

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
RICARDO PEREZ

**ANÁLISE DE DIFERENTES MÉTODOS DE EXECUÇÃO DE ESTRUTURA
METÁLICA: PERFIS LAMINADOS, PERFIS FORMADOS A FRIO E PERFIS
COMPOSTOS**

CASCABEL - PR
2020

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

RICARDO PEREZ

**ANÁLISE DE DIFERENTES MÉTODOS DE EXECUÇÃO DE ESTRUTURA
METÁLICA: PERFIS LAMINADOS, PERFIS FORMADOS A FRIO E PERFIS
COMPOSTOS**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Professor Orientador: Mestre, Engenheiro Civil
Ricardo Paganin**

CASCADEL - PR

2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me abençoar, me dar forças e discernimento para concluir com êxito todas as tarefas solicitadas, minha família pelo incentivo e suporte necessário durante todo meu processo de formação, a minha namorada Suelen pela compreensão com a ausência durante todo esse processo e incentivo nos momentos que foram necessários, aos colaboradores do setor de engenharia e indústria da empresa Cool Seed que me apoiaram na coleta de dados e nas referências utilizadas, aos professores pelo conhecimento compartilhado e ao orientador Me. Ricardo Paganin pelo tempo dedicado, paciência e conhecimento repassado com muita clareza para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

As estruturas metálicas são elementos bastante utilizados na construção civil, podendo ser utilizadas de diversas maneiras e com aumento da demanda por estruturas metálicas, cresce também a necessidade de profissionais especializados na área de estruturas metálicas. Sendo assim, o objetivo do presente trabalho foi analisar os diferentes métodos de detalhamento dos perfis laminados, perfis dobrados a frio e perfis compostos.

Para a realização desse trabalho foi utilizada a metodologia qualitativa-descritiva, onde foram descritos os diferentes métodos para o detalhamento e execução desses perfis de uma estrutura metálica de um silo, sendo analisada a diferença e especificidades de cada elemento de uma estrutura metálica. Observou-se que, para perfis laminados é importante a representação do detalhamento da curvatura da laminação e da nomenclatura utilizada como padrão estabelecido por norma. Para perfil dobrado a frio é importante o raio de dobramento, a cota, apresentando onde executar esse raio e a dimensão total da peça e para o perfil soldado é importante a identificação da solda, os detalhes de solda, como por exemplo, o comprimento da solda. Sendo assim, verificou-se a importância do detalhamento dos elementos estruturais para que a execução seja feita de maneira adequada, visto que a falta de detalhamento pode acarretar elevado custo da obra.

Palavras chave: Croqui de fabricação. Projeto de fabricação. Estrutura metálica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Propriedade mecânica de aços-carbonos.....	11
Figura 2 - Propriedade mecânica de aços de baixa liga.....	11
Figura 3 - Modelo de folha utilizada em desenho técnico.....	14
Figura 4 - Detalhe de cotas em um perfil parafusado.....	15
Figura 5 - Sistema de laminação.....	16
Figura 6 - Prensa dobradeira.....	17
Figura 7 - Prensa perfiladeira.....	18
Figura 8 – Perfis soldados e perfis compostos.....	19
Figura 9 – Solda de topo.....	19
Figura 10 – Solda de filete.....	20
Figura 11 – Solda tampão.....	20
Figura 12 – Modelagem SMI-80.....	22
Figura 13 – Aba e mesa.....	25
Figura 14 – Dimensões do perfil HP.....	26
Figura 15 – Detalhamento do perfil laminado tipo HP.....	27
Figura 16 – Tipos de elementos componentes de perfil formados a frio.....	29
Figura 17 – Perfil U simples.....	30
Figura 18 – Detalhamento do perfil dobrado a frio do tipo U.....	31
Figura 19 – Perfil série simétrica e perfil série monossimétrica.....	34
Figura 20 – Perfil dobrado a frio para formação do perfil soldado da série CS 150x45..	35
Figura 21 – Montagem do perfil soldado da série CS 150x45.....	35

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	7
1.1 INTRODUÇÃO.....	7
1.2 OBJETIVOS.....	8
1.2.1 Objetivo geral.....	8
1.2.2 Objetivos específicos.....	8
1.3 JUSTIFICATIVA.....	8
1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	9
1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE.....	10
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	10
CAPÍTULO 2.....	11
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1.1 Definições do aço.....	11
2.1.2 Definições de projeto e fabricação	11
2.1.3 Perfis laminados.....	13
2.1.4 Perfis formados a frio.....	15
2.1.3 Perfis compostos.....	17
CAPÍTULO 3.....	22
3.1 METODOLOGIA.....	22
3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa.....	22
3.1.2 Caracterização da amostra.....	22
3.1.3 Procedimento para coleta de dados.....	23
3.1.4 Análise dos dados.....	24
CAPÍTULO 4.....	25
4.1 Resultados e discussões.....	25
4.1.1 Perfis laminados.....	25
4.1.2 Perfis dobrados a frio.....	30
4.1.3 Perfis compostos.....	34
4.1.4 Apresentação do projeto completo.....	38
CAPÍTULO 5.....	40
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40

CAPÍTULO 6.....	42
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	42
REFERÊNCIAS.....	43
ANEXO A Perfis estruturais laminados NBR 15980 (ABNT, 2011)	45
ANEXO B Símbolos e descrição dos perfis de acordo com a NBR 15980 (ABNT, 2011)	45
ANEXO C Perfil U simples – Dimensões, massa e propriedades geométricas NBR 6355 (ABNT, 2012)	46
ANEXO D Símbolos e significados conforme a NBR 6355 (ABNT, 2012)	46
ANEXO E Perfil soldado série CS – Dimensões, massa e propriedades geométricas NBR 5884 (ABNT, 2013)	47
ANEXO F Símbolos e significados conforme a NBR 5884 (ABNT, 2013)	47

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Associação Brasileira da Construção Metálica – ABCEM, até 2014 as construções metálicas estavam crescendo de forma acelerada, porém, a partir de 2018 até os tempos atuais o setor vem sofrendo uma queda de produção chegando a 50% em relação a 2014. Mesmo assim, no Brasil, a construção em estruturas metálicas vem tomando espaço, devido à diversidade de perfis, materiais e tipos de estruturas, com isso trazendo vantagens e soluções de alta qualidade para os profissionais da área, diminuindo o custo para produção, tornando mais competitiva com o concreto armado.

Para a utilização de estruturas metálicas, deve-se ter um conhecimento específico relacionado ao dimensionamento, detalhamento, compatibilização de projetos, além dos métodos de fabricação. Essas estruturas são formadas por conjuntos de perfis, sendo os mais utilizados os perfis laminados, perfis formados a frio e perfis compostos.

Tendo em vista os vários tipos de fabricação das mesmas, esses sistemas estruturais metálicos são padronizados pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), das quais pode-se destacar a NBR 8800 (ABNT, 2008) que trata dos projetos de estrutura de aço e de estruturas mistas, NBR 14611 (ABNT, 2000) que aborda sobre a representação simplificada do desenho de uma estrutura metálica, NBR 14762 (ABNT, 2010) que estabelece como deve ser o dimensionamento de estruturas de aço constituída por perfis formados a frio e da NBR 15980 (ABNT, 2011) que indica as dimensões e tolerâncias de perfis laminados de aço para uso estrutural, citada no presente trabalho.

Sendo assim, o objetivo dessa pesquisa foi analisar os diferentes métodos de detalhamento e execução de uma estrutura metálica que pode ser formada em perfis laminados, perfis dobrados a frio e perfis compostos, demonstrando as diferentes formas de detalhamento dos projetos de peças e conjuntos de peças, métodos de fabricação e materiais utilizados, produzindo um conhecimento científico acerca da estrutura utilizada em um silo fabricado na cidade de Santa Tereza do Oeste - PR.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar os diferentes métodos de detalhamento e execução de estrutura metálica como perfis laminados, perfis formados a frio e perfis compostos, utilizados na estrutura de um silo localizado na cidade de Santa Tereza do Oeste-PR.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar os métodos recomendados de detalhamento de perfis laminados, perfis formados a frio e perfis compostos;
- Comparar os métodos recomendados com os observados em um projeto de um silo;
- Apresentar o processo de fabricação dos perfis laminados, perfis formados a frio e perfis compostos.

1.3 JUSTIFICATIVA

Conforme os dados levantados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2018), o setor referente a estruturas em aço cresceu 10,7% entre o ano de 2005 e 2013, chegando a dois milhões de toneladas em 2014. Porém, a pesquisa apontou que, do ano 2014 para 2016 houve uma queda de 19,1% ao ano, caindo para 1,3 milhões de toneladas.

Entretanto, de acordo com o Instituto Aço Brasil (2019), estima-se que no ano de 2020 a produção de aço no Brasil tenha um crescimento de 5,3%, chegando a 34,2 milhões de toneladas, enquanto as vendas internas devem ter aumento de 5,1%, somando 19,4 milhões de toneladas, já o consumo interno tem estimativa de crescimento de 5,2% com volume de 21,8 milhões de toneladas. Esse otimismo é explicado pela política econômica praticada pelo governo, assegurando as condições necessárias para que se tenha uma retomada do crescimento.

De acordo com Guarnier (2009), na maioria das vezes esse assunto é pouco difundido através da graduação, pois conforme a pesquisa da autora ora mencionada, observou-se que os profissionais da área apresentam uma visível carência sobre o

conhecimento específico de estruturas metálicas, tendo em vista que os cursos de qualificação sobre o assunto, bem como os *softwares* utilizados por estes profissionais, possuem um alto valor pecuniário, tornando muitas vezes de responsabilidade da empresa desenvolvedora de produtos, especializá-los. A falta de tais especificações detalhadas de uma estrutura metálica, podem ocasionar manifestações patológicas, onde a utilização de materiais em excesso e dificuldades na execução da estrutura gerará como resultado, gastos excessivos.

Além disso, a necessidade de profissionais qualificados, uma boa elaboração de projeto e dos desenhos técnicos de fabricação de peças ou conjuntos de montagem dessas peças, proporciona uma maior qualidade e velocidade na execução das estruturas metálicas. A falta dessa elaboração ou planejamento do projeto pode ocasionar manifestações patológicas ou dificuldades de montagem no momento da fabricação ou da execução dos perfis, que poderia ser evitado na fase de projeto (CASTRO, 1999).

O diferencial dos sistemas em estruturas metálicas é a eficiência e a precisão que apresenta referente aos demais sistemas estruturais, aumentando a velocidade na execução, evitando desperdícios e mantendo o canteiro de obras limpo e organizado.

Outro fator a ser destacado refere-se às vantagens desse método de execução, que compreendem em velocidade na execução da obra, possibilidade de projetar grandes vãos diminuindo a quantidade de pilares, utilização de peças mais esbeltas, estrutura mais leve facilitando o transporte e a montagem, alívio nas fundações devido a um menor peso e volume da estrutura, redução da área do canteiro de obras e do espaço de estocagem, mantendo a obra limpa e evitando desperdícios (BAUERMANN, 2002).

Deste modo, justifica-se a pertinência da pesquisa, visto que se identifica a necessidade de difusão do assunto e a produção de um material para consulta e pesquisa sobre os diferentes métodos do detalhamento das construções em estruturas metálicas no Brasil, apresentando os métodos e especificidades do detalhamento e execução das estruturas metálicas sendo formadas por perfis laminados, perfis formados a frio e perfis compostos, para os profissionais envolvidos na área.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Quais são as características dos métodos de detalhamento para produção de perfis laminados, perfis dobrados a frio e perfis compostos?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

Os métodos utilizados para detalhamento e execução dos perfis metálicos dependem do tipo de perfil que será detalhado e executado. Uma vez que cada perfil possui uma extensa gama de aplicação e especificidades, deste modo cada tipo de perfil possui métodos de detalhamento e execução específicos, tornando assim alguns perfis mais simples ou com menor custo de produção. Sendo assim, o engenheiro calculista deve ter o cuidado de escolher o perfil adequado, favorecendo a viabilidade da utilização de uma estrutura metálica.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi limitada à análise dos métodos utilizados para detalhamento e execução de perfis laminados, perfis dobrados a frio e perfis compostos de um silo.

Foram utilizados como base as normas NBR 8196 (ABNT, 1999) – Desenho técnico – Emprego de escala, NBR 8402 (ABNT, 1994) – Execução de caráter para escrita em desenho técnico, NBR 10067 (ABNT, 1995) – Princípios gerais de representação em desenho técnico, NBR 10126 (ABNT, 1987) – Cotagem em desenho técnico, NBR 8800 (ABNT, 2008) – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, NBR 15980 (ABNT, 2011) – Perfis laminados de aço para uso estrutural – Dimensões e tolerâncias, normas que se referem a detalhamento, projeto e execução de estruturas metálicas, além de referências bibliográficas da área.

Para a exemplificação dos detalhamentos e métodos de execução, limitou-se à utilização dos dados fornecidos por uma empresa localizada em Santa Tereza do Oeste – PR. Acompanhou-se a execução das peças que compõem uma estrutura metálica de um silo secador de grãos, nomeado de Secador de Múltipla Intermitência 40.000L (SMI-80), com as dimensões de 5,7 m de largura, 3,04 m de comprimento e 15,70 m de altura.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Definições do aço

Os metais são formados por várias composições químicas retiradas através do minério, possuindo uma alta capacidade de deformação, uma boa resistência mecânica e dureza, toda essa relação está diretamente relacionada às propriedades dos minérios utilizados, podendo ser classificados em aço-carbono e aço de baixa liga (MARTINS, 2008).

O aço-carbono, considerado o material mais utilizado devido ao seu aumento de resistência ser em relação à adição de carbono e uma menor proporção de manganês. Deste modo, o aço-carbono é dividido em três categorias sendo a de baixo carbono ($C < 0,29\%$), médio carbono ($0,30\% < C < 0,59\%$), alto carbono ($0,6\% < C < 2,0\%$). Sendo assim, quanto maior o teor de carbono, maior será sua resistência, porém, menor será a sua ductilidade, no caso, a capacidade de se deformar. Os principais aços usados em estruturas metálicas referentes à norma ABNT, seguem a nomenclatura *American Society for Testing and Materials* – ASTM como se pode observar na tabela da Figura 1, propriedade mecânica dos aços-carbonos mais utilizados (PFIEL, 2008).

Figura 1: Propriedade Mecânica de aços-carbonos

Especificação	Teor de carbono %	Limite de escoamento f_y (MPa)	Resistência à ruptura f_u (MPa)
ABNT MR250	baixo	250	400
ASTM A7		240	370-500
ASTM A36	0,25-0,29	250 (36 ksi)	400-500
ASTM A307 (parafuso)	baixo	—	415
ASTM A325 (parafuso)	médio	635 (min)	825 (min)
EN S235	baixo	235	360

Fonte: Pfiel (2008).

O aço de baixa liga possui o acréscimo de elementos de liga como cobre, níquel fósforo entre outros com a liga de aço-carbono melhora suas propriedades mecânicas. Esses elementos produzem um aumento de resistência do aço alterando suas microestruturas. No Brasil, esse aço é muito utilizado devido a sua característica de resistência atmosférica pela

adição de cobre. A Figura 2, mostra a propriedade mecânica dos aços de baixa liga (PFIEL, 2008).

Figura 2: Propriedade Mecânica de aços de baixa liga

Especificação	Principais elementos de liga	Limite de escoamento f_y (MPa)	Resistência à ruptura f_u (MPa)
ASTM 572 Gr. 50	$C < 0,23\%$ $Mn < 1,35\%$	345	450
ASTM A588	$C < 0,17\%$ $Mn < 1,2\%$ $Cu < 0,50\%$	345	485
ASTM A992	$C < 0,23\%$ $Mn < 1,5\%$	345	450

Fonte: Pfiel (2008).

Segundo a NBR 7007 (ABNT, 2016), que trata aço-carbono e aço microligado para barras e perfis laminados a quente para uso estrutural e seus requisitos, os aços são divididos em categorias determinadas pelo seu limite de escoamento. Desse modo, o aço A36 é considerado aço de média resistência, onde o seu limite de escoamento é de 250 MPa, já o aço AR350 é um aço de alta resistência, com o limite de escoamento de 350 MPa.

Para o uso de estruturas metálicas, são utilizados três grupos de perfis, sendo o primeiro grupo, perfis laminados produzidos em usinas siderúrgicas a quente, o segundo grupo, perfis soldados obtidos através da soldagem de chapas ou outros perfis considerados perfis pesados e o terceiro grupo, perfis formados a frio que são produzidos através da dobra de chapas, considerados perfis leves. O conceito de perfis pesados e leves vem devido à espessura do material, sendo os perfis pesados com espessuras maiores e os perfis leves com espessuras menores (CARVALHO *et al.*, 2014).

A nomenclatura utilizada na indústria mecânica para aço é a *Society of Automotive Engineers* – SAE, a qual possui quatro números para identificação do aço. Sendo o primeiro dígito representando o elemento de liga característico, exemplo o aço-carbono (1) e o aço níquel (2). Os dois últimos números representam a porcentagem de carbono em 0,01% e o dígito intermediário representa a porcentagem de liga predominante. Deste modo, um exemplo de aço muito utilizado nas estruturas metálicas é o aço SAE 1020 que significa aço-carbono com 0,20% de carbono (PFEIL, 2008).

2.1.2 Definições de projeto e fabricação

Segundo Dias (1997), um projeto completo de estrutura metálica se divide em três áreas, projetos de engenharia, projetos de fabricação e projetos de montagem, só após a execução desses três projetos que se dá início à montagem da obra.

O projeto em construções metálicas serve para direcionar a produção, gerando soluções que facilitem o entendimento por parte da produção com um nível de qualidade e eficiência de produção que forem permitidos através de um detalhamento completo (NOVAES, 1996 *apud* MORAES, 2000).

De acordo com Teixeira (2007), em estruturas metálicas, a etapa de projeto deve ser ainda mais valorizada, uma vez que o projeto precisa conceber a ideia de industrialização da estrutura, deste modo, em um projeto bem elaborado é menor o risco de improvisações devido à falta de informações. Esses problemas em projeto interferem na agilidade do processo de fabricação e montagem, influenciando diretamente na qualidade do produto. Sendo assim, a etapa de detalhamento do processo de projeto deve assegurar as vantagens da construção metálica.

Conforme Raad Junior (1999), os desenhos de projeto são auxiliados por *softwares* de computadores e têm como embasamento o memorial de cálculo e o esquema estático da estrutura definidos previamente. Nesses desenhos são definidas as dimensões principais da estrutura, os perfis e suas ligações, qual a norma utilizada e gerar uma lista preliminar de peças e materiais para a compra e fabricação da estrutura.

Os desenhos de fabricação são elaborados pelos projetistas que detalham a estrutura, as peças detalhadas recebem um nome que é marcado na peça após executada, facilitando a montagem na execução. O fabricante da estrutura é o principal responsável pelas etapas de produção (BAUERMANN, 2002).

Os materiais a serem utilizados para a execução de estruturas metálicas devem ser estipulados em projeto, este projeto não pode ser alterado sem aviso ao projetista que desenvolveu o produto, onde o mesmo, visando à segurança do projeto, segue as normas da ABNT. Conforme as especificidades dos diferentes tipos de aço especificados pelo fabricante, o projetista tem maiores variações de tipos de perfis fazendo com que o projeto fique mais econômico, mais leve e seguro (PINHEIRO, 2005).

De acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008), que fala sobre o projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, o projeto de estrutura metálica é responsável pelos conjuntos de cálculos, desenhos, especificações de fabricação e de

montagem da estrutura. As obras que executam estruturas metálicas devem seguir em seus projetos essa norma que regulamenta o projeto e a execução de estruturas de aço e estruturas mistas.

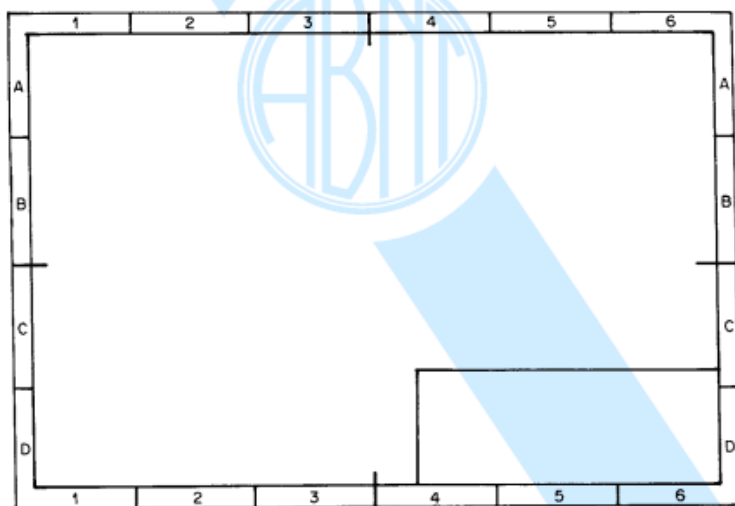
A NBR 8800 (ABNT, 2008), relata que desenhos do projeto devem ter escalas adequadas, dados necessários para detalhamento da estrutura, desenhos das peças e desenho da montagem dessas peças, indicando as normas utilizadas, especificando todos os materiais utilizados, fornece informações sobre as ligações, assim orientando a fabricação da estrutura.

De acordo com a NBR 8196 (ABNT, 1999), a escala deve ser escolhida conforme a complexidade do objeto ou elemento a ser representado. Em todo caso a escala deve ser suficiente para permitir uma interpretação fácil e clara do que se trata.

Conforme a NBR 10067 (ABNT, 1995), que trata dos princípios gerais de representação em desenho técnico, diz que os desenhos técnicos são representados na cor preta, e separado em vistas, sendo a vista principal a mais importante da peça, que deve ser utilizada como vista frontal ou principal e as demais vistas a ser executada quantas forem necessárias para caracterizar a forma da peça, sendo de preferência vistas, cortes ou seções, porém buscando utilizar o menor número de vista possível, evitando repetição de detalhes e linhas desnecessárias.

A NBR 10068 (ABNT, 1987), que trata do leiaute e dimensões da folha de desenho tem com intuito padronizar as características dimensionais das folhas em branco a serem aplicadas em todos os desenhos técnicos. As folhas de desenho podem ser utilizadas tanto na posição horizontal como na vertical, devem possuir legenda, margem, quadro, escala métrica, marcas de centro e marcas de corte conforme Figura 3.

Figura 3: Modelo de folha utilizada em desenho técnico



Fonte: ABNT, NBR 10068 (1987)

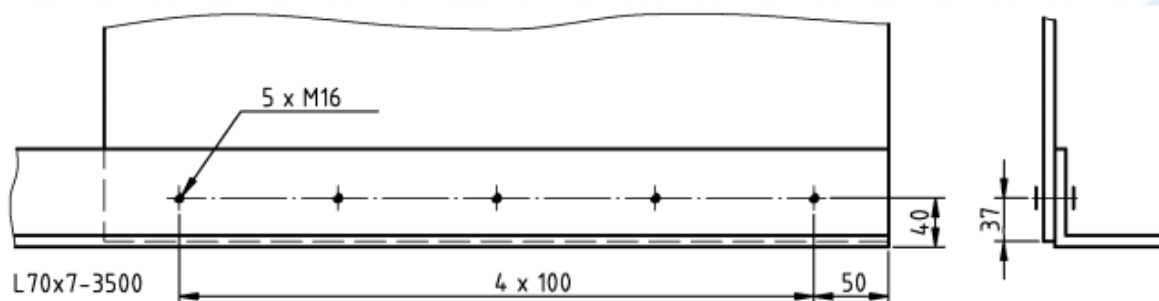
A NBR 10126 (ABNT, 1987), que trata da cotação e desenho técnico, relata que a cotação é uma representação do desenho e suas características através de linhas, símbolos, notas e valor numérico numa unidade de medida. As cotas são apresentadas em tamanhos suficientes para garantir a legibilidade, as mesmas não podem estar cortadas ou sobrepostas entre elas.

As ligações soldadas devem ser caracterizadas por simbologia adequada que contenha informações completas para execução, no caso das ligações parafusadas os parafusos de alta resistência devem ser indicados no desenho de projeto, se o seu aperto será normal ou com protensão inicial, dependendo se o parafuso irá trabalhar a cisalhamento ou atrito (NBR 8800 ABNT, 2008).

Já para os desenhos de fabricação, a NBR 8800 (ABNT, 2008), relata que os desenhos devem traduzir fielmente para a fábrica, as informações contidas no projeto, fornecendo informações para a produção de todos os elementos componentes da estrutura, com seus tipos de materiais e especificações. Caso necessário, indicar sempre no desenho a sequência de execução de ligações importantes a fim de evitar tensões residuais em excesso.

Os desenhos técnicos devem seguir a recomendação da norma NBR 14611 (ABNT, 2000), necessária para detalhes dos desenhos de estrutura metálica sendo chapas, perfis ou outros tipos de elementos. Essa norma especifica regras complementares à NBR 10067 (ABNT, 1995), sobre os princípios gerais de representação em desenhos técnicos e NBR 10126 (ABNT, 1987), sobre cotação em desenho técnico, como, por exemplo, uma forma de cotação que pode ser observada na Figura 4.

Figura 4: Detalhe de cotas em um perfil parafusado



Fonte: ABNT, NBR 14611 (2000).

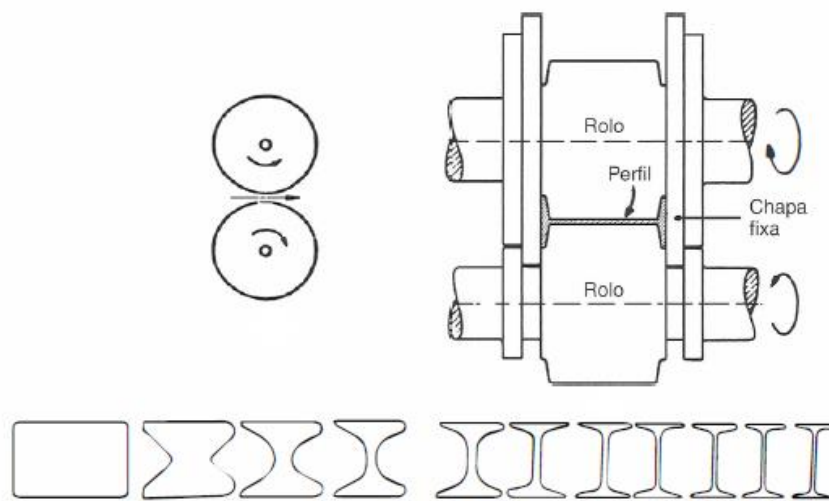
2.1.3 Perfis laminados

Devido as suas propriedades mecânicas, os perfis laminados são muito utilizados na construção e seguem as normas ASTM (PFEIL, 2008)

O processo de fabricação dos perfis laminados consiste no processo de laminação, onde as placas são inicialmente aquecidas ao rubro e introduzidas em laminadores desbastadores nos quais dois rolos giratórios comprimem a placa, reduzindo sua seção e aumentando o comprimento, sendo necessário passar por diversas vezes nos laminadores onde são confeccionados os produtos siderúrgicos utilizados para estrutura metálica (PFEIL, 2008).

Os perfis laminados a quente são conhecidos por perfis pesados e produzem uma grande eficiência estrutural sendo em forma de H, I, C, L entre outras geometrias seguindo o mesmo processo do aço, por meio de deformações mecânicas quentes. São produzidos em rolos laminadores de maneira que se obtenha variações na altura, largura, abas e espessura, conforme Figura 5 (DIAS, 1997).

Figura 5: Sistema de laminação



Fonte: Pfiel, (2008).

Atualmente, as indústrias siderúrgicas brasileiras oferecem vários perfis laminados na forma de I e H, variando sua espessura e abas paralelas, sendo necessário consultar o catálogo de cada fornecedor para melhor entendimento, caso o perfil saia dos padrões estabelecidos pelas indústrias, se faz necessária a importação do mesmo, agregando ainda mais o seu valor (GUARNIER, 2009).

A norma NBR 15980 (ABNT, 2011), diz que é necessária a padronização das dimensões, com tolerâncias para os perfis laminados a quente e afins estrutural. Esses perfis devem seguir os aços estruturais da ABNT 7007/2016 e são conhecidos como:

- Perfis L – Cantoneiras de abas iguais;
- Perfis U – Altura maior que as abas;
- Perfis I – Altura constante e largura das abas variáveis, com as mesas de faces internas inclinadas;
- Perfis H – Altura constante e largura das abas variáveis, com as mesas de faces paralelas e espessura constante.

Um perfil laminado pode ter sua nomenclatura designada pelas suas dimensões externas nominais (altura ou altura x largura), seguido da massa do perfil em kg/m, com as dimensões em milímetro (PFEIL, 2008).

Sendo assim a NBR 8800 (ABNT, 2008, p. 10) determina as informações relevantes que devem ser transmitidas no desenho de projeto, tais como:

4.2.1. Os desenhos de projeto devem ser executados em escala adequada para o nível de informação desejada. Devem conter todos os dados necessários para o detalhamento da estrutura, para execução dos desenhos de montagem e para projeto das fundações

4.2.2. Os desenhos de projeto devem indicar quais normas complementares que foram usadas e dar as especificações de todos os materiais estruturais empregados. Devem indicar também dados relativos a ações adotadas e aos esforços solicitantes de cálculo a serem resistidos por barra e ligações, quando necessário para a preparação adequada dos desenhos de fabricação.

Quanto aos desenhos de fabricação, a NBR 8800 (ABNT, 2008, p.10) dispõe que:

4.3.1. Os desenhos de fabricação devem traduzir fielmente, para a fábrica, as informações contidas nos desenhos de projeto, fornecendo informações completas para a produção de todos os elementos componentes da estrutura, incluindo materiais utilizados e suas especificações, locação, tipo e dimensão de todos os parafusos e solda de fábrica e campo.

4.4. Os desenhos de montagem devem indicar as dimensões principais da estrutura, marca das peças, dimensões de barras (quando necessária a aprovação), elevações das faces inferiores de placas de base de pilares, todas as dimensões e detalhes para colocação de chumbadores, locação, tipo e dimensão dos parafusos, solda de campo, posições de montagem e outras informações necessárias para montagem da estrutura. Devem ser claramente indicados todos os elementos permanentes ou temporários essenciais à integridade da estrutura parcialmente construída.

2.1.4 Perfis formados a frio

Os perfis formados a frio são obtidos através da dobragem a frio de chapas, no caso, temperatura ambiente. As espessuras podem variar de 0,4 mm até o limite máximo estabelecido pela norma NBR 14762 (ABNT, 2010) que é de até 8 mm, mesmo tendo condições de fazer perfis dobrados a frio com espessuras até 19 mm. A dobragem a frio reside pela simplicidade de sua produção, contendo uma extensa área de aplicação que consiste em aplicar dobras para enrijecimento nos locais onde pode ocorrer flambagem local (CARVALHO *et al.*, 2014).

Segundo Carvalho *et al.* (2014), os perfis formados a frio podem ser produzidos de duas maneiras:

- Prensa dobradeira: é uma prensa formada por duas ferramentas, sendo uma mesa com o formato final da dobra do perfil e uma punção que pressiona a chapa contra a mesa para realizar a dobra, reposicionando a chapa sucessivamente para obter o perfil, utilizados em treliças, tesouras, terças vigas e colunas, conforme Figura 6.

Figura 6: Prensa dobradeira



Fonte: Wessmaquinas, (2019).

- Prensa perfiladeira: Consiste em fazer uma tira de chapa passar por uma série de cilindros, cada um impondo uma operação de dobra na chapa. Esse processo é de grande produtividade devido aos altos custos dos equipamentos, sendo utilizado para telhas, painéis de fechamento e lajes mistas conforme Figura 7.

Figura 7: Prensa perfiladeira



Fonte: Wakamatsu, (2019).

Segundo Carvalho *et al.* (2014), a chapa ao ser dobrada ou perfilada, sofre um efeito chamado encruamento na região da dobra, alterando suas características físicas e fazendo com que aumente o limite de escoamento, mas reduza a ductilidade do material. Esse efeito de dobramento a frio de uma chapa deve-se obedecer a um raio de dobramento para cada tipo de espessura e material e formato do perfil, seguindo a norma NBR 6355 (ABNT, 2012) que padroniza os perfis formados a frio, deste modo deve-se utilizar o raio de dobramento adequado para que não cause fissuras na peça a ser dobrada.

A NBR 14762 (ABNT, 2010) define os perfis sendo como elementos que é a parte constituinte de um perfil formado a frio, elementos com bordas vinculadas (elemento AA) que é o elemento plano com duas bordas vinculadas a outros elementos na direção longitudinal, conhecido também como elementos enrijecidos, devido aos seus enrijecedores nas ambas as bordas e os elementos com borda livre (elemento AL) que o seu elemento plano vinculado em apenas uma borda na direção longitudinal do perfil.

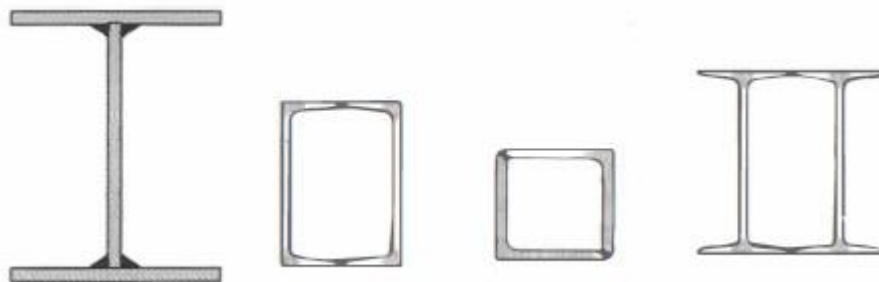
2.1.5 Perfis Compostos

Os perfis compostos são formados pela união e associação de perfis laminados simples e ou perfis dobrados a frio, porém nesses perfis, na maioria das vezes, o custo é elevado inviabilizando o produto. A sua necessidade se justifica apenas para atender às conveniências de cálculo (PFEIL, 2008).

A norma que padroniza esses perfis é a NBR 5884 (ABNT, 2005), garantindo a qualidade do produto, definindo processos de soldagem das chapas ou perfis. Deste modo, a

norma padronizou três modelos de perfis soldados sendo Perfis CS (Colunas soldadas), Perfis VS (Vigas soldadas) e perfis CVS (colunas e vigas soldadas), perfis PS (perfis soldados especiais, conforme projeto calculista), conforme Figura 8.

Figura 8: Perfis soldados e perfis compostos



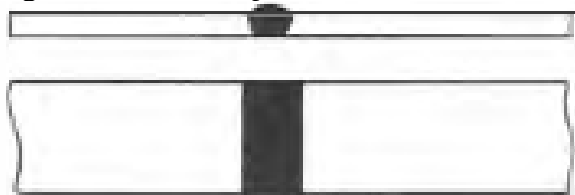
Fonte: Pfeil, (2008).

As estruturas metálicas são unidas entre si por meio de ligações, podendo ser ligações soldadas ou ligações parafusadas. Essas ligações seguem as orientações da NBR 8800 (ABNT, 2008) sendo para espessuras maiores que 4,75 mm e a NBR 14762 (ABNT, 2010) sendo para espessuras até 4,75 mm quando se trata de um perfil formado a frio.

Segundo Carvalho *et al.* (2004), basicamente existem três tipos de ligações soldadas no Brasil sendo:

- Solda de topo: a mesma une duas chapas coplanares sendo uma junta de topo, podendo receber forças de tração e compressão tanto perpendiculares quanto paralelas ao eixo de solda, conforme Figura 9.

Figura 9: Solda de topo

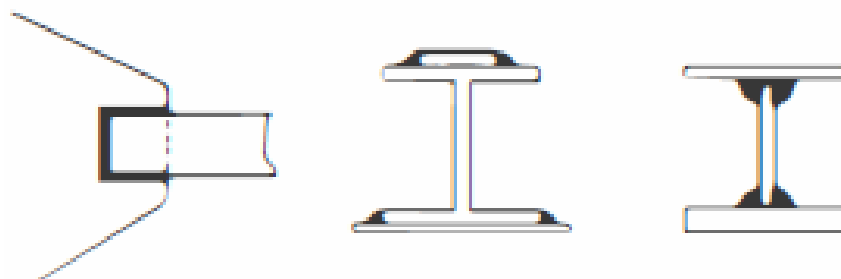


Fonte: Pfeil, (2008).

- Solda Filete: que está ilustrada na Figura 10, une dois elementos sendo chapa ou perfil, estando sobreposto um sobre o outro. Sendo assim, caso houver colapso será por ruptura do metal-base, ou seja, romper a chapa mais fina que está soldada, ou por ruptura da solda, rompendo no próprio filete. Caso seja soldada em perfis formados a frio, deve-se levar

em consideração o raio de dobra do perfil dobrado sendo considerado uma solda filete entre superfície curva e superfície plana.

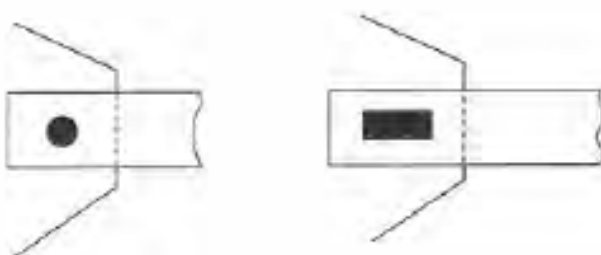
Figura 10: Solda de Filete



Fonte: Pfeil, (2008).

- Solda Tampão: é aquela solda filete aplicada em furos abertos redondos ou oblongos entre chapas e perfis sobrepostos, preenchendo e unindo os dois elementos mostrado na Figura 11.

Figura 11 Solda Tampão



Fonte: Pfeil, 2008

Segundo Raad Junior (1999), o primeiro passo para uma boa solda é definir o processo de soldagem, o que, atualmente, com vários equipamentos de solda e tipos de soldagem, abre inúmeras possibilidades. Porém, se fazem necessárias melhorias nessa área, devido à velocidade lenta e a necessidade do trabalho manual, ou seja, executado pela mão humana, faz com que o perfil composto seja utilizado apenas em ocasiões especiais.

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa

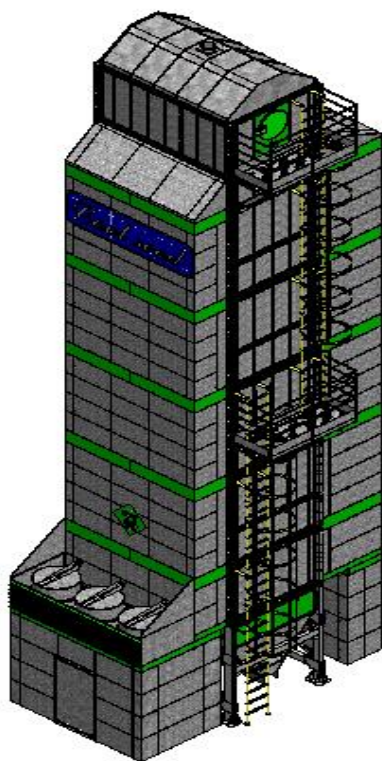
Trata-se de um levantamento descritivo sobre os métodos utilizados para detalhar os projetos e fabricação dos perfis laminados, perfis formados a frio e perfis compostos, nos quais foram utilizados exemplos do processo de fabricação de uma indústria localizada na cidade de Santa Tereza do Oeste - PR.

Foi realizada uma pesquisa de campo qualitativa-descritiva, em que foram descritos os diferentes métodos para o detalhamento e execução dos elementos de uma estrutura metálica que podem ser perfis laminados, perfis formados a frio e perfis compostos, de uma estrutura metálica de um silo. Para a apresentação das diferentes formas de detalhamento foram utilizados *softwares*, sendo *SolidWorks*, *AutoCad* e o *Metalix*. Após a apresentação das especificidades de detalhamento e execução para cada tipo de técnica de execução, foram analisadas as diferenças entre elas.

3.1.2 Caracterização da amostra

O estudo foi realizado em um silo de secagem de café denominado Secador de Múltipla Intermitência 80.000L (SMI-80), como representado na Figura 12, fabricado em uma indústria localizada na cidade de Santa Tereza do Oeste.

Figura 12: Modelagem SMI-80



Fonte: Autor, (2019).

O silo possui as dimensões de largura 5,7 m, comprimento de 3,04 m e altura de 15,70 m. A estrutura metálica é formada por perfis laminados, sendo tubos retangulares, perfis dobrados a frio, perfil U enrijecido e perfis compostos, sendo perfil U enrijecido com soldas de chapas internas para reforço.

3.1.3 Procedimentos para coleta de dados

A coleta de dados foi realizada de forma visual e descritiva no próprio local onde foi elaborado o projeto do silo, realizando visitas técnicas no setor de engenharia e setor industrial entre os meses de outubro, novembro e dezembro de 2019, em que foram cedidos pela indústria fabricante, os modelos dos projetos de fabricação de cada perfil e sendo ainda realizados registros fotográficos dos processos necessários para fabricação de cada perfil solicitado em projeto. Utilizou-se o Quadro 1 para auxiliar na coleta de dados.

Quadro 1: Levantamento de dados de cada tipo de elemento estrutural

FORMULÁRIO PARA LEVANTAMENTO DE DADOS DE CADA TIPO DE PERFIL		
Tipo de elemento estrutural	Recomendação geral da bibliografia	Forma de detalhamento e execução da empresa

Fonte: Autor, (2019).

As visitas foram realizadas em período integral, de acordo com a disponibilidade dos setores envolvidos da indústria, analisando quais os métodos adotados pela engenharia para o detalhamento dos perfis e quais os métodos utilizados pela indústria para a execução dos perfis.

3.1.4 Análise dos dados

Após a coleta de dados, foi realizada uma análise comparativa entre a revisão bibliográfica e a forma de detalhamento e execução que a empresa realiza, relacionando os métodos descritos para o detalhamento e execução de cada tipo de elemento estrutural.

Os dados foram tabulados em uma planilha específica identificando quais são as formas utilizadas para cada elemento estrutural na prática e comparando com as normas NBR 10067 (ABNT, 1995), NBR 10068 (ABNT, 1987), NBR 10126 (ABNT, 1987), NBR 14611 (ABNT, 2000), NBR 14762 (ABNT, 2010), NBR 15980 (ABNT, 2011), NBR 5884 (ABNT, 2013), NBR 6355 (ABNT, 2012), NBR 8196 (ABNT, 1999), NBR 8800 (ABNT, 2008).

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos resultados obtidos por meio das referências bibliográficas e acompanhamento da empresa foi focada no método de detalhamento e execução de estruturas metálicas, sendo dividida em perfis laminados, perfis formados a frio, perfis compostos e a apresentação do projeto completo.

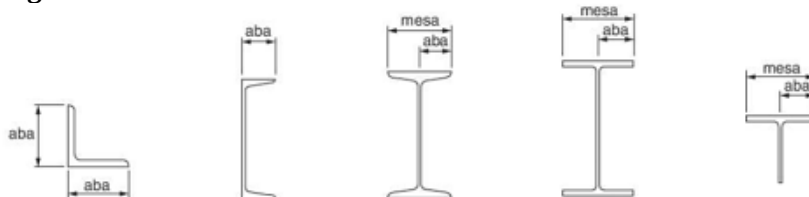
A criação de detalhes está diretamente relacionada com o tipo de perfil e seu processo de fabricação, esse detalhamento ocorre na fase do projeto executivo estendendo-se até a fabricação pois os detalhes são os mais importantes para a fabricação. Segundo Guarnier (2009), o uso de *softwares* por engenheiros melhora a eficiência dos detalhes reduzindo o tempo e custo com erros durante a produção e montagem dos mesmos.

4.1.1 Perfis laminados

Devido ao processo de fabricação dos perfis laminados, as indústrias fabricantes de estruturas metálicas optam por comprar o perfil laminado pronto direto das indústrias siderúrgicas, uma vez que deixa a responsabilidade de fabricação para as siderúrgicas informando apenas as dimensões do perfil utilizado e o aço que será composto esse perfil.

A NBR 15980 (ABNT, 2011), versa sobre a padronização das dimensões e tolerâncias de cada perfil laminado, os mesmos são conhecidos como perfil L, perfil U, perfil I e perfil H. Essa nomenclatura constitui-se devido as suas dimensões externas nominais e seguido pela massa do perfil em kg/m com as dimensões em milímetro. Para melhor entendimento, a norma aplica os termos de definições como aba e mesa conforme Figura 13.

Figura 13: Aba e mesa



Fonte: NBR 15980 (ABNT, 2011).

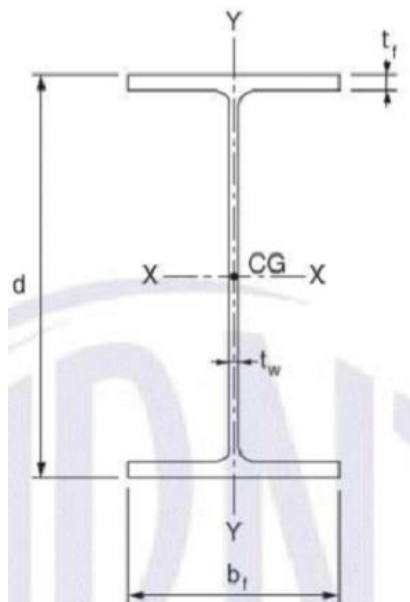
A aba representa a dimensão referente ao eixo ou a face da alma até a extremidade do perfil, já a mesa é a representação formada pela dupla simetria da aba.

Deste modo, para leitura e interpretação da NBR 15980 (ABNT, 2011) utiliza-se uma simbologia, com a finalidade de padronizar as dimensões e massas de cada perfil conforme a tabela de símbolos e descrições dos perfis que se encontra no Anexo B.

Essa simbologia serve para facilitar a interpretação das dimensões de cada perfil citado na NBR 15980 (ABNT, 2011) sendo perfis tais como, perfil L onde é composto por cantoneiras das abas iguais formando ângulo de 90° , perfil U monossimétrico com as faces das abas não paralelas com inclinação da superfície interna das abas, perfil I duplamente simétrico com as faces das abas não paralelas com inclinação na face interna das abas e os perfis W ou H duplamente simétricos de faces de abas paralelas com a espessura da alma menor que a espessura das abas.

O perfil HP foi utilizado no projeto deste trabalho, segundo a NBR 15980 (ABNT, 2011) os perfis HP são duplamente simétricos de faces de abas paralelas, onde a espessura da alma é menor que a espessura das abas, conforme pode ser observado na Figura 14 abaixo.

Figura 14: Dimensões do Perfil HP



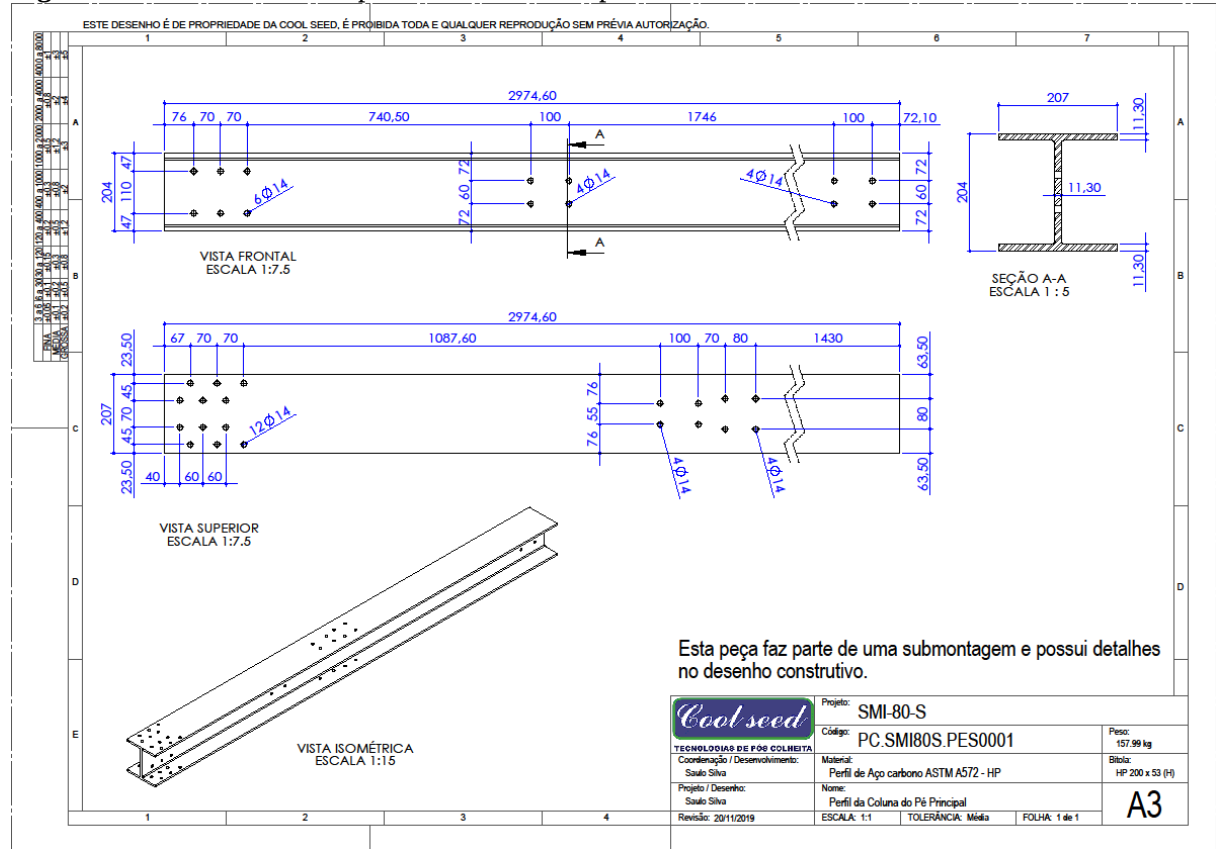
Fonte: NBR 15980, (ABNT, 2011).

No Anexo A, são apresentadas as dimensões da série dos perfis estruturais laminados tipo W e HP conforme a NBR 15980 (ABNT, 2011).

Deste modo o projeto realizado pela indústria fabricante de estruturas metálicas possui o *layout* dos desenhos padronizados com a folha de projeto sendo utilizada na posição

horizontal, possuindo legenda, margem, quadro, escala métrica conforme a NBR 10068 (ABNT, 1987). Um exemplo de detalhamento de um perfil HP pode ser observado na Figura 15.

Figura 15: Detalhamento do perfil laminado do tipo HP.



Fonte: Autor (2020)

Sendo assim, o perfil utilizado pela indústria fabricante de estruturas metálicas foi o perfil HP 200x53 (mm x kg/m) em aço-carbono ASTM A572, conforme orientação na legenda da folha, esse perfil é comercial, deste modo, a indústria fabricante da estrutura metálica compra pronto, executando apenas as furações e o corte no comprimento da peça, uma vez que esse perfil vem como padrão a barra de 6 metros de comprimento.

Deste modo, é possível preencher o formulário para levantamento de dados desse perfil comparando as recomendações normativas com aquelas executadas pela indústria fabricante de estrutura metálica, que pode ser observada no Quadro 2.

Quadro 2: Formulário para levantamento de dados para perfil laminado tipo HP.

Tipo de elemento estrutural	Recomendação geral da bibliografia	Forma de detalhamento e execução da empresa
PERFIL LAMINADO HP 200x53 (mm x kg/m)	Folha de projeto sendo utilizada na posição horizontal ou vertical, possuindo legenda, margem, quadro, escala métrica. (ABNT NBR 10068, 1987)	Folha de projeto na posição horizontal, possuindo legenda, margem, quadro e escala métrica.
	Desenhos técnicos são representados na cor preta, e separado em vistas, sendo a vista principal a mais importante da peça, que deve ser utilizada como vista frontal ou principal e as demais vistas sendo de preferência vistas, cortes ou seções, porém buscando utilizar o menor número de vista possível, evitando repetição de detalhes e linhas desnecessárias. (ABNT NBR 10067, 1995)	Desenhos técnicos representados na cor preta e separado em vistas, cortes e seções, utilizando apenas vistas necessárias evitando repetições.
	As cotas devem ser apresentadas em desenho em caracteres com tamanho suficiente para garantir completa legibilidade, sendo localizada acima e paralelamente as suas linhas de cotas e no centro de preferência. (ABNT NBR 10126, 1987)	As cotas são apresentadas em desenho com legibilidade, localizada no centro acima da linha e paralelamente as linhas de cota.
	Os desenhos de projeto devem ser executados em escala adequada, devem conter todos os dados necessários para o detalhamento da estrutura, para execução dos desenhos de montagem. (ABNT NBR 8800, 2008)	Os desenhos foram todos executados em escala adequada e contém todos os dados necessários para o detalhamento da estrutura.
	Os desenhos de projeto devem indicar quais normas complementares que foram usadas e dar as especificações de todos os materiais estruturais empregados. (ABNT NBR 8800, 2008)	Os desenhos de projeto não indicam quais normas complementares, porém, especificam o material utilizado
	Os desenhos de fabricação devem traduzir fielmente, para fábrica, as informações contidas nos desenhos de projeto, fornecendo informações completas para a produção de todos os elementos componentes da estrutura, incluindo materiais utilizados e suas especificações. (ABNT NBR 8800, 2008)	O desenho de fabricação traduz fielmente as informações para fábrica, fornecendo informações completas para a produção do elemento componente incluindo materiais utilizados e suas especificações.

Fonte: Autor (2020).

Pode-se observar, no Quadro 2, que o projeto da indústria de fabricação de estruturas metálicas segue as especificações das normas que envolvem o detalhamento do perfil

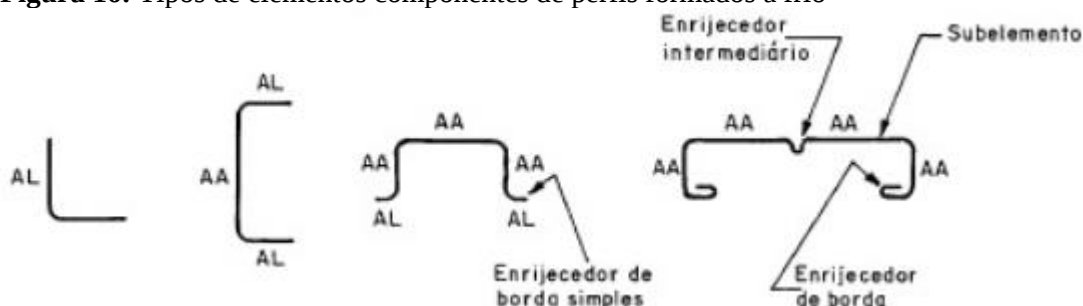
laminado. Deste modo o projeto segue um modelo de perfil padronizado pela NBR 15980 (ABNT, 2011) denominado Perfil HP 200 x 53,0 (mm x kg/m), com isso facilitando a compra do material e diminuindo o custo, devido a peça possuir um padrão comercial, sendo que conforme Guarnier (2009), caso o perfil saia dos padrões se faz necessário a importação do mesmo aumentando seu valor.

4.1.2 Perfis dobrados a frio

Para o detalhamento de um perfil dobrado, seguem as mesmas orientações que o perfil laminado, sendo da NBR 8800 (ABNT, 2008), tais como, o desenho de projeto deve ser executado em escala adequada, contendo dados necessários para o detalhamento da estrutura, deve-se indicar quais normas complementares e especificar os materiais utilizados, traduzindo fielmente para a fábrica, informações completas para produção dos elementos e indicar as dimensões principais da estrutura.

Segundo a NBR 14762 (ABNT, 2010), as partes constituintes de um perfil formado a frio são chamadas de elementos, sendo divididas em mesa, alma e enrijecedor, em que suas espessuras podem variar de 0,4 mm até 8 mm. Os elementos com bordas vinculadas são chamados de elemento AA, esse elemento é plano com duas bordas vinculadas a outro elemento na direção longitudinal do perfil, já os elementos com borda livre são conhecidos como elemento AL, em que o plano é vinculado a outro elemento em apenas uma borda, na direção longitudinal, conforme Figura 16.

Figura 16: Tipos de elementos componentes de perfis formados a frio



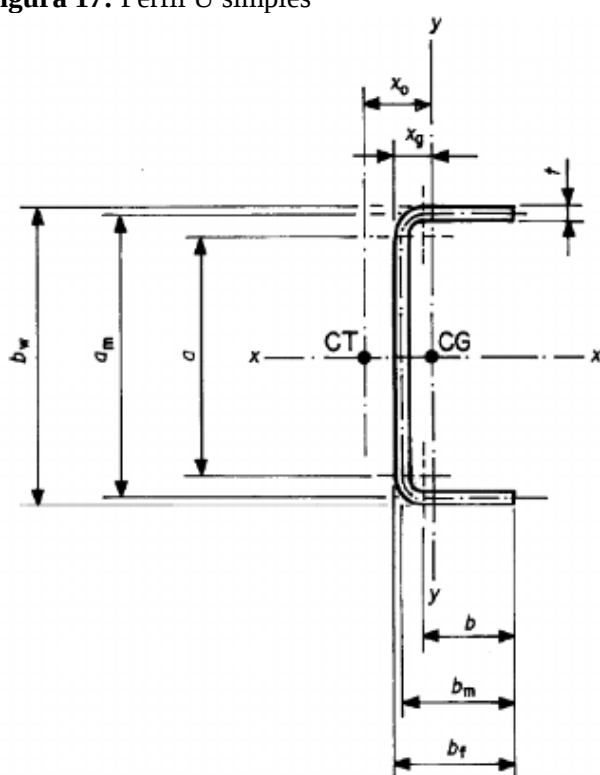
Fonte: NBR 14762, (2010).

Deste modo, o efeito de dobramento no perfil deve obedecer um raio de dobramento para cada tipo de espessura, material e formato do perfil, seguindo a norma NBR 6355

(ABNT, 2012) padronizando os perfis formados a frio para que não cause fissuras no perfil a ser dobrado, deste modo o perfil vem em chapa plana e sofre um processo de dobramento onde se obtém sua forma final.

Sendo assim, foi utilizado pela indústria fabricante, um perfil U simples, conforme a NBR 6355 (ABNT, 2012), apresenta as dimensões, massa e propriedades geométricas dos perfis de série comercial L, U, Ue, Z90, Z45 padronizando as dimensões de cada tipo de perfil dobrado, conforme a Figura 17.

Figura 17: Perfil U simples

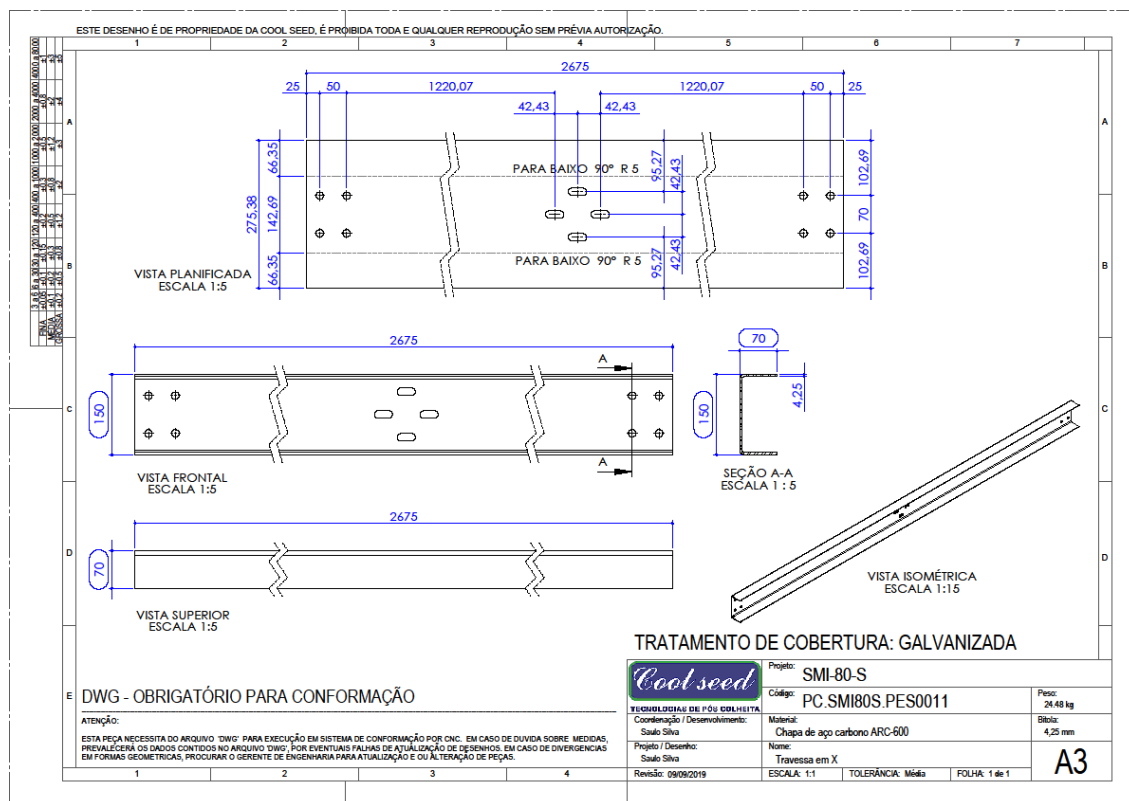


Fonte: NBR 6355, (2012).

No Anexo C, são apresentadas as dimensões, massa e propriedades geométricas do perfil U simples e no Anexo D os símbolos e significados de acordo com a NBR 6355/2012.

Deste modo, o projeto realizado pela indústria fabricante de estruturas metálicas possui o mesmo leiaute dos desenhos como padrão, porém com uma vista a mais, chamada de vista planificada, na qual se apresenta a medida total para corte da peça, junto com o raio de dobramento para que seja executado seguindo a NBR 6355/2012. Na Figura 18, pode ser observar um exemplo de um detalhamento do perfil U realizado na indústria.

Figura 18: Detalhamento do perfil dobrado a frio do tipo U



Fonte: Autor, (2020).

Sendo assim, o perfil utilizado pela indústria fabricante de estruturas metálicas foi o perfil U simples 150x70 mm, conforme as cotas dispostas no projeto e o material em aço-carbono ARC-600 com espessura 4,25 mm, conforme legenda, esse perfil não está em conformidade com a NBR 6355/2012, contendo uma divergência em relação à aba da peça, em que se observa uma diferença em 5 mm (aba do detalhamento da peça 70 mm e a aba especificada na norma 75 mm) diferença devido à necessidade de projeto, uma vez que esse perfil trabalha como travamento em “X” na estrutura, sendo assim, não interfere diminuir os 5 mm, gerando economia de material. Com isso, é possível preencher o formulário para levantamento dos dados desse perfil conforme o Quadro 3.

Quadro 3: Formulário para levantamento de dados para perfil dobrado a frio

Tipo de elemento estrutural	Recomendação geral da bibliografia	Forma de detalhamento e execução da empresa
PERFIL U SIMPLES DOBRADO A FRIO 150x70 (mm)	Folha de projeto sendo utilizada na posição horizontal ou vertical, possuindo legenda, margem, quadro, escala métrica. (ABNT NBR 10068, 1987).	Folha de projeto na posição horizontal, possuindo legenda, margem, quadro e escala métrica.
	Desenhos técnicos são representados na cor preta, e separado em vistas, sendo a vista principal a mais importante da peça, que deve ser utilizada como vista frontal ou principal e as demais vistas sendo de preferência vistas, cortes ou seções, porém buscando utilizar o menor número de vista possível, evitando repetição de detalhes e linhas desnecessárias, (ABNT NBR 10067, 1995)	Desenhos técnicos representados na cor preta e separado em vistas, cortes e seções, utilizando apenas vistas necessárias evitando repetições.
	As cotas devem ser apresentadas em desenho, em caracteres com tamanho suficiente para garantir completa legibilidade, sendo localizada acima e paralelamente as suas linhas de cotas e no centro de preferência (ABNT NBR 10126, 1987)	As cotas são apresentadas em desenho com legibilidade, localizada no centro acima da linha e paralelamente as linhas de cota.
	Os desenhos de projeto devem ser executados em escala adequada, devem conter todos os dados necessários para o detalhamento da estrutura, para execução dos desenhos de montagem (ABNT NBR 8800, 2008)	Os desenhos foram todos executados em escala adequada e contém todos os dados necessários para o detalhamento da estrutura.
	Os desenhos de projeto devem indicar quais normas complementares foram usadas e dar as especificações de todos os materiais estruturais empregados. (ABNT NBR 8800, 2008)	Os desenhos de projeto não indicam quais normas complementares, porém especificam o material utilizado
	Os desenhos de fabricação devem traduzir fielmente, para fábrica, as informações contidas nos desenhos de projeto, fornecendo informações completas para a produção de todos os elementos componentes da estrutura, incluindo os materiais utilizados e suas especificações (ABNT NBR 8800, 2008).	O desenho de fabricação traduz fielmente as informações para fábrica, fornecendo informações completas para a produção do elemento componente, incluindo os materiais utilizados e suas especificações.
	Obedecer um raio de dobramento para cada tipo de espessura, material e formato do perfil	O raio de dobramento do perfil no projeto foi de 5 mm

	estabelecido na tabela do Anexo B como 4,25 mm (ABNT NBR 6355, 2012).	
	Obedecer a espessura recomendada para o tipo de perfil onde estabelece de 0,4 mm até 8 mm (ABNT NBR 14762, 2010)	A espessura do perfil no projeto foi de 4,25 mm

Fonte: Autor, (2020).

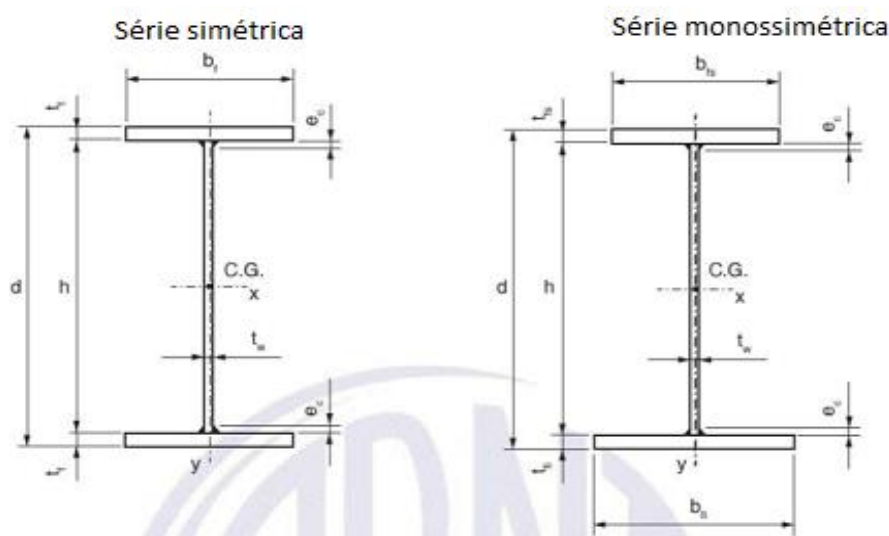
Deste modo, conforme o Quadro 3, foi observado que existem algumas diferenças entre o solicitado pela norma e o projeto, tais como as dimensões da aba onde o projeto solicita 70 mm e a norma solicita 75 mm, diferença no raio de dobramento, onde o projeto solicita 5 mm, já a norma determina 4,25 mm, conforme tabela do Anexo B. Sendo assim, não é um perfil padronizado por norma, porém o detalhamento segue todas as orientações da norma.

4.1.3 Perfis compostos

Para o detalhamento de um perfil composto, são estabelecidas as mesmas orientações da NBR 8800 (ABNT, 2008), que determinam escala adequada, contendo todos os dados necessários para um detalhamento, especificando o material e tipo de solda, traduzindo de forma clara as informações que contemplam o projeto. As ligações soldadas devem ser caracterizadas por simbologia adequada que contenha informações completas para sua execução. As soldas devem ser indicadas no desenho de projeto e detalhes como comprimento e retornos, indicados no desenho de fabricação. Deste modo, os perfis compostos são formados pela união de chapas soldadas ou de perfis laminados ou dobrados a frio e soldados entre eles. A norma que padroniza esses perfis é a NBR 5884:2013, que garante qualidade e define os processos de soldagem das chapas ou perfis.

Sendo assim, a norma NBR 5884:2013 estabelece duas séries de perfis, sendo perfis de série simétrica e série monossimétrica, conforme a Figura 19.

Figura 19: Perfil série simétrica e perfil série monossimétrica



Fonte: NBR 5884, (ABNT, 2013).

Os símbolos empregados de acordo com a NBR 5884:2013 são mostrados no Anexo F.

Conforme a NBR 5884 (ABNT, 2013), a série simétrica é composta por perfis que apresentam simetria na sua seção transversal, sendo dividida em série CS, série CVS, série VS, série VSM, no Anexo E é mostrado as dimensões de um perfil soldado série CS.

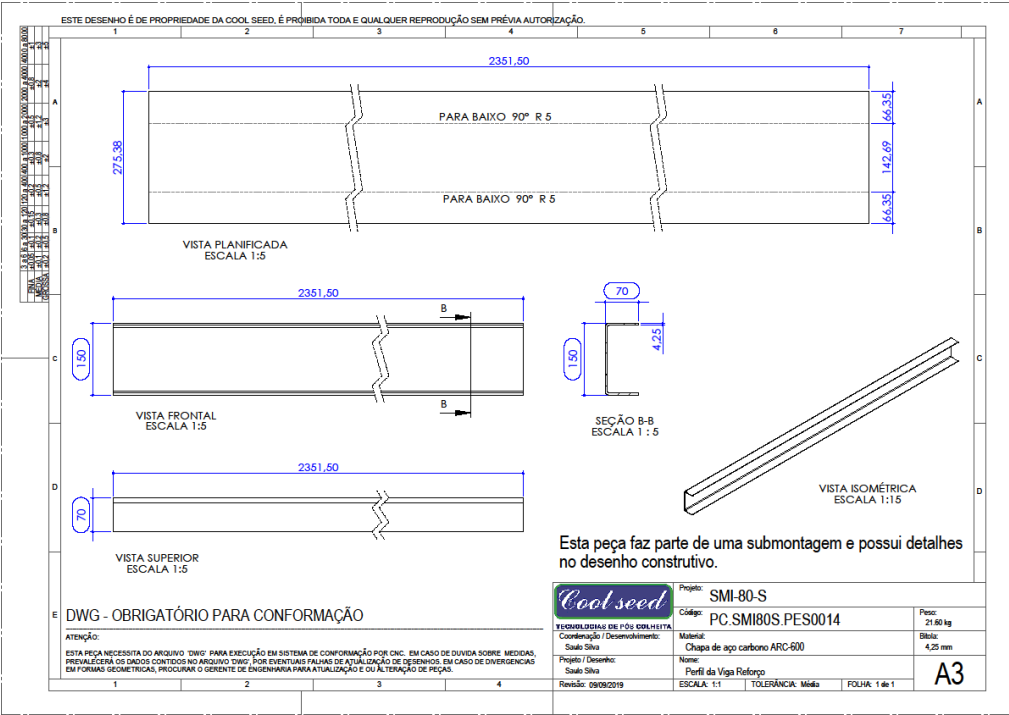
Segundo a NBR 5884 (ABNT, 2013), enquanto não existem normas brasileiras para a utilização de soldagem e qualificação de procedimentos de soldagem, deve-se aplicar as especificações da American Welding Society (AWS). Esse procedimento de soldagem deve, preferencialmente, ser a arco submerso, mediante máquinas automáticas ou semiautomáticas, atendendo à qualidade especificada no projeto. O processo deve ser qualificado conforme a AWS D1.1 (edificações), AWS D1.5 (pontes rodoviárias e ferroviárias), AWS D1.4.1 (vigas de rolamento, balancins, e outros equipamentos de movimentação de carga).

Deste modo conforme a NBR 8800 (ABNT, 2008) as ligações soldadas devem ser caracterizadas por simbologia adequada que contenha informações completas para sua execução, de acordo com a AWS A2.4. As soldas devem ser indicadas no desenho de projeto com detalhes, comprimentos e retornos devem ser indicados no desenho de fabricação.

Sendo assim, a indústria fabricante utilizou o mesmo padrão de desenho e leiaute para o detalhamento do perfil soldado, porém, para a fabricação do mesmo, foram utilizadas duas folhas de projeto, uma folha para o projeto do perfil dobrado a frio que compõe o projeto do perfil soldado e a outra folha apresentando o projeto de solda de duas peças do perfil

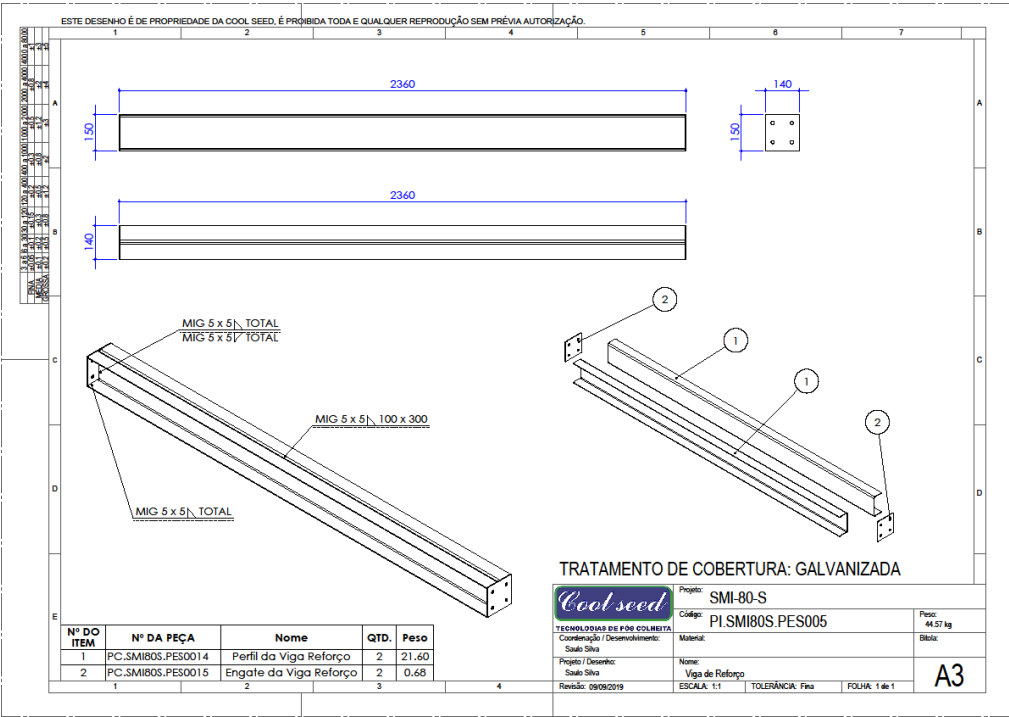
dobrado a frio formando assim um perfil soldado da série CS 150x45 (mm x kg/m), conforme a Figura 20 e 21.

Figura 20: Perfil dobrado a frio para a formação do perfil soldado da série CS 150x45



Fonte: Autor (2020).

Figura 21: Montagem do perfil soldado da série CS 150x45



Fonte: Autor (2020).

Assim, com o levantamento de informações, é possível observar que o perfil utilizado pela indústria fabricante é um perfil CS 150x45 (mm x kg/m) conforme as cotas dispostas em projeto e o material utilizado é o aço-carbono ARC-600 com espessura de 4,25 mm conforme legenda, porém, contendo uma divergência na aba do perfil em comparação à norma 5884 (ABNT, 2013), onde a mesma informa que a aba possui 150 mm, o projeto estabelece 140 mm, deste modo é possível preencher o formulário para levantamento de dados do perfil soldado, conforme Quadro 4.

Quadro 4: Formulário para levantamento de dados para perfil soldado CS 150x45

Tipo de elemento estrutural	Recomendação geral da bibliografia	Forma de detalhamento e execução da empresa
PERFIL SÉRIE CS 150x45 (mm x kg/m)	Folha de projeto sendo utilizada na posição horizontal ou vertical, possuindo legenda, margem, quadro, escala métrica (ABNT NBR 10068, 1987).	Folha de projeto na posição horizontal, possuindo legenda, margem, quadro e escala métrica.
	Desenhos técnicos são representados na cor preta, e separado em vistas, sendo a vista principal a mais importante da peça, que deve ser utilizada como vista frontal ou principal e as demais vistas sendo de preferência vistas, cortes ou seções, porém, buscando utilizar o menor número de vista possível, evitando repetição de detalhes e linhas desnecessárias (ABNT NBR 10067, 1995).	Desenhos técnicos representados na cor preta e separado em vistas, cortes e seções, utilizando apenas vistas necessárias evitando repetições.
	As cotas devem ser apresentadas em desenho, em caracteres com tamanho suficiente para garantir completa legibilidade, sendo localizada acima e paralelamente as suas linhas de cotas e no centro de preferência (ABNT NBR 10126, 1987).	As cotas são apresentadas em desenho com legibilidade, localizada no centro acima da linha e paralelamente às linhas de cota.
	Os desenhos de projeto devem ser executados em escala adequada,	Os desenhos foram todos executados em escala adequada e

	devem conter todos os dados necessários para o detalhamento da estrutura, para execução dos desenhos de montagem (ABNT NBR 8800, 2008).	contém todos os dados necessários para o detalhamento da estrutura.
	Os desenhos de projeto devem indicar quais normas complementares que foram usadas e dar as especificações de todos os materiais estruturais empregados (ABNT NBR 8800, 2008).	Os desenhos de projeto não indicam quais normas complementares, porém especificam o material utilizado
	Os desenhos de fabricação devem traduzir fielmente, para fábrica, as informações contidas nos desenhos de projeto, fornecendo informações completas para a produção de todos os elementos componentes da estrutura, incluindo materiais utilizados e suas especificações (ABNT NBR 8800, 2008).	O desenho de fabricação traduz fielmente as informações para fábrica, fornecendo informações completas para a produção do elemento componente incluindo materiais utilizados e suas especificações.
	As ligações soldadas devem ser caracterizadas por simbologia adequada que contenha informações completas para sua execução, de acordo com a AWS A2.4 (ABNT NBR 8800, 2008)	As ligações soldadas foram caracterizadas por simbologia, contento as informações completas para execução.
	As soldas devem ser indicadas no desenho de projeto com os detalhes como comprimentos e retornos devem ser indicados no desenho de fabricação (ABNT NBR 8800, 2008).	As soldas foram indicadas em projeto e feito um projeto apenas com detalhamento do comprimento e retornos da solda.

Fonte: Autor (2020).

4.1.4 Apresentação do projeto completo

A partir das considerações normativas e dos padrões utilizados pela indústria, foi então realizada a elaboração de um projeto de um silo de secagem de grãos, o qual compreendeu a utilização de diferentes peças metálicas, sendo perfis laminados, perfis dobrados a frio e perfis compostos. Da análise do detalhamento de cada perfil, foi possível

observar que os *layouts* dos projetos de perfis são semelhantes, contendo cotas claras, legenda, margem, escala métrica, todos os dados bem claros para a execução do projeto, porém, cada perfil possui sua especificidade.

Exemplo do projeto em perfis laminados onde foi utilizado o perfil laminado HP 200x53 em aço-carbono ASTM A572, fazendo-se necessário apenas três vistas do projeto, contendo cotas totais tanto no comprimento quanto na altura e largura da mesa, mas é de suma importância a legenda para identificação do tipo de perfil e do material utilizado, tendo em vista que os perfis laminados geralmente são comprados direto da siderúrgica, eliminando o processo de fabricação desse perfil por parte da indústria fabricante.

Para o perfil dobrado a frio, foi utilizado o perfil U simples 150x70 em aço ARC-600 com espessura de 4,25 mm, porém, nota-se que o perfil estabelecido possui uma diferença na aba da peça, onde a norma 6355 (ABNT, 2012) especifica 75 mm, o perfil foi produzido pela indústria com 70 mm, deste modo, esse perfil passa por um processo de dobra dentro da indústria, ou seja, o aço vem em chapas e sofre um processo de dobramento. Sendo assim, se faz necessário apresentar, no projeto, as medidas totais da peça planejada, o raio de dobramento e posteriormente as vistas da peça já dobrada junto com a legenda, apresentando qual espessura e material a ser utilizado para a fabricação dessa peça.

Por fim, o projeto de um perfil composto, onde foi utilizado o perfil CS 150x45 em aço ARC-600 com espessura de 4,25 mm seguindo as mesmas orientações de layout do que os demais perfis, entretanto, como o perfil composto possui a necessidade de soldagem das peças para sua composição, se faz necessário que o detalhamento desse perfil indique a solda a ser utilizada para a criação do mesmo, apresentando qual tipo de solda a ser utilizada, dimensões da solda, distância entre cordões de solda. É importante salientar que, para fabricar esse perfil composto, foi necessária a fabricação de dois perfis dobrados a frio que após processo de dobramento, passou por um processo de solda que uniu os dois perfis, transformando em um perfil composto.

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se, então, observar que os objetivos propostos para esse trabalho foram atingidos, identificando os métodos de detalhamento empregado na empresa e recomendados pelas normativas comumente utilizadas.

A criação do detalhamento de uma estrutura metálica está relacionada com o tipo de estrutura metálica escolhida como solução. O sistema estrutural adotado é o que determina a escolha do material, geometria da peça, ligações entre peças e outros elementos estruturais. A ausência ou detalhamento insuficiente da estrutura poderia evitar manifestações patológicas, atraso no cronograma, alto índice de descarte de material e o valor excessivo no custo da obra podendo ter sido resolvido na etapa de projeto com soluções mais simples.

Sendo assim, pode se identificar os métodos recomendados pelas normativas de detalhamento para perfis laminados, perfis formados a frio e perfis compostos. As principais recomendações que devem conter no projeto dos perfis referem-se ao padrão de folha de projeto, contendo margem, legenda, escala métrica, desenhos representados na cor preta e separado por vistas evitando repetição de detalhes e linhas desnecessárias, as cotas devem ser apresentadas em desenhos e em caracteres com tamanho suficiente para garantir legibilidade, traduzindo fielmente as informações da peça para o projeto e fabricação da mesma, especificando materiais utilizados e suas especificações.

Todavia, para cada tipo de perfil, existem informações importantes no detalhamento, entretanto, para o outro perfil é desnecessária a mesma informação e vice-versa, citando como exemplo, perfil laminado que já é comprado através da siderúrgica sendo necessária a utilização da nomenclatura, conforme a NBR 15980 (ABNT, 2011), para o efeito de compra do material, ficando de responsabilidade do cliente apenas o corte no comprimento da peça. Já para um perfil dobrado a frio, se faz necessário o raio de dobramento do perfil, a espessura do material e as dimensões totais da peça planificada, e, para o perfil soldado é necessária a simbologia de solda, apresentando qual tipo de solda utilizar, tamanho da solda e espessura da solda.

Pode-se então, comparar os métodos de detalhamento recomendados com aqueles empregados pela indústria metalúrgica, concluindo-se que as recomendações foram adequadas, facilitando a leitura e interpretação do projeto e dando agilidade ao processo produtivo dos perfis executados, caso não fossem adequadas poderiam gerar divergências na

execução, descarte de peças produzidas de maneira errada, gerando retrabalho e atrasando o cronograma de produção desses perfis.

Foi observado que os perfis laminados são perfis adquiridos direto da indústria siderúrgica, por isso a fabricação é realizada na própria siderúrgica, onde a indústria fabricante de estruturas metálicas fica responsável apenas por informar qual perfil será adquirido, sua armazenagem e o processo de corte no comprimento da peça através de uma serra fita. Os perfis formados a frio são peças formadas a partir de chapas adquiridas na indústria siderúrgica e beneficiadas na empresa fabricante de estruturas metálicas através de uma guilhotina para cortar a peça no tamanho certo e a dobradeira CNC para executar o dobramento na peça a ser executada. Os perfis compostos são formados a partir de chapas adquiridas na indústria siderúrgica que sofrem um processo de dobramento se transformando em um perfil dobrado a frio, que após esse dobramento, vai para o processo de soldagem onde é utilizada a máquina de solda MIG, executando esse processo através das orientações do projeto.

Observa-se, então, que os detalhamentos são importantes para auxiliar a execução das peças e também a execução da edificação de modo que não se tenha erros de execução, dificuldades de montagem, descarte desnecessário de material e atraso no cronograma da edificação.

CAPÍTULO 7

7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para a continuação desse trabalho, pode se sugerir algumas pesquisas futuras:

- a) Indicar as diferenças de custos para cada tipo de elemento metálico.
- b) Analisar as diferentes formas de ligações aplicadas para a execução de cada tipo de elemento metálico.
- c) Identificar os tipos de elemento metálico mais utilizados para a execução de silos

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-10067 Princípios de representação em desenho técnico**. Rio de Janeiro. ABNT 1995.

_____. **NBR-10068 Folha de desenho – Leiaute e dimensões - Padronização**. Rio de Janeiro. ABNT 1987.

_____. **NBR-10126 Cotagem em desenho técnico**. Rio de Janeiro. ABNT 1987.

_____. **NBR-14611 Desenho técnico – Representação simplificada de estruturas metálicas**. Rio de Janeiro. ABNT 2000.

_____. **NBR-14762 Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio**. Rio de Janeiro. ABNT 2010.

_____. **NBR-15980 Perfis laminados de aço para uso estrutural – Dimensões e Tolerâncias**. Rio de Janeiro. ABNT 2011.

_____. **NBR-5884 Perfil I estrutural de aço soldado por arco elétrico – Requisitos Gerais**. Rio de Janeiro. ABNT 2013.

_____. **NBR-6355 Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização**. Rio de Janeiro. ABNT 2012.

_____. **NBR-7007 Aço-carbono e aço microligado para barras e perfis laminados a quente para uso estrutural - Requisitos**. Rio de Janeiro. ABNT 2016.

_____. **NBR-8196 Emprego de escalas em desenho técnico - Procedimento**. Rio de Janeiro. ABNT 1999.

_____. **NBR-8800 Projeto de Estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro. ABNT 2008.

BAUERMANN, M. **Investigação sobre o processo de projeto em edifícios de andares múltiplos de aço**. Dissertação Mestrado em construção Metálica – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2002.

CARVALHO P. R. M. de. GRIGOLETTI G., BARBOSA G. D. **Curso básico de perfis de aço formados a frio** 3º edição:2014

CASTRO, E.M.C. **Patologia dos edifícios em estrutura metálica**. 1999. 202 p. Dissertação (Mestrado em construção Metálica) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1999.

DIAS, L. A. M. **Estruturas de aço: conceitos, técnicas e linguagem**. 8ª. Ed. São Paulo: Zigurate Editora, 1997. 297p

GUARNIER, C. R. F. **Metodologia de detalhamento de estrutura metálica**. Dissertação Mestrado em construção Metálica – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

MORAES, F. R. de. **Uma contribuição ao estudo do processo de projeto de empreendimentos em construção metálica – uma visão segundo a nova filosofia de produção**. 2000. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2000.

NOVAES, C. C. **Diretrizes para garantia da qualidade do projeto na produção de edifícios habitacionais**. Tese Doutorado em Engenharia civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 1996

PFEIL W., PFEIL M. **Estrutura de aço dimensionamento prático de acordo com NBR 8800:2008**. 8ª. Ed. Rio de Janeiro: Livro Técnico e Científico Editora, 2009.

PINHEIRO, A. C. F. **Estruturas metálicas: cálculos, detalhes, exercícios e projetos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

RAAD Junior, A. A. **Diretrizes para fabricação e montagem das estruturas metálicas**. 1999. Dissertação Mestrado em construção Metálica – Escola de Minas, universidade federal de Ouro Preto, Ouro preto 1999.

TEIXEIRA, R. B. **Análise da gestão do processo de projeto estrutural de construções metálicas**. Dissertação Mestrado em Engenharia de Estruturas. Escola da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

ANEXO A – Perfis estruturais laminados NBR15980 (ABNT, 2011)

Denominação comercial	Referência pol	Alma		Mesa		Massa
		d	t _w	b _f	t _f	
mm x kg/m	pol x lb/pés	mm	mm	mm	mm	Kg/m
HP 200 x 53,0	HP 8 x 36	204	11,3	207	11,3	53,0
HP 250 x 62,0	HP 10 x 42	246	10,5	256	10,7	62,0
HP 250 x 85,0	HP10 x 57	254	14,4	260	14,4	85,0
HP 310 x 79,0	HP 12 x 53	299	11,0	306	11,0	79,0
HP 310 x 93,0	HP 12 x 63	303	13,1	308	13,1	93,0
HP310 x 110,0	HP 12 x 74	308	15,4	310	15,5	110,0
HP310 x 125,0	HP 12 x 84	312	17,4	312	17,4	125,0

Fonte: NBR 15980, (2011).

ANEXO B – Símbolo e descrição dos perfis de acordo com a NBR 15980/2011

Símbolo	Descrição
b	largura da aba da cantoneira
b _f	largura da mesa dos perfis U, I, HP, W, T e WT
d	altura total da seção transversal dos perfis U, I, HP, W, T e WT
t	espessura nominal da aba da cantoneira, espessura em geral
t _f	espessura média da aba dos perfis I, U e espessura da aba dos perfis HP, W, T e WT
t _w	espessura da alma dos perfis I, HP, W, T e WT
CG	centro geométrico
X	distância ao centro geométrico do perfil L e U
Y	distância ao centro geométrico do perfil L, T e WT
X-X	eixo perpendicular ao plano da alma passando pelo centro geométrico
Y-Y	eixo paralelo ao plano da alma, passando pelo centro geométrico
T	fora de esquadro (desvio em relação ao esquadro)
E	empeno
A	assimetria da alma

Fonte: NBR 15980, (2011).

ANEXO C – Perfil U simples – Dimensões, massa e propriedades geométricas NBR 6355 (ABNT, 2012)

Perfil			Dimensões				Eixo x				Eixo y						
U	m kg/m	A cm ²	b _w mm	b _f mm	t = t _n mm	r _i mm	I _x cm ⁴	W _x cm ³	r _x cm	X _g cm	x ₀ cm	I _y cm ⁴	W _y cm ³	r _y cm	I _t cm ⁴	C _w cm ⁶	r ₀ cm
125 x 75 x 2,65	5,54	7,06	125	75	2,65	2,65	183,39	29,34	5,10	2,17	4,92	41,25	7,74	2,42	0,165	1090,88	7,49
125 x 75 x 3,00	6,24	7,95	125	75	3,00	3	205,37	32,86	5,08	2,19	4,92	46,29	8,72	2,41	0,238	1218,99	7,47
125 x 75 x 3,35	6,94	8,84	125	75	3,35	3,35	226,84	36,29	5,06	2,21	4,91	51,25	9,68	2,41	0,330	1343,56	7,45
125 x 75 x 3,75	7,73	9,85	125	75	3,75	3,75	250,76	40,12	5,05	2,22	4,90	56,79	10,77	2,40	0,461	1481,66	7,43
125 x 75 x 4,25	8,71	11,09	125	75	4,25	4,25	279,74	44,76	5,02	2,25	4,89	63,56	12,10	2,39	0,667	1648,01	7,41
125 x 75 x 4,75	9,67	12,32	125	75	4,75	4,75	307,72	49,24	5,00	2,27	4,88	70,14	13,42	2,39	0,926	1807,54	7,38
125 x 75 x 6,30	12,58	16,02	125	75	6,30	6,3	388,20	62,11	4,92	2,35	4,85	89,36	17,35	2,36	2,117	2260,41	7,30
125 x 75 x 8,00	15,40	19,62	125	75	8,00	12	455,07	72,81	4,82	2,47	4,86	106,87	21,25	2,33	4,182	2688,83	7,23
150 x 50 x 2,00	3,82	4,87	150	50	2,00	2	158,88	21,18	5,71	1,09	2,62	10,93	2,79	1,50	0,065	430,47	6,46
150 x 50 x 2,25	4,28	5,46	150	50	2,25	2,25	177,32	23,64	5,70	1,10	2,61	12,20	3,13	1,49	0,092	479,10	6,44
150 x 50 x 2,65	5,02	6,39	150	50	2,65	2,65	206,17	27,49	5,68	1,12	2,60	14,18	3,65	1,49	0,150	554,61	6,42
150 x 50 x 3,00	5,66	7,20	150	50	3,00	3	230,76	30,77	5,66	1,13	2,59	15,87	4,10	1,48	0,216	618,42	6,40
150 x 50 x 3,35	6,28	8,01	150	50	3,35	3,35	254,76	33,97	5,64	1,15	2,58	17,52	4,55	1,48	0,299	680,15	6,38
150 x 50 x 3,75	7,00	8,91	150	50	3,75	3,75	281,45	37,53	5,62	1,16	2,57	19,35	5,04	1,47	0,417	748,21	6,35
150 x 50 x 4,25	7,87	10,03	150	50	4,25	4,25	313,74	41,83	5,59	1,19	2,56	21,57	5,66	1,47	0,603	829,62	6,32
150 x 50 x 4,75	8,74	11,13	150	50	4,75	4,75	344,84	45,98	5,57	1,21	2,55	23,70	6,25	1,46	0,836	907,06	6,29
150 x 50 x 6,30	11,34	14,45	150	50	6,30	6,3	433,86	57,85	5,48	1,28	2,51	29,80	8,01	1,44	1,909	1123,08	6,20
150 x 50 x 8,00	13,83	17,62	150	50	8,00	12	503,31	67,11	5,34	1,38	2,50	35,23	9,72	1,41	3,756	1320,98	6,07
150 x 75 x 2,65	6,06	7,72	150	75	2,65	2,65	278,09	37,08	6,00	2,00	4,63	43,77	7,95	2,38	0,181	1677,77	7,94
150 x 75 x 3,00	6,83	8,70	150	75	3,00	3	311,80	41,57	5,99	2,01	4,62	49,14	8,96	2,38	0,261	1876,92	7,92
150 x 75 x 3,35	7,60	9,68	150	75	3,35	3,35	344,82	45,98	5,97	2,03	4,61	54,42	9,95	2,37	0,362	2071,06	7,91
150 x 75 x 3,75	8,47	10,79	150	75	3,75	3,75	381,72	50,90	5,95	2,05	4,60	60,35	11,07	2,37	0,505	2286,90	7,88
150 x 75 x 4,25	9,54	12,16	150	75	4,25	4,25	426,60	56,88	5,92	2,07	4,59	67,58	12,45	2,36	0,731	2547,82	7,86
150 x 75 x 4,75	10,60	13,51	150	75	4,75	4,75	470,11	62,68	5,90	2,09	4,58	74,63	13,81	2,35	1,015	2799,05	7,83

Fonte: NBR 6355, (2012).

ANEXO D – Símbolos e significados conforme a NBR 6355 (ABNT, 2012)

m	massa do perfil por unidade de comprimento
A	área da seção transversal do perfil
b _w	Largura nominal da alma
b _f	Largura nominal da mesa ou aba
t	espessura da chapa, excluindo revestimento
r _i	raio interno de dobramento
I _x	momento de inércia da seção transversal do perfil em relação ao eixo x
W _x	Módulo de resistência elástico da seção transversal do perfil em relação ao eixo x
r _x	Raio de giração da seção transversal do perfil em relação ao eixo x
X _g	Distância do centroide a face externa do perfil na direção do eixo x
X ₀	Distância do centro de torção ao centroide, na direção do eixo x
I _y	momento de inércia da seção transversal do perfil em relação ao eixo y
W _y	Menor módulo de resistência elástico da seção transversal do perfil em relação ao eixo y
r _y	Raio de giração da seção transversal do perfil em relação ao eixo y
I _t	Momento de inércia à torção uniforme da seção transversal do perfil
C _w	constante de empenamento da seção transversal do perfil
r ₀	raio de giração polar da seção transversal do perfil em relação ao centro de torção

Fonte: NBR 6355, (2012).

ANEXO E – Perfil soldado série CS – Dimensões, massa e propriedades geométricas NBR 5884 (ABNT, 2013)

PERFIL	MASSA	AREA	ALT.	ALMA				MESAS				EIXO X - X				EIXO Y - Y				rt	IT	Cw	h/tw	bf/2tf	d/af	ec	u	U/A
CS	m	A	d	tw	h	tf	bf	Ix	Wx	Iy	Zy	Iy	Wy	Iy	Zy	cm	cm ⁴	cm ⁶	cm	cm ⁴	cm ⁶	cm ⁻¹	mm	m ² /m	m ⁻¹			
150 x 25	25,4	32,4	150	6,3	134	8,0	150	1337	178	6,42	199	450	60	3,73	91	4,1	6	22685	21	9,4	1,250	5	0,89	275				
150 x 29	28,9	36,8	150	6,3	131	9,5	150	1527	204	6,44	227	535	71	3,81	108	4,14	10	26372	21	7,9	1,053	5	0,89	242				
150 x 31	30,6	39	150	8	131	9,5	150	1559	208	6,32	235	535	71	3,7	109	4,09	11	26372	16	7,9	1,053	5	0,88	226				
150 x 37	37,3	47,5	150	8	125	12,5	150	1908	254	6,34	289	704	94	3,85	143	4,15	22	33234	16	6	0,800	5	0,88	185				
150 x 45	45,1	57,4	150	8	118	16,0	150	2274	303	6,29	349	901	120	3,96	152	4,2	43	40401	15	4,7	0,625	6	0,88	153				
200 x 29	29	37	200	6,3	187	6,30	200	2778	278	8,66	299	840	84	4,76	128	5,37	5	78791	30	15,9	1,587	3	1,19	322				
200 x 34	34,2	43,6	200	6,3	184	8,0	200	3278	328	8,67	361	1067	107	4,95	162	5,45	8	98304	29	12,5	1,250	5	1,19	273				
200 x 39	38,8	49,4	200	6,3	181	9,5	200	3762	376	8,73	414	1267	127	5,06	192	5,51	13	114919	29	10,5	1,053	5	1,19	241				
200 x 41	41,2	52,5	200	8	181	9,5	200	3846	385	8,66	427	1267	127	4,91	193	5,44	15	114919	23	10,5	1,053	5	1,18	225				
200 x 50	50,2	64	200	8	175	12,5	200	4758	476	8,62	530	1667	167	5,1	253	5,52	29	146484	22	8	0,800	5	1,18	184				
200 x 61	60,8	77,4	200	8	168	16,0	200	5747	575	8,62	645	2134	213	5,25	323	5,58	58	180555	21	6,3	0,625	6	1,18	152				
250 x 43	42,9	54,7	250	6,3	234	8,0	250	6531	522	10,93	570	2084	167	6,17	252	6,81	11	305021	37	15,6	1,250	5	1,49	272				
250 x 49	48,7	62,1	250	6,3	231	9,5	250	7519	602	11	655	2474	198	6,31	299	6,87	16	357736	37	13,2	1,053	5	1,49	240				
250 x 52	51,8	66	250	8	231	9,5	250	7694	616	10,8	678	2475	198	6,12	301	6,79	18	357736	29	13,2	1,053	5	1,48	224				
250 x 63	63,2	80,5	250	8	225	12,5	250	9581	766	10,91	843	3256	260	6,36	394	6,89	37	459035	28	10	0,800	5	1,48	184				
250 x 66	65,9	83,9	250	9,5	225	12,5	250	9723	778	10,77	862	3257	261	6,23	396	6,84	39	459035	24	10	0,800	5	1,48	176				
250 x 76	76,5	97,4	250	8	218	16,0	250	11659	933	10,94	1031	4168	333	6,54	503	6,97	72	570375	27	7,8	0,625	6	1,48	152				
250 x 79	79	100,7	250	9,5	218	16,0	250	11788	943	10,82	1049	4168	333	6,43	505	6,92	75	570375	23	7,8	0,625	6	1,48	147				
250 x 84	84,2	107,3	250	12,5	218	16,0	250	12047	964	10,6	1085	4170	334	6,23	509	6,84	84	570375	17	7,8	0,625	6	1,48	138				
250 x 90	90,4	115,1	250	9,5	212	19,0	250	13456	1075	10,81	1204	4949	396	6,56	599	6,98	121	660084	22	6,6	0,526	6	1,48	129				
250 x 95	95,4	121,5	250	12,5	212	19,0	250	13694	1096	10,62	1238	4951	396	6,38	602	6,9	129	660084	17	6,6	0,526	6	1,48	122				
250 x 108	108	137,6	250	12,5	205	22,4	250	15501	1240	10,81	1406	5837	467	6,51	708	6,96	202	755442	16	5,6	0,446	8	1,48	108				

Fonte: NBR 5884, (2013).

ANEXO F - Símbolos e significados conforme a NBR 5884 (ABNT, 2013)

d	altura do perfil
bf	largura da mesa
tw	espessura da alma
tf	espessura da mesa
h	altura da mesa
ec	perna efetiva do cordão de solda (dimensão mínima do filete compatível com a maior espessura)
A	area da seção
P	Peso do perfil por metro linear, excluindo o peso dos filetes de solda
U	Area de pintura por metro linear
EIXO x-x	Linha paralela à mesa que passa pelo centro de gravidade na seção transversal do perfil
EIXO y-y	Linha perpendicular ao eixo x-x que passa pelo centro de gravidade da seção transversal do perfil
Ix	Momento de inércia em relação ao eixo x-x
Wx	$2I_x/d$ - Módulo de resistência elástico da seção em relação ao eixo x-x
Rx	$\sqrt{I_x/A}$ Raio de giração em relação ao eixo x-x
Zx	Módulo de resistência plástico em relação ao eixo x-x
Iy	Momento de inércia em relação ao eixo y-y
Wy	$2I_y/br$ - Modulo de resistencia elastico da seção em relação ao eixo y-y
ry	$\sqrt{I_y/A}$ Raio de giração em relação ao eixo y-y
Zy	Modulo de resistencia plastico em relação ao eixo y-y
rT	Raio de giração da seção formada pela mesa comprimida mais 1/6 da alma em relação ao eixo y-y
IT	$[(h-tf) \cdot Tw^3 + 2 \cdot bf \cdot tf^3]/3$ - Momento de inercia a torção

Fonte: NBR 5884, (2013).