

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

SUELEN CAROLINE DO NASCIMENTO

**ÁBACO DE PRÉ DIMENSIONAMENTO DE TERÇAS EM PERFIL U
FORMADO A FRIO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO
2019

SUELEN CAROLINE DO NASCIMENTO

**ÁBACO DE PRÉ DIMENSIONAMENTO DE TERÇAS EM PERFIL U
FORMADO A FRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Savaris

TOLEDO

2019



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 234

ÁBACO DE PRÉ DIMENSIONAMENTO DE TERÇAS EM PERFIL U FORMADO A FRIO

por

Suelen Caroline do Nascimento

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 11:10h do dia **20 de Novembro de 2019** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Prof. Dr. Rodnny Jesus Mendoza Fakhye
(UTFPR – TD)

Prof. Dr. Lucas Boabaid Ibrahim
(UTFPR – TD)

Prof. Dr. Gustavo Savaris
(UTFPR – TD)
Orientador

Visto da Coordenação
Prof. Dr Fúlvio Nataércio Feiber
Coordenador da COECI

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e saúde.

Aos meus pais Maria e Paulo pelo apoio que sempre me deram em seguir meus estudos e realizar meus sonhos.

Ao meu irmão Douglas pelo exemplo de dedicação e sabedoria.

Aos meus amigos e amigas que sempre acreditaram em mim, me consolaram nos momentos difíceis e me inspiram a ser uma pessoa melhor.

RESUMO

NASCIMENTO, Suelen Caroline. **Ábaco de pré dimensionamento de terças em perfil U formado a frio**. 2019. f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2019.

As terças são elementos constituintes da cobertura de uma edificação e tem a função de dar apoio as telhas e transmitir os esforços atuantes sobre o plano da cobertura para as tesouras. O uso de perfis formados a frio como terças de cobertura tem sido bastante utilizado na construção civil por ser um material leve e pré-fabricado, tornando a execução da obra mais rápida. Devido à grande variedade de perfis disponíveis no mercado e as várias possibilidades de cargas sobre as terças surge a necessidade de uma ferramenta de apoio para automatizar o dimensionamento deste elemento. Neste contexto, este trabalho apresenta um ábaco de pré-dimensionamento de terças em perfil U com enrijecedores de borda formado a frio, usando como método de dimensionamento o Método das Seções Efetivas, disposto na NBR 14762 (ABNT,2010). O ábaco final usa os perfis padronizados pela NBR 6355 (ABNT,2012) e contempla terças com vãos livres entre 1,5 e 8 metros, espaçamento entre terças entre 1,2 e 1,8 metros e pressão devido ao vento entre 0,6 e 1,2 kN/m².

Palavras-chave: Ábaco. Perfil Ue. Terças. Pré-dimensionamento. Perfil formado a frio.

ABSTRACT

NASCIMENTO, Suelen Caroline. **Cold formed Ue shapes pre-design abacus**. 2019. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2019.

Purlins are a constituent element of the roof of a building and have the function of supporting the tiles and transmitting the efforts acting on the plane of the roof to the trusses. The use of cold-formed shapes as roofing purlins has been widely used in civil construction because it is a lightweight and prefabricated material, making the execution of the work faster. Due to the wide variety of shapes available on the Market and the various possibilities of purlins loads, a support tool is needed to automate the design of this element. In this context, this work presents a U-shapes design abacus with cold-formed edge stiffeners, using the Effective Sections Method, as laid down in NBR (ABNT,201). The final abacus uses the profiles standardized by NBR 6355 (ABNT,2012) and includes free spans purlins between 1,5 and 8 meters, spacing between purlins from 1,2 to 1,8 meters and wind pressure between 0,6 and 1,2 kN/m².

Keywords: Abacus. Ue shapes. Purlin. Pre-design. Cold-formed steel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Partes componentes de um galpão.....	13
Figura 2 – Modos de deformação de perfil U enrijecido.....	15
Figura 3 – Relação área x vão livre de perfis U.....	16
Figura 4 – Taxas de consumo de aço x vão livre.....	17
Figura 5 – Distribuição de tensões ao longo de um elemento.....	19
Figura 6 – Ábaco de pré-dimensionamento para pórtico plano com coluna igual a 6 metros	21
Figura 7 – Ábaco de pré-dimensionamento para arco em cantoneira dupla	22
Figura 8 – Ábaco de pré-dimensionamento para treliça plana trapezoidal de cantoneira dupla	23
Figura 9 – Dimensões do galpão.....	24
Figura 10 – Pressão devido ao vento x velocidade básica do vento	34
Figura 11 – Perfis resistente para cada terça.....	36
Figura 12 – Ábaco de pré-dimensionamento de terças em perfil U enrijecido formado a frio	42
Figura 13 – Identificação de perfil pelo ábaco	43
Figura 14 – Massa da terça x vão livre para entre terças de 1,20m.....	44
Figura 15 – Massa da terça x vão livre para entre terças de 1,40m.....	44
Figura 16 – Massa da terça x vão livre para entre terças de 1,60m.....	45
Figura 17 – Massa da terça x vão livre para entre terças de 1,80m.....	45
Figura 18 – Exemplo de aplicação do ábaco.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação entre a geometria do perfil e o modo de instabilidade.....	17
Tabela 2 – Valores do coeficiente de flambagem local k_l	28
Tabela 3 – Valores mínimos de relação D/b_w para perfis U enrijecidos	30
Tabela 4 – Coeficientes de forma e fator S_2 para galpões	33
Tabela 5 – Perfis com fator de redução de momento fletor associado a flambagem distorcional	40

LISTA DE SÍMBOLOS

C_b	Fator de modificação para diagrama de momento fletor não uniforme
C_w	Constante de empenamento da seção transversal
E	Módulo de elasticidade do aço
G	Módulo de elasticidade transversal
I_x	Momento de inércia da seção bruta
$I_x; I_y$	Momentos de inércia da seção bruta em relação aos eixos principais x e y
J	Constante de torção
$K_y L_y$	Comprimento efetivo de flambagem global em relação ao eixo y
$K_z L_z$	Comprimento efetivo de flambagem global em relação ao eixo z
L	Comprimento total da terça
M_{dist}	Momento fletor de flambagem distorcional elástica
M_e	Momento fletor de flambagem global elástica
M_l	Momento fletor de flambagem local elástica
M_n	Momento fletor solicitante calculado com considerando as combinações de ações para estados limites de serviço
M_{Rd}	Momento fletor resistente de cálculo
M_{Sd}	Momento fletor solicitante de cálculo
$M_{x,Sd}; M_{y,Sd}$	Momento fletor solicitante de cálculo em relação aos eixos principais x e y
$N_{c,Rd}$	Força axial de compressão resistente de cálculo
$N_{c,Sd}$	Força axial de compressão solicitante de cálculo
$N_{ex}; N_{ey}$	Forças axiais de flambagem global elástica por flexão em relação aos eixos x e y
N_{ez}	Força axial de flambagem elástica por torção
W	Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação a fibra extrema que atinge o escoamento
W_c	Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação a fibra extrema comprimida

$W_{c,ef}$	Módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação a fibra extrema comprimida
W_{ef}	Módulo de resistência elástico da seção efetiva em relação a fibra extrema que atinge o escoamento
b_f	Largura nominal da mesa
b_w	Largura nominal da alma
f_y	Resistência ao escoamento do aço
h	Altura da alma
k_l	Coefficiente de flambagem local para a seção completa
k_v	Coefficiente de flambagem local por cisalhamento
q	Carga uniformemente distribuída considerando as combinações de serviço
r_o	Raio de giração polar da seção bruta em relação ao centro de torção
t	Espessura da chapa
γ	Coefficiente de ponderação das ações ou das resistências, em geral
λ_p	Índice de esbeltez reduzido do elemento ou da seção completa
λ_{pd}	Índice de esbeltez reduzido do elemento calculado com a tensão para estados limites de serviço
λ_o	Índice de esbeltez reduzido associado a flambagem global
ν	Coefficiente de Poisson do aço
X_{dist}	Fator de redução do esforço resistente, associado a flambagem distorcional
X_{FLT}	Fator de redução do momento fletor resistente, associado a flambagem lateral com torção

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	JUSTIFICATIVA	11
1.2	OBJETIVOS.....	12
1.2.1	Objetivo geral	12
1.2.2	Objetivos específicos.....	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	COBERTURAS METÁLICAS EM GALPÕES	13
2.2	PERFIL FORMADO A FRIO	14
2.3	TERÇAS EM PERFIL U FORMADO A FRIO	16
2.4	DIMENSIONAMENTO.....	18
2.4.1	Método da Largura Efetiva (MLE).....	18
2.4.2	Método da Resistência Direta (MRD)	19
2.4.3	Método da Seção Efetiva (MSE)	20
2.5	PARAMÊTROS PARA ELABORAÇÃO DE ÁBACOS	20
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
3.1	MODELO ESTRUTURAL	24
3.2	ANÁLISE ESTRUTURAL	25
3.2.1	Combinações de ações para ELU e ELS	25
3.3	DIMENSIONAMENTO.....	27
3.3.1	Momento fletor.....	28
3.3.2	Força Cortante	31
3.3.3	Deslocamentos.....	31
3.4	ELABORAÇÃO DOS ÁBACOS.....	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
4.1	PRESSÃO DEVIDO AO VENTO EM GALPÕES	33
4.2	DIMENSIONAMENTO DOS PERFIS.....	35
4.3	ÁBACO	41
4.3.2	Exemplo de aplicação do ábaco.....	46
5	CONCLUSÃO	50
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	50
	REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

Na composição de uma cobertura as terças exercem a função de dar apoio as telhas e transmitir os esforços advindos da ação do vento, do peso das telhas e de manutenção para as tesouras de maneira mais pontual, ajudando também a manter a estabilidade da cobertura. Desta forma, o dimensionamento desse elemento deve ser realizado para que os esforços de flexão e cisalhamento, quando combinados, não ultrapassem a sua capacidade máxima resistente.

Os principais fatores que interferem no dimensionamento de uma terça são a geometria do perfil, área de influência e as cargas atuantes. A geometria do perfil exerce papel fundamental nos cálculos de esforços resistentes, pois, relações entre as dimensões dos elementos da seção transversal podem definir o modo de instabilidade que o perfil apresentará quando submetido aos carregamentos. Já a área de influência abrange, além do espaçamento entre terças, o vão livre, dimensão que associada as cargas atuantes oriundas das ações permanentes e variáveis da cobertura implicam no momento fletor solicitante de cálculo, fenômeno que se sobressai no dimensionamento de terças.

Com a variação dos parâmetros predominantes no dimensionamento das terças pode-se obter uma grande quantidade de perfis que atendam a necessidade do projeto. Neste contexto, este trabalho visou a elaboração de um ábaco para o pré-dimensionamento de terças de cobertura.

Para a elaboração do ábaco fez-se necessário estabelecer um modelo estrutural e valores de pressão devido ao vento que definiu o máximo momento fletor e força cisalhante solicitantes na terça. Utilizando os perfis U enrijecidos formados a frio disponíveis na norma brasileira foi estabelecido uma relação entre os esforços solicitantes x esforços resistentes dos perfis analisados, adotando como variáveis de entrada no ábaco o vão livre, espaçamento entre terças e a pressão devido ao vento.

1.1 JUSTIFICATIVA

Dentre as estruturas metálicas possíveis de serem utilizadas para compor terças de cobertura, Vieira (2009) fez um estudo comparativo entre terças de aço em vigas, em treliças planas e em treliças multiplanares, encontrando perfis formados a frio como alternativa mais econômicas para esta finalidade.

Afim de facilitar o dimensionamento de elementos formados em aço, D'Alembert (2012), elaborou ábacos de pré-dimensionamento para pórticos de galpões formados por perfis laminados do tipo W considerando dimensões comumente utilizadas neste tipo de edificação e estágios de carregamento conforme a ação do vento.

Para coberturas em perfis formados a frio Bianchi (2015) elaborou ábacos de pré-dimensionamento para coberturas em arco treliçadas utilizando perfis do tipo U e com cantoneiras duplas.

Rossoni (2018) abordou em seu estudo ábacos de pré-dimensionamento de treliças e tesouras de cobertura em perfis formados a frio, usando como variáveis de entrada em seus ábacos o vão livre, espaçamento entre terças, altura da coluna, espaçamento entre pórticos e velocidade básica do vento.

Diante disso, constata-se a necessidade de elaboração de ábacos de pré-dimensionamento de terças em perfil formado a frio, como forma de complementar os estudos já existentes nessa área.

Além disso, os ábacos elaborados servirão como ferramenta de auxílio para elaboração de projetos, afim de tornar este processo mais prático e rápido.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Elaboração de um ábaco de pré-dimensionamento de terças metálicas em perfil U enrijecido formado a frio.

1.2.2 Objetivos específicos

- Quantificar o máximo momento fletor e força cisalhante atuantes em terças de cobertura, tendo como variáveis o vão livre, o espaçamento entre terças e a pressão devido ao vento;
- Dimensionar pelo método das seções efetivas perfis U enrijecidos formados a frio que atendam as solicitações das terças.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será feita uma breve revisão bibliográfica abordando assuntos relevantes para este trabalho, como coberturas metálicas usuais em galpões, considerações sobre o perfil formado a frio e parâmetros para o dimensionamento de terças de cobertura.

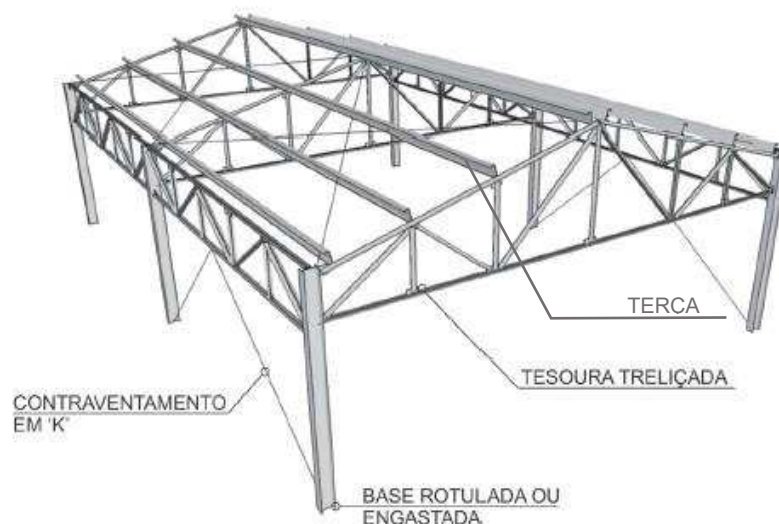
2.1 COBERTURAS METÁLICAS EM GALPÕES

Uma das vantagens de utilizar estruturas metálicas para coberturas, segundo Vieira (2009) é a rapidez de sua execução, devido ao fato de serem peças pré-fabricadas, necessitando apenas de sua montagem no local da obra, garantindo também o aumento da produtividade e da qualidade da construção.

Deste modo, o uso de galpões com coberturas metálicas tornou-se comum em edificações comerciais, industriais ou agrícolas e possuem algumas características bastante peculiares, como serem constituídos por pórticos regularmente espaçados com cobertura superior apoiada em sistemas de terças e vigas ou tesouras e treliças (CBCA, 2010).

Na Figura 1 são apresentados alguns componentes da estrutura metálica de um galpão com um único vão transversal e cobertura de duas águas, formada por terças, tesouras e contraventamento lateral em “K”.

Figura 1 – Partes componentes de um galpão



Fonte: Galpões para usos gerais (CBCA, 2010).

De acordo com Nogueira (2009), no sistema de estabilização de um galpão de uso geral, os pórticos transversais transmitem à fundação as forças devido ao vento que atingem as fachadas laterais. Ainda, segundo o autor, na direção longitudinal o que garante a estabilidade do sistema são os elementos de contraventamento verticais e horizontais, sendo que as terças podem trabalhar como componentes do contraventamento horizontal, além de oferecer simultaneamente o apoio para as telhas de cobertura.

As terças devem ser posicionadas de maneira que seja evitada a flexão no banzo superior da treliça, ou seja, diretamente sobre os nós das vigas. Vieira (2009) salienta que devido à inclinação do telhado os esforços atuantes na terça ocorrem nos dois eixos do centro de gravidade da peça, caracterizando uma flexão oblíqua. Deste modo, deve-se atentar ao correto dimensionamento das terças de cobertura pois seu papel na estabilidade global da estrutura exige deste elemento resistência as cargas de vento combinadas ao seu peso próprio, das telhas e possíveis sobrecargas e ações variáveis.

Durante o processo de elaboração do projeto de uma estrutura, existe uma fase que antecede o dimensionamento, que seria a etapa de pré-dimensionamento (ROSSONI, 2018). Esta etapa pode ser feita através de fórmulas empíricas, conhecimento prático ou a partir de gráficos, sendo que esta última possui resultados mais precisos conforme Bianchi *apud* Rebello (2007), tornando vantajosa a criação de ábacos que facilitem o processo de dimensionamento.

2.2 PERFIL FORMADO A FRIO

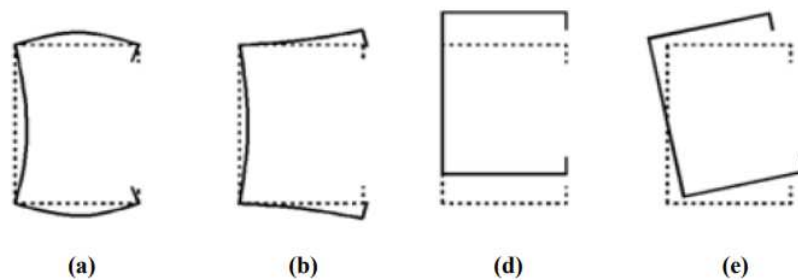
Os perfis formados a frio (PFF) tem sido cada vez mais empregados na construção civil, visto que apresentam a vantagem de serem mais leves comparado a outras estruturas e possuírem uma relação de inércia/peso maior que os perfis laminados, acarretando na menor taxa de consumo de aço. Outras características tornam o perfil formado a frio uma solução estrutural mais eficiente, como a facilidade de adequação à forma e as dimensões solicitadas e o baixo custo de produção em relação ao perfil laminado (NOGUEIRA, 2009).

Geralmente os perfis formados a frio possuem seções abertas, constituídas por chapas finas de aço laminadas a frio ou a quente que são posteriormente dobradas. Essa característica dos perfis formados a frio estabelece relações entre

largura/espessura muito grande, podendo gerar fenômenos de instabilidade global, local, e distorcional, sendo o fenômeno de instabilidade associado à distorção da seção transversal mais comum nos perfis com enrijecedores de borda. Assim, a ocorrência de um ou mais modos de instabilidade do perfil depende do comprimento da barra, da espessura, da geometria da seção transversal, de excentricidades de carregamento e de algumas considerações sobre o processo de fabricação da chapa, entre outros (CHODARUI,2006).

Na Figura 2 são apresentadas as configurações iniciais e as configurações deformadas de um perfil formado a frio sobre a ação de fenômenos de instabilidade local (a); instabilidade distorcional (b); instabilidade global por flexão (d) e instabilidade global por flexo-torção (e).

Figura 2 – Modos de deformação de perfil U enrijecido.



Fonte: Adaptado de Salles (2017).

De acordo com Vieira (2009) os elementos enrijecidos são constituídos por barras planas com duas extremidades paralelas a direção das tensões apoiadas na alma e no enrijecedor de borda. Já os perfis sem enrijecedores são apoiados em apenas uma extremidade paralela a direção das tensões.

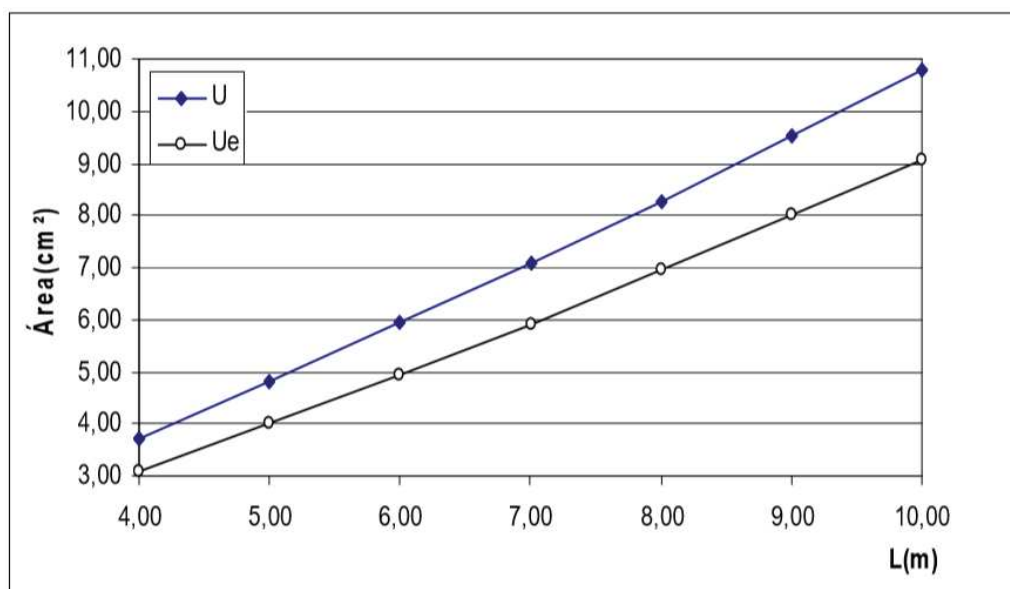
A norma NBR 6355 (ABNT, 2012) – “Perfis Estruturais de Aço Formados a Frio – Padronização” apresenta uma série comercial de perfis formados com chapas entre 0,43 mm a 8,0 mm, indicando suas características geométricas e pesos. Para a padronização a norma estabelece uma série de perfis do tipo cantoneira de abas iguais, perfil U simples e enrijecido, perfil Z enrijecido e perfil cartola. A composição do tipo de perfil e a sua seção transversal define a designação comercial do perfil, como no caso do perfil U com enrijecedor de borda “Ue $b_w \times b_f \times D \times t$ ” tem em sua primeira letra a série do perfil e na sequência suas dimensões de comprimento da alma, da mesa, do enrijecedor e a espessura da chapa.

2.3 TERÇAS EM PERFIL U FORMADO A FRIO

A utilização de perfis formados a frio nas terças de coberturas é muito comum, principalmente os de seção transversal do tipo U simples ou com enrijecedores de borda. Diante disso, Kripka (2010) apresentou uma técnica de otimização no dimensionamento de elementos formados a frio submetidos a flexão simples visando a determinação de parâmetros para o dimensionamento econômico desses perfis. Com base em seu método de otimização o autor encontrou relações entre a altura da seção transversal e o vão livre dos perfis $\frac{L}{bw} = 24$ para perfil U simples e $\frac{L}{bw} = 36$ para perfis U enrijecidos, ou seja, o uso de enrijecedores diminui a altura do perfil em relação ao vão livre.

Na Figura 3 podemos ver que a área da seção transversal nos perfis enrijecidos é menor que a dos perfis simples quando aplicados em um mesmo vão livre, mostrando assim que os enrijecedores são fundamentais na melhora do desempenho do perfil quando submetidos a solicitações de flexão, pois os perfis enrijecidos apresentaram uma economia em média de 17% no consumo de material comparado ao perfil simples (KRIPKA, 2010).

Figura 3 – Relação área X vão livre de perfis U

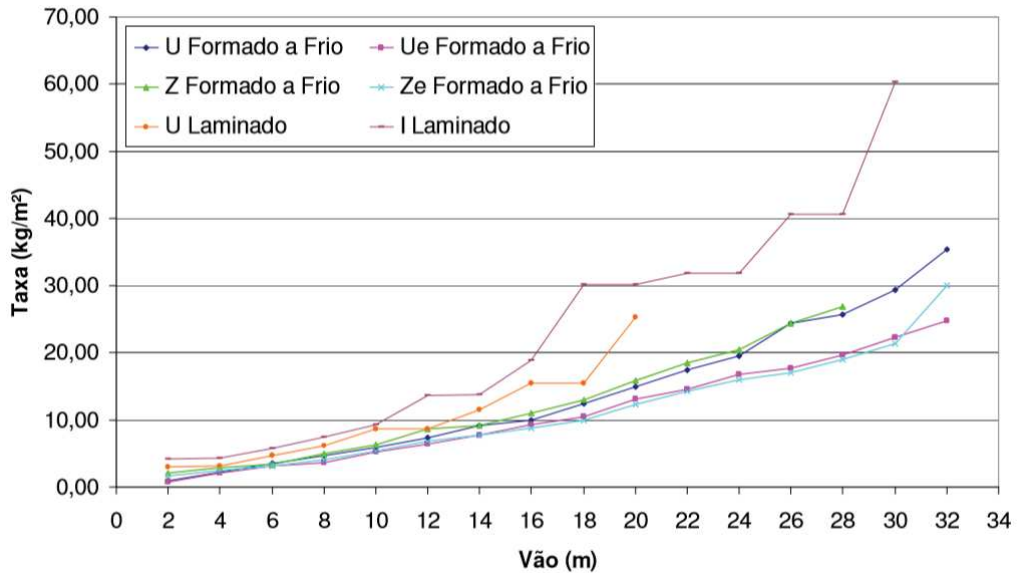


Fonte: Kripka (2010).

Vieira (2009), em seu estudo comparativo entre terças de aço convencionais em vigas, em treliças planas e em treliças multiplanares também apresenta uma

relação entre o vão livre e o peso dos perfis por m² de cobertura para perfis laminados do tipo U e I, perfis formados a frio do tipo U e Z simples e enrijecidos, conforme Figura 4.

Figura 4 – Taxa de consumo de aço (kg/m²) X vão livre (m)



Fonte: Vieira (2009).

Como pode-se observar na Figura 4, dentre as terças analisadas a que possui os maiores pesos de aço por metro quadrado de construção em função do vão livre são as em perfil laminado do tipo I e do tipo U, respectivamente. Para os perfis formados a frio os do tipo U e Z enrijecidos se mostraram mais leves, e, portanto, mais econômicos que os perfis simples, sendo o perfil U enrijecido o mais econômico de todos (VIEIRA, 2009).

Segundo Nogueira *apud* Batista (2009), para perfis do tipo U enrijecidos existem algumas relações geométricas referentes a seção transversal que podem indicar a possível ocorrência de modo de instabilidade distorcional ou local da barra, ajudando assim nas premissas de dimensionamento destes perfis. Na Tabela 1 podemos ver que quanto maior a relação entre a largura da mesa e a largura da alma existem mais chances do perfil sofrer flambagem distorcional, por exemplo.

Tabela 1 – Relação entre a geometria do perfil e o modo de instabilidade.

Quanto menor	Relação geométrica	Quanto maior
<i>Modo local</i>	b_f/b_w	<i>Modo distorcional</i>
<i>Modo distorcional</i>	D/b_w	<i>Modo local</i>
<i>Modo distorcional</i>	b_w/t	<i>Modo local</i>

Fonte: adaptado de Batista (2000).

Os perfis do tipo U sem enrijecedores de borda, apesar se mostrarem menos econômicos pelos estudos citados anteriormente, tem como vantagem não serem passíveis de flambagem distorcional, podendo ser dispensada a verificação quanto a sua resistência neste quesito. No entanto, tratando-se do uso de perfis com ou sem enrijecedores em terças com telhas de aço parafusadas e sujeitas à ação do vento de sucção deve ser calculado o momento fletor resistente a flambagem distorcional, pois o conjunto alma-mesa comprimida pode corresponder ao modo crítico (NBR 14762, 2010).

2.4 DIMENSIONAMENTO

A norma brasileira NBR 14762 (ABNT, 2010) estabelece, com base no método dos estados-limites, os requisitos básicos que devem ser obedecidos na fase do dimensionamento de perfis estruturais de aço formados a frio visando proporcionar ao projetista a garantia da segurança de sua estrutura. Para o cálculo dos deslocamentos e da resistência última a referida norma prevê três métodos teóricos de dimensionamento: o Método da Largura Efetiva (MLE), o Método da Seção Efetiva (MSE) e o Método da Resistência Direta (MRD).

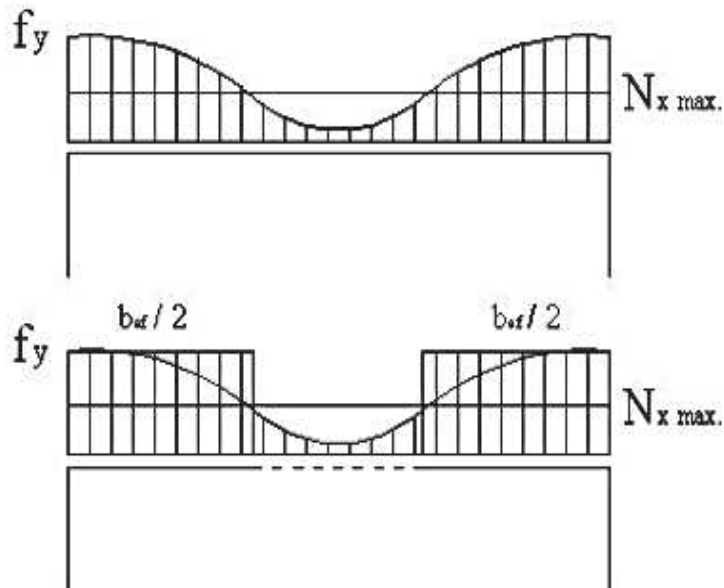
Se tratando de barras submetidas a flexão os três métodos de dimensionamento citados na norma indicam que o momento resistente de cálculo deve ser adotado como o menor entre o momento fletor de início de escoamento da seção efetiva, momento fletor lateral com torção e o momento fletor referente a flambagem distorcional. O procedimento de cálculo da força cortante resistente é o mesmo para os três métodos.

2.4.1 Método da Largura Efetiva (MLE)

O método das larguras efetivas não apresenta limitação ao seu uso em relação à seção transversal do perfil dimensionado. Esta vantagem se justifica pelo fato de o método ser aplicado para cada elemento constituinte do perfil considerando que este possui uma largura efetiva fictícia com distribuição de tensão uniforme, com valor igual às tensões críticas de flambagem de uma chapa longa. Essa consideração não representa a real distribuição de tensões de um perfil, pois em geral os perfis tem

uma distribuição não linear das tensões internas com a aplicação de carregamentos, conforme apresentado na Figura 5 (CBCA, 2012).

Figura 5 – Distribuição de tensões ao longo de um elemento.



Fonte: CBCA, 2012.

Observa-se na Figura 5 que a largura “ b_{ef} ”, é calculada no MLE de modo que a área sobre a curva de distribuição não uniforme de tensões seja igual à soma de duas partes retangulares com largura “ b_{ef} ” e altura igual a intensidade da resistência ao escoamento do aço $f_{y\max.}$

2.4.2 Método da Resistência Direta (MRD)

Dentre os métodos apresentados na norma, o Método da Resistência Direta é o único que considera a seção transversal com suas reais dimensões para efeitos de instabilidade, cita Costa (2012). A única limitação deste método é a necessidade de utilização de programas de análise com base na teoria da elasticidade para determinação dos valores críticos das forças axiais e momentos fletores de flambagem elástica local e distorcional para só depois prosseguir com o cálculo do esforço resistente último.

Nogueira (2009) cita várias vantagens na utilização do MRD para o dimensionamento de perfis formados a frio, entre eles a interação da mesa com a

alma quando a barra é passível de flambagem local garantindo a compatibilidade e equilíbrio entre os elementos, a flambagem distorcional é tratada como um modo de colapso único e sua formulação estimula a otimização de seções transversais.

2.4.3 Método da Seção Efetiva (MSE)

O Método da Seção Efetiva, segundo Costa (2012), tem como vantagem em relação ao Método da Resistência Direta sua facilidade na obtenção dos valores de resistência a flambagem, pois não há condicionamento do uso de programas de análise estrutural baseados em Método dos Elementos Finitos ou Método das Faixas Finitas para obtenção de cargas críticas de flambagem local.

Além disso, esse método, conforme o CBCA (2012), é muito menos trabalhoso que o MLE, pois, as expressões utilizadas para o cálculo dos esforços resistentes dos perfis formados a frio deste método foram obtidos através da dedução de expressões oriundas do MRD, tornando assim, entre os métodos previstos pela norma, o mais usual entre os projetistas para o cálculo manual.

Segundo a NBR 14762 (ABNT, 2010) o método da seção efetiva considera por meio de propriedades geométricas reduzidas da seção transversal dos perfis as resistências de barras submetidas a compressão, tração, flexão e flambagem distorcional.

2.5 PARAMÊTROS PARA ELABORAÇÃO DE ÁBACOS

Dentre os ábacos elaborados para pré-dimensionamento, como ferramenta de auxílio na concepção de um projeto em estruturas metálicas, destacam-se os trabalhos de D'Alembert (2012), para pórticos planos composto por perfis laminados, Bianchi *et al.* (2015) para coberturas em arco treliçadas de perfis formados a frio e Rossoni *et al.* (2018) para treliças e tesouras de cobertura com perfis formados a frio.

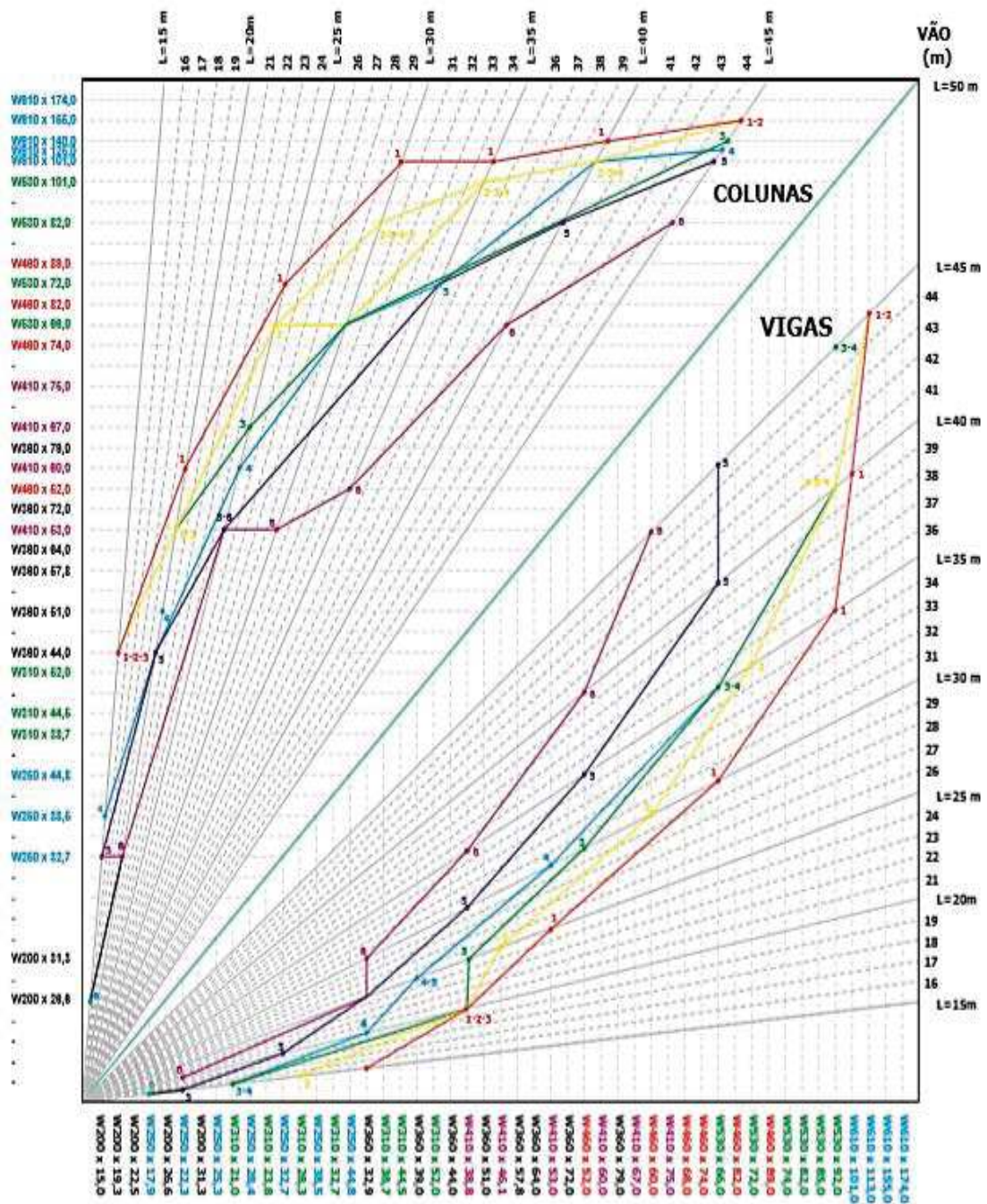
Para a elaboração dos ábacos em pórticos com perfis estruturais laminados (Figura 6), D'Alembert (2012) utilizou como variáveis o vão livre do pórtico, entre 15 e 45 metros, a distância entre pórticos, entre 6 e 12 metros, a altura das colunas, entre 6 e 12 metros e a velocidade básica do vento, entre 30 e 45 m/s.

Foram fixados alguns parâmetros como:

- Inclinação da cobertura igual a 10%;

- Sobrecarga na cobertura igual a 0,25 KN/m²;
- Ação do vento para construções totalmente abertas ou totalmente fechada com quatro faces igualmente impermeáveis;
- Para ação do vento: Fator topográfico e estatístico igual a 1; Fator de rugosidade para classe III e classe B;
- Barras com seção transversal tipo W constituídas em aço ASTM A572 grau 50.

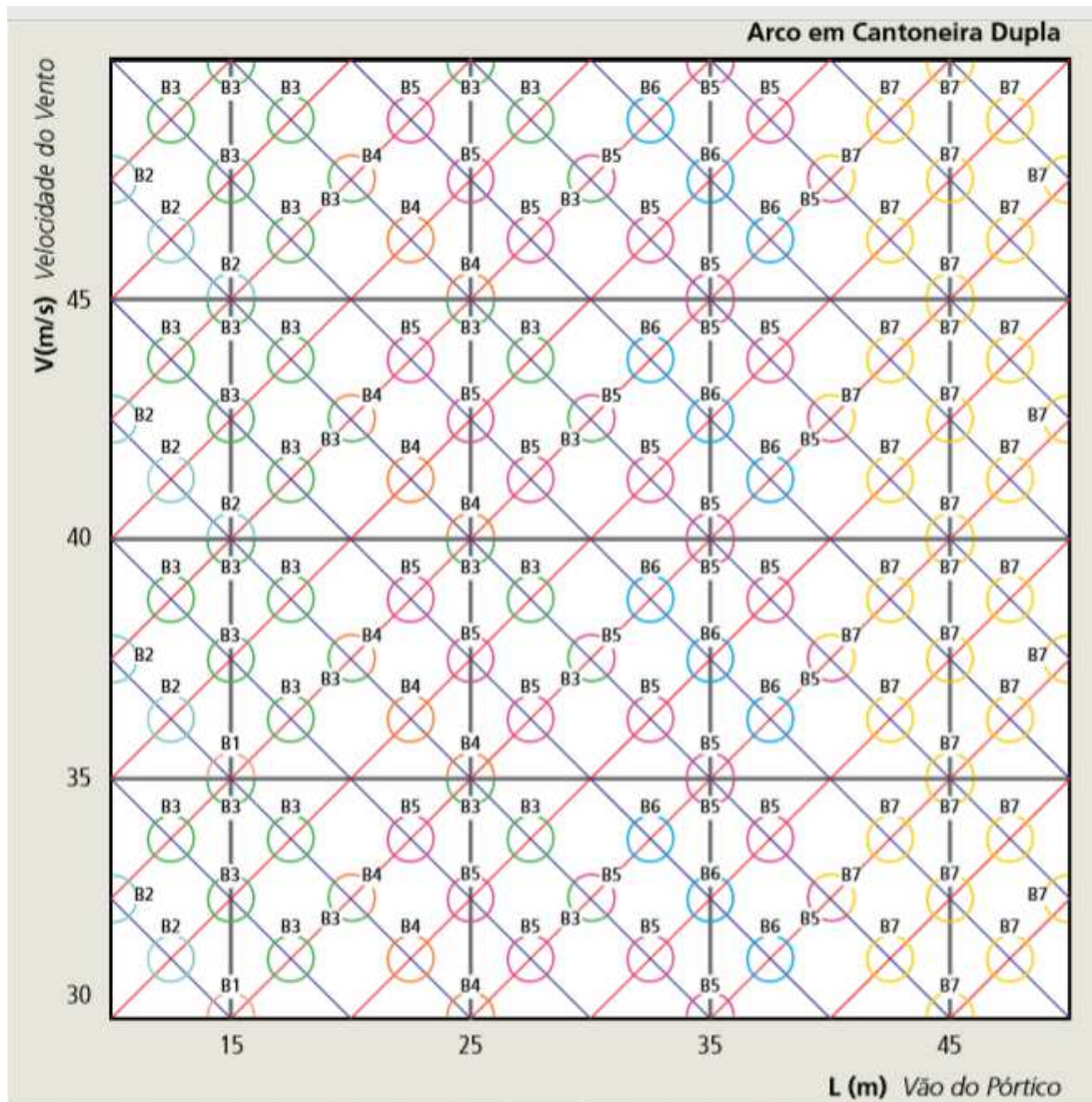
Figura 6 – Ábaco de pré-dimensionamento para pórtico plano com coluna = 6 metros



Fonte: D'Alembert (2012).

De acordo com Bianchi *et al.* (2015) apesar de serem encontradas diversas publicações sobre parâmetros para o pré-dimensionamento de uma cobertura com treliça em arco não existem informações sobre qual seção deve ser adotada para cada um dos elementos que compõem a treliça, como os banzos diagonais e montantes. Diante disso, o autor estudou seções que poderiam atender as necessidades da estrutura quanto aos esforços de compressão, flexão e cisalhamento, buscando o perfil mais econômico para os modelos estruturais por ele preestabelecidos e por fim criando ábacos (Figura 7) de pré-dimensionamento para coberturas em arco.

Figura 7 – Ábaco de pré-dimensionamento para arco em cantoneira dupla.



Fonte: Bianchi *et al.* (2015).

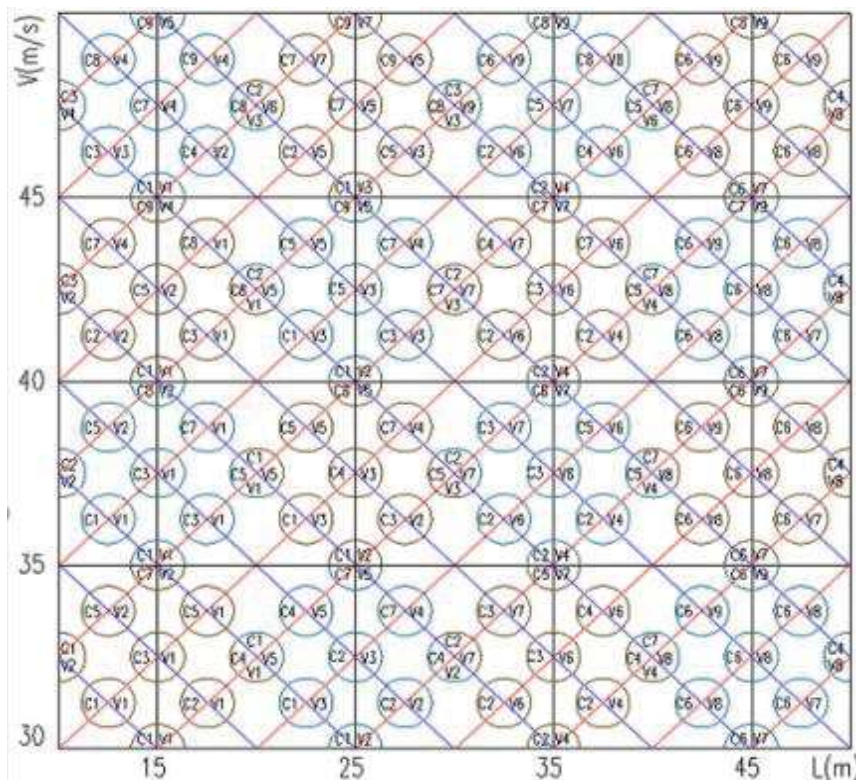
Os ábacos de Bianchi *et al.* (2015) têm como variáveis de entrada o vão livre do pórtico, a velocidade básica do vento, a altura da coluna e espaçamento entre pórtico, a inclinação da cobertura e o espaçamento entre terças.

Dando continuidade aos estudos de Bianchi *et al.* (2015), Rossoni *et al.* (2018) elaborou ábacos de pré-dimensionamento de treliças e tesouras usando para o dimensionamento dos perfis aplicados ao ábaco as prescrições dos estados limites segundo critérios e normas da ABNT.

Rossoni *et al.* (2018) usou modelos estruturais de treliças de banzo paralelos e treliças planas trapezoidais, adotando como modelos estruturais padrões vão livres entre 15 e 45 metros; altura da coluna e distância entre pórticos de 6 a 12 metros, comprimento da edificação de 60 e 63 metros, espaçamento entre terças entre 1,80 e 1,96 metros. O autor também limitou a altura da treliça entre 0,8 e 3,62 metros variando conforme o vão livre.

Os ábacos de Rossoni *et al.* (2018) se assemelham muito aos de Bianchi *et al.* (2015), como podemos ver na Figura 8, inclusive em suas variáveis de entrada e forma de uso.

Figura 8 – Ábaco de pré-dimensionamento para treliça plana trapezoidal de cantoneira dupla.



Fonte: Rossoni *et al.* (2018).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

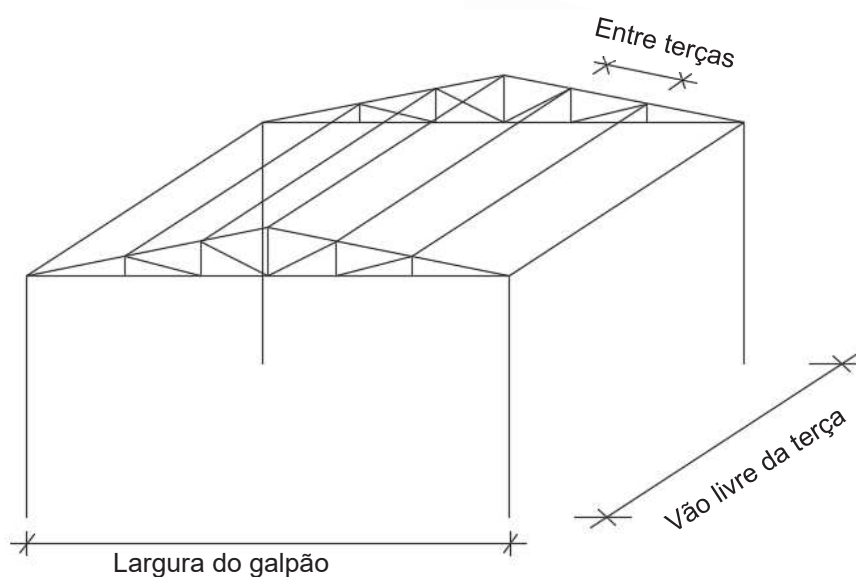
Tendo em vista que o objetivo principal deste trabalho foi a elaboração de um ábaco de pré-dimensionamento de terças para uso em coberturas de galpões industriais, fez-se necessário estabelecer um modelo estrutural e valores de pressão devido ao vento que definem os máximos esforços solicitantes na terça. Posteriormente, foram adotados perfis U enrijecidos formados a frio e padronizados segundo a NBR 6355 (ABNT, 2012) contemplando suas principais características geométricas e apresentando o método adotado para o seu dimensionamento.

Por fim, para a elaboração do ábaco foi estabelecida uma relação entre os esforços solicitantes \times esforços resistentes dos perfis analisados, exigindo como variáveis de entrada no ábaco os parâmetros adotados nos modelos estruturais.

3.1 MODELO ESTRUTURAL

O modelo estrutural adotado neste trabalho é de pórticos transversais (largura do galpão) com tesoura treliçada triangular, espaçados longitudinalmente (vão livre da terça), conforme Figura 9.

Figura 9 – Dimensões do galpão



Fonte: Autoria própria.

Neste modelo são consideradas as seguintes hipóteses:

- Pórticos transversais com ligações rígidas e bases engastadas;
- Pórticos longitudinais contidos verticalmente com bases rotuladas;
- Terças trabalham como viga biapoiada com apoio a cada tesoura;
- Colunas com contenções laterais;
- Existência de vigas de rigidez entre as tesouras para contraventamento horizontal;
- Inclinação da cobertura: 15%;

Os parâmetros variáveis para a elaboração dos ábacos foram escolhidos levando-se em consideração o seu grau de contribuição no momento da análise estrutural, sendo eles:

- Vão livre da terça;
- Espaçamento entre terças;
- Pressão devido ao vento.

3.2 ANÁLISE ESTRUTURAL

Para a análise dos modelos adotados foram seguidas as normas técnicas atualmente em vigor: NBR 6123 (ABNT, 1988) Forças devido ao vento em edificações; NBR 6120 (ABNT, 1980) Cargas para o cálculo de estruturas de edificações; NBR 8800 (ABNT, 2008) Projetos de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, NBR 8681 (ABNT, 2003) Ação e segurança nas estruturas, NBR 14762 Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio (ABNT, 2010).

3.2.1 Combinações de ações para ELU e ELS

Para efeitos de cálculo foram considerados neste estudo cargas acidentais de $0,25 \text{ kN/m}^2$ e peso próprio como carga permanente com o valor variando conforme o perfil adotado. Sobre as terças também atuam as cargas provenientes das telhas que foram consideradas como telhas de aço galvanizado do tipo ondulada com espessura de 6 mm e peso médio de 18 Kg/m^2 , conforme especificações do fabricante.

As forças devido ao vento atuantes nas terças foram definidas seguindo todos os parâmetros definidos na NBR 6123 (ABNT, 1988) considerado que o galpão,

projetado para indústria com alto fator de ocupação, está localizado em um terreno plano de área industrial com cota média do topo dos obstáculos igual a 10 metros.

Foram analisados, para pressão devido ao vento, galpões de dimensões variando seu comprimento entre 50 e 60 metros, largura entre 15 e 45 metros e altura da coluna entre 6 e 12 metros. Por fim, os valores adotados para pressão devido ao vento foram os mais frequentes na maioria dos galpões analisados, com velocidade básica do vento variando entre 30 e 50m/s.

O cálculo dos coeficientes de pressão externo e interno foi realizado com o auxílio do *software* CICLONE 5.0.1 beta que permite, por meio de seus recursos, considerar o efeito do vento em edificações usualmente empregadas na construção civil.

A análise dos esforços atuantes na terça devido a ação das cargas permanentes e acidentais foi realizada com auxílio do *software* FTOOL v4.0 que permite uma avaliação do comportamento da estrutura através de análise global elástica linear.

Para as verificações foram considerados os estados limites últimos (ELU) e estados de limites de serviço (ELS), segundo a norma NBR 14762 (ABNT, 2010). Os estados-limites últimos estão relacionados com a segurança da estrutura devido às combinações mais desfavoráveis de ações previstas. Os estados limites de serviço estão relacionados com o desempenho da estrutura sob condições normais de utilização.

Desta forma, a carga usada no dimensionamento dos perfis foi definida pelo pior caso de combinação entre as ações atuantes na terça, sendo as combinações possíveis:

$$\bullet C_1 = 1,25 \times G_1 + 1,35 \times G_2 + 1,5 \times Q + 1,4 \times 0,6 \times V (+) \quad (1)$$

$$\bullet C_2 = 1,25 \times G_1 + 1,35 \times G_2 + 1,4 \times V + 1,5 \times 0,7 \times Q \quad (2)$$

$$\bullet C_3 = 1,00 \times G_1 + 1,00 \times G_2 + 1,4 \times V (-) \quad (3)$$

Onde:

G_1 é a ação permanente devido ao peso próprio do perfil;

G_2 é a ação permanente devido as telhas;

Q é a ação variável acidental mínima;

$V (+)$ é a ação variável devido ao vento de sobrepressão;

$V(-)$ é a ação variável devido ao vento de sucção.

Para as verificações do comportamento da estrutura sobre condições normais de uso foram utilizadas as seguintes combinações para efeitos de cargas de cálculo:

$$\bullet C_1 = G_1 + G_2 + Q + 0,3 \times V(+)$$
 (4)

$$\bullet C_1 = G_1 + G_2 + 0,7 \times Q + V(-)$$
 (5)

As flechas limites adotadas foram de $L/180$ para ações variáveis de mesmo sentido que o da ação permanente e $L/120$ para ações variáveis de sentido oposto ao da ação permanente.

3.3 DIMENSIONAMENTO

Os perfis escolhidos para serem dimensionados e utilizados nos ábacos são do tipo U com enrijecedores de borda e sem revestimento, padronizados pela NBR 6355 (ABNT, 2012). Esta norma contém as características geométricas, peso e propriedades importantes nos cálculos de esforços resistentes dos perfis, como momento de inércia e momento torçor em torno dos eixos x e y.

A capacidade de trabalho dos perfis analisados foi obtida através do Método da Seção Efetiva (MSE) disposto na NBR 14762 (ABNT, 2010) seção 9.8.4 Barras submetidas à momento fletor e força cortante combinados, em relação aos eixos x e y do perfil. Deste modo, a relação entre os esforços resistentes de cálculo e esforços solicitantes devem satisfazer as Equações 6 e 7.

$$\left(\frac{M_{xSd}}{M_{xRd}}\right)^2 + \left(\frac{V_{xSd}}{V_{xRd}}\right)^2 \leq 1,0$$
 (6)

$$\left(\frac{M_{ySd}}{M_{yRd}}\right)^2 + \left(\frac{V_{ySd}}{V_{yRd}}\right)^2 \leq 1,0$$
 (7)

Para todos os casos estudados foram utilizados como características do material módulo de elasticidade longitudinal $E = 200 \text{ GPa}$, coeficiente de Poisson $\nu = 0,3$ e resistência ao escoamento $f_y = 345 \text{ MPa}$, referente ao Aço ASTM A572 grau 50.

3.3.1 Momento fletor

O momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve ser tomado como o menor valor para que não ocorra o escoamento da seção efetiva, a flambagem lateral com torção e a flambagem distorcional.

O momento fletor resistente no início do escoamento da seção efetiva foi calculado pela Equação 8:

$$M_{Rd} = (W_{ef} \times f_y) / \gamma \quad (\gamma = 1,10) \quad (8)$$

Onde:

$$W_{ef} = W \quad \text{para } \lambda_p \leq 0,673 \quad (9)$$

$$W_{ef} = W \times \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p}\right) \times \left(\frac{1}{\lambda_p}\right) \quad \text{para } \lambda_p > 0,673 \quad (10)$$

$$\lambda_p = \left(\frac{W \times f_y}{M_l}\right)^{0,5} \quad (11)$$

$$M_l = k_l \times \left(\frac{\pi^2 \times E}{12(1-\nu^2)(b_w/t)^2}\right) \times W_c \quad (12)$$

Os valores para o coeficiente de flambagem local para a seção completa, k_l , são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores do coeficiente de flambagem local k_l

$n = b_f/b_w$	Caso b		
	Seção U enrijecido		
	$\mu \leq 0,2$	$\mu = 0,25$	$\mu \geq 0,3$
0,2	32,0	25,8	21,2
0,3	29,3	23,8	19,7
0,4	24,8	20,7	18,2
0,5	18,7	17,6	16,0
0,6	13,6	13,3	13,0
0,7	10,2	10,1	10,1
0,8	7,9	7,9	7,9
0,9	6,2	6,3	6,3
1,0	5,1	5,1	5,1

Fonte: adaptado da NBR 14762 (ABNT, 2010).

O momento resistente com relação a flambagem lateral com torção foi obtido pela Equação 13, tomando-se o um trecho compreendido entre seções contidas lateralmente.

$$M_{Rd} = (X_{FLT} \times W_{c,ef} \times f_y) / \gamma \quad (\gamma = 1,10) \quad (13)$$

Onde:

$$W_{c,ef} = W_c \quad \text{para } \lambda_p \leq 0,673 \quad (14)$$

$$W_{c,ef} = W_c \times \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p}\right) \times \left(\frac{1}{\lambda_p}\right) \quad \text{para } \lambda_p > 0,673 \quad (15)$$

$$\lambda_p = \left(\frac{X_{FLT} \times W_c \times f_y}{M_l}\right)^{0,5} \quad (16)$$

$$M_l = k_l \times \left(\frac{\pi^2 \times E}{12(1-\nu^2)(b_w/t)^2}\right) \times W_c \quad (17)$$

O fator de redução do momento fletor resistente X_{FLT} associado à flambagem lateral com torção foi calculado pelas Equações 18, 19 e 20, conforme o valor de λ_0 .

$$X_{FLT} = 1,0 \quad \text{para } \lambda_0 \leq 0,6 \quad (18)$$

$$X_{FLT} = 1,11 \times 1 - 0,278 \times \lambda_0^2 \quad \text{para } 0,6 < \lambda_0 < 1,336 \quad (19)$$

$$X_{FLT} = 1/\lambda_0^2 \quad \text{para } \lambda_0 \geq 1,336 \quad (20)$$

Onde:

$$\lambda_0 = \left(\frac{W_c \times f_y}{M_e}\right)^{0,5} \quad (21)$$

$M_e = C_b \times r_0 \times (N_{ey} \times N_{ez})^{0,5}$ para barras com seção monossimétrica sujeita a flexão em torno do eixo de simetria (eixo x).

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{(K_y \times L_y)^2} \quad (22)$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \times \left[\frac{\pi^2 \times E \times C_w}{(K_z \times L_z)^2} + (G \times J) \right] \quad (23)$$

No caso de flexão perpendicular ao eixo de simetria foram adotados os critérios do Anexo E da norma NBR 14762 (ABNT, 2010).

As barras sujeitas a flambagem distorcional tiveram o momento fletor resistente calculado pela Equação 24.

$$M_{Rd} = (X_{dist} \times W \times f_y) / \gamma \quad (\gamma = 1,10) \quad (24)$$

Onde:

$$X_{dist} = 1 \quad \text{para } \lambda_{dist} \leq 0,673 \quad (25)$$

$$X_{dist} = \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_{dist}}\right) \times \left(\frac{1}{\lambda_{dist}}\right) \quad \text{para } \lambda_{dist} > 0,673 \quad (26)$$

$$\lambda_{dist} = \left(\frac{W \times f_y}{M_{dist}}\right)^{0,5} \quad (27)$$

Onde a relação D/b_w for igual ou superior aos valores indicados na Tabela 3, a verificação da flambagem distorcional foi dispensada.

Tabela 3 – Valores mínimos de relação D/b_w para perfis U enrijecidos.

b_f/b_w	b_w/t				
	250	200	125	100	50
0,4	0,05	0,06	0,10	0,12	0,25
0,6	0,05	0,06	0,10	0,12	0,25
0,8	0,05	0,06	0,09	0,12	0,22
1,0	0,05	0,06	0,09	0,11	0,22
1,2	0,05	0,06	0,09	0,11	0,20
1,4	0,05	0,06	0,09	0,10	0,20
1,6	0,05	0,06	0,09	0,10	0,20
1,8	0,05	0,06	0,09	0,10	0,19
2,0	0,05	0,06	0,09	0,10	0,19

Nota 1: b_f e b_w e D são a largura nominal da mesa, da alma e do enrijecedor de borda, respectivamente.

Nota 2: para valores intermediários interpolar linearmente.

Fonte: adaptado da NBR 14762 (ABNT, 2010).

Para o cálculo do momento fletor de flambagem distorcional elástica M_{dist} foi utilizado o momento fletor de flambagem distorcional crítico para perfis U e apresentados por Pierin e Rovere (2013) em seu estudo intitulado “Forças normais e momentos fletores críticos de perfis formados a frio”.

3.3.2 Força Cortante

A força cortante resistente foi calculada, também segundo a norma NBR 14762 (ABNT, 2010), através das Equações 28, 29 e 30 conforme a relação h/t .

$$\begin{aligned} &\text{Para } h/t \leq 1,08 (E \times k_v / f_y)^{0,5} \\ &V_{Rd} = (0,6 \times f_y \times h \times t) / \gamma \quad (\gamma = 1,10) \end{aligned} \quad (28)$$

$$\begin{aligned} &\text{Para } 1,08 (E \times k_v / f_y)^{0,5} < h/t \leq 1,4 (E \times k_v / f_y)^{0,5} \\ &V_{Rd} = 0,65 t^2 \times (k_v \times f_y \times E)^{0,5} / \gamma \quad (\gamma = 1,10) \end{aligned} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} &\text{Para } h/t > 1,4 (E \times k_v / f_y)^{0,5} \\ &V_{Rd} = (0,905 \times E \times k_v \times \frac{t^3}{h}) \times \gamma \quad (\gamma = 1,10) \end{aligned} \quad (30)$$

3.3.3 Deslocamentos

O deslocamento sob o estado limite de serviço foi calculado conforme Equação 31 e não deverá exceder o valor de deslocamento máximo disposto no Anexo A da NBR 14762 (ABNT, 2010).

$$\delta = \frac{5 \times q \times L^4}{384 \times E \times I_{ef}} \quad (31)$$

Onde:

$$I_{ef} = I_g \quad \text{para } \lambda_{pd} \leq 0,673 \quad (32)$$

$$I_{ef} = I_g \times \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_{pd}}\right) \times \left(\frac{1}{\lambda_{pd}}\right) \quad \text{para } \lambda_{pd} > 0,673 \quad (33)$$

$$\lambda_{pd} = \left(\frac{M_r}{M_l}\right)^{0,5} \quad (34)$$

3.4 ELABORAÇÃO DO ÁBACO

Para entrada no ábaco foram definidos valores de pressão devido ao vento mais frequentes nos galpões conforme a velocidade básica do vento.

Os valores definidos como pressão devido ao vento foram usados conforme item 3.2 deste trabalho para quantificar os esforços solicitantes para cada combinação de vão livre e espaçamento entre terça. O vão livre varia entre 1 e 8 metros e os espaçamentos entre terças ficaram definidos como:

- 1,2 metros;
- 1,4 metros;
- 1,6 metros;
- 1,8 metros.

Com os esforços solicitantes de cada pressão devido ao vento foram dimensionados os perfis U com enrijecedores de borda da norma NBR 6355 (ABNT, 2012) conforme item 3.3 deste trabalho para cada combinação de vão livre e espaçamento entre terça. Os perfis que atenderam as solicitações dos carregamentos foram inseridos ao ábaco adotando-se um código através do qual pode-se obter as dimensões da seção transversal do perfil.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base na análise das dimensões comumente utilizadas em galpões industriais e de valores de velocidade básica do vento segundo o mapa de isopletras disponível na NBR 6123 (ABNT,1988) foi possível obter valores frequentes para a pressão devido a ação do vento na cobertura de galpões.

Definidos os valores frequentes de pressão devido ao vento atuantes na cobertura foi realizado o dimensionamento de 85 perfis U enrijecidos sem revestimento cujas especificações são normatizadas pela NBR 6355 (ABNT,2012) para diversos vãos livres, espaçamentos entre terças e valores de pressão devido ao vento. Por fim, foi elaborado o ábaco com os perfis mais apropriados para cada caso.

Todos os resultados e discussões serão apresentados nos itens 4.2, 4.2 e 4.3 deste trabalho.

4.1 PRESSÃO DEVIDO AO VENTO EM GALPÕES

Considerando as dimensões de largura, comprimento e altura dos galpões em estudo no software CICLONE 5.0.1 beta pode-se obter valores de coeficiente de forma externo atuantes na cobertura, além de se obter o valor do fator S_2 para cada caso analisado, conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Coeficientes de forma e fator S para galpões

Comprimento do Galpão (m)	Altura da coluna (m)	Largura do Galpão (m)	Coeficiente de forma crítico ^{a b}	Fator S_2
60	6	15 a 40	-1,1	0,74
		45	-1,2	0,74
	9	15 a 40	-1,0	0,79
		45	-1,1	0,79
	12	15 a 40	-1,0	0,82
		45	-1,1	0,82
50	6	15 a 40	-1,0	0,78
		45	-1,1	0,78
	9	15 a 40	-1,0	0,82
		45	-1,1	0,82
	12	15 a 40	-1,0	0,85
		45	-1,1	0,85

^a Os valores de coeficientes de forma negativos são referentes ao vento de sucção.

^b Neste coeficiente de pressão já está considerado o coeficiente de forma externo e interno.

Fonte: Autoria própria.

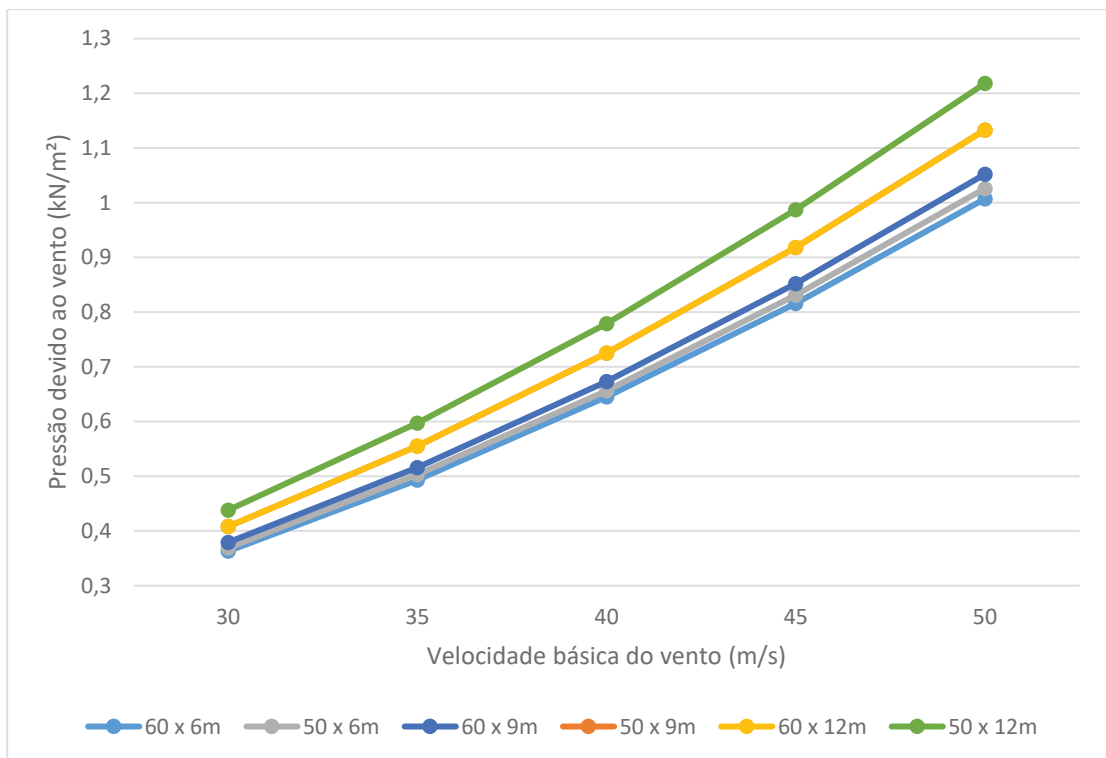
Como podemos observar na Tabela 4 os valores de coeficiente de forma não tiveram variação entre os galpões de 60 ou 50m em casos de coluna de 9 e 12m. Já no caso do fator S_2 os valores variaram entre 0,79 e 0,85 devido a diferença de altura da edificação e a classe à qual ela se encontrava segundo a NBR 6123 (ABNT, 1988).

De posse dos valores dos coeficientes de pressão e dos fatores S para cada caso foram aplicadas as velocidades básicas do vento de 30, 35, 40, 45 e 50 m/s e assim determinados os valores de pressão devido ao vento frequente na cobertura destas edificações.

Os resultados obtidos mostraram que a pressão devido ao vento de sucção variou entre 0,332 kN/m² e 1,218 kN/m², sendo o menor valor encontrado para galpões com dimensões de 15x60x6m e o maior valor para galpões com dimensões de 45x50x12m.

Na Figura 10 temos um gráfico que representa a pressão máxima exercida pelo vento sobre a cobertura em função da velocidade básica do vento para os galpões com comprimento variando entre 50 e 60m e altura da coluna entre 6 e 9m.

Figura 10 – Pressão devido ao vento de sucção x velocidade básica do vento



Fonte: Autoria própria.

A pressão devido ao vento de sucção em galpões com comprimento de 50m e altura da coluna de 9m ficaram iguais aos valores de galpões com comprimento de 60m e altura da coluna de 12m, resultado visível na Figura 10. Além disso, pode-se perceber que a pressão causada pelo vento teve uma oscilação de aproximadamente $0,1 \text{ kN/m}^2$ entre as velocidades de 30 a 35 m/s para todos os galpões analisados enquanto que de 40 a 45 m/s a oscilação foi de aproximadamente $0,18 \text{ kN/m}^2$ chegando a $0,21 \text{ kN/m}^2$ na velocidade de 50 m/s.

4.2 DIMENSIONAMENTO DOS PERFIS

Diante dos resultados obtidos na análise da ação do vento em coberturas de galpões foram escolhidos os valores mais frequentes de pressão devido ao vento de sucção para o dimensionamento dos perfis, e, para serem utilizados como variável de entrada do ábaco, sendo eles:

- $0,6 \text{ kN/m}^2$;
- $0,8 \text{ kN/m}^2$;
- $1,0 \text{ kN/m}^2$;
- $1,2 \text{ kN/m}^2$.

Os valores abaixo de $0,6 \text{ kN/m}^2$ foram descartados do ábaco pois os perfis dimensionados que se mostraram capazes de atender as solicitações de momento fletor e força cortante combinados para a pressão do vento de sucção de $0,3 \text{ kN/m}^2$ até $0,6 \text{ kN/m}^2$ foram os mesmos.

O intervalo de $0,2 \text{ kN/m}^2$ entre os valores de pressão devido ao vento de sucção foram adotados pois este foi o valor que normalmente os perfis precisavam ser trocados para atender as solicitações de uma terça.

Definidos os valores de pressão do vento foram dimensionados 85 perfis para 15 dimensões de vão livre e 4 espaçamentos de entre terças.

Na Figura 11 temos todos os perfis que no dimensionamento para a solicitação de momento fletor e força cortante combinados para os eixos x e y obtiveram valores entre 0,20 e 0,99. Outra condição para o perfil ser considerado adequado para utilização nas condições de vão livre, espaçamento entre terças e pressão devido ao vento foi a de não exceder os deslocamentos máximos apontados na NBR 14762 (ABNT,2010) em relação aos eixos x e y.

Figura 11 – Perfis resistentes para cada terça

Vão livre (m)	Entre terças (m)	PRESSÃO DEVIDO AO VENTO DE SUCÇÃO (kN/m²)			
		0,6	0,8	1	1,2
1	1,2	TODOS	TODOS	TODOS	TODOS
	1,4				
	1,6				
	1,8				
1,5	1,2	TODOS	TODOS	2 ao 7	3 ao 8
	1,4		2 ao 7	3 ao 7	
	1,6				3 ao 7
	1,8				
2	1,2	3 ao 8	4 ao 8	5 ao 10	7 ao 15/20 ao 21
	1,4	4 ao 8	5 ao 8/13 ao 14	6 ao 14	
	1,6		6 ao 10/13 ao 14	7 ao 15/20 ao 21	8 ao 16/20 ao 21
	1,8	5 ao 9	7 ao 14	8 ao 16/20 ao 21	9 ao 17/20 ao 22
2,5	1,2	7 ao 15/20	8 ao 16/20 ao 21	9 ao 12/15 ao 22	9 ao 12/15 ao 23
	1,4	8 ao 16/20 ao 21	9 ao 13/15 ao 17/20 ao 21		11 ao 12/15 ao 24/27 ao 28
	1,6		9 ao 12/15 ao 22	10 ao 12/15 ao 24/27	11 ao 12/15 ao 19/21 ao 28
	1,8	9 ao 13/15 ao 17/20 ao 21		11 ao 12/15 ao 19/21 ao 25/27 ao 28	12/16 ao 19/21 ao 28

Nota: Números referentes aos perfis dispostos no Anexo A.

Fonte: Autoria própria.

Figura 11 – Perfis resistentes para cada terço (continuação)

Vão livre (m)	Entre terças (m)	PRESSÃO DEVIDO AO VENTO DE SUCÇÃO (kN/m²)			
		0,6	0,8	1	1,2
3	1,2	9 ao 12/15 ao 23	11 ao 12/15 ao 19/21 ao 28	12/16 ao 19/22 ao 29	17 ao 19/22 ao 34
	1,4	10 ao 12/15 ao 24/27 ao 28	11 ao 12/16 ao 19/21 ao 28	12/17 ao 19/22 ao 31	18 ao 19/23 ao 34
	1,6	11 ao 12/15 ao 19/21 ao 28	12/16 ao 19/22 ao 30	18 ao 19/22 ao 34	19/24 ao 35
	1,8	11 ao 12/16 ao 19/21 ao 28	12/17 ao 19/22 ao 30	19/23 ao 34	24 ao 26/28 ao 35
3,5	1,2	12/17 ao 19/22 ao 30	18 ao 19/22 ao 33	19/24 ao 26/28 ao 35	25 ao 26/29 ao 36
	1,4		18 ao 19/23 ao 34		26/30 ao 38
	1,6	18 ao 19/23 ao 34	19/24 ao 26/28 ao 34	25 ao 26/29 ao 35	31 ao 42
	1,8	19/24 ao 34	25 ao 26/29 ao 36	26/30 ao 38	31 ao 32/34 ao 42
4	1,2	19/24 ao 26/28 ao 36	25 ao 26/29 ao 36	26/30 ao 38	32/34 ao 42
	1,4	25 ao 26/29 ao 36	26/30 ao 37	31 ao 32/34 ao 42	35 ao 42
	1,6		31 ao 38/41 ao 42		32/35 ao 42
	1,8	26/30 ao 37	31 ao 32/34 ao 42	35 ao 42	37 ao 44
4,5	1,2	26/30 ao 37	31 ao 32/34 ao 42	35 ao 43	37 ao 44
	1,4	31 ao 32/34 ao 42	32/35 ao 43	36 ao 43	38 ao 44/56/66/71
	1,6	32/35 ao 42	36 ao 43	37 ao 44/56 ao 57	39 ao 40/42 ao 46/56/66/71
	1,8			38 ao 45/56 ao 57	39 ao 40/43 ao 46/56/66/71

Nota: Números referentes aos perfis dispostos no Anexo A.

Fonte: Autoria própria.

Figura 11 – Perfis resistentes para cada terça (continuação)

Vão livre (m)	Entre terças (m)	PRESSÃO DEVIDO AO VENTO DE SUCÇÃO (kN/m²)			
		0,6	0,8	1	1,2
5	1,2	32/35 ao 43	36 ao 43	38 ao 45/56 ao 57/66/71	39 ao 40/43 ao 46/56/66/71
	1,4	36 ao 43	37 ao 43	39 ao 40/42 ao 47/56 ao 57/66/71	40/43 ao 47/56 ao 58/66/71
	1,6	37 ao 44	38 ao 44	39 ao 40/43 ao 47/56 ao 57/66/71	44 ao 51/56 ao 58/66/71
	1,8	38 ao 44	39 ao 40/42 ao 46/56 ao 57/66/71	40/43 ao 47/56 ao 58/66/71	45 ao 51/56 ao 59/66/71 ao 72
5,5	1,2	37 ao 45	38 ao 40/42 ao 46/56/66/71	39/40/43 ao 47/56 ao 58/66/71	44 ao 51/56 ao 58/66/71
	1,4	38 ao 40/42 ao 46/56 ao 57	39 ao 40/43 ao 46/56 ao 57/66/71	44 ao 47/56 ao 58/66/71 o 72	45 ao 51/57 ao 59/66/71 ao 73
	1,6	39 ao 40/43 ao 47/56 ao	40/43 ao 47/56 ao 57/66/71	45 ao 52/57 ao 59/66/71 ao 72	46 ao 52/58 ao 61/72 ao 73
	1,8	58/66/71	40/44 ao 50/56 ao 57/66/71	47 ao 55/57 ao 60/66/71 ao 73	47 ao 52/59 ao 61/65/73 ao 75
6	1,2	39 ao 40/43 ao 46/56/66	39 ao 40/43 ao 46/56 ao 57/66/71	45 ao 47/57 ao 59/66/71 ao 72	46 ao 52/58 ao 61/65/ 72 ao 74
	1,4	40/43 ao 46/56 ao 57/66/71	44 ao 47/56 ao 58/66/71 ao 72	46 ao 51/58 ao 60/71 ao 73	47 ao 52/59 ao 61/65/73 ao 75
	1,6	40/44 ao 47/56 ao 58/66/71 ao 72	45 ao 55/57 ao 59/71 ao 73	47 ao 52/59 ao 61/65/72 ao 75	48 ao 49/51 ao 53/60 ao 62/65/67/74 ao 76/80
	1,8	45 ao 55/57 ao 59/66/71 ao 73	46 ao 55/58 ao 60/66/71 ao 73	47 ao 49/51 ao 53/59 ao 62/65/73 ao 75/80	49/52 ao 55/61 ao 65/67 ao 68/75 ao 77/80 ao 81

Nota: Números referentes aos perfis dispostos no Anexo A.

Fonte: Autoria própria.

Figura 11 – Perfis resistentes para cada terça (continuação)

Vão livre (m)	Entre terças (m)	PRESSÃO DEVIDO AO VENTO DE SUCÇÃO (kN/m²)			
		0,6	0,8	1	1,2
7	1,2	46 ao 52/58 ao 61/65/72 ao 75	46 ao 55/58 ao 60/65/72 ao 74	48 ao 49/52 ao 55/60 ao 65/67 ao 70/74 ao 76/80	49/53 ao 55/62 ao 64/67 ao 70/76 ao 78/80 ao 82
	1,4	47 ao 53/59 ao 62/65/73 ao 76	47 ao 49/51 ao 55/60 ao 65/73 ao 76/80	49/53 ao 55/62 ao 64/67 ao 70/75 ao 7/80/81	49/54 ao 55/63 ao 64/68 ao 70/77 ao 79/81 ao 82
	1,6	48 ao 49/51 ao 54/60 ao 65/74 ao 76/80	48 ao 49/52 ao 55/61 ao 65/67/74 ao 77/80	49/54 ao 55/62 ao 64/67 ao 70/76 ao 79/81 ao 82	49/55/64/69/70/78/79/82 ao 85
	1,8	49/52 ao 55/61 ao 65/67/74 ao 78/80 ao 81	49/53 ao 55/61 ao 64/67 ao 70/75 ao 77/80 ao 81	49/54 ao 55/63 ao 64/68 ao 70/77 ao 79/82 ao 83	64/69/70/78/79/83 ao 85
7,5	1,2	48/49/51 ao 55/60 ao 65/67 ao 70/74 ao 77/80 ao 83	48/49/51 ao 55/60 ao 65/67 ao 70/74 ao 77/80 ao 81	49/53 ao 55/62 ao 64/67 ao 70/76 ao 82	49/54/55/63/64/68 ao 70/77 ao 79/82 ao 85
	1,4	49/52 ao 55/61 ao 65/67 ao 70/75 ao 83	49/52 ao 55/61 ao 64/67 ao 70/75 ao 78/80 ao 82	49/54/55/63/64/68 ao 70/77 ao 79/82 ao 85	64/69/70/78/79/83 ao 85
	1,6	49/53 ao 55/62 ao 64/67 ao 70/76 ao 85	49/53 ao 55/62 ao 64/67 ao 70/77 ao 79/81 ao 83	49/55/64/69/70/78/79/83 ao 85	64/79/84/85
	1,8	49/54/55/63/64/67 ao 70/77 ao 79/81 ao 85	49/54/55/63/64/68 ao 70/77 ao 79/81 ao 83	64/70/79/84/85	79
8	1,2	49/53 ao 55/62 ao 64/67 ao 70/76 ao 85	49/53 ao 55/62 ao 64/67 ao 70/76 ao 85	49/54/55/63/64/68 ao 70/77 ao 79/82 ao 85	64/70/79/84/85
	1,4	49/54/55/63/64/67 ao 70/76 ao 79/81 ao 85	49/54 ao 55/63/64/68 ao 70/76 ao 79/81 ao 85	64/9/70/78/79/83 ao 85	64/79/85
	1,6	49/55/55/64/68 ao 70/77 ao 79/82 ao 85	49/55/64/69/70/77 ao 79/82 ao 85	64/79/84/85	79
	1,8	49/55/64/69/70/78/79/83 ao 85	64/69/70/78/79/83 ao 85	79	NENHUM

Nota: Números referentes aos perfis dispostos no Anexo A.

Fonte: Autoria própria.

Cada perfil foi enumerado conforme a sequência em que estão dispostos (de cima para baixo) na NBR 6355 - Tabela A3 – Perfis U enrijecido sem revestimento – Dimensões, massa e propriedades geométricas (ABNT,2012), vide Anexo A.

Durante o dimensionamento foi possível perceber que conforme o vão livre estava se tornando maior, menor era a quantidade de perfis que serviam para serem utilizados como terça. Este fato se deve pelo momento fletor resistente do perfil estar associado a Flambagem Lateral com Torção em todos os casos, assim, quanto maior o vão livre menor o momento fletor resistente pelo perfil.

Diante disso, a terça com vão livre de 8 metros, espaçamento entre terça de 1,8m e pressão devido ao vento de sucção de 1,2 kN/m², por ter uma grande solicitação de momento fletor, não houve perfil que satisfizesse as condições do dimensionamento para ELU e ELS.

Para o vão livre de um metro, todos os perfis da norma atenderam as solicitações das terças para todos os espaçamentos entre terças e todos os valores de pressão devido ao vento.

Quanto aos deslocamentos, nenhum perfil que passou pela verificação de momento fletor e força cortante combinados excedeu o deslocamento máximo de $\delta \geq L/120$ para ação variável no mesmo sentido que o da ação permanente (carga acidental + vento de sobrepressão) ou $\delta \geq L/180$ para ação variável no sentido oposto da ação permanente (vento de sucção).

Em relação a flambagem distorcional os perfis normatizados que apresentaram fator de redução do momento fletor resistente associado a flambagem distorcional χ_{dist} , estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 5 – Perfis com fator de redução do momento fletor associado a flambagem distorcional.

Perfil	Seção transversal
Ue7	75x40x15x1,20
Ue13	100x40x17x1,20
Ue20	100x50x17x1,2
Ue21	100x50x17x1,5
Ue33	150x60x20x2,00
Ue41	200x75x20x2,00
Ue42	200x75x20x2,25
Ue43	200x75x25x2,65
Ue50	200x100x25x2,65

Tabela 5 – Perfis com fator de redução do momento fletor associado a flambagem distorcional (continuação).

Ue51	200x100x25x3,00
Ue52	200x100x25x3,35
Ue53	200x100x25x3,75
Ue56	250x85x25x2,00
Ue57	250x85x25x2,25
Ue58	250x85x25x2,65
Ue59	250x85x25x3,00
Ue60	250x85x25x3,35
Ue65	250x100x25x2,65
Ue66	250x100x25x3,00
Ue67	250x100x25x3,35
Ue68	250x100x25x3,75
Ue69	250x100x25x4,25
Ue71	300x85x25x2,00
Ue72	300x85x25x2,25
Ue73	300x85x25x2,65
Ue74	300x85x25x3,00
Ue75	300x85x25x3,35
Ue76	300x85x25x3,75
Ue80	300x100x25x2,65
Ue81	300x100x25x3,00
Ue82	300x100x25x3,35
Ue83	300x100x25x3,75
Ue84	300x100x25x4,25

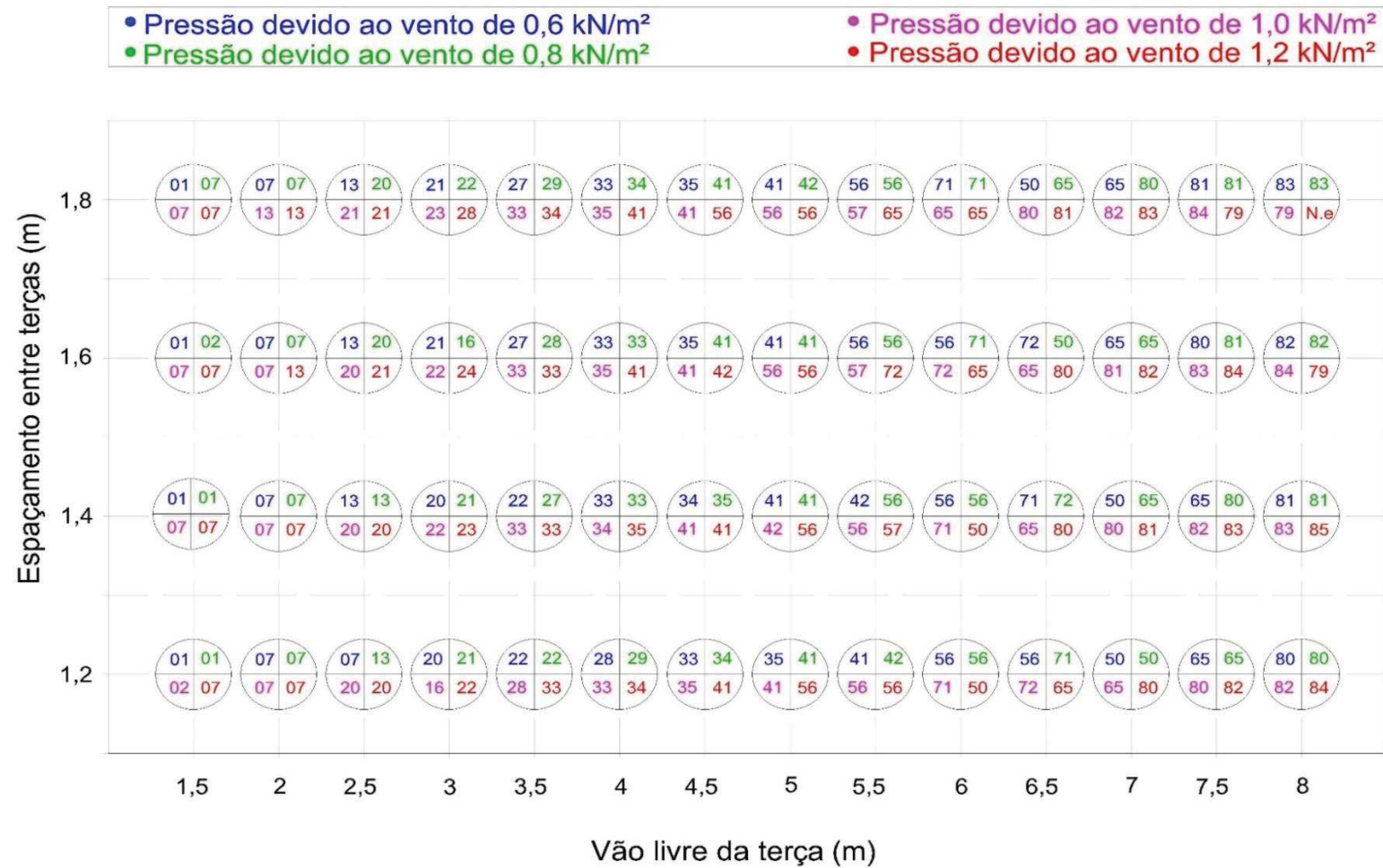
Fonte: Autoria própria.

4.3 ÁBACO

Dentre todos os perfis que resistiram aos esforços solicitantes para as terças e mantiveram o deslocamento abaixo do deslocamento máximo, foram escolhidos 31 perfis para compor o ábaco de pré-dimensionamento de terças. Estes perfis foram escolhidos por possuírem menor relação massa/metro pois assim a estrutura se torna mais leve e econômica.

Na Figura 12 temos o ábaco de pré-dimensionamento de terças para terças com vão livre variando de 1,5 a 8 metros, espaçamento entre terças de 1,2 a 1,8m e pressão do vento de sucção de 0,6 a 1,2 kN/m².

Figura 12 – Ábaco de pré-dimensionamento de terças em perfil U enrijecido formado a frio*



*Nota: Consultar Figura 13.

Fonte: Autoria própria

Os códigos que aparecem nos ábacos são referentes a um perfil cujas especificações estão na Figura 13. Essa tabela de identificação fornece ao usuário através do código a nomenclatura do perfil padronizado conforme a NBR 6355 (ABNT, 2012).

Figura 13 – Identificação de perfil pelo ábaco.

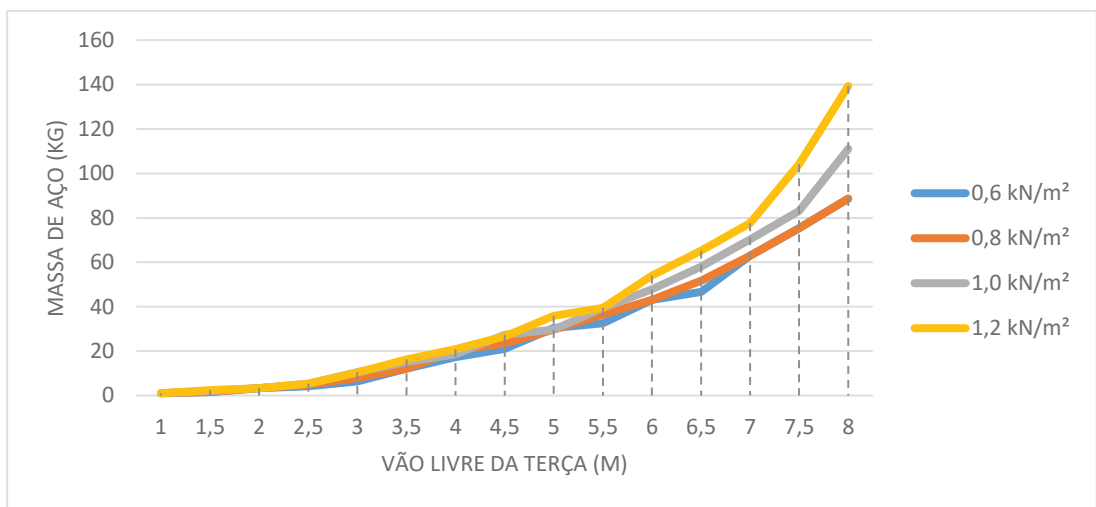
Código do ábaco	Perfil Ue
1	50x25x10x1,20
2	50x25x10x1,50
7	75x40x15x1,20
13	100x40x17x1,20
16	100x40x17x2,25
20	100x50x17x1,2
21	100x50x17x1,5
22	100x50x17x2,00
23	100x50x17x2,25
24	100x50x17x2,65
27	125x50x17x2,00
28	125x50x17x2,25
29	125x50x17x2,65
33	150x60x20x2,00
34	150x60x20x2,25
35	150x60x20x2,65
41	200x75x20x2,00
42	200x75x20x2,25
50	200x100x25x2,65
56	250x85x25x2,00
57	250x85x25x2,25
65	250x100x25x2,65
71	300x85x25x2,00
72	300x85x25x2,25
79	300x85x25x6,3
80	300x100x25x2,65
81	300x100x25x3,00
82	300x100x25x3,35
83	300x100x25x3,75
84	300x100x25x4,25
85	300x100x25x4,75
N.e	<i>Nenhum perfil pode ser utilizado.</i>

Fonte: Autoria própria.

Para o vão livre de 1 metro todos os perfis da norma são adequados ao uso como terço em qualquer espaçamento entre terços ou pressão devido ao vento, por isso não houve necessidade de inserir este vão no ábaco, ficando a critério do projetista escolher qual perfil melhor se encaixa ao seu projeto.

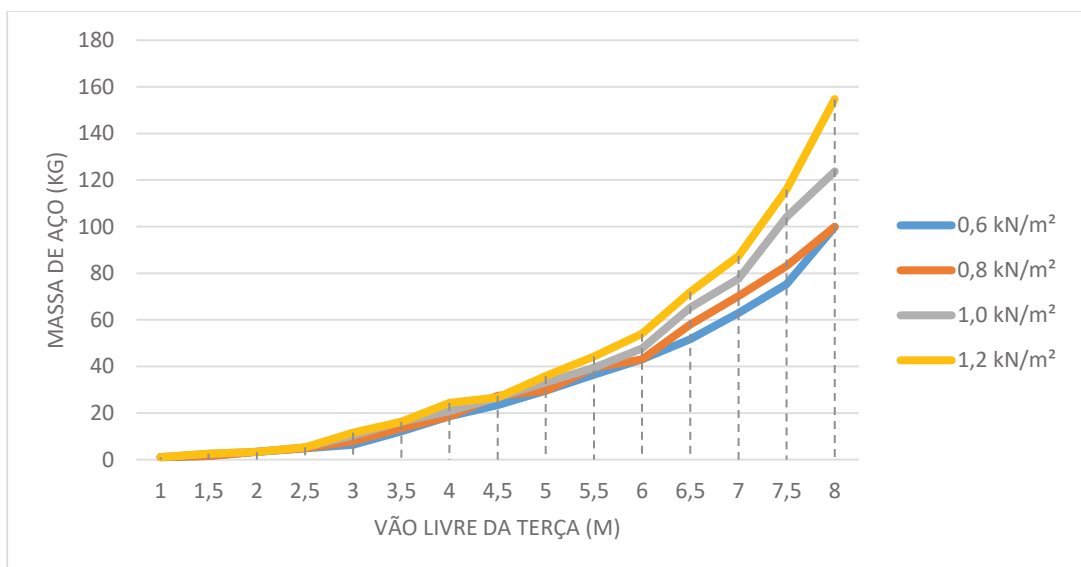
Dentre os perfis utilizados no ábaco podemos ver nas Figuras 14, 15, 16 e 17 como varia a massa da terço em função do vão livre para o de 0,6 a 1,2 kN/m² conforme o espaçamento entre terços adotado.

Figura 14 – Massa da terço x vão livre da terço para entre terços de 1,20m.



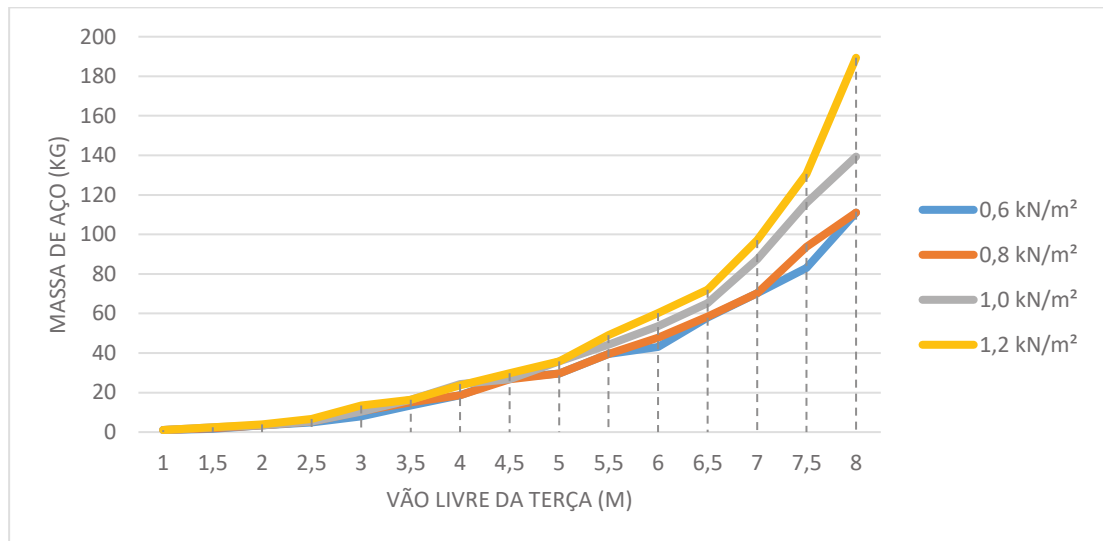
Fonte: Autoria própria.

Figura 15 – Massa da terço x vão livre da terço para entre terços de 1,40m.



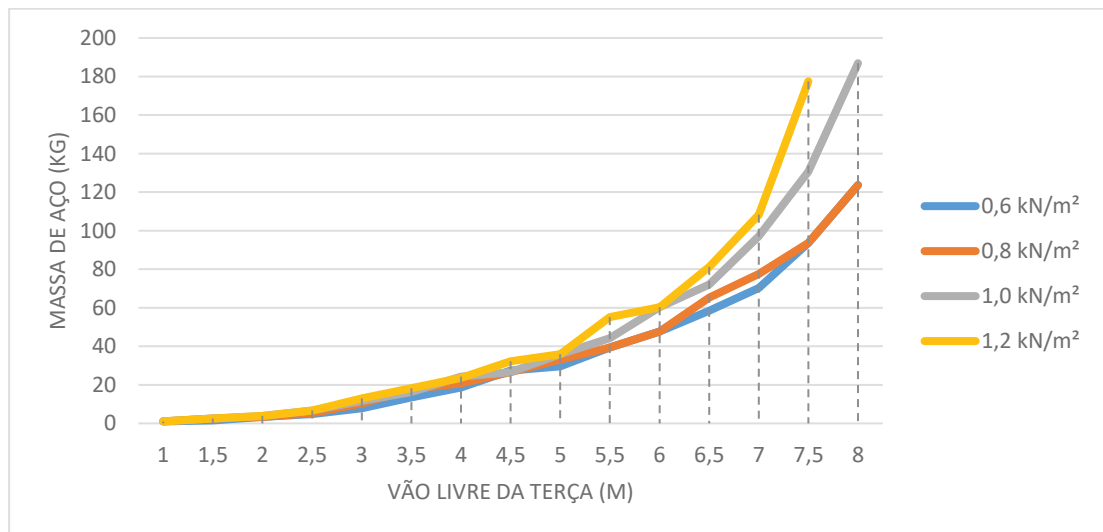
Fonte: Autoria própria.

Figura 16 – Massa da terça x vão livre da terça para entre terças de 1,60m.



Fonte: Autoria própria.

Figura 17 – Massa da terça x vão livre da terça para entre terças de 1,80m.



Fonte: Autoria própria.

Com base nos gráficos das Figuras 14,15,16 e 17 podemos observar que até o vão livre de 5,5 metros a variação de massa para as terças que resistem a pressão do vento de sucção de 0,6 a 1,2 kN/m² não excede 20 kg. No entanto, para vãos de 5,5 a 8 metros a massa da terça pode variar até 90 kg entre as pressões atuantes sobre a terça.

No que se refere ao espaçamento entre terças pode-se perceber que para o mesmo vão livre e a mesma pressão devido ao vento de sucção pode haver 1 perfil específico para cada espaçamento entre terças, 1 perfil que serve para dois

espaçamentos entre terças, 1 perfil que serve para 3 espaçamentos entre terças ou 1 perfil que serve para todos os espaçamentos entre terças, variando muito de caso para caso.

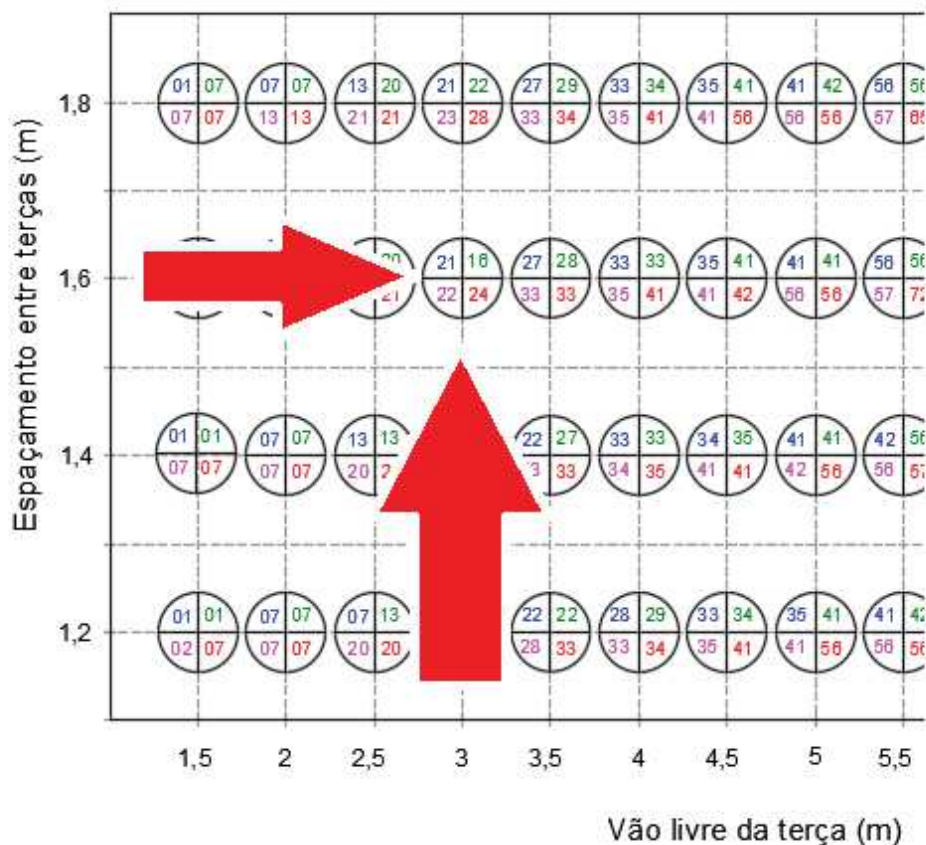
4.3.2 Exemplo de aplicação do ábaco

Tomemos o seguinte caso para exemplificar o pré-dimensionamento de terça de cobertura através do ábaco:

- Pressão devido ao vento de sucção atuante na cobertura: $0,92 \text{ kN/m}^2$;
- Vão livre da terça: 3 metros;
- Espaçamento entre terças: 1,6 metros.

Primeiramente encontramos no ábaco o eixo que cruza o valor do espaçamento entre terças de 1,6 metros e o vão livre de 3 metros, como mostra a Figura 18.

Figura 18 – Exemplo de aplicação do ábaco.



Fonte: Autoria própria.

Como podemos ver na Figura 18, os perfis aptos para esta combinação de vão livre e espaçamento entre terças são os perfis 21, 16, 22 e 24. Para o caso deste exemplo a pressão devido ao vento pode ser arredondada para 1,0 kN/m², portanto devemos utilizar o perfil cujo código está com coloração em rosa, o perfil número 22.

Consultando a tabela de identificações dos códigos do ábaco temos que a seção transversal do perfil a ser utilizado nesse exemplo é o perfil Ue 100x50x17x2,00.

Com base nas especificações do perfil na NBR 6355 (ABNT,2012) podemos dimensiona-lo pelo Método da Seção Efetiva conforme a NBR 14762 (ABNT,2010).

- Momento fletor resistente ao escoamento

Para o eixo Y, substituindo os valores nas Equações 12 e 11 temos:

$$M_l = 18,7 \times \left(\frac{\pi^2 \times 2000000}{12(1-0,3^2)(50)^2} \right) \times 4,9 = 6618,57 \text{ kN} \cdot \text{mm}$$

$$\lambda_p = \left(\frac{4,9 \times 345}{6618,57} \right)^{0,5} = 0,505$$

Logo, $W_{ef} = 4,9 \text{ cm}^3$, assim o momento fletor resistente no início do escoamento, conforme Equação 8 é:

$$M_{Rd,y} = (4,9 \times 0,345) / 1,10 = 1,54 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Adotando os mesmos critérios temos para o eixo X:

$$M_{Rd,x} = 4,41 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- Momento fletor resistente a flambagem lateral com torção

Para o eixo X, substituindo os valores nas Equações 22 e 23 temos:

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \times 20000 \times 15,76}{(1 \times 300)^2} = 34,53 \text{ kN}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{6,85^2} \times \left[\frac{\pi^2 \times 20000 \times 381,65}{(1 \times 300)^2} + (7720 \times 0,06) \right] = 27,67 \text{ kN}$$

Substituindo na Equação 21 temos:

$$M_e = 1,14 \times 6,85 \times (34,53 \times 27,67)^{0,5} = 241,47 \text{ kN.cm}$$

$$\lambda_0 = \left(\frac{14,05 \times 34,5}{241,47} \right)^{0,5} = 1,41$$

Logo, $X_{FLT} = 0,498$.

Das Equações 16 e 17 temos:

$$M_l = 18,7 \times \left(\frac{\pi^2 \times 2000000}{12(1-0,3^2)(50)^2} \right) \times 4,9 = 6618,57 \text{ kN.mm}$$

$$\lambda_p = \left(\frac{0,498 \times 14,05 \times 34,5}{661,857} \right)^{0,5} = 0,356$$

Aplicando na Equação 13 temos:

$$M_{Rd,x} = (0,498 \times 14,05 \times 0,345) / 1,10 = 2,20 \text{ kN.m}$$

No caso de flexão perpendicular ao eixo de simetria (eixo Y) foram adotados os critérios do Anexo E da norma NBR 14762 (ABNT, 2010), resultando em:

$$M_{Rd,y} = 0,92 \text{ kN.m}$$

- Momento fletor resistente a flambagem distorcional

Devido a relação D/b_w ser superior aos valores indicados na Tabela 3 deste trabalho a verificação da flambagem distorcional pode ser dispensada.

Portanto, os valores adotados como momento fletor resistente do perfil ficaram como:

$$M_{Rd,y} = 0,92 \text{ kN.m}$$

$$M_{Rd,x} = 2,20 \text{ kN.m}$$

- Força cortante

Conforme a relação h/t podemos utilizar a Equação 28 para definir o máximo esforço cortante resistente pelo perfil:

$$V_{Rd} = (0,6 \times 0,345 \times 100 \times 2)/1,10 = 37,64 \text{ kN}$$

- Esforços solicitantes

Utilizando as combinações dispostas nas Equações de 1 a 5 os esforços solicitantes ficaram como:

$$M_{Sd,x} = 1,96 \text{ kN.m}$$

$$M_{Sd,y} = 0,20 \text{ kN.m}$$

$$V_{Sd,x} = 2,61 \text{ kN}$$

$$V_{Sd,y} = 0,27 \text{ kN}$$

- Combinação de momento fletor e força cisalhante

Por fim, faz-se a verificação das Equações 6 e 7:

$$\left(\frac{1,96}{2,20}\right)^2 + \left(\frac{2,61}{37,64}\right)^2 = 0,80 \leq 1,0$$

$$\left(\frac{0,20}{0,92}\right)^2 + \left(\frac{2,61}{37,64}\right)^2 = 0,05 \leq 1,0$$

- Deslocamentos

Para os deslocamentos a flecha causada pelo carregamento aplicado sobre o perfil é:

$$\delta_x = 1,34 \text{ cm}$$

$$\delta_y = 0,42 \text{ cm}$$

Ambos são menores que os deslocamentos máximos previstos em norma.

Deste modo, o perfil escolhido através do ábaco pode ser utilizado nesta estrutura.

5 CONCLUSÃO

Analisando a ação devido ao vento em galpões foi possível concluir que com velocidade básica do vento entre 40 e 45 m/s a pressão gerada pode sofrer uma variação de aproximadamente 0,20 kN/m² conforme as dimensões do galpão, porém para velocidade básica do vento entre 30 e 35 m/s esta mesma variação não ultrapassa 0,10 kN/m².

Em relação ao dimensionamento pelo método das seções efetivas pode-se verificar que o momento fletor resistente de perfis U enrijecidos para utilização em terças de cobertura é sempre referente a flambagem lateral com torção, o que acaba inviabilizando vãos maiores que 8 metros para uma pressão do vento atuante sobre a cobertura de 1,2 kN/m².

Diante disso, a adoção de vãos livres maiores que 5,5 metros apresenta um aumento da massa da terça que pode variar até 90 kg entre uma pressão do vento de 0,6 a 1,2 kN/m², enquanto que para os vãos menores de 5,5 metros esse valor é de 20kg.

No que se refere ao espaçamento entre terças pode-se perceber que para o mesmo vão livre e a mesma pressão devido ao vento pode haver 1 perfil específico para cada espaçamento entre terças, 1 perfil que serve para dois espaçamentos entre terças, 1 perfil que serve para 3 espaçamentos entre terças ou 1 perfil que serve para todos os espaçamentos entre terças, variando muito de caso a caso.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para trabalhos futuros a elaboração de ábacos de pré-dimensionamento de terças em perfil Z enrijecido tendo em vista que seu uso como elemento de cobertura já é bastante difundido na construção civil.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14762**: Dimensionamento de estruturas de constituídas por perfil formado a frio. 2 p. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. 2 p. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 6123**: Forças devido ao vento em edificações. 1 p. Rio de Janeiro, 1988.

_____. **NBR 6533**: Perfis estruturais de aço formados a frio - Padronização. 1 p. Rio de Janeiro, 2012.

BATISTA, E. M. Estudos dos modos de instabilidade local de placa e distorcional em perfis de chapa dobrada de aço. **Jornadas Sudamericanas de Engenharia Estrutural**. Punta Del Este, Uruguay. Memorias. v29.14p. 2000.

BIANCHI; NOVELLO; PRAVIA. Um ábaco para pré-dimensionamento de seções de coberturas em arco treliçadas de perfis formados a frio. **Associação Brasileira da Construção Metálica – ABCEM**. São Paulo, Edição 119, p. 422 – 45. 2015.

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO (CBCA). **Manual de construção em aço: Estruturas compostas por perfis formado a frio**. 5. ed. Rio de Janeiro, 2014, 192p.

_____. **Manual de construção em aço: Galpões para uso gerais**. 4. ed. Rio de Janeiro, 2010, 194p.

CHODRAUI, G.M.B. **Análise teórica e experimental de perfis de aço formados a frio submetidos à compressão**. 2006. 294f. Tese (Doutorado em estruturas). Departamento de Engenharia de Estruturas. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.

COSTA, A.C.R. **Estudo da flambagem local de perfis U enrijecidos em situação de incêndio**. 2012. 102f. Dissertação (Mestrado em engenharia de estruturas). Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

D'ALEMBERT, F. **Coletânea do Aço: Galpões em pórticos com perfis estruturais laminados**. Gerdau. 5 ed. Rio de Janeiro, 2012. 68p.

KRIPKA; BORDIGNON; PRAVIA. Parâmetros para o dimensionamento otimizado de perfis U formados a frio submetidos a flexão simples. **Revista Sul-Americana de Engenharia Estrutural**. Passo Fundo, RS. v7. n1. p 30-51. 2010

NOGUEIRA, G.S. **Avaliação de soluções estruturais para galpões compostos por perfis de aço formados a frio**. 2009. 161f. Dissertação (Mestrado em construção metálica). Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Ouro Preto, 2009.

PIETRINI, I; ROVERE, H. Forças normais e momentos fletores críticos em perfis formados a frio. **Revista Estruturas de Aço**. Rio de Janeiro, v2. n2. p.21-40. 2013.

ROSSONI; RIGO; NOVELLO; PRAVIA. Ábacos de pré-dimensionamento de treliças e tesouras de cobertura com perfis formado a frio. **Revista Estruturas de Aço**. Rio de Janeiro, v7. n2. p. 180-193. 2018.

SALLES, G.C. **Investigação analítica, numérica e experimental do modo de flambagem distorcional em perfis formados a frio**. 2017. 192f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.

VIEIRA, R. C. **Estudo comparativo entre terças de aço convencionais em vigas, em treliças planas e em treliças multiplanares**. 2009. 189f. Dissertação (Mestrado em estruturas). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, 2009.

ANEXO A – Perfis Ue

Perfis U com enrijecedor de borda padronizados conforme a NBR 6355 (ABNT, 2012).

Perfil	Nomeclatura	bw(mm)	bf(mm)	D(mm)	t (mm)
1	50x25x10x1,20	50	25	10	1,2
2	50x25x10x1,50	50	25	10	1,5
3	50x25x10x2,00	50	25	10	2
4	50x25x10x2,25	50	25	10	2,25
5	50x25x10x2,65	50	25	10	2,65
6	50x25x10x3,00	50	25	10	3
7	75x40x15x1,20	75	40	15	1,2
8	75x40x15x1,50	75	40	15	1,5
9	75x40x15x2,00	75	40	15	2
10	75x40x15x2,25	75	40	15	2,25
11	75x40x15x2,65	75	40	15	2,65
12	75x40x15x3,00	75	40	15	3
13	100x40x17x1,20	100	40	17	1,2
14	100x40x17x1,50	100	40	17	1,5
15	100x40x17x2,00	100	40	17	2
16	100x40x17x2,25	100	40	17	2,25
17	100x40x17x2,65	100	40	17	2,65
18	100x40x17x3,00	100	40	17	3
19	100x40x17x3,35	100	40	17	3,35
20	100x50x17x1,2	100	50	17	1,2
21	100x50x17x1,5	100	50	17	1,5
22	100x50x17x2,00	100	50	17	2
23	100x50x17x2,25	100	50	17	2,25
24	100x50x17x2,65	100	50	17	2,65
25	100x50x17x3,00	100	50	17	3
26	100x50x17x3,35	100	50	17	3,35
27	125x50x17x2,00	125	50	17	2
28	125x50x17x2,25	125	50	17	2,25
29	125x50x17x2,65	125	50	17	2,65
30	125x50x17x3,00	125	50	17	3
31	125x50x17x3,35	125	50	17	3,35
32	125x50x17x3,75	125	50	17	3,75
33	150x60x20x2,00	150	60	20	2
34	150x60x20x2,25	150	60	20	2,25
35	150x60x20x2,65	150	60	20	2,65
36	150x60x20x3,00	150	60	20	3
37	150x60x20x3,35	150	60	20	3,35
38	150x60x20x3,75	150	60	20	3,75
39	150x60x20x4,25	150	60	20	4,25
40	150x60x20x4,75	150	60	20	4,75

**Perfis U com enrijecedor de borda padronizados conforme a NBR 6355 (ABNT, 2012) –
(continuação)**

<i>Perfil</i>	<i>Nomeclatura</i>	<i>bw(mm)</i>	<i>bf(mm)</i>	<i>D(mm)</i>	<i>t (mm)</i>
41	200x75x20x2,00	200	75	20	2
42	200x75x20x2,25	200	75	20	2,25
43	200x75x25x2,65	200	75	25	2,65
44	200x75x25x3,00	200	75	25	3
45	200x75x25x3,35	200	75	25	3,35
46	200x75x25x3,75	200	75	25	3,75
47	200x75x25x4,25	200	75	25	4,25
48	200x75x25x4,75	200	75	25	4,75
49	200x75x30x6,3	200	75	30	6,3
50	200x100x25x2,65	200	100	25	2,65
51	200x100x25x3,00	200	100	25	3
52	200x100x25x3,35	200	100	25	3,35
53	200x100x25x3,75	200	100	25	3,75
54	200x100x25x4,25	200	100	25	4,25
55	200x100x25x4,75	200	100	25	4,75
56	250x85x25x2,00	250	85	25	2
57	250x85x25x2,25	250	85	25	2,25
58	250x85x25x2,65	250	85	25	2,65
59	250x85x25x3,00	250	85	25	3
60	250x85x25x3,35	250	85	25	3,35
61	250x85x25x3,75	250	85	25	3,75
62	250x85x25x4,25	250	85	25	4,25
63	250x85x25x4,75	250	85	25	4,75
64	250x85x25x6,3	250	85	25	6,3
65	250x100x25x2,65	250	100	25	2,65
66	250x100x25x3,00	250	100	25	3
67	250x100x25x3,35	250	100	25	3,35
68	250x100x25x3,75	250	100	25	3,75
69	250x100x25x4,25	250	100	25	4,25
70	250x100x25x4,75	250	100	25	4,75
71	300x85x25x2,00	300	85	25	2
72	300x85x25x2,25	300	85	25	2,25
73	300x85x25x2,65	300	85	25	2,65
74	300x85x25x3,00	300	85	25	3
75	300x85x25x3,35	300	85	25	3,35
76	300x85x25x3,75	300	85	25	3,75
77	300x85x25x4,25	300	85	25	4,25
78	300x85x25x4,75	300	85	25	4,75
79	300x85x25x6,3	300	85	25	6,3
80	300x100x25x2,65	300	100	25	2,65

**Perfis U com enrijecedor de borda padronizados conforme a NBR 6355 (ABNT, 2012) –
(continuação)**

<i>Perfil</i>	<i>Nomeclatura</i>	<i>bw(mm)</i>	<i>bf(mm)</i>	<i>D(mm)</i>	<i>t (mm)</i>
81	300x100x25x3,00	300	100	25	3
82	300x100x25x3,35	300	100	25	3,35
83	300x100x25x3,75	300	100	25	3,75
84	300x100x25x4,25	300	100	25	4,25
85	300x100x25x4,75	300	100	25	4,75