimido.

O *software* escolhido foi o *Microsoft Excel*, onde nele foram modeladas três abas, sendo elas chamadas de dados de entrada, dimensionamento e gráficos dinâmicos.

Na aba de dados de entrada são inseridos os dados necessários para o dimensionamento, tais como tipo de perfil, comprimento da peça, se ela possui travamento ou não e quais a condição de apoio nos eixos. Após preenchidos os dados de entrada, esta mesma aba mostra o resultado da força resistente de projeto do elemento comprimido, como também a representação do elemento travado e destravado com seus respectivos comprimentos. Um detalhe da aba de dados de entrada está representado na Figura 23.

Figura 23 - Planilha Dados de Entrada

DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS COMPRIMIDOS	
COMPRIMENTO DA PEÇA - cm	PERFIL
600	HP 310 x 79 (H)
POSSUI TRAVAMENTO NO EIXO "X"?	CONDIÇÃO DE APOIO - EIXO "X"
NÃO	(d)
POSSUI TRAVAMENTO NO EIXO "Y"?	CONDIÇÃO DE APOIO - EIXO "Y"
SIM	(d)
FORÇA RESISTENTE DE CÁLCULO - $N_{cR,d}$	
2635,54	

SEM TRAVAMENTO

COM TRAVAMENTO

Fonte: Autoria Própria.

Após inserir os dados de entrada, os mesmos são direcionados para a aba de dimensionamento, o qual contém as características do aço e do perfil escolhido, sendo responsável por executar todos os passos do cálculo de força resistente. Um detalhe desta aba está apresentado nas Figura 24 e 25.

Figura 24 - Planilha de dimensionamento

**CÁLCULO DE
ELEMENTOS
COMPRIMIDOS**



Dados Fixos				
Tensão de escoamento (f_y):	345	MPa	34,5	kN/cm ²
Módulo de Elasticidade (E):	200000	MPa	20000	kN/cm ²
Índice de Esbeltez				
Para x	46,99	OK		
Para y	41,38	OK		

Fonte: Autoria Própria (2018).

Figura 25 - Continuação da planilha de dimensionamento

Cálculo de KL				
Kx =	1			
Ky =	1		KxLx =	600
Lx =	600		KyLy =	300
Ly =	300			
Cálculo de Ne				
Nex	8946,25	kN		
Ney	11532,08	kN		
Ne	8946,25	kN		
Verificação da peça				
	(bf/tf)	(b/t)lim	condição	Qa e Qs
Alma (AA)	22,273	35,875	Q=1	1
Mesa (AL)	13,909	13,483	Q≠1	0,99
			Q=	0,99
Cálculo de λ_0				
λ_0	0,62			
Calculo de X				
X =	0,85			
Calculo de NcRd				
Ncrd =	2635,54	kN		

Fonte: Autoria Própria.

Quanto aos gráficos, estes foram limitados a comprimentos da peça de 2,80 a 6,0 metros, condição para estrutura biapoiada ($K=1$), aço ASTM A 572 e perfis H e HP. Como resultado disso, obteve-se uma variedade de gráficos dinâmicos a partir da escolha dos perfis, seus travamentos e comprimentos, encontrando sua força resistente de cálculo. Alguns destes gráficos serão apresentados no Capítulo 5 e outros estarão presentes no Apêndice deste trabalho.

Vale ressaltar que foi utilizado uma planilha auxiliar, mostrada no Anexo, para o fornecimento de dados relacionados aos perfis em questão, os quais são as características geométricas destes perfis laminados fornecidas pelo fabricante.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste Capítulo serão expostos os resultados obtidos com o desenvolvimento do estudo de caso.

Para a obtenção dos ábacos como resultado final do trabalho necessitou-se executar os cálculos no *software* objetivando encontrar a força resistente de projeto para diferentes situações. Lembrando que para a obtenção dos gráficos, todas as situações foram limitadas a condição da peça biapoiada ($k=1$), comprimentos entre 2,80m e 6,0 metros, perfis H e HP, isto porque são os formatos que apresentam um melhor desempenho a compressão.

Objetivando mostrar a funcionalidade e eficiência da planilha desenvolvida, comparou-se os resultados obtidos no dimensionamento das duas situações propostas no Capítulo 4, tanto manualmente quanto através do *software*. A Tabela 5 e 6 apresenta estes resultados.

Tabela 5 - Comparativo dos resultados para o Perfil HP310x79 destravado (Situação 1)

	VALORES MANUAIS	VALORES DO SOFTWARE
INDICE DE ESBELTEZ ADOTADO (KL/r)	48,28	48,28
FORÇA AXIAL ADOTADA (Ne)	8472,55	8472,55
INDICE DE ESBELTEZ REDUZIDO(λ_0)	0,63	0,64
FATOR DE REDUÇÃO (χ)	0,85	0,84
FORÇA RESISTENTE DE CALCULO (Nrd)	2639,25	2611,86

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 6 - Comparativo dos resultados para o Perfil HP310x79 travado (Situação 2)

	VALORES MANUAIS	VALORES DO SOFTWARE
INDICE DE ESBELTEZ ADOTADO (KL/r)	27,41	27,41
FORÇA AXIAL ADOTADA (Ne)	26291,01	26291,01
INDICE DE ESBELTEZ REDUZIDO(λ_0)	0,36	0,36
FATOR DE REDUÇÃO (χ)	0,95	0,95
FORÇA RESISTENTE DE CALCULO (Nrd)	2949,75	2931,67

Fonte: Autoria Própria.

Como é possível observar, os valores resultantes são basicamente os mesmos, tanto no dimensionamento manual quanto no através do *software*. Essa diferença se dá pelo fato de que o software trabalha com os valores inteiros, independente de quantas casas decimais estão sendo exibidas na planilha, e manualmente há um acúmulo de arredondamento para o uso na calculadora, devido a dependência das variáveis nos diferentes cálculos posteriores, sendo utilizado somente duas casas decimais.

Após a comprovada a eficácia da planilha, foram produzidos os gráficos Comprimento x Força Resistente de Cálculo para todos os perfis de possível utilização como peça estrutural sujeita à compressão, ou seja, os perfis H e HP. Alguns gráficos serão apresentados, mas para uma melhor visualização das informações recomenda-se verificar o Anexo B deste trabalho.

Os valores exatos encontrados nos gráficos de Comprimento *versus* Força Resistente de Cálculo podem ser melhores analisados nas Tabelas a seguir.

Para a obtenção do gráfico da família 150 sem travamento (em Apêndice) foram utilizados os valores da Tabela 7.

Tabela 7 – Comprimento x Força Resistente de Cálculo Família 150 Sem Travamento

L (cm)	W150X22,5 (H)	W 150x29,8 (H)	W 150x37,1 (H)
280	591,8	811,73	1017,31
300	555,34	765,41	960,59
320	518,85	718,81	903,44
340	482,63	672,32	846,35
360	446,97	626,29	789,73
380	412,14	581,06	733,98
400	378,36	536,91	679,48
420	345,26	494,11	626,54
440	314,59	451,97	574,71
460	287,83	413,52	525,82
480	264,34	379,78	482,92
500	243,62	350,00	445,06
520	225,24	323,60	411,48
540	208,86	300,07	381,57
560	194,21	279,02	354,80
580	181,05	260,11	330,75
600	169,18	243,06	309,07

Fonte: Autoria Própria.

Para a obtenção do gráfico da família 200 sem travamento (em Apêndice) foram utilizados os valores da Tabela 8.

Tabela 8 - Comprimento x Força Resistente de Cálculo Família 200 Sem Travamento

L (cm)	HP 200x53	W 200x35,9	W 200x41,7	W 200x46,1	W 200x52	W 200x59	W 200x71	W 200x86
280	1691,16	1017,07	1193,66	1476,51	1692,18	1925,27	2323,41	2840,27
300	1633,74	966,73	1135,00	1429,44	1639,18	1865,38	2253,75	2756,38
320	1574,52	915,68	1075,49	1380,79	1584,36	1803,43	2181,60	2669,44
340	1513,83	864,28	1015,56	1330,81	1528,02	1739,73	2107,33	2579,91
360	1452,02	812,93	955,64	1279,79	1470,45	1674,64	2031,32	2488,23
380	1389,42	761,95	896,14	1227,97	1411,94	1608,47	1953,95	2394,85
400	1326,35	711,67	837,42	1175,62	1352,79	1541,55	1875,58	2300,21
420	1263,13	662,39	779,84	1122,99	1293,28	1474,20	1796,58	2204,75
440	1200,07	614,36	723,70	1070,32	1233,67	1406,72	1717,30	2108,89
460	1137,44	567,83	669,27	1017,85	1174,24	1339,41	1638,08	2013,03
480	1075,51	521,85	615,43	965,79	1115,21	1272,54	1559,23	1917,56
500	1014,54	480,94	567,18	914,34	1056,83	1206,38	1481,07	1822,84
520	954,74	444,66	524,39	863,71	999,31	1141,17	1403,87	1729,22
540	896,34	412,33	486,27	814,06	942,85	1077,14	1327,91	1637,03
560	839,50	383,40	452,15	765,55	887,63	1014,48	1253,42	1546,54
580	782,67	357,42	421,51	718,32	833,82	953,39	1180,63	1458,04
600	731,36	333,99	393,88	671,03	779,88	892,23	1109,06	1371,77

Fonte: Autoria Própria.

Para a obtenção do gráfico da família 250 sem travamento (em Apêndice) foram utilizados os valores da Tabela 9.

Tabela 9 - Comprimento x Força Resistente de Cálculo Família 250 Sem Travamento

L (cm)	HP 250x62	HP 250x85	W 250x101	W 250x115	W 250x73	W 250x80	W 250x89
280	2143,58	2936,92	3533,74	4020,32	2535,11	2790,95	3121,38
300	2095,78	2873,61	3464,87	3943,25	2484,23	2735,55	3059,68
320	2045,86	2807,44	3392,74	3862,50	2430,97	2677,55	2995,07
340	1994,02	2738,68	3317,60	3778,35	2375,53	2617,16	2927,79
360	1940,47	2667,59	3239,72	3691,11	2318,11	2554,59	2858,08
380	1885,43	2594,44	3159,38	3601,07	2258,91	2490,07	2786,19
400	1829,11	2519,51	3076,86	3508,54	2198,16	2423,83	2712,38
420	1771,70	2443,07	2992,42	3413,83	2136,04	2356,09	2636,89
440	1713,43	2365,39	2906,36	3317,24	2072,79	2287,08	2559,97
460	1654,51	2286,74	2818,94	3219,08	2008,59	2217,03	2481,87
480	1595,12	2207,39	2730,44	3119,67	1943,67	2146,15	2402,85
500	1535,48	2127,59	2641,13	3019,28	1878,21	2074,66	2323,14
520	1475,77	2047,59	2551,28	2918,24	1812,42	2002,79	2242,99
540	1416,18	1967,64	2461,14	2816,81	1746,50	1930,73	2162,62
560	1356,88	1887,98	2370,97	2715,27	1680,62	1858,70	2082,26
580	1298,05	1808,82	2281,00	2613,91	1614,96	1786,88	2002,13
600	1239,83	1730,38	2191,47	2512,97	1549,70	1715,46	1922,43

Fonte: Autoria Própria.

Para a obtenção do gráfico da família 310 sem travamento (em Apêndice) foram utilizados os valores da Tabela 10.

Tabela 10 - Comprimento x Força Resistente de Cálculo Família 310 Sem Travamento

L (cm)	HP 310x110	HP 310x125	HP 310x79	HP 310x93	W 310x107	W 310x117	W 310x97
280	3981,77	4497,14	2777,13	3359,06	3885,22	4274,18	3517,15
300	3920,43	4428,89	2732,67	3306,28	3830,25	4214,35	3466,88
320	3855,91	4357,08	2685,93	3250,78	3772,35	4151,33	3413,94
340	3788,39	4281,92	2637,06	3192,72	3711,68	4085,27	3358,47
360	3718,06	4203,62	2586,19	3132,27	3648,39	4016,36	3300,63
380	3645,14	4122,39	2533,48	3069,62	3582,66	3944,77	3240,56
400	3569,83	4038,48	2479,09	3004,93	3514,66	3870,69	3178,43
420	3492,33	3952,10	2423,16	2938,40	3444,57	3794,32	3114,39
440	3412,85	3863,50	2365,86	2870,20	3372,55	3715,84	3048,62
460	3331,62	3772,90	2307,35	2800,53	3298,80	3635,44	2981,28
480	3248,84	3680,54	2247,78	2729,56	3223,49	3553,33	2912,53
500	3164,72	3586,66	2187,32	2657,49	3146,81	3469,70	2842,54
520	3079,49	3491,48	2126,11	2584,49	3068,93	3384,74	2771,48
540	2993,34	3395,25	2064,31	2510,76	2990,04	3298,66	2699,52
560	2906,49	3298,20	2002,08	2436,47	2910,32	3211,64	2626,81
580	2819,14	3200,54	1939,57	2361,80	2829,94	3123,88	2553,53
600	2731,49	3102,49	1876,92	2286,91	2749,08	3035,57	2479,83

Fonte: Autoria Própria.

Para a obtenção do gráfico da família 360 sem travamento (em Apêndice) foram utilizados os valores da Tabela 11.

Tabela 11 - Comprimento x Força Resistente de Cálculo Família 360 Sem Travamento

L (cm)	W 360x101	W 360x110	W 360x122	W 360x91
280	3507,42	3815,38	4213,76	3134,11
300	3432,11	3734,53	4124,38	3066,10
320	3353,40	3649,99	4030,94	2995,04
340	3271,59	3562,09	3933,79	2921,19
360	3187,00	3471,19	3833,31	2844,86
380	3099,95	3377,61	3729,88	2766,34
400	3010,77	3281,70	3623,87	2685,91
420	2919,79	3183,80	3515,68	2603,88
440	2827,32	3084,27	3405,68	2520,54
460	2733,68	2983,44	3294,24	2436,18
480	2639,19	2881,65	3181,75	2351,08
500	2544,15	2779,22	3068,55	2265,52
520	2448,87	2676,47	2955,01	2179,78
540	2353,63	2573,72	2841,47	2094,11
560	2258,71	2471,26	2728,25	2008,77
580	2164,38	2369,37	2615,68	1923,99
600	2070,88	2268,33	2504,04	1840,00

Fonte: Autoria Própria.

Para a obtenção do gráfico da família 150 com travamento (em Apêndice) foram utilizados os valores da Tabela 12.

Tabela 12 - Comprimento x Força Resistente de Cálculo Família 150 com Travamento

L (cm)	W 150X22,5	W 150x29,8	W 150x37,1
280	794,42	1063,51	1326,78
300	778,67	1043,72	1303,01
320	762,18	1022,97	1278,07
340	745,01	1001,33	1252,05
360	727,22	978,88	1225,03
380	708,88	955,70	1197,10
400	690,05	931,85	1168,35
420	670,79	907,43	1138,88
440	651,16	882,50	1108,76
460	631,24	857,15	1078,09
480	611,08	831,44	1046,96
500	590,76	805,46	1015,47
520	570,32	779,29	983,70
540	549,82	752,98	951,73
560	529,33	726,63	919,66
580	508,91	700,28	887,56
600	488,59	674,02	855,51

Fonte: Autoria Própria.

Para a obtenção do gráfico da família 200 com travamento (em Apêndice) foram utilizados os valores da Tabela 13.

Tabela 13 - Comprimento x Força Resistente de Cálculo Família 200 com Travamento

L (cm)	HP 200x53	W 200x35,9	W 200x41,7	W 200x46,1	W 200x52	W 200x59	W 200x71	W 200x86
280	1974,66	1315,51	1541,01	1706,85	1951,64	2220,29	2666,11	3252,93
300	1951,86	1298,92	1521,72	1688,27	1930,84	2197,09	2639,36	3220,86
320	1927,79	1281,42	1501,37	1668,63	1908,85	2172,56	2611,07	3186,93
340	1902,48	1263,05	1480,00	1647,98	1885,72	2146,75	2581,29	3151,20
360	1876,01	1243,86	1457,67	1626,35	1861,49	2119,70	2550,08	3113,74
380	1848,42	1223,88	1434,43	1603,79	1836,21	2091,49	2517,49	3074,62
400	1819,78	1203,17	1410,33	1580,36	1809,94	2062,15	2483,59	3033,93
420	1790,15	1181,78	1385,44	1556,09	1782,73	2031,75	2448,44	2991,72
440	1759,60	1159,75	1359,80	1531,04	1754,63	2000,36	2412,11	2948,09
460	1728,18	1137,13	1333,48	1505,25	1725,69	1968,02	2374,67	2903,11
480	1695,96	1113,99	1306,53	1478,79	1695,98	1934,80	2336,19	2856,87
500	1663,01	1090,35	1279,02	1451,69	1665,55	1900,76	2296,73	2809,44
520	1629,40	1066,29	1250,99	1424,01	1634,46	1865,97	2256,38	2760,91
540	1595,19	1041,85	1222,52	1395,81	1602,76	1830,50	2215,18	2711,36
560	1560,44	1017,07	1193,66	1367,13	1570,52	1794,39	2173,23	2660,89
580	1525,23	992,02	1164,47	1338,03	1537,79	1757,73	2130,60	2609,57
600	1489,63	966,73	1135,00	1308,56	1504,63	1720,56	2087,34	2557,49

Fonte: Autoria Própria.

Para a obtenção do gráfico da família 250 com travamento (em Apêndice) foram utilizados os valores da Tabela 14.

Tabela 14 - Comprimento x Força Resistente de Cálculo Família 250 com Travamento

L (cm)	HP 250x62	HP 250x85	W 250x101	W 250x115	W 250x73	W 250x80	W 250x89
280	2369,32	3234,81	3858,34	4383,72	2773,29	3050,54	3412,11
300	2351,05	3210,65	3832,66	4355,09	2753,97	3029,59	3389,02
320	2331,68	3185,02	3805,39	4324,69	2733,48	3007,36	3364,52
340	2311,24	3157,96	3776,58	4292,56	2711,83	2983,87	3338,63
360	2289,75	3129,51	3746,26	4258,75	2689,05	2959,16	3311,38
380	2267,25	3099,72	3714,48	4223,29	2665,19	2933,26	3282,83
400	2243,78	3068,62	3681,26	4186,24	2640,26	2906,21	3252,99
420	2219,36	3036,26	3646,67	4147,63	2614,30	2878,04	3221,92
440	2194,04	3002,70	3610,73	4107,53	2587,35	2848,78	3189,65
460	2167,85	2967,96	3573,50	4065,98	2559,45	2818,49	3156,22
480	2140,83	2932,12	3535,03	4023,02	2530,63	2787,19	3121,68
500	2113,02	2895,21	3495,36	3978,73	2500,92	2754,93	3086,08
520	2084,45	2857,28	3454,55	3933,14	2470,37	2721,75	3049,45
540	2055,18	2818,40	3412,64	3886,32	2439,03	2687,69	3011,85
560	2025,23	2778,60	3369,68	3838,32	2406,91	2652,80	2973,32
580	1994,66	2737,96	3325,74	3789,20	2374,08	2617,12	2933,91
600	1963,50	2696,51	3280,85	3739,02	2340,57	2580,69	2893,67

Fonte: Autoria Própria.

Para a obtenção do gráfico da família 310 com travamento (em Apêndice) foram utilizados os valores da Tabela 15.

Tabela 15 - Comprimento x Força Resistente de Cálculo Família 310 com Travamento

L (cm)	HP 310x110	HP 310x125	HP 310x79	HP 310x93	W 310x107	W 310x117	W 310x97
280	4273,94	4821,66	2990,21	3610,92	4145,37	4557,03	3755,17
300	4252,42	4797,69	2974,70	3592,41	4126,09	4536,05	3737,54
320	4229,54	4772,21	2958,21	3572,73	4105,59	4513,73	3718,78
340	4205,31	4745,22	2940,75	3551,89	4083,88	4490,08	3698,91
360	4179,77	4716,77	2922,35	3529,93	4060,98	4465,15	3677,96
380	4152,94	4686,87	2903,03	3506,86	4036,90	4438,93	3655,94
400	4124,84	4655,57	2882,79	3482,71	4011,68	4411,47	3632,87
420	4095,51	4622,89	2861,67	3457,49	3985,34	4382,78	3608,78
440	4064,97	4588,85	2839,69	3431,25	3957,90	4352,89	3583,68
460	4033,25	4553,51	2816,86	3403,99	3929,38	4321,83	3557,60
480	4000,39	4516,88	2793,22	3375,76	3899,82	4289,62	3530,57
500	3966,42	4479,01	2768,78	3346,57	3869,24	4256,30	3502,60
520	3931,36	4439,93	2743,57	3316,46	3837,66	4221,90	3473,73
540	3895,26	4399,68	2717,62	3285,46	3805,11	4186,44	3443,98
560	3858,14	4358,29	2690,94	3253,59	3771,63	4149,96	3413,37
580	3820,05	4315,81	2663,58	3220,89	3737,25	4112,49	3381,94
600	3781,02	4272,28	2635,54	3187,39	3701,98	4074,05	3349,71

Fonte: Autoria Própria.

Para a obtenção do gráfico da família 360 com travamento (em Apêndice) foram utilizados os valores da Tabela 16.

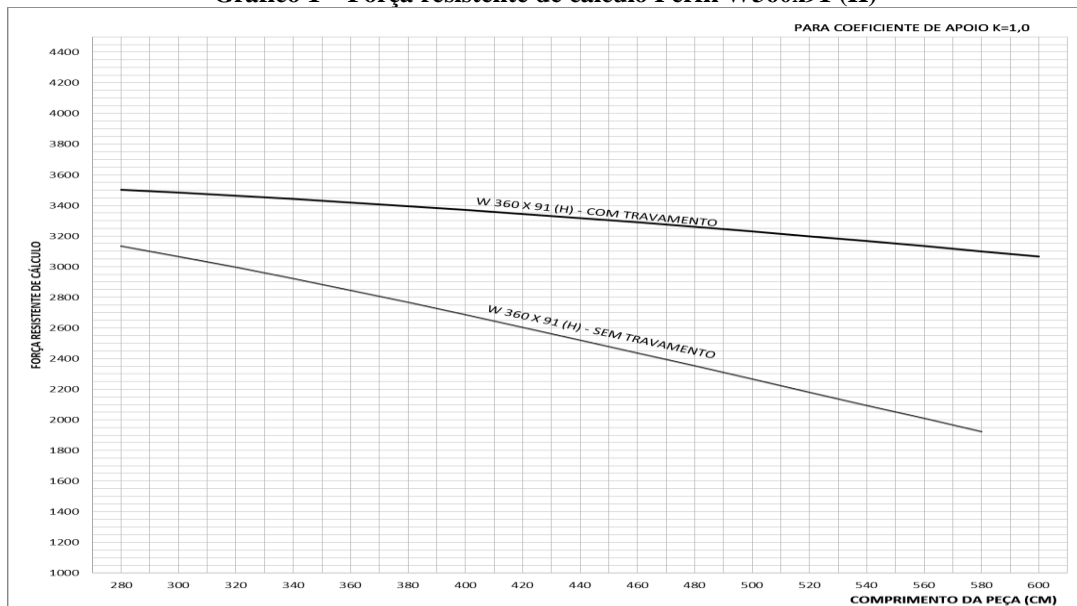
Tabela 16 - Comprimento x Força Resistente de Cálculo Família 360 com Travamento

L (cm)	W 360x101	W 360x110	W 360x122	W 360x91
280	3915,34	4252,98	4697,49	3502,77
300	3894,15	4230,27	4672,38	3483,61
320	3871,63	4206,12	4645,69	3463,24
340	3847,79	4180,57	4617,44	3441,70
360	3822,68	4153,63	4587,67	3418,99
380	3796,30	4125,35	4556,40	3395,15
400	3768,70	4095,75	4523,68	3370,20
420	3739,90	4064,86	4489,53	3344,16
440	3709,93	4032,71	4453,99	3317,08
460	3678,82	3999,34	4417,10	3288,97
480	3646,61	3964,78	4378,90	3259,86
500	3613,33	3929,07	4339,42	3229,79
520	3579,02	3892,24	4298,71	3198,79
540	3543,70	3854,33	4256,81	3166,89
560	3507,42	3815,38	4213,76	3134,11
580	3470,21	3775,44	4169,60	3100,51
600	3432,11	3734,53	4124,38	3066,10

Fonte: Autoria Própria.

O Gráfico 1 demonstra duas situações impostas para um mesmo tipo de perfil, com as mesmas características, porém, uma sendo livre nos dois eixos, e a outra contendo travamento no eixo que apresenta menor resistência (eixo y).

Gráfico 1 – Força resistente de cálculo Perfil W360x91 (H)



Fonte: Autoria Própria.

Como pode ser visualizado no Gráfico 1, a peça que contém travamento apresenta um melhor desempenho em relação a força resistente de cálculo. Isto se dá pelo fato de que o travamento reduz o comprimento efetivo da peça, ou seja, comprova a teoria de que quanto menor o comprimento maior será a resistência da peça. Por exemplo, no gráfico pode-se observar que para o perfil W360x91 (H) de comprimento 4,20 metros, sendo destravado, apresenta força resistente de cálculo de aproximadamente 2600,0 kN e ao ser travado sua força resistente aumenta para aproximadamente 3350,0 kN.

Após comprovados que os perfis travados suportam maiores cargas, foram analisados quais seriam os perfis mais resistentes dentro de sua tipologia. Os Gráficos 2 e 3 mostram que os perfis HP310x125 (H) e W360x122 (H) apresentam maiores forças resistentes de cálculo, ou seja, suportam cargas maiores. Percebe-se também que estes têm alturas e pesos mais elevados comparados aos outros. O peso mais elevado destes perfis deriva das maiores espessuras utilizadas nas chapas dos mesmo o que conseqüentemente aumenta o momento de inércia nos dois eixos do elemento.

Gráfico 2 - Força resistente de cálculo Perfis HP

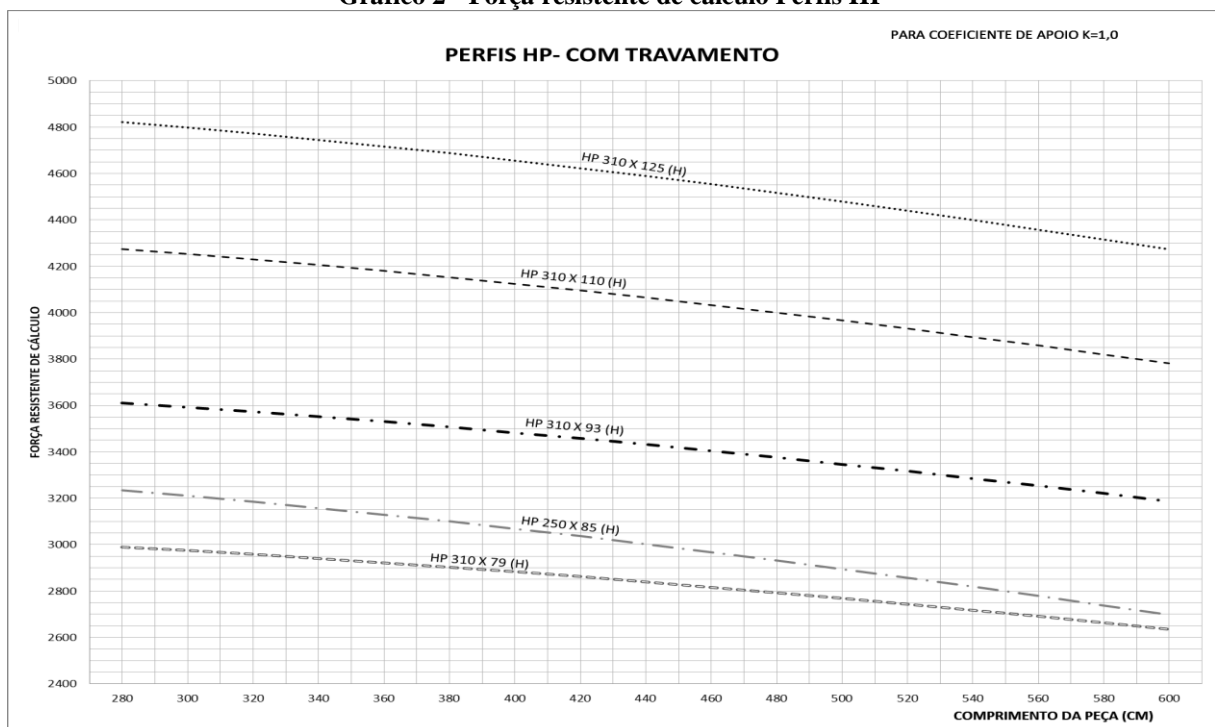
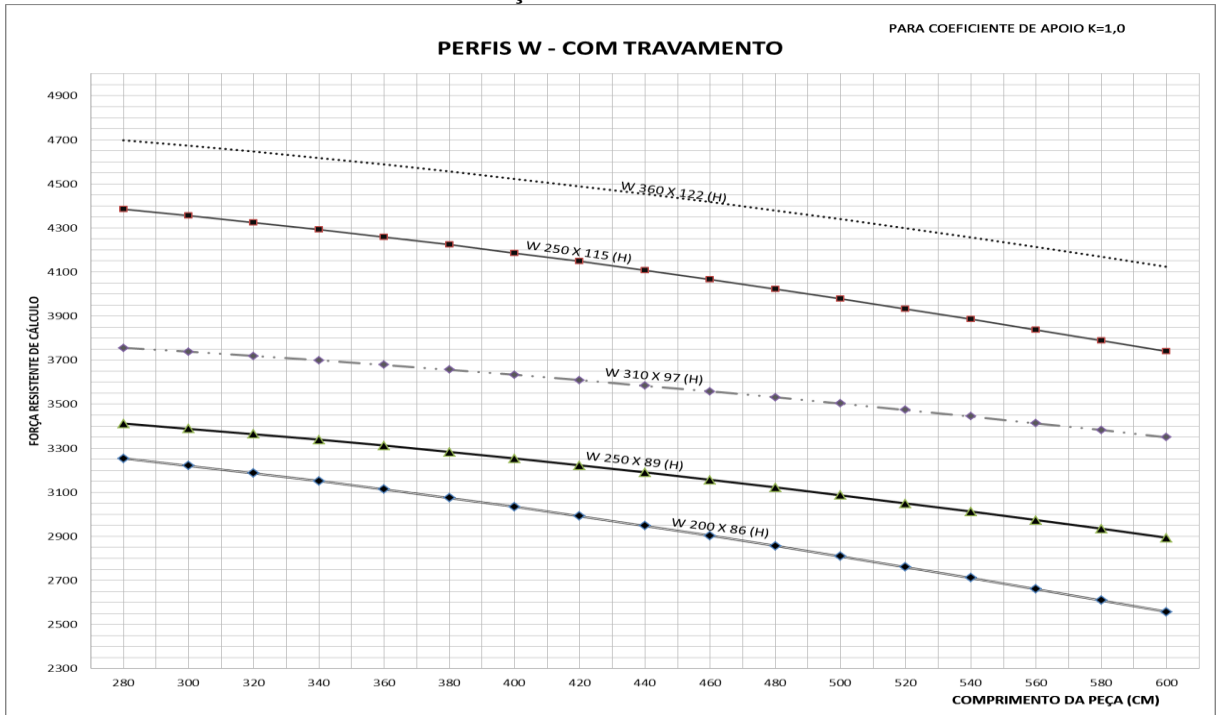


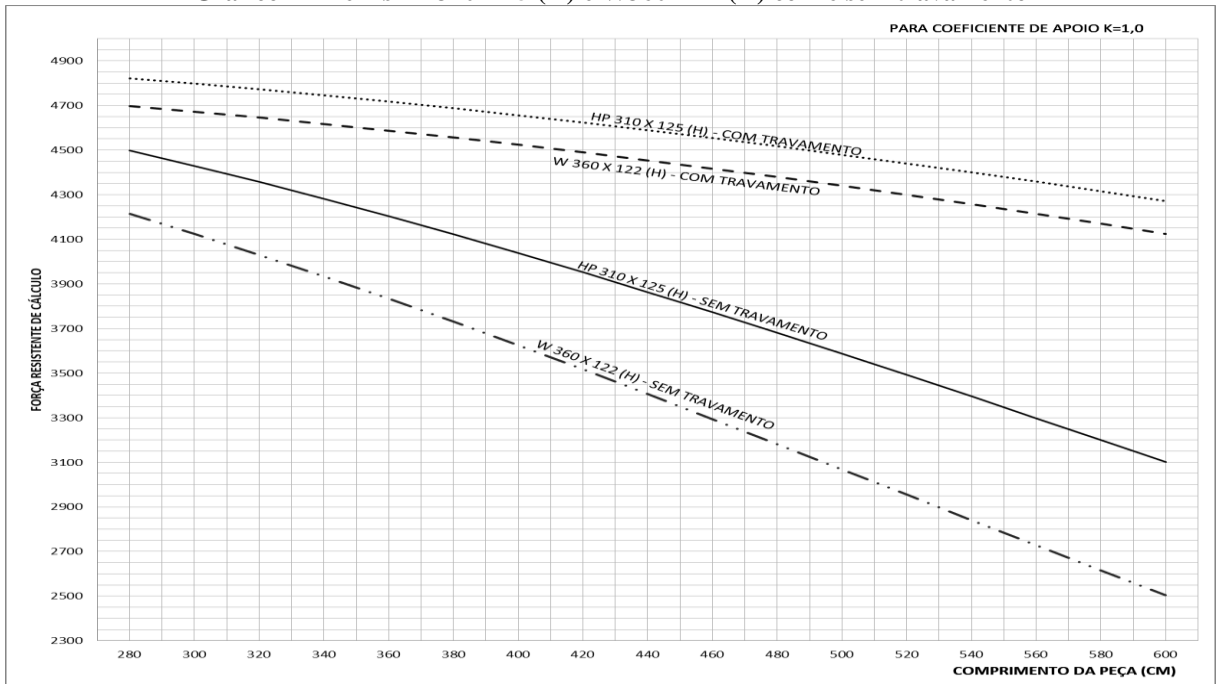
Gráfico 3 - Força resistente de cálculo Perfis W



Fonte: Autoria Própria.

Partindo de que os perfis HP310x125 (H) e W360x122(H) apresentam os melhores desempenhos, foi gerado outro gráfico para que estes fossem confrontados, tendo as situações travadas e destravadas.

Gráfico 4 – Perfis HP310x125 (H) e W360x122 (H) com e sem travamento

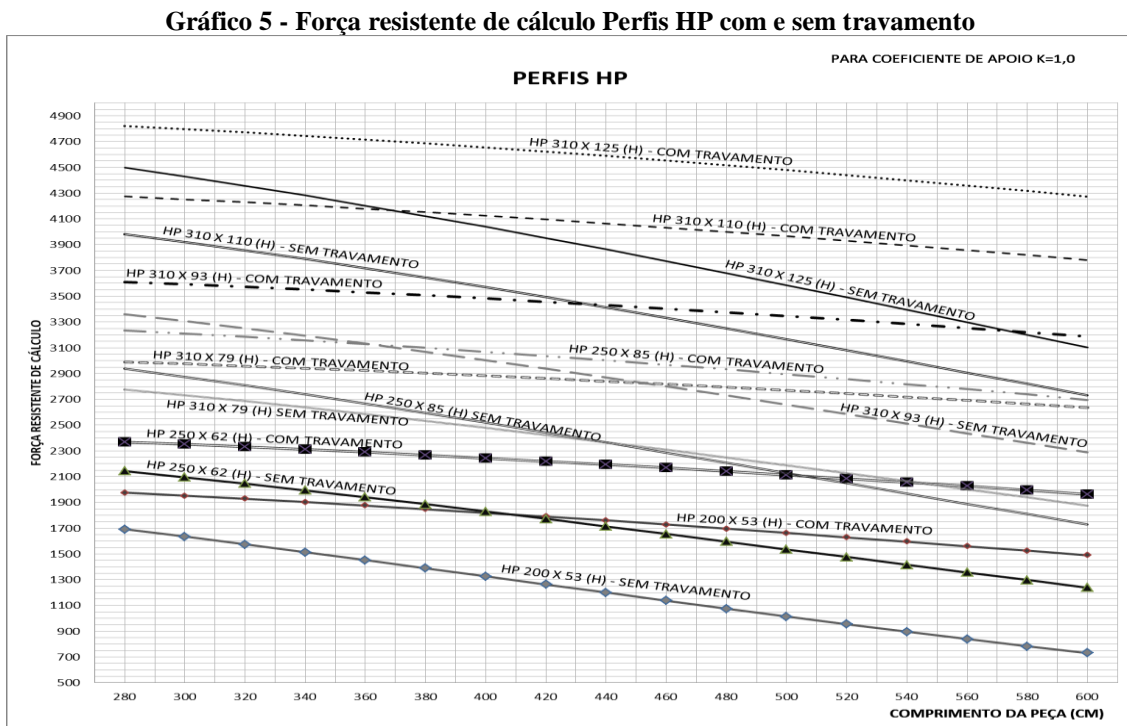


Fonte: Autoria Própria.

No Gráfico 4 é possível perceber que o tipo de perfil HP possui maior suporte de carga quando comparado ao H, sendo observado novamente que este é o que apresenta maior peso. Porém, a comercialização aço é feita a partir do peso, ou seja, quanto mais pesado for o metro do perfil, mais caro será o custo, resultando assim na conclusão de que as duas informações são extremamente necessárias na definição do projeto: segurança e custo.

O Gráfico 5 apresenta todos os perfis do tipo HP, sendo estes travados e destravados. No gráfico é notório que há intersecções entre alguns comportamentos de perfis, ou seja, para um mesmo comprimento mais de um perfil apresenta a mesma força resistente de cálculo.

Como exemplo disso, tem-se os perfis HP310x110 (H) e HP310x93 (H), sem travamento e com travamento respectivamente, em que no comprimento de 4,30 metros apresentam carga resistente de 3450,0 kN, sendo ambos os valores aproximados. Isso mostra que a adição de um travamento na peça possibilita utilização de um perfil mais leve, tendo hipoteticamente uma redução no custo do material. Porém têm-se que pensar como um todo, verificar se realmente vale a pena utilizar uma peça mais leve e mais barata, sendo que você teria que acrescentar o custo das novas peças que seriam utilizadas como travamentos. Então tudo é uma questão de análise de custo x benefício.



Foram feitos também gráficos de comprimento *versus* força resistente de cálculo para as famílias dos perfis, HP e H, 150, 200, 250, 310, 360, disponíveis no Apêndice para consulta.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentadas as considerações finais do trabalho como conclusão do trabalho e sugestões para futuros trabalhos.

6.1 CONCLUSÃO

Este trabalho pretendeu realizar um estudo teórico sobre as estruturas de aço e o dimensionamento de elementos comprimidos tendo como objetivo desenvolver uma ferramenta de forma a otimizar o cálculo deste tipo de estrutura de acordo com a NBR 8800:2008. Isto aconteceu por meio da elaboração de um objeto de estudo, no qual a partir dele, foi possível a modelagem no *software* proporcionando assim a automação do procedimento de cálculo. A partir disto, foi possível a elaboração de ábacos que possibilitam a visualização das forças resistentes de cálculos por meio somente do comprimento, existência de travamento ou não e qual o tipo de perfil a ser estudado.

Com os dimensionamentos realizados, percebeu-se que alguns fatores são de extrema importância na determinação da resistência à compressão de um elemento comprimido, sendo eles: condições de apoio da peça, pois a depender do tipo de apoio tem-se uma redução no comprimento de flambagem da mesma; existência ou não de travamento no elemento, já que isto também interfere diretamente no comprimento de flambagem; perfil escolhido, pois sabe-se que as características geométricas do mesmo, como raio de giração e momento de inércia, influem diretamente no desempenho da peça.

Por fim, julga-se que o objetivo principal do trabalho foi atingido, uma vez que a ferramenta produzida trabalhou de forma eficiente e objetiva, determinando a resistência dos perfis metálicos com grande precisão para a elaboração dos ábacos. Mostrando assim, que o trabalho abordou os assuntos previstos de modo satisfatório.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como citado anteriormente, o ensino sobre as estruturas em aço é pouco abordado no meio acadêmico, logo dificulta a difusão do conhecimento técnico do profissional. Tendo em conta o processo de modernização e evolução dos sistemas construtivos, principalmente na área das estruturas metálicas, têm-se possíveis temas para trabalhos futuros nessa linha de pesquisa:

1. Ampliação da planilha e ábacos para perfis soldados (A-36);

2. Um comparativo orçamentário em relação a Perfil mais resistente livre ou Perfil mais leve travado;
3. Confeção de Ábacos para os demais tipos de coeficientes de apoio ($K \neq 1$);
4. Ampliar a planilha e ábacos para diferentes tipos de travamento;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5884:2013 Perfil I estrutural de aço soldado por arco elétrico – Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

ANDRADE, S.; VELLASCO, P. **Comportamento e projeto de estruturas de aço**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora Puc-Rio, 2016.

BELLEI, I. H.; PINHO, F. O.; PINHO, M. O. **Edifícios de Múltiplos Andares em Aço**. 2ª ed. São Paulo: Pini, 2008. 556 p.

DIAS, L. A. M. **Estruturas de aço: conceitos, técnicas e linguagem**. 10ª ed. São Paulo: Ziguarte, 1997.

FAKURY, R. H.; SILVA, A. L. R. C.; CALDAS, R. B. **Dimensionamento de Elementos Estruturais de Aço e Mistos de Aço e Concreto**. São Paulo: Pearson, 2016.

FERREOCLUBE. **Ferrovias e Revolução Industrial**. 2015. Disponível em: < <http://www.ferreoclube.com.br/2015/12/03/ferrovia-e-revolucao-industria/> > Acesso em: 11 Nov 2018.

GERDAU. **Perfis estruturais gerdau – tabela de bitolas**. 2015. Disponível em: < <https://www.gerdau.com/br/pt/produtos/perfis-estruturais-gerdau#ad-image-0> > Acesso em: 28 Ago 2018.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. Tradução de Arlene Simille Marques. 7ª ed. São Paulo: Pearson, 2010.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de aço: Dimensionamento Prático**. 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 357 p.

QUEIROZ, G. **Elementos das estruturas de aço**. 3ª ed. Belo Horizonte: Imprensa Universitária, 1988.

REBELLO, Y. C. P. **Estruturas de aço, concreto e madeira**: atendimento da expectativa dimensional. 4ª ed. São Paulo: Zigate, 2010.

REBELLO, Y. C. P. **A concepção estrutural e a arquitetura**. São Paulo: Zigate, 2000.

SILVA, V. P. **Dimensionamento de estruturas de aço**. 2012. Disponível em: <
https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/110863/mod_resource/content/0/apostila2012.pdf >
Acesso em: 11 Nov 2018.

SOUZA, A. S. C. **Dimensionamento de Elementos e Ligações em Estruturas de Aço**. São Carlos: EdUFSCar, 2017. 261 p.

ANEXO – Perfis estruturais Gerdau

TABELA DE BITOLAS

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b ₁ mm	ESPESSURA				h mm	d' mm	Área cm ²	EIXO X - X				EIXO Y - Y				r ₁ cm	l ₁ cm ²	ESBELTEZ		C _s cm ²	u m ² /m	BITOLA in x lb/ft
				t ₁ mm	t ₂ mm	t ₃ mm	t ₄ mm				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			MESA-), b ₁ /t ₁	ALMA-), d'/t ₁			
				mm	mm	mm	mm				cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³							
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	7,85	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	7860	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	414,130	1,47	HP 10 x 42		
W 250 x 73,0 (H)	73,0	253	254	8,6	14,2	225	201	92,7	11257	889,9	11,02	983,3	3880	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	1083,7	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	1095,1	11,18	1224,4	4841	378,2	6,52	574,3	7,06	102,81	7,40	18,82	712,351	1,50	W 10 x 60		
W 250 x 101,0 (H)	101,0	264	257	11,9	19,6	225	201	128,7	16352	1238,8	11,27	1395,0	5549	431,8	6,57	656,3	7,10	147,70	6,56	16,87	828,031	1,51	W 10 x 68		
W 250 x 115,0 (H)	115,0	269	259	13,5	22,1	225	201	146,1	18920	1406,7	11,38	1597,4	6405	494,6	6,62	752,7	7,16	212,00	5,86	14,87	975,265	1,53	W 10 x 77		
W 250 x 131,0 (H)*	131,0	275	261	15,4	25,1	225	193	167,8	22243	1617,7	11,51	1855,6	7448	570,7	6,66	870,7	7,21	321,06	5,20	12,52	1.161.225	1,54	W 10 x 88		
W 250 x 149,0 (H)*	149,0	282	263	17,3	28,4	225	193	190,5	26027	1845,9	11,69	2137,5	8624	655,8	6,73	1001,7	7,27	462,06	4,63	11,17	1.384.436	1,55	W 10 x 100		
W 250 x 167,0 (H)*	167,0	289	265	19,2	31,8	225	193	214,0	30110	2083,7	11,86	2435,3	9880	745,7	6,79	1140,2	7,33	644,95	4,17	10,07	1.631.156	1,57	W 10 x 112		
W 310 x 21,0	21,0	303	101	5,1	5,7	292	272	27,2	3776	249,2	11,77	291,9	98	19,5	1,90	31,4	2,42	3,27	8,86	53,25	21,628	0,98	W 12 x 14		
W 310 x 23,8	23,8	305	101	5,6	6,7	292	272	30,7	4346	285,0	11,89	333,2	116	22,9	1,94	36,9	2,45	4,65	7,54	48,50	25,594	0,99	W 12 x 16		
W 310 x 28,3	28,3	309	102	6,0	8,9	291	271	36,5	5500	356,0	12,28	412,0	158	31,0	2,08	49,4	2,55	8,14	5,73	45,20	35,441	1,00	W 12 x 19		
W 310 x 32,7	32,7	313	102	6,6	10,8	291	271	42,1	6570	419,8	12,49	485,3	192	37,6	2,13	59,8	2,58	12,91	4,72	41,12	43,612	1,00	W 12 x 22		
W 310 x 38,7	38,7	310	165	5,8	9,7	291	271	49,7	8581	553,6	13,14	615,4	727	88,1	3,82	134,9	4,38	13,20	8,51	46,66	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	855	103,0	3,87	158,0	4,41	19,90	7,41	41,00	194,433	1,26	W 12 x 30		
W 310 x 52,0	52,0	317	167	7,6	13,2	291	271	67,0	11909	751,4	13,33	842,5	1026	122,9	3,91	188,8	4,45	31,81	6,33	35,61	236,422	1,27	W 12 x 35		
W 310 x 60,0*	60,0	303	203	7,5	13,1	277	245	76,1	12908	852,0	13,02	944,3	1829	228,7	4,90	275,4	5,48	40,46	6,29	26,11	383,747	1,38	W 12 x 40		
W 310 x 67,0*	67,0	306	204	8,5	14,6	277	245	85,3	14559	951,5	13,06	1060,4	2069	202,8	4,92	310,5	5,51	55,35	6,99	28,80	438,542	1,38	W 12 x 45		
W 310 x 74,0*	74,0	310	205	9,4	16,3	277	245	95,1	16501	1064,6	13,17	1192,0	2344	180,2	4,96	350,5	5,54	75,51	7,75	32,64	504,715	1,39	W 12 x 50		
HP 310 x 79,0 (H)	79,0	299	306	11,0	11,0	277	245	100,0	16316	1091,3	12,77	1210,1	5258	343,7	7,25	525,4	8,20	46,72	13,91	22,27	1.089.258	1,77	HP 12 x 53		
HP 310 x 93,0 (H)	93,0	303	308	13,1	13,1	277	245	119,2	19682	1299,1	12,85	1450,3	6387	414,7											

W 360 x 51,0	51,0	355	171	7,2	11,6	332	308	64,8	14222	801,2	14,81	899,5	968	113,3	3,87	174,7	4,49	24,65	7,37	42,75	284.994	1,36	W 14 x 34
W 360 x 58	58,0	358	172	7,9	13,1	332	308	72,5	16143	901,8	14,92	1014,8	1113	129,4	3,92	199,8	4,53	34,45	6,56	38,96	330.394	1,37	W 14 x 38
W 360 x 64,0	64,0	347	203	7,7	13,5	320	288	81,7	17890	1031,1	14,80	1145,5	1885	185,7	4,80	284,5	5,44	44,57	7,52	37,40	523.362	1,46	W 14 x 43
W 360 x 72,0	72,0	350	204	8,6	15,1	320	288	91,3	20169	1152,5	14,86	1285,9	2140	209,8	4,84	321,8	5,47	61,18	6,75	33,47	599.082	1,47	W 14 x 48
W 360 x 79,0	79,0	354	205	9,4	16,8	320	288	101,2	22713	1283,2	14,98	1437,0	2416	235,7	4,89	361,9	5,51	82,41	6,10	30,68	685.701	1,48	W 14 x 53
W 360 x 91,0 (H)	91,0	353	254	9,5	16,4	320	288	115,9	26755	1515,9	15,19	1680,1	4483	353,0	6,22	538,1	6,90	92,61	7,74	30,34	1.268.709	1,68	W 14 x 61
W 360 x 101,0 (H)	101,0	357	255	10,5	18,3	320	286	129,5	30279	1696,3	15,29	1888,9	5063	397,1	6,25	606,1	6,93	128,47	6,97	27,28	1.450.410	1,68	W 14 x 68
W 360 x 110,0 (H)	110,0	360	256	11,4	19,9	320	288	140,6	33155	1841,9	15,36	2059,3	5570	435,2	6,29	664,5	6,96	161,93	6,43	25,28	1.609.070	1,69	W 14 x 74
W 360 x 122,0 (H)	122,0	363	257	13,0	21,7	320	288	155,3	36599	2016,5	15,35	2269,8	6147	478,4	6,29	732,4	6,98	212,70	5,92	22,12	1.787.806	1,70	W 14 x 82
W 410 x 38,8	38,8	399	140	6,4	8,8	381	357	50,3	12777	640,5	15,94	736,8	404	57,7	2,83	90,9	3,49	11,69	7,95	55,84	153.190	1,32	W 16 x 26
W 410 x 46,1	46,1	403	140	7,0	11,2	381	357	59,2	15690	778,7	16,27	891,1	514	73,4	2,95	115,2	3,55	20,06	6,25	50,94	196.571	1,33	W 16 x 31
W 410 x 53,0	53,0	403	177	7,5	10,9	381	357	68,4	18734	929,7	16,55	1052,2	1009	114,0	3,84	176,9	4,56	23,38	8,12	47,63	387.194	1,48	W 16 x 36
W 410 x 60,0	60,0	407	178	7,7	12,8	381	357	76,2	21707	1066,7	16,88	1201,5	1205	135,4	3,98	209,2	4,65	33,78	6,95	46,42	467.404	1,49	W 16 x 40
W 410 x 67,0	67,0	410	179	8,8	14,4	381	357	86,3	24678	1203,8	16,91	1362,7	1379	154,1	4,00	239,0	4,67	48,11	6,22	40,59	538.546	1,50	W 16 x 45
W 410 x 75,0	75,0	413	180	9,7	16,0	381	357	95,8	27616	1337,3	16,98	1518,6	1559	173,2	4,03	269,1	4,70	65,21	5,63	36,80	612.784	1,51	W 16 x 50
W 410 x 85,0	85,0	417	181	10,9	18,2	381	357	108,6	31658	1518,4	17,07	1731,7	1804	199,3	4,08	310,4	4,74	94,48	4,97	32,72	715.165	1,52	W 16 x 57
W 460 x 52,0	52,0	450	152	7,6	10,8	428	404	66,6	21370	949,8	17,91	1095,9	634	83,5	3,09	131,7	3,79	21,79	7,04	53,21	304.837	1,47	W 18 x 35
W 460 x 60,0	60,0	455	153	8,0	13,3	428	404	76,2	25652	1127,6	18,35	1292,1	796	104,1	3,23	163,4	3,89	34,60	5,75	50,55	387.230	1,49	W 18 x 40
W 460 x 68,0	68,0	459	154	9,1	15,4	428	404	87,6	29851	1300,7	18,46	1495,4	941	122,2	3,28	192,4	3,93	52,29	5,00	44,42	461.163	1,50	W 18 x 46
W 460 x 74,0	74,0	457	190	9,0	14,5	428	404	94,9	33415	1462,4	18,77	1657,4	1661	174,8	4,18	271,3	4,93	52,97	6,55	44,89	811.417	1,64	W 18 x 50
W 460 x 82,0	82,0	460	191	9,9	16,0	428	404	104,7	37157	1615,5	18,84	1836,4	1862	195,0	4,22	303,3	4,96	70,62	5,97	40,81	915.745	1,64	W 18 x 55
W 460 x 89,0	89,0	463	192	10,5	17,7	428	404	114,1	41105	1775,6	18,98	2019,4	2093	218,0	4,28	339,0	5,01	92,49	5,42	38,44	1.035.073	1,65	W 18 x 60
W 460 x 97,0	97,0	466	193	11,4	19,0	428	404	123,4	44658	1916,7	19,03	2187,4	2283	236,6	4,30	368,8	5,03	115,05	5,08	35,44	1.137.180	1,66	W 18 x 65
W 460 x 106,0	106,0	469	194	12,6	20,6	428	404	135,1	48978	2088,6	19,04	2394,6	2515	259,3	4,32	405,7	5,05	148,19	4,71	32,05	1.260.063	1,67	W 18 x 71
W 530 x 66,0	66,0	525	165	8,9	11,4	502	478	83,6	34971	1332,2	20,46	1558,0	857	103,9	3,20	166,0	4,02	31,52	7,24	53,73	562.854	1,67	W 21 x 44
W 530 x 72,0	72,0	524	207	9,0	10,9	502	478	91,6	39969	1525,5	20,89	1755,9	1615	156,0	4,20	244,6	5,16	33,41	9,50	53,13	1.060.548	1,84	W 21 x 48
W 530 x 74,0	74,0	529	166	9,7	13,6	502	478	95,1	40969	1548,9	20,76	1804,9	1041	125,5	3,31	200,1	4,10	47,39	6,10	49,26	688.558	1,68	W 21 x 50
W 530 x 82,0	82,0	528	209	9,5	13,3	501	477	104,5	47589	1801,8	21,34	2058,5	2028	194,1	4,41	302,7	5,31	51,23	7,86	50,25	1.340.255	1,85	W 21 x 55
W 530 x 85,0	85,0	535	166	10,3	16,5	502	478	107,7	48453	1811,3	21,21	2099,8	1263	152,2	3,42	241,6	4,17	72,93	5,03	46,41	845.463	1,69	W 21 x 57
W 530 x 92,0	92,0	533	209	10,2	15,6	502	478	117,6	55157	2069,7	21,65	2359,8	2379	227,6	4,50	354,7	5,36	75,50	6,70	46,84	1.588.565	1,86	W 21 x 62
W 530 x 101,0	101,0	537	210	10,9	17,4	502	470	130,0	62198	2316,5	21,87	2640,4	2693	256,5	4,55	400,6	5,40	106,04	6,03	43,14	1.812.734	1,86	W 21 x 68
W 530 x 109,0	109,0	539	211	11,6	18,8	501	469	139,7	67226	2494,5	21,94	2847,0	2952	279,8	4,60	437,4	5,44	131,38	5,61	40,47	1.991.291	1,87	W 21 x 73
W 530 x 123,0*	123,0	544	212	13,1	21,2	502	470	157,8	76577	2815,3	22,03	3228,1	3378	318,7	4,63	500,2	5,47	186,69	5,00	35,85	2.300.400	1,88	W 21 x 83
W 530 x 138,0*	138,0	549	214	14,7	23,8	501	469	177,8	87079	3172,3	22,13	3653,3	3904	364,8	4,69	574,5	5,53	262,76	4,50	31,93	2.680.751	1,90	W 21 x 93
W 610 x 82,0	82,0	599	178	10,0	12,8	573	541	105,1	58628	1890,8	23,21	2219,9	1210	135,9	3,39	219,0	4,29	51,82	6,95	54,14	1.033.595	1,86	W 24 x 55
W 610 x 92,0	92,0	603	179	10,9	15,0	573	541	118,4	65277	2165,1	23,48	2535,8	1442	161,1	3,49	259,3	4,37	74,73	5,97	49,63	1.239.349	1,87	W 24 x 62
W 610 x 101,0	101,0	603	228	10,5	14,9	573	541	130,3	77003	2554,0	24,31	2922,7	2951	258,8	4,76	405,0	5,76	81,68	7,85	51,54	2.544.966	2,07	W 24 x 68
W 610 x 113,0	113,0	608	228	11,2	17,3	573	541	145,3	88196	2901,2	24,64	3312,9	3426	300,5	4,86	469,7	5,82	116,50	6,59	48,34	2.981.078	2,08	W 24 x 76
W 610 x 125,0	125,0	612	229	11,9	19,6	573	541	160,1	99184	3241,3	24,89	3697,3	3933	343,5	4,96	536,3	5,89	159,50	5,84	45,45	3.441.766	2,09	W 24 x 84
W 610 x 140,0	140,0	617	230	13,1	22,2	573	541	179,3	112619	3650,5	25,06	4173,1	4515	392,6	5,02	614,0	5,94	225,01	5,18	41,27	3.981.887	2,10	W 24 x 94
W 610 x 153,0*	153,0	623	229	14,0	24,9	573	541	196,5	125783	4038,0	25,30	4622,7	4999	436,6	5,04	683,3	5,94	303,29	4,60	38,66	4.456.995	2,11	W 24 x 103
W 610 x 155,0	155,0	611	324	12,7	19,0	573	541	198,1	129583	4241,7	25,58	4749,1	10783	665,6	7,38	1022,6	8,53	200,77	8,53	42,60	9.436.714	2,47	W 24 x 104
W 610 x 174,0	174,0	616	325	14,0	21,6	573	541	222,8	147754	4797,2	25,75	5383,3	12374	761,5	7,45	1171,1	8,58	286,88	7,52	38,63	10.915.665	2,48	W 24 x 117
W 610 x 195,0	195,0	622	327	15,4	24,4	573	541	250,1	168484	5417,5	25,96	6095,4	14240	870,9	7,55	1341,0	8,66	405,29	6,70	35,14	12.695.302	2,49	W 24 x 131
W 610 x 217,0	217,0	628	328	16,5	27,7	573	541	278,4	191395	6095,4	26,22	6868,8	16316	994,9	7,66	1531,6	8,73	570,21	5,92	32,76	14.676.643	2,51	W 24 x 146

Revisão da tabela: 09/2017

*Bilotas produzidas sob encomenda.

Características Dimensionais e Propriedades Geométricas de acordo com as normas ABNT NBR 15980:2011 e ASTM A6/A6M.



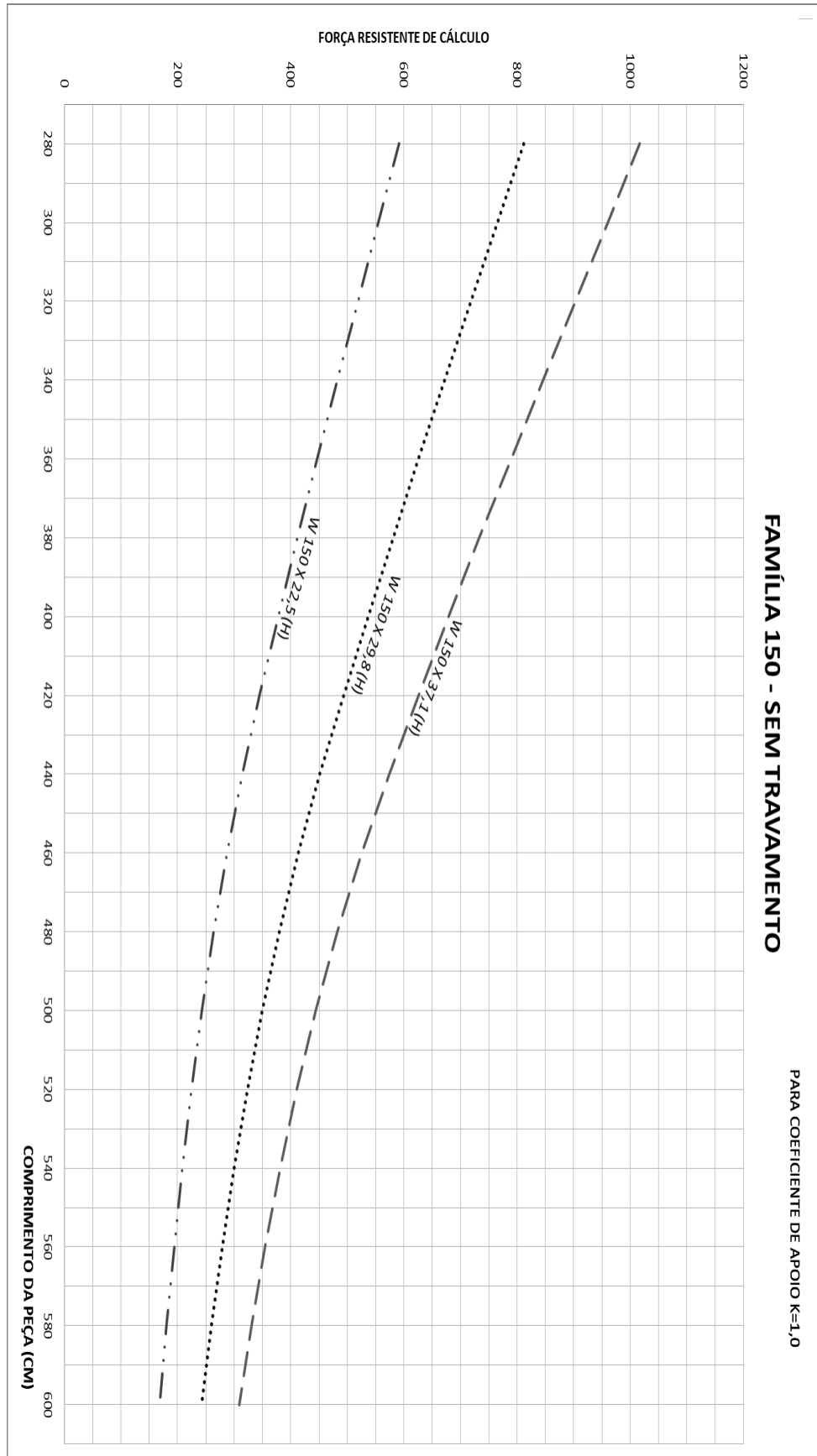
PROPRIEDADES MECÂNICAS

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

*Sob encomenda.

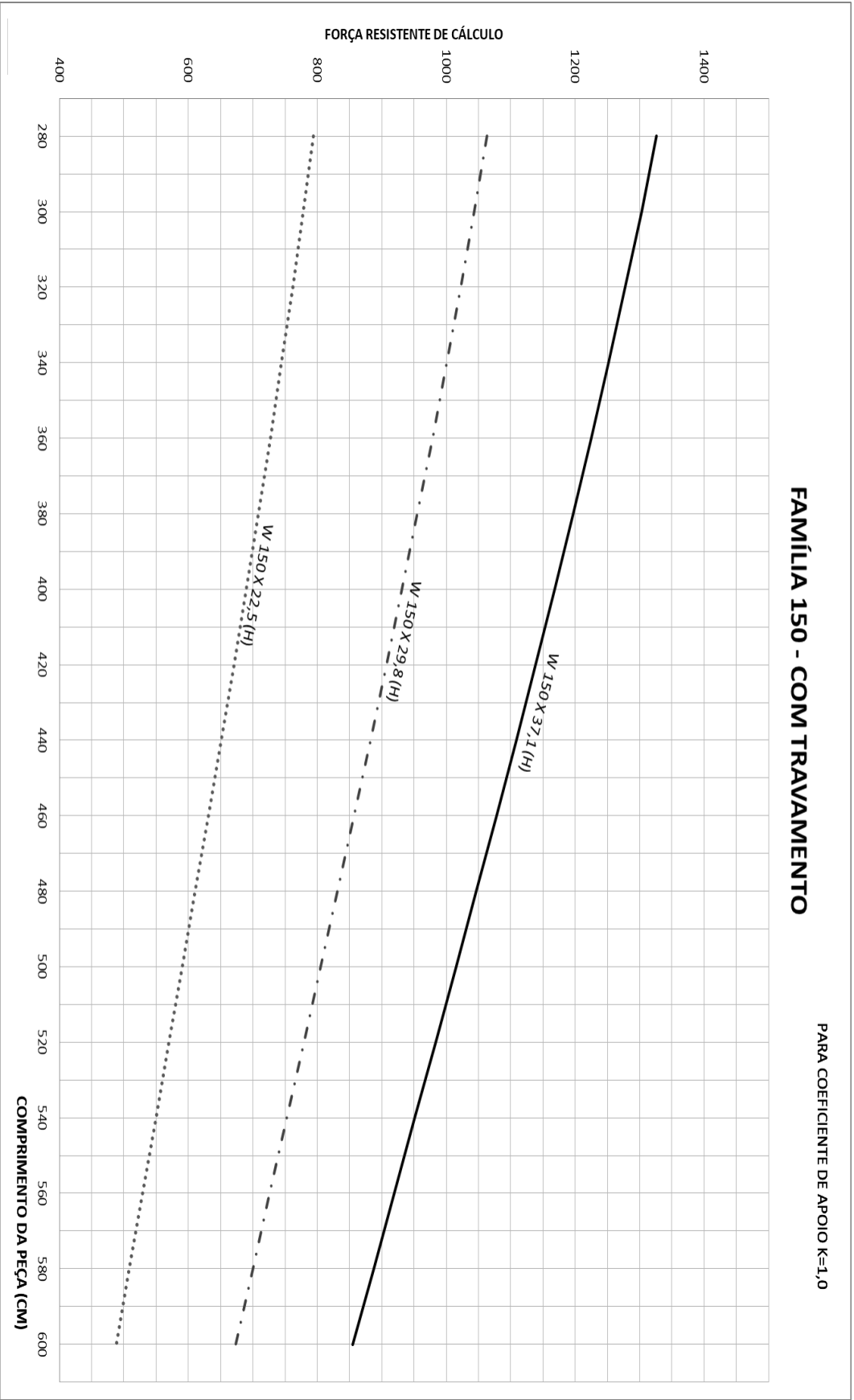
As especificações dos aços ASTM A 572 Grau 50 e AÇO COR 500, de acordo com a Norma NBR 7007:2011, são AR 350 e AR 350 COR, respectivamente.

APÊNDICE – Gráficos por famílias de comprimento x força resistente de cálculo



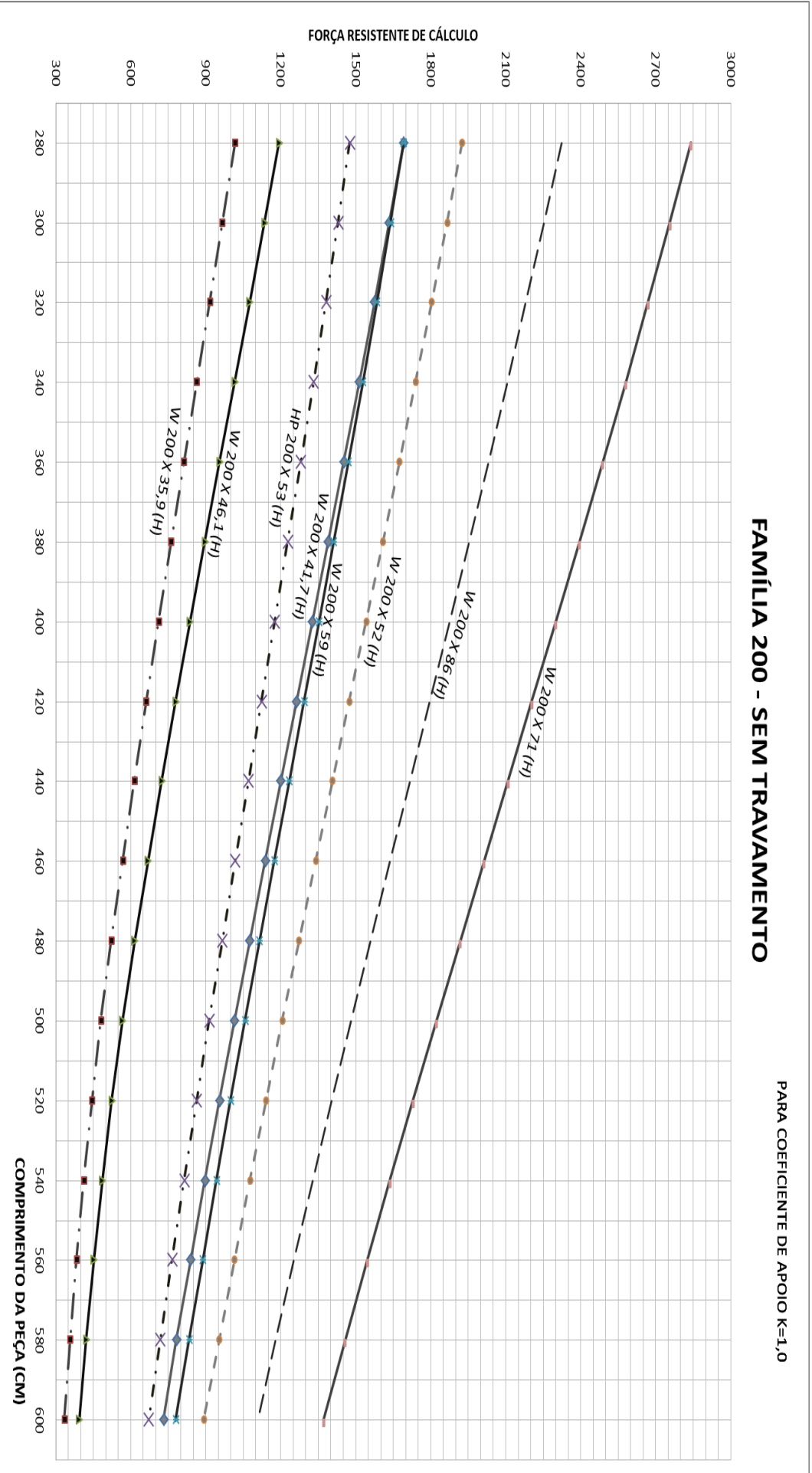
FAMÍLIA 150 - COM TRAVAMENTO

PARA COEFICIENTE DE APOIO $K=1,0$



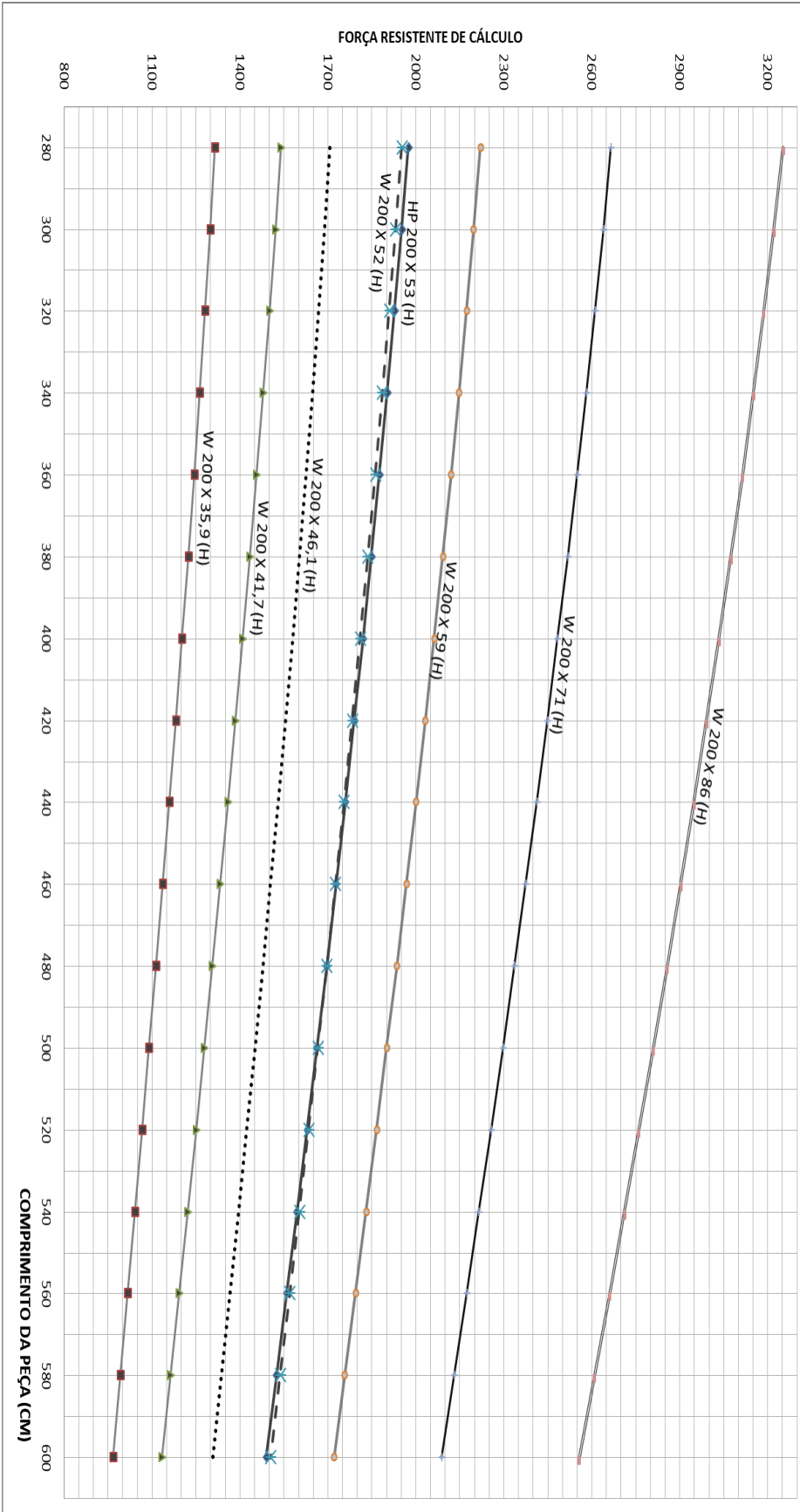
FAMÍLIA 200 - SEM TRAVAMENTO

PARA COEFICIENTE DE APOIO K=1,0



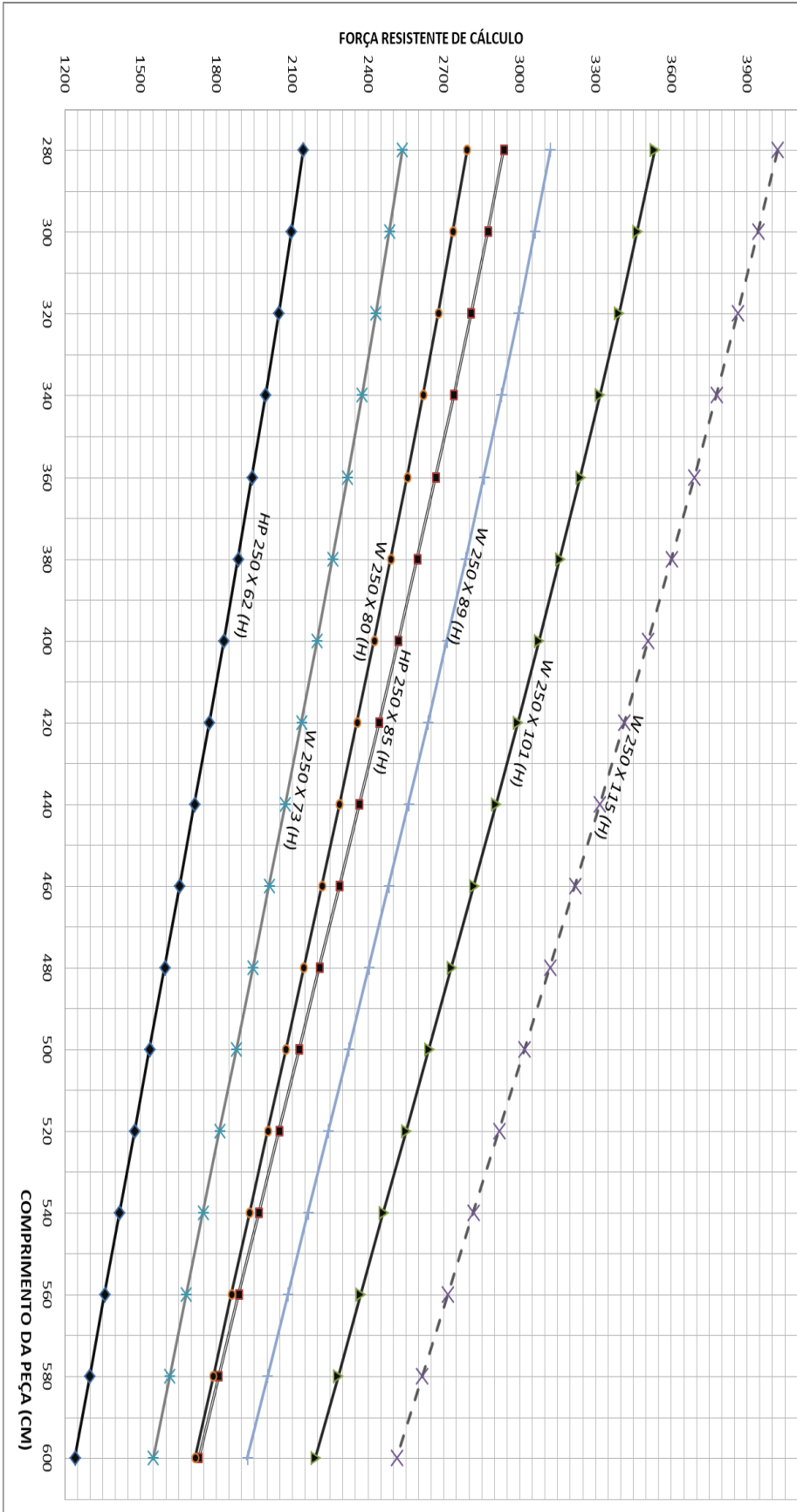
FAMÍLIA 200 - COM TRAVAMENTO

PARA COEFICIENTE DE APOIO $K=1,0$



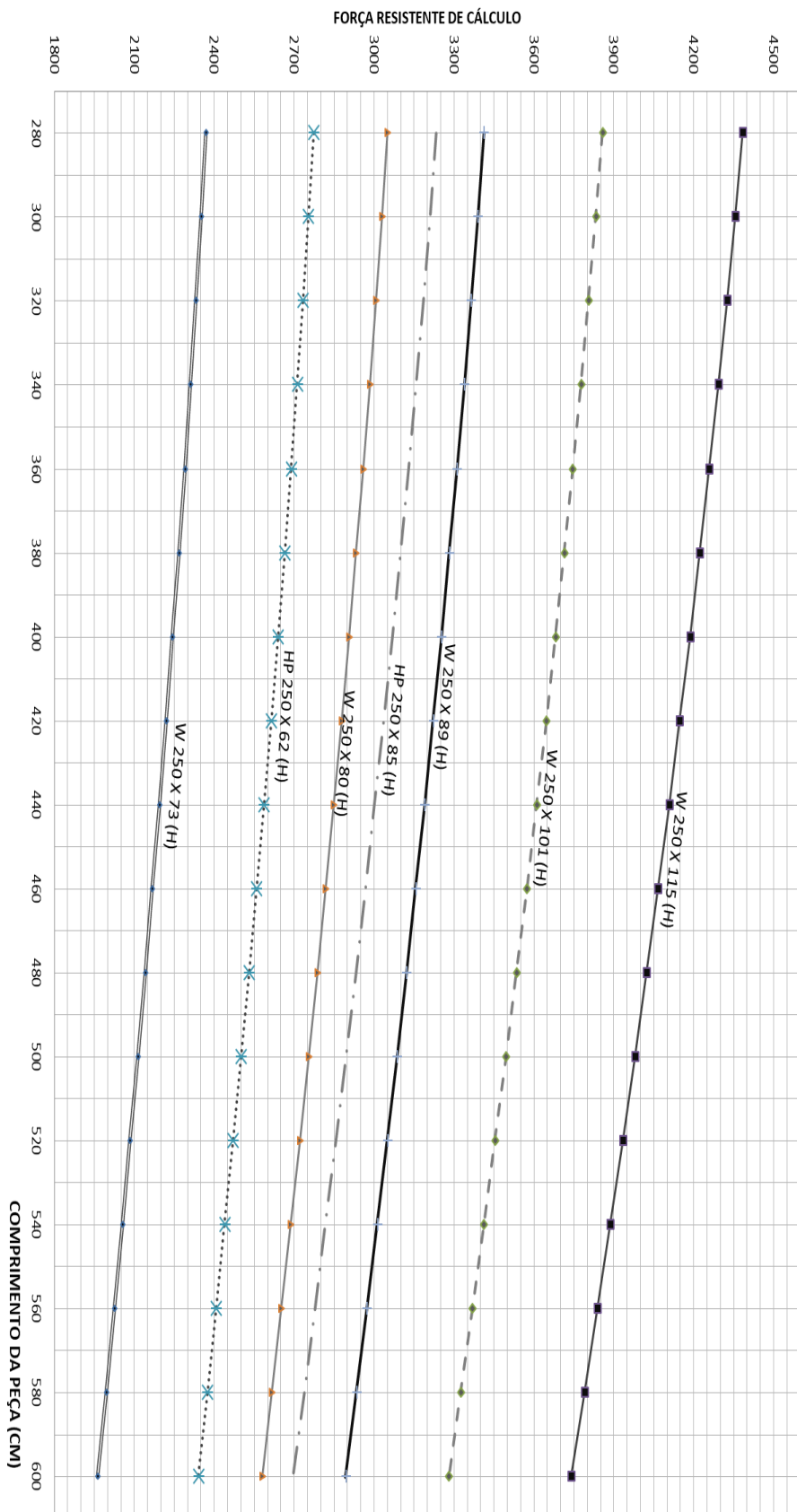
FAMÍLIA 250 - SEM TRAVAMENTO

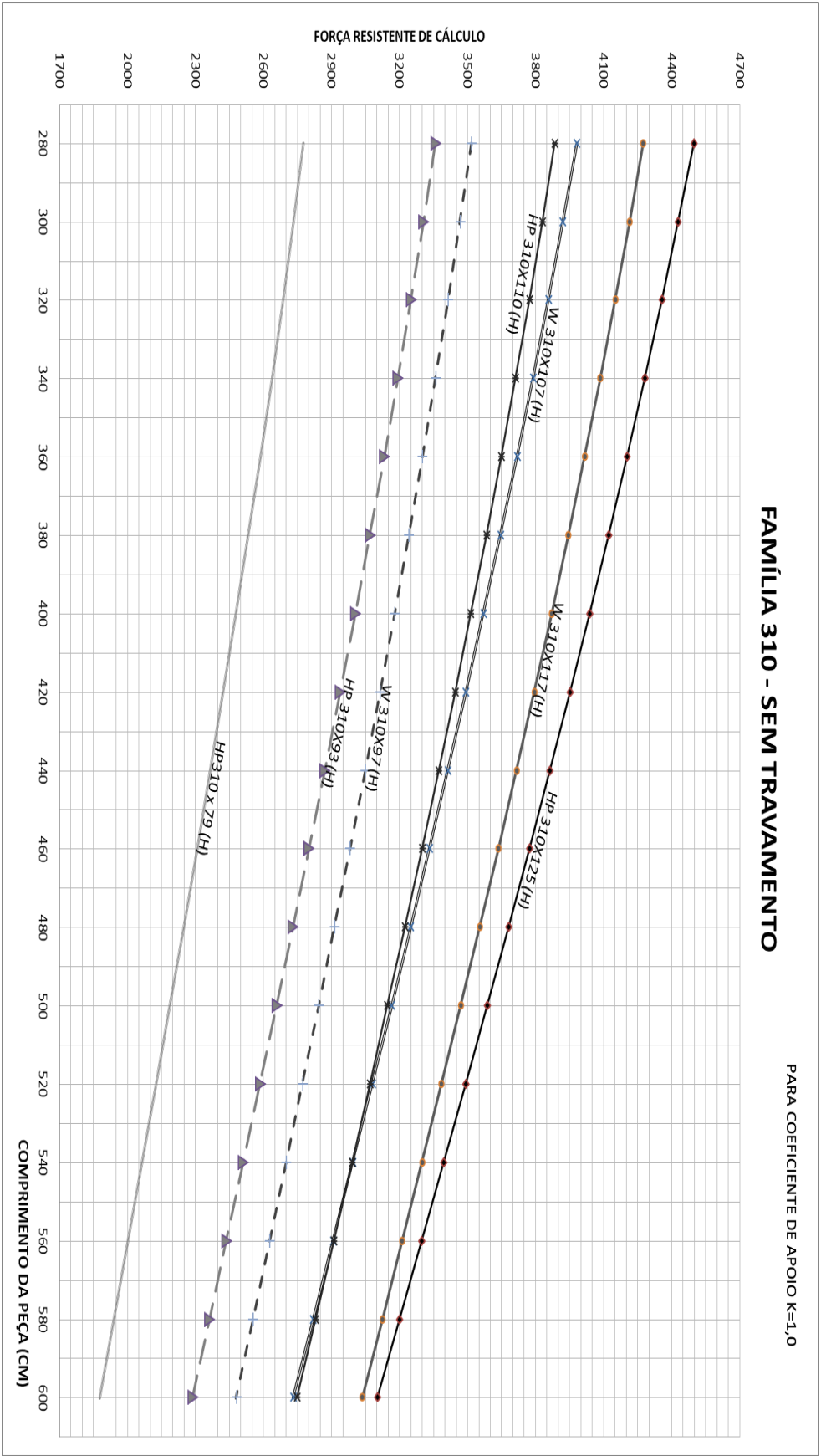
PARA COEFICIENTE DE APOIO K=1,0

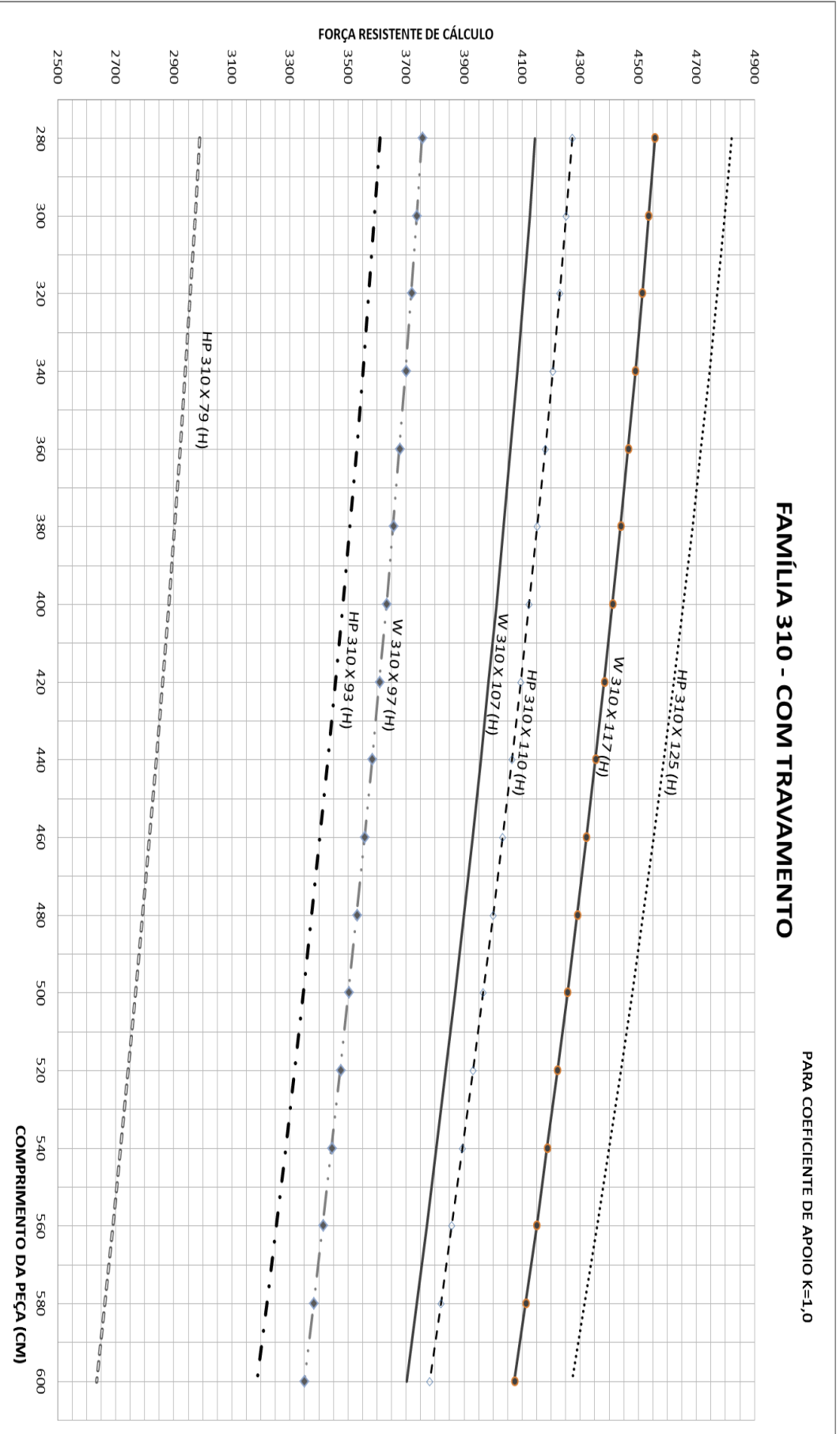


FAMÍLIA 250 - COM TRAVAMENTO

PARA COEFICIENTE DE APOIO K=1,0







FAMÍLIA 360 - SEM TRAVAMENTO

PARA COEFICIENTE DE APOIO K=1,0

