

COMPARATIVO DE TIPOLOGIAS ESTRUTURAIS PARA GALPÕES INDUSTRIAIS DE USO GERAL COMPOSTOS POR PERFIS DE AÇO FORMADOS A FRIO

EDUARDA CRISTINA DEMSKI¹
KELVIN A. FIGUEREDO MIRANDA²

RESUMO: Em decorrência do atual aquecimento na construção civil, mercados cada vez mais competitivo, causas como o custo e a rapidez de uma obra são aspectos decisivos, para a escolha de um modelo estrutural a ser utilizado. Atualmente no Brasil o interesse por sistemas construtivos em estruturas de aço é cada vez maior. Portanto, pesquisar modelos estruturais faz parte do escopo do engenheiro civil, a fim de buscar sempre soluções mais econômicas e que atendam com segurança. Com o auxílio de um programa computacional, o mCalc3D, foi realizado a análise e dimensionamento de três modelos estruturais, para diferentes tipos de vãos livres. Os modelos estruturais considerados foram treliça em arco, treliça de banzos paralelos e treliça trapezoidal e os vãos adotados foram de 15 metros, 20 metros, 25 metros, 30 metros, 40 metros e 50 metros. A partir dessas análises, observou-se nas treliças de banzos paralelos um consumo de aço menor em relação aos demais modelos e que as treliças trapezoidais transmitem menores reações horizontais para os pilares.

Palavras-chave: Treliça em Arco. Treliça de Banzos Paralelos. Treliça Trapezoidal. Consumo de Aço. Reações.

COMPARISON OF STRUCTURAL TYPOLOGIES FOR INDUSTRIAL WAREHOUSES OF GENERAL USE COMPOSED BY COLD STEEL PROFILES

ABSTRACT: Due to the current heating in civil construction, and increasingly competitive markets, causes such as the cost and speed of a work are decisive aspects for the choice of a structural model to be used. Currently in Brazil the interest in construction systems in steel structures is increasing. Therefore, researching structural models is part of the scope of the civil engineer, always looking for more economical and safe solutions. With the aid of a computer program, mCalc3D, the analysis and design of three structural models for different types of free spans was carried out. The structural models considered were arch trusses, parallel trusses and trapezoidal trusses and the spans adopted were 15m, 20m, 25m, 30m, 40m and 50 meters. From these analyzes, it was observed that the parallel trusses consume less steel than the other models and that the trapezoidal trusses transmit less horizontal reactions to the columns.

Keywords: civil construction, cost analysis, programming.

¹ Eduarda Cristina Demski, Curso de Engenharia Civil, UNIFASIPÉ Centro Universitário, R. Gênova, 1430, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: eduarda@jade.ind.br;

² Professor Especialista em Engenharia Civil, Curso de Engenharia Civil, UNIFASIPÉ Centro Universitário, R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: kelvimafmiranda@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

As estruturas de aço apresentam diversas vantagens, entre elas destacam-se a boa resistência do material nos diferentes estados de tensão quando comparado com outros materiais, construção industrializada, podem ser desmontadas e substituídas com facilidade, possibilidade de reforços para aumento de cargas, facilidade para vencer grandes vãos. Sendo consequência dessas vantagens, pode-se obter seções e áreas menores para suportar as cargas solicitantes, área útil da construção maior, canteiro de obras limpos, rapidez na construção, entre outras.

Na construção em estruturas de aço, o interesse por galpões industriais de um só pavimento tem sido cada vez maior. Estas estruturas são usadas para diversas ocupações, como fábricas, depósitos, lojas, ginásios poliesportivos, entre outros.

Em um cenário, em que o mercado está cada vez mais competitivo, as empresas que trabalham com estruturas de aço, estão tendo uma grande preocupação com o fator custo. Essas obras além da preocupação com o custo devem apresentar segurança e durabilidade, de forma que garanta uma obra competitiva. Com a existência de diversos sistemas estruturais que podem ser empregados em galpões industriais de um só pavimento, cabe à empresa fabricante a escolha da melhor solução para o determinado projeto, portanto, a otimização estrutural é essencial para reduzir custos.

Com o avanço tecnológico, o desenvolvimento de softwares para projeto e cálculo estrutural tem contribuído em grande escala para a eficiência, velocidade e custo do projeto final. Usando esses softwares, os mais variados tipos de modelos estruturais e suas cargas podem ser simulados, e o sistema mais adequado pode ser determinado com uma análise rápida.

Seguindo o Manual Brasileiro para Cálculo de Estruturas Metálicas (MIC/STI, 1986), que fala que os galpões industriais, são normalmente, construções de apenas um pavimento, com finalidade de encobrir e fechar grandes áreas, protegendo os produtos que estão estocados e as instalações ou, apenas, sendo abrigo em relação às condições do clima e externas. São usados em diversos fins, como indústrias, lojas, ginásios, etc.

De acordo SCHULTE et al. (1978), os galpões industriais de um só pavimento por meio das tesouras transmitem as ações resultantes das combinações de ações para os pilares. Esse tipo de galpão pode parecer um campo simples, que necessite apenas de um engenheiro estrutural, mas a maior parte desses galpões precisam de muito mais que apenas os projetos estruturais.

O projeto estrutural é o momento em se dá corpo ao projeto arquitetônico, nesta fase é definido o sistema estrutural, a quantificação e identificação das ações que atuam sobre a estrutura, escolha do tipo de material. Após as definições iniciais, é feita a análise estrutural, e posteriormente é feito o dimensionamento e detalhamento das peças que fazem parte da estrutura.

Sendo assim, este trabalho avaliará diferentes tipos e vãos de estruturas mais utilizadas na construção de galpões industriais de um só pavimento, que contribui para engenheiros e arquitetos na escolha do modelo estrutural, mais adequado para um determinado projeto. Devido ao crescimento do mercado e ao interesse pela construção em estruturas metálicas, a escolha racional dos modelos estruturais é muito importante para o desenvolvimento de soluções padronizadas, formando assim um sistema competitivo.

Dessa forma, o estudo em foco tem como objetivo fazer uma avaliação do desempenho, de diferentes modelos estruturais usuais utilizadas em galpões de uso geral. Tendo como objetivos específicos, identificar modelos típicos para galpões industriais de um só pavimento, dimensionar e analisar os modelos propostos, bem como determinar a taxa de

consumo de aço para cada modelo estrutural, comparar a taxa de consumo de aço com a resposta estrutural dos modelos analisadas e também avaliar qual a eficiência das soluções estruturais que foram analisadas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Vento

Nas estruturas metálicas a ação do vento é uma das mais importantes a considerar, não podendo ser desconsiderada tendo o risco de colocar a estrutura em ruína.

A partir da NBR 6123 (ABNT, 1988), são feitas as considerações para efeito de cálculo de edifícios para avaliar as forças devidas ao vento. No Anexo 1 é mostrado um roteiro para o cálculo das cargas do vento sobre a estrutura.

2.2 Dimensionamento elementos de aço

O comportamento dos elementos estruturais varia de acordo com a carga que atua sobre eles.

Para cada categoria dos elementos estruturais, será feita uma análise do estado de tensões, condições de dimensionamento e pôr fim a escolha da seção mais adequada. O dimensionamento será realizado de acordo com os critérios da NBR 14762 (ABNT, 2010).

2.2.1 Elementos tracionados

De acordo com Carvalho et al. (2004), ao determinar a tração dos perfis, é necessária fazer dois tipos de verificação. A primeira, é chamada de verificação ao escoamento da seção bruta, na qual se verifica ao longo da barra, se as tensões são menores que o limite de escoamento do aço. A segunda verificação, denominada verificação da ruptura da seção líquida, é feita na região das ligações, onde existe a interferência dos furos para passagem dos parafusos, que reduzem a área tracionada em determinadas seções.

A força normal de tração resistente de cálculo $N_{t,Rd}$ deve ser adotada como o menor valor entre as duas equações abaixo, e sempre maior ou igual a força normal de tração solicitante de cálculo N_{td} .

$$N_{t,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma} \quad (\gamma = 1,10)$$

$$N_{t,Rd} = \frac{C_t A_n f_u}{\gamma} \quad (\gamma = 1,35)$$

$N_{t,Rd}$ é a força axial de tração, resistente de cálculo, determinada da seguinte forma: A é área bruta da seção transversal da barra; A_n é área líquida efetiva da seção transversal da barra, F_y é a resistência ao escoamento do aço e F_u é a resistência à ruptura do aço.

2.2.2 Elementos comprimidos

Segundo Carvalho et al. (2004), as barras comprimidas podem entrar em colapso devido ao escoamento, flambagem local, flambagem global, flambagem por distorção. O aumento da esbeltes da barra acaba diminuindo sua capacidade em resistir aos esforços

solicitantes, sendo assim a tensão máxima que poderá atuar em um elemento de chapa comprimido é a tensão crítica de flambagem e não mais a tensão de escoamento do aço.

De acordo com Carvalho et al. (2004), os modos de colapso escoamento e flambagem local raramente irão ocorrer isolados nos perfis de uma estrutura metálica, entretanto o escoamento e flambagem local serão componentes da flambagem global, ocorrendo em conjugação com a flambagem por flexão, por torção e por flexo-torção.

A força normal de compressão resistente de cálculo $N_{c,Rd}$, é calculada por meio do roteiro apresentado no anexo 2, e deve ser maior ou igual a força normal de compressão solicitante de cálculo N_{cd} .

2.3 Padronização dos Perfis Formado a Frio (NBR 6355:2003)

Os perfis formados a frio (PFF) são obtidos por meio de dobramento, feito em temperatura ambiente, das chapas de aço por dois métodos diferentes: descontínuo, com a utilização de prensa dobradeira ou viradeira, ou um processo contínuo usando máquina perfiladeira. No Brasil esses perfis começaram a ser usados na década de 60 quando as empresas começaram a buscar equipamentos para realizarem esses processos de dobramento a (Malite et al, 1998), mas começou realmente a ser usado esses perfis a partir da norma NBR 14762:2001 (ABNT, 2001).

Quando usado perfis formados a frio, as estruturas ficam mais leves quando comparadas com outras estruturas, geralmente apresentam uma relação maior de inércia/peso que os perfis laminados, o que resulta em menor quantidade de material, reduzindo o custo final da obra. Segundo Carvalho et al (2006) comparando os perfis laminados aos perfis formados a frio (PFF), os perfis formados a frio apresentam diversas vantagens, são elas:

A facilidade de se adaptar à forma e tamanho requeridos. Com esses perfis pode-se criar formas para atender a requisitos específicos, e otimizar as dimensões de acordo com a compatibilidade com o valor requerido, o que gera economia; o baixo custo e a facilidade de produção de estoque. A produção dos perfis formados a frio é muito barata quando comparada à de um perfil laminado; para cargas médias e vãos, estruturas com perfis formados a frio podem reduzir o peso estrutural. A resistência pós-flambagem utilizada em perfis formados a frio combinada com formas e tamanhos otimizados podem tornar a estrutura mais leve.

Os perfis formados a frio são cada vez mais adequados para a construção civil. Esses perfis são usados não apenas como materiais de vedação, mas também como elementos estruturais, e são amplamente utilizados em edifícios residenciais, comerciais e industriais em edifícios civis.

A NBR 6355: 2003 estipula os requisitos para perfis estruturais de aço formados a frio, e propõe uma tabela de séries de produtos e suas respectivas denominações, tolerâncias de formas e dimensões, qualidade e características geométricas de cada parte da série de produtos.

A designação dos perfis sempre é feita da seguinte maneira: símbolo do perfil x tamanho da unidade (alma, mesa e enrijecedor, se houver, nesta ordem) x espessura, todas as dimensões são expressas em milímetros. Por exemplo, um perfil simples em forma de U com um tamanho de alma de 90 mm, uma mesa de 40 mm e uma espessura de 2,25 mm é designado como: U 90 x 40 x 2,25. No anexo 03 mostra de forma simplificada os tipos de perfis padronizados pela NBR 6355: 2003.

2.4 Aplicação

Sabendo que principal objetivo deste trabalho é estimar o desempenho de soluções estruturais para galpões industriais, de um só pavimento leves compostos por perfis de aço

formados a frio, decidiu-se realizar um estudo considerando os sistemas estruturais mais comuns nessas construções. Este estudo deverá permitir um comparativo entre o consumo de aço e reações verticais e horizontais.

2.4.1 Variação de parâmetros

A escolha de parâmetros para o andamento do estudo sobre galpões industriais de um só pavimento pode ser constituída, a partir da variação de diversas características, que influenciam diretamente o comportamento estrutural, como: tipologia da estrutura; vão livre da estrutura; inclinação da cobertura; tipo de vinculação; variação da magnitude das cargas; relação entre altura no meio do vão e vão livre da estrutura; distância entre as estruturas.

Cada um desses parâmetros desempenha uma maior ou menor influência no consumo de aço e em sua resposta estrutural. Assim, para uma avaliação mais detalhada seria necessário analisar um maior número de modelos estruturais, no empenho de definir a influência de cada uma de suas particularidades.

Para o estudo deste trabalho optou-se por avaliar apenas a influência das variáveis Tipologia da estrutura e vão livre da estrutura. Para as demais particularidades de projeto usa-se valores, normalmente encontrados em galpões industriais de um só pavimento, a distância entre os pilares de 6 metros e, comprimento total do galpão de 60 metros.

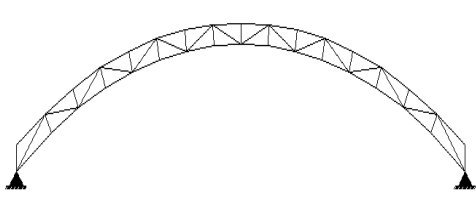
Considerou-se que os elementos estruturais secundários como as travessas, as terças e os contraventamentos, dentre outros, serão sempre iguais, não exercendo influência no consumo de aço para as diferentes tipologias analisadas.

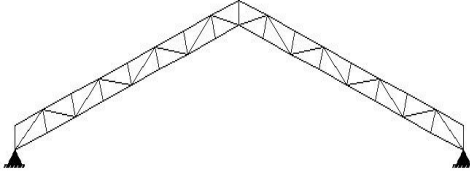
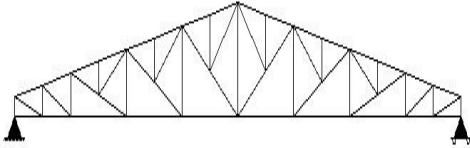
3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a avaliação deste estudo, foram adotadas três tipologias de estrutura e seis vãos livres diferentes (15, 20, 25, 30, 40 e 50 metros), sendo as mais usuais na região conforme se mostra na Figura 1. As tipologias consideradas são:

- TA - Treliça em arco
- BP - Treliça de banzos paralelos
- TP - Treliça trapezoidal

Figura 1: Tipologia das estruturas consideradas no estudo.

Tipologia	Vão livre (m)	Simbologia
<p>TA</p> 	15	TA-15
	20	TA-20
	25	TA-25
	30	TA-30
	40	TA-40
	50	TA-50

BP 	15	BP-15
	20	BP-20
	25	BP-25
	30	BP-30
	40	BP-40
	50	BP-50
TP 	15	TP-15
	20	TP-20
	25	TP-25
	30	TP-30
	40	TP-40
	50	TP-50

Fonte: Própria (2020)

Para determinar as dimensões dos modelos que integram este estudo, usa-se como referência uma inclinação que atenda a exigência do uso de telhas metálicas.

Adota-se então uma relação de $L/10$ para a flecha do modelo em treliça trapezoidal (TP). Para a treliça em arco (TA) e a treliça de banzos paralelos (BP), toma-se como referência uma relação entre a flecha e o vão livre em torno de $L/5$ a $L/6$. Portanto, para esses modelos estruturais define-se uma relação de $L/5$ para a flecha no meio do vão.

3.1 Definição dos Modelos Estruturais

Tendo em vista os parâmetros das estruturas apresentadas anteriormente, neste item se definem as particularidades geométricas de cada uma. Os modelos de cobertura são considerados de baixo custo, já que é produzido em fábrica de acordo com o projeto e após são levados para o local apenas para fazer a montagem. O aço por ser um metal leve, é considerado o principal material para galpões, já que também oferece vantagens como maior rapidez na entrega, menor risco de atraso e um material de boa qualidade.

3.1.1 Treliça em Arco

A cobertura com arco é usada desde a Antiguidade. Já que as civilizações não tinham tecnologias como as de hoje e utilizavam pedras para compor o arco em aquedutos e estruturas de drenagem. Eles repararam que desse modo era mais simples para alcançar grandes vãos já que época que não existia conhecimento sobre concreto armado e nem ligas metálicas. Esse tipo de treliça é indicado para grandes vãos, o projeto consegue ter uma liberdade maior, já que fica sem obstrução. No Apêndice A apresentam-se os seis modelos com treliça em arco considerados no estudo, cujos vãos livres estão entre 15 a 50 metros.

Para esse modelo estrutural considera-se que as ligações entre banzos da viga de cobertura e a coluna são flexíveis e que as colunas estão rotuladas na base. Mas do outro lado, os montantes e as diagonais, da treliça são rotulados em suas extremidades.

Em arcos metálicos a relação usada entre a altura dos banzos e o vão livre entre apoios irá variar em torno de $L/35$ a $L/40$. Neste trabalho, usa-se uma relação de $L/35$ para a distância entre banzos. Para essa tipologia, admite-se que ambas as vinculações restringem o deslocamento em X e Y.

3.1.2 Treliça de Banzos Paralelos

No Apêndice B apresentam-se os seis modelos com treliça de banzos paralelos considerados no estudo, cujos vãos livres variam de 15 a 50 metros.

As colunas são rotuladas na base e a ligação dos banzos da treliça com a coluna é flexível. Os elementos das diagonais e montantes são rotulados em suas extremidades.

Nas treliças metálicas de banzos paralelos será adotada que a distância entre banzos é correspondente à $L/30$. Para essa tipologia admite-se que ambas as vinculações restringem o deslocamento em X e Y.

3.1.3 Treliça Trapezoidal

No Apêndice C apresentam-se os seis modelos de treliça trapezoidal considerados no estudo, mantendo-se a mesma variação de vãos que foram utilizadas nos estudos anteriores.

Nas treliças metálicas do tipo trapezoidal será adotada uma relação de $L/10$ para a flecha e de no mínimo 0,25 metros ou $L/100$ para altura na extremidade. Para essa tipologia admite-se que uma vinculação restringe o deslocamento em X e Y e a outra restringe somente em Y. Os critérios de vinculação seguem o mesmo princípio utilizado nos modelos de treliça em arco e de treliça de banzos paralelos, ou seja, colunas rotuladas na base, ligação flexível entre os banzos da treliça e a coluna e extremidades das diagonais e montantes rotulados.

3.2 Análise Estrutural e Dimensionamento dos Modelos

Serão apresentados os principais aspectos da análise e dimensionamento dos modelos que constituem o estudo para avaliação do desempenho dos tipos de estruturas para galpões industriais compostos por perfis formados a frio.

As normas atuais usadas para dimensionamento de estruturas metálicas e mistas tem o Método dos Estados Limites como base.

Conforme o método do estado limite, é necessário que o estado limite aplicável não seja ultrapassado, quando a estrutura é submetida a todas as combinações de ação apropriadas. Se um ou mais estados limites forem ultrapassados, a estrutura não atenderá aos objetivos para o qual foi projetada. O estado limite (ELU) e o estado limite de serviço (ELS) devem ser sempre considerados.

Os estados limites últimos estão diretamente ligados com a segurança da estrutura sujeita às combinações mais desfavoráveis de ações previstas em toda a vida útil, seja durante a construção ou quando atuar uma ação especial ou excepcional.

3.2.1 Ações

De acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008), as ações atuantes nos modelos foram determinadas.

a) **Ações Permanentes (G):** Para os galpões industriais leves, as ações permanentes correspondem ao peso próprio dos elementos integrantes da estrutura e dos materiais a ela ligados. Para todos os modelos estruturais, levando-se em conta o peso próprio das telhas, terças e elementos secundários de cobertura, considerou-se uma ação permanente de $0,15\text{kN/m}^2$. Lembra-se que as cargas foram aplicadas nos nós da estrutura que recebem as terças.

b) **Sobrecarga de Cobertura (Q):** De acordo com BELLEI (2006) para galpões de médio e pequeno porte, em zonas fora de acúmulo de poeira, pode-se adotar para sobrecargas de cobertura o valor de $0,15\text{kN/m}^2$. Para as coberturas comuns, caso não haja especificação mais rigorosas, deve ser prevista uma sobrecarga de pelo menos $0,25\text{kN/m}^2$. Para os modelos adotados neste estudo foi considerado a sobrecarga mínima de cobertura recomendada pela

NBR 8800 (ABNT, 2008) de $0,25\text{kN/m}^2$. Assim como as cargas permanentes, a sobrecarga de cobertura será aplicada nos nós onde as terças estão apoiadas.

c) **Vento (V):** A ação do vento nos galpões analisados neste estudo foi determinada seguindo as prescrições da NBR 6123 (ABNT, 1988). Foi admitida uma situação de vento comum a todos os galpões, o que implicou em adotar uma mesma velocidade de vento para todos os modelos analisados. Na avaliação das forças provenientes ao vento se estabeleceu uma velocidade básica $V_0=45\text{m/s}$.

Admitiu-se também que os galpões estão localizados em terrenos planos ou fracamente acidentados, cobertos por obstáculos numerosos e pouco esparsos, em zona florestal, industrial ou urbanizada, tendo como finalidade o uso de edificação para comércio e indústria com alto fator de ocupação.

Em função da descrição, as seguintes características foram admitidas para o vento:

Velocidade Básica -	$V_0 = 45\text{m/s}$
Fator Topográfico -	$S_1 = 1,00$
Fator de Rugosidade -	$S_2 = 0,83$
Fator Estatístico -	$S_3 = 1,00$

Para essas condições, a pressão dinâmica (q) admitida é de:

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$$

$$q = 0,613 \cdot V_k^2 = 855,15\text{N/m}^2 = 0,86\text{kN/m}^2$$

Considerando a grande quantidade de dados de todos os modelos, optou-se por apresentar somente os estudos de vento, para um modelo de cada tipologia estudada, sendo escolhido o vão livre de 30 metros para ambos os casos, conforme apresentado nos apêndices D, E e F.

3.2.2 Combinações de Ações

O carregamento que atua numa estrutura é o resultado da combinação das diversas ações, que exista chance de ocorrer simultaneamente em período de tempo.

Os critérios para combinação das ações estão definidos na NBR 8800 (ABNT, 2008). Neste estudo serão consideradas as seguintes combinações de ações:

Tabela 1: Combinações de ações

• Combinação 01 - $1,25 \times G$ (peso próprio) + $1,5 \times Q$ (sobrecarga)
• Combinação 02 - $1,00 \times G$ (peso próprio) + $1,4 \times V_0^\circ$ (vento longitudinal)
• Combinação 03 - $1,00 \times G$ (peso próprio) + $1,4 \times V_{90^\circ E}$ (vento transversal esquerda)
• Combinação 04 - $1,00 \times G$ (peso próprio) + $1,4 \times V_{90^\circ D}$ (vento transversal direita)

3.3 Resultados da Análise Estrutural e Dimensionamento dos Modelos

O tipo de análise estrutural poderá ser classificado de acordo com os efeitos dos deslocamentos da estrutura e com o comportamento do material.

De acordo com a NBR 8800: 2008 (ABNT, 2008), a análise estrutural deve ser realizada por meio de um modelo lógico, que possa ilustrar a resposta de estruturas e materiais estruturais, que leva em consideração a deformação causada por todos os trabalhos relacionados. Quando necessário, a interação entre solo-estrutura e o comportamento das conexões devem ser considerados no modelo.

A NBR 8800:2008 (ABNT, 2008) sugere que, para que se possa verificar a estabilidade global da estrutura seja realizada uma análise de segunda ordem que inclua os defeitos iniciais das vigas e pilares a serem contidos lateralmente.

Em relação aos efeitos que são causados pelos deslocamentos da estrutura, os esforços internos podem ser determinados por duas análises, a análise linear, que utiliza a teoria dos esforços de primeira ordem, que leva em consideração a estrutura indeformada ou por análise não linear, que considera a estrutura deformada. Uma vez que as estruturas de galpões de uso geral são pórticos planos, geralmente de pequena deslocabilidade lateral (Nogueira, 2009) será adotada a análise elástica de primeira ordem.

Segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008), o Método dos Estados Limites, que é usado para o dimensionamento da estrutura de aço, requer que nenhum estado limite seja ultrapassado quando uma estrutura for submetida a uma combinação de ações, já que caso um desses limites seja ultrapassado ela não atenderá a sua necessidade. Os estados-limites a serem considerados são dois, sendo os estados limites últimos (ELU), que estão relacionados à capacidade de resistência das peças e segurança das estruturas, e os estados limites de serviço (ELS), que estão relacionados à utilização da estrutura em condições de serviço.

Após o procedimento de análise e dimensionamento dos modelos, elaborou-se as tabelas 2, 3 e 4, com as informações indispensáveis a respeito dos perfis usados na composição, de cada modelo do estudo a partir da qual se determina a taxa de consumo do galpão, de acordo com a quantidade de aço obtida e a área de influência da estrutura. Nesta tabela constam também os valores do deslocamento vertical da estrutura após ser dimensionada.

3.3.1 Lista de Materiais e Deslocamento Vertical

Tabela 2: Lista de Materiais e Deslocamento Vertical para Treliça em Arco (TA).

TRELIÇA EM ARCO					
VÃO	BANZOS	MONT/DIAG	DESL. VERT.	CONSUMO	TAXA
			(cm)	(Kg)	(Kg/m ²)
TA-15	U 75x40x2,00	2L 30x30x2,00	1,27	122,90	1,37
	U 75x40x2,65				
TA-20	U 100x50x2,00	2L 30x30x2,00	1,86	203,14	1,69
	U 100x50x2,65	2L 35x35x2,00			
TA-25	U 120x60x2,00	2L 30x30x2,00	2,37	306,41	2,04
	U 120x60x2,65	2L 35x35x2,00			
TA-30	U 120x60x2,25	2L 30x30x2,00	2,68	418,52	2,33
	U 120x60x2,25	2L 40x40x2,25			
TA-40	U 125x75x2,65	2L 35x35x2,00	3,22	755,95	3,15
	U 125x75x4,25	2L 50x50x2,25			
TA-50	U 125x75x3,00	2L 35x35x2,00	4,51	1.096,99	3,66
	U 125x75x4,75	2L 50x50x3,00			

Tabela 3: Lista de Materiais e Deslocamento Vertical para Treliça de Banzos Paralelos (BP).

TRELIÇA DE BANZOS PARALELOS					
VÃO	BANZOS	MONT/DIAG	DESL. VERT.	CONSUMO	TAXA
			(cm)	(Kg)	(Kg/m²)
BP-15	U 100x40x2,00	2L 40x40x2,00	1,04	148,26	1,65
	U 100x40x2,25				
BP-20	U 100x40x2,25	2L 40x40x2,00	1,47	227,14	1,89
	U 100x40x2,65	2L 40x40x2,65			
BP-25	U 100x40x2,65	2L 40x40x2,00	1,98	335,62	2,24
	U 100x40x3,00	2L 40x40x2,65			
BP-30	U 100x50x3,00	2L 40x40x2,00	2,34	485,20	2,70
	U 100x50x3,35	2L 40x40x2,65			
		2L 43x43x3,00			
BP-40	U 150x75x3,00	2L 50x50x2,00	2,76	987,85	4,12
	U 150x75x3,35	2L 50x50x2,65			
		2L 55x55x3,00			
BP-50	U 150x75x3,35	2L 50x50x2,00	3,82	1.484,02	4,95
	U 150x75x3,75	2L 50x50x3,00			
		2L 60x60x3,35			

Fonte: Própria (2020)

Tabela 4: Lista de Materiais e Deslocamento Vertical para Treliça Trapezoidal (TP).

TRELIÇA TRAPEZOIDAL					
VÃO	BANZOS	MONT/DIAG	DESL. VERT.	CONSUMO	TAXA
			(cm)	(Kg)	(Kg/m²)
TP-15	U 120x60x2,65	2L 40x40x2,00	3,11	279,88	3,11
	U 120x60x3,75	2L 42x42x4,75			
TP-20	U 150x75x3,35	2L 50x50x2,00	4,16	527,96	4,40
	U 150x75x4,25	2L 52x52x4,75			
TP-25	U 125x75x4,75	2L 50x50x2,00	5,39	844,65	5,63
	U 125x75x6,30	2L 50x50x2,65			
		2L 55x55x6,30			

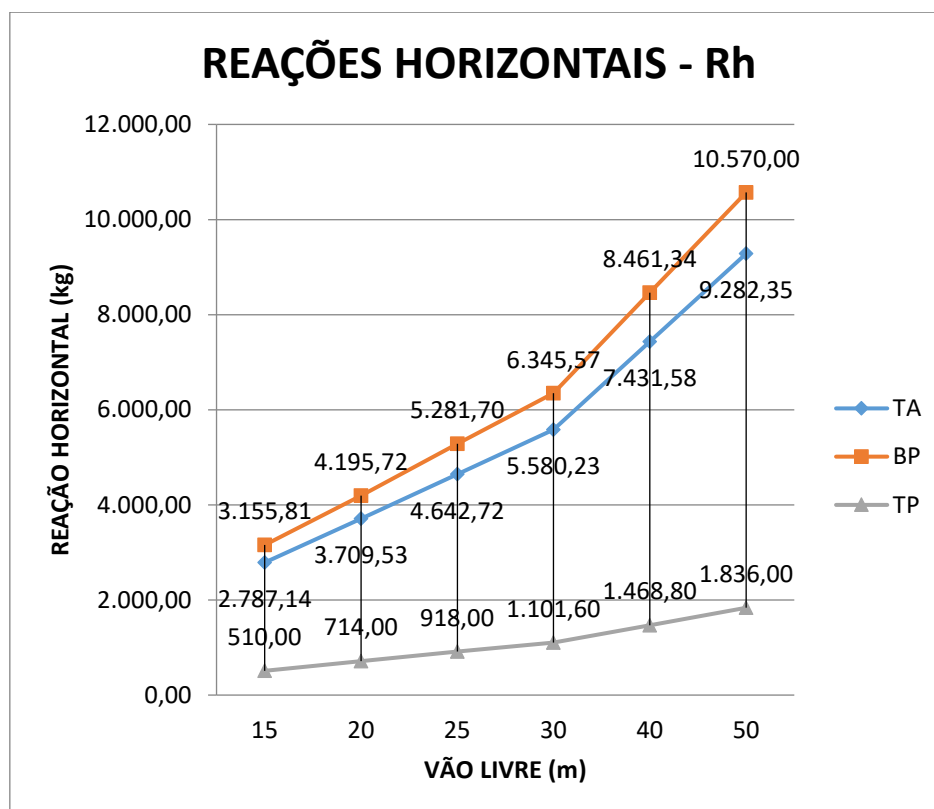
TP-30	U 200x75x4,25	2L 50x50x2,00	6,38	1.254,39	6,97
	U 200x75x6,30	2L 60x60x2,65			
		2L 70x70x4,75			
TP-40	U 200x100x4,75	2L 70x70x2,00	8,82	2.335,51	9,73
	U 200x100x6,30	2L 70x70x2,65			
		2L 70x70x3,35			
		2L 75x75x6,30			
TP-50	U 200x100x6,30	2L 80x80x2,00	11,36	3.944,85	13,15
	U 200x100x8,00	2L 80x80x3,00			
		2L 80x80x4,75			
		2L 82x82x6,30			

Fonte: Própria (2020)

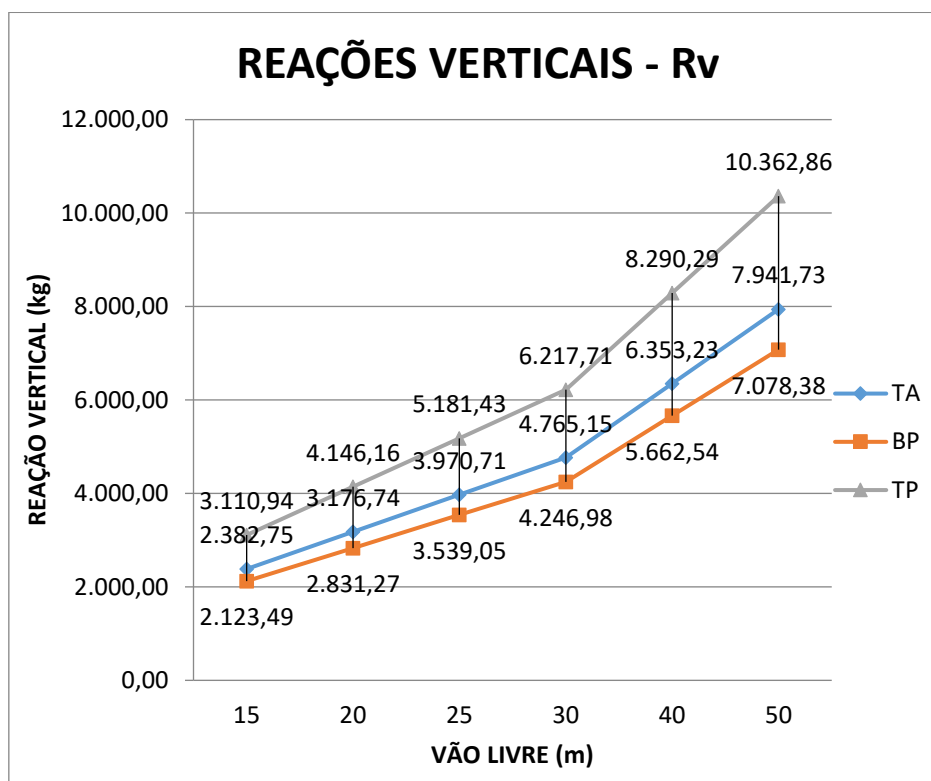
3.3.2 Comparativo das Reações Verticais e Horizontais para um Mesmo Vão Livre

Nas Figuras 2 e 3 apresenta-se um gráfico da análise comparativa das reações verticais e horizontais mais desfavoráveis para os vãos livres de 15 metros, 20 metros, 25 metros, 30 metros, 40 metros e 50 metros em função das tipologias consideradas neste estudo.

Figura 2: Reações Verticais em Função do Vão Livre.



Fonte: Própria (2020)

Figura 3: Reações Horizontais em Função do Vão Livre.

Fonte: Própria (2020)

Com base nas Figuras 2 e 3, observa-se que as reações verticais apresentam a mesma propensão de variação para os vãos livres, em função das tipologias estruturais consideradas, ou seja, conforme se aumenta o vão, aumenta-se as reações.

Em função dessa análise das reações verticais observa-se que em todos os vãos o modelo formado por treliça de banzos paralelos (BP) apresenta uma ligeira vantagem, em relação à treliça em arco (TA).

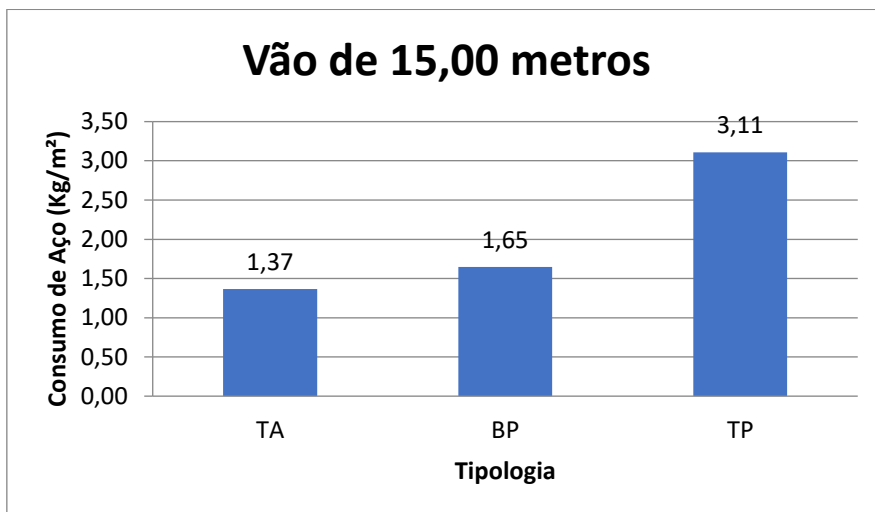
A diferença considerável nos valores das reações verticais do modelo formado por treliça trapezoidal (TP), em relação aos demais, pode ser explicada pela diferença na influência do vento neste modelo, sendo este o que apresentou o caso mais desfavorável para a ação de ventos.

Ao analisar as reações horizontais observa-se uma troca de posições entre o modelo formado por treliça de banzos paralelos (BP) e a treliça em arco (TA), porém o modelo de treliça trapezoidal (TP) apresenta as menores reações, ou seja, as mais vantajosas para o dimensionamento das colunas de apoio para estrutura.

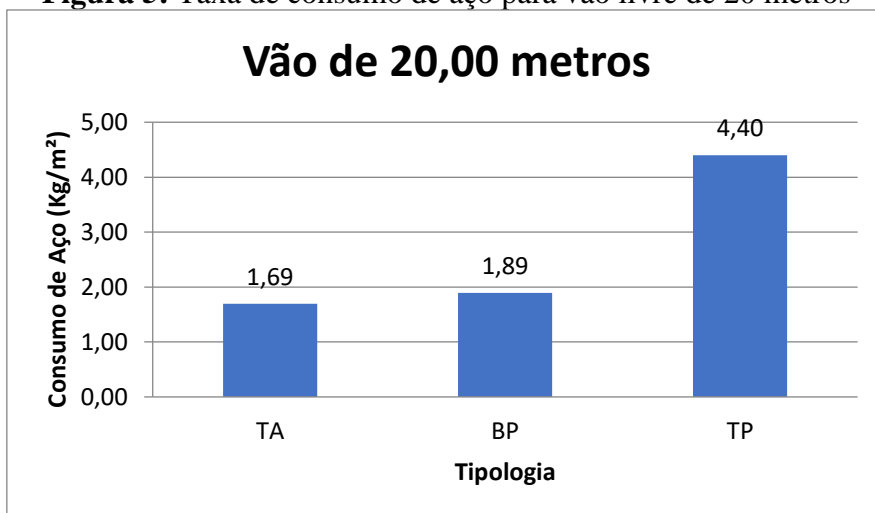
A grande diferença nos valores das reações horizontais do modelo formado por treliça trapezoidal (TP), em relação aos demais, pode ser explicada pela vinculação deste modelo, sendo que o mesmo apresentou um dos apoios livres para o deslocamento em X, porém esse tipo de vinculação apresenta um maior consumo de aço, se comparada às vinculações utilizadas nos outros modelos estruturais.

3.4 Comparativo da Taxa de Consumo de Aço para um Mesmo Vão Livre

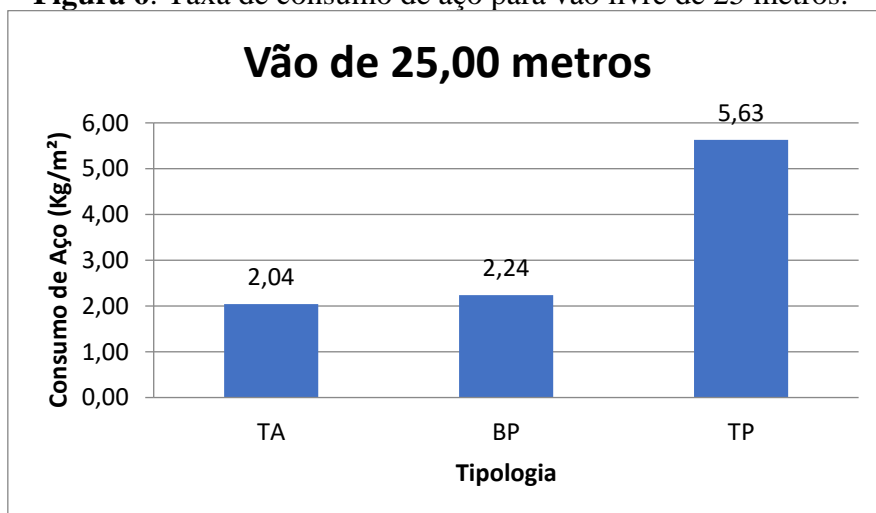
Nas Figuras 4 a 9 apresentam-se uma análise comparativa das taxas de consumo de aço para os vãos livres de 15m, 20m, 25m, 30m, 40m e 50 metros em função das tipologias consideradas.

Figura 4: Taxa de consumo de aço para vão livre de 15 metros.

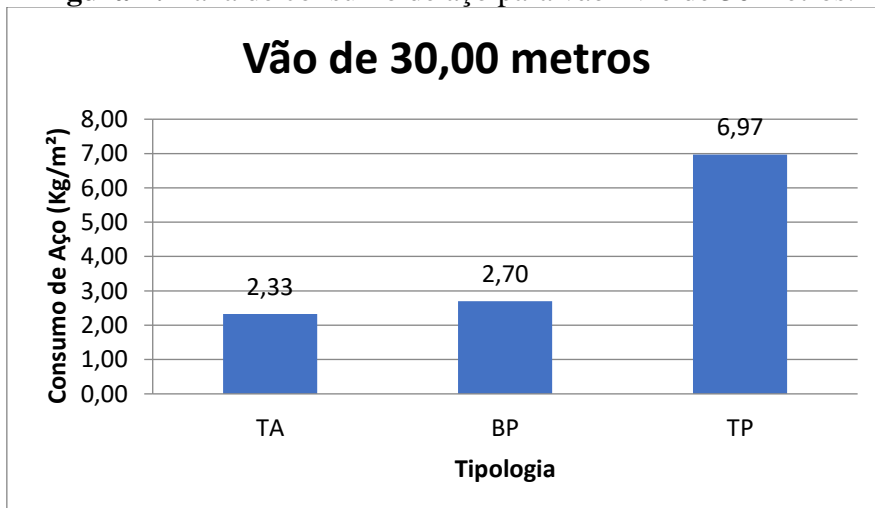
Fonte: Própria (2020)

Figura 5: Taxa de consumo de aço para vão livre de 20 metros

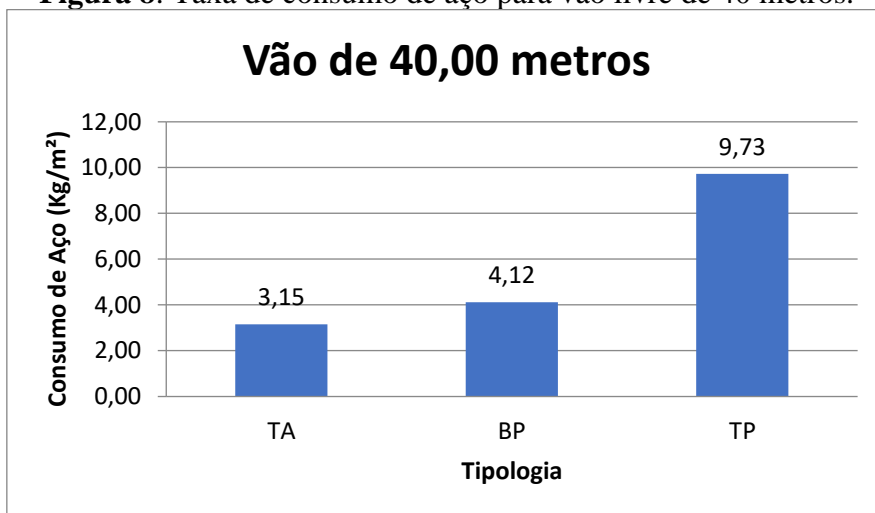
Fonte: Própria (2020)

Figura 6: Taxa de consumo de aço para vão livre de 25 metros.

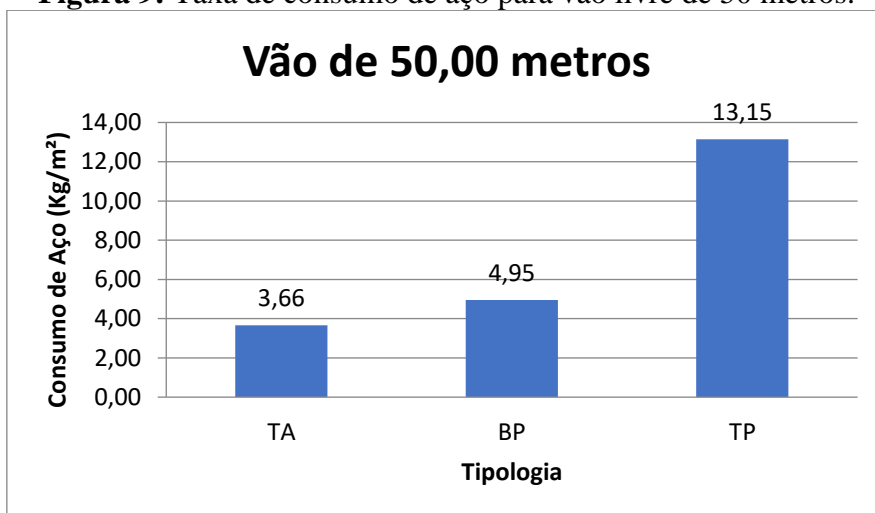
Fonte: Própria (2020)

Figura 7: Taxa de consumo de aço para vão livre de 30 metros.

Fonte: Própria (2020)

Figura 8: Taxa de consumo de aço para vão livre de 40 metros.

Fonte: Própria (2020)

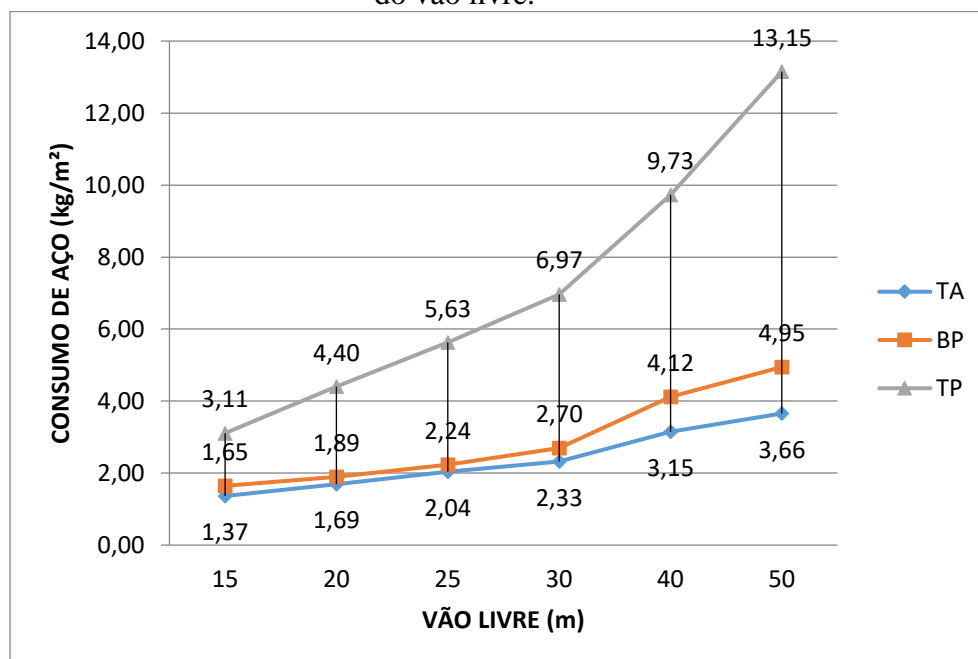
Figura 9: Taxa de consumo de aço para vão livre de 50 metros.

Fonte: Própria (2020)

Em função dessas análises observa-se que em todos os vãos o modelo formado por treliça em arco (TA) apresenta uma ligeira vantagem, em relação a treliça de banzos paralelos (BP), visto que em todos os gráficos a taxa de consumo de aço é menor. Em contrapartida, os modelos formados por treliça trapezoidal (TP) apresentam taxas de consumo de aço bem superiores às demais.

Na Figura 10 apresenta-se uma sobreposição dos resultados para as tipologias estudadas, comparando as taxas de consumo de aço para as diversas tipologias estudadas, em função do vão livre da estrutura.

Figura 10: Taxa de consumo de aço para as tipologias das estruturas consideradas, em função do vão livre.



Fonte: Própria (2020)

De acordo com a Figura 10 nota-se o desempenho das tipologias estudadas em função da variação do vão livre. Pode-se notar que a estrutura exerce maior influência à medida que o vão livre aumenta.

Em relação a variação da taxa de consumo de aço para uma mesma tipologia, nota-se uma tendência de aumento do consumo com o aumento do vão livre, para todos os modelos de estruturas estudados. Sendo possível observar um aumento da taxa de consumo mais expressivo nos casos de treliça trapezoidal (TP).

4. DISCUSSÕES

Nos vãos até 30 metros observa-se uma pequena variação no consumo de aço e nos valores das reações do modelo de treliça em arco e treliça de banzos paralelos, visto que ambos os modelos apresentam uma forma muito parecida, sendo assim nos vãos de 15, 20, 25 e 30

metros a escolha do modelo estrutural seria opcional ou em função da estética, pois ambos os modelos apresentam valores próximos, na ordem de 15%.

Sendo assim, considerando os vãos livres de 40 e 50 metros, as treliças de banzos paralelos apresentam uma vantagem considerável de 30 a 35% sobre as treliças em arco, em relação à taxa de consumo de aço.

4. CONCLUSÃO

Com este estudo, por meio das análises realizadas no mesmo foi possível demonstrar que a treliça trapezoidal apresenta taxas de consumo de aço maiores que as outras tipologias para todos os vãos livres analisados.

Nesse sentido, à medida que aumenta o vão livre da estrutura, maior é a influência da tipologia sobre a taxa de consumo de aço, assim acresce também a vantagem da treliça em arco e treliça de banzo paralelo sobre a treliça trapezoidal.

Quanto as reações foram possíveis observar que a treliça trapezoidal apresentou reações verticais, maiores do que a treliça em arco e treliça de banzos paralelos em todos os vãos analisados. Em relação as reações verticais, a diferença pode ser definida como considerável, pois sofre a influência do vento, que neste caso foi o mais desfavorável, em função da inclinação da cobertura, porém nas reações horizontais houve uma variação muito elevada em comparação com as outras tipologias estudadas.

Dessa forma, essa grande diferença nas reações horizontais pode ser explicada, pelo tipo de vinculação adotada neste modelo, o que resulta em cargas muito inferiores, se comparada as outras tipologias. Os valores obtidos para a treliça trapezoidal resultam em um grande ganho, no dimensionamento dos apoios para este tipo de estrutura, sendo assim possível utilizar seções menores de apoio e fundação, e com menor taxa de consumo de aço, em relação aos outros modelos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762**: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6355**: Perfis estruturais de aço formados a frio. Rio de Janeiro, 2003.

BATISTA, E. M. et al. (2000). **Estudos dos modos de instabilidade local de placa e distorcional em perfis de chapa dobrada de aço**. In: JORNADAS SUDAMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL, 29., Punta Del Este, Uruguay, nov. 2000. Memorias. 14p.

BELLEI, Ildony H. **Edifícios Industriais em Aço - Projeto e Cálculo**. 5.ed. São Paulo: PINI, 2006.

CARVALHO, P. R. M., et al. **Curso básico de perfis de aço formados a frio**. Porto Alegre, 2004.

GONÇALVES, R. M., SALES, J. J. de S., MALITE, M. **Ação do Vento nas Edificações: teoria e exemplos**. São Carlos: SET/EESC/USP, 2004.

MALITE, M., Sáles, J. J., Gonçalves, R. M. (1998). **Algumas considerações sobre a nova norma brasileira de estruturas de aço em perfis formados a frio**. Artigo Técnico, Revista Construção Metálica, n. 33, p. 22-26, 1998.

MATHCAD (2007). **Mathcad User`s Guide with Reference Manual 2007**. Editora MathSoft Engineering & Educaation, Inc., Cambridge, USA.

MCALC2008, **Programa para Geração, Análise e Dimensionamento de Estruturas Metálicas**— Versão 2008.9.196.814 (May 25 2009). Stabile Engenharia Ltda.

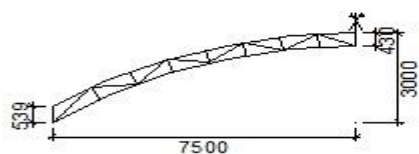
MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO. SECRETARIA DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL (MIC/STI). **Manual Brasileiro para Cálculo de Estruturas Metálicas**. v.1. Brasília: MIC/STI, 1986.

SANTOS, A.F.dos Estruturas Metálicas - **Projeto e Detalhes para Fabricação**. São Paulo: McGraw Hill do Brasil, 1977. 476p.

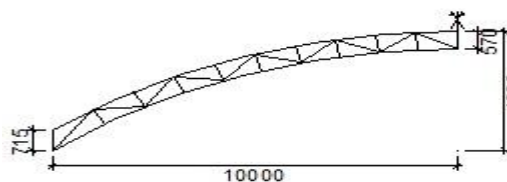
SCHAFER, B. W. CUFSM 2.5 – **Users Manual and Tutorials**, disponível em www.ce.jhu.edu/cufsm, 2001.

Apêndices

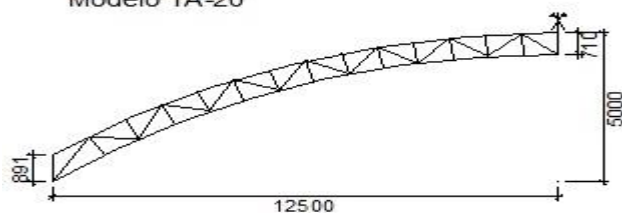
APÊNDICE A



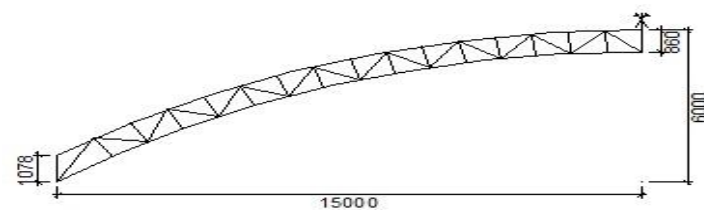
Modelo TA-15



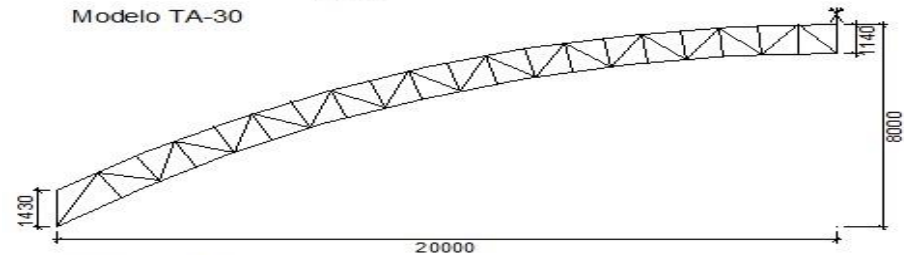
Modelo TA-20



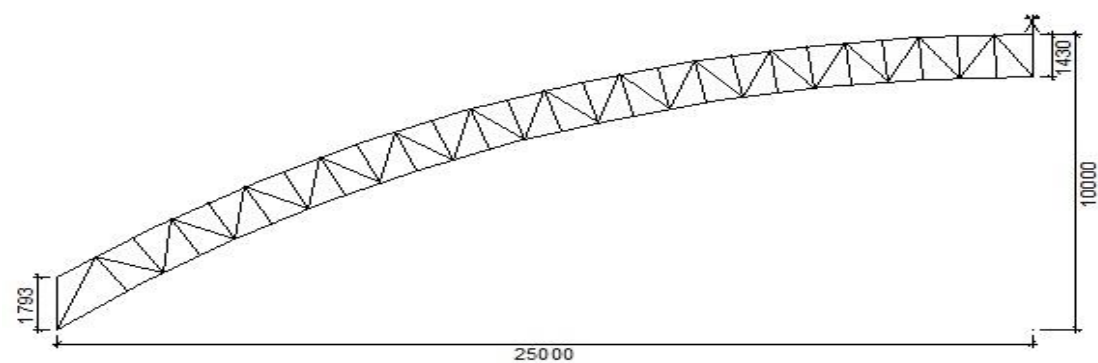
Modelo TA-25



Modelo TA-30



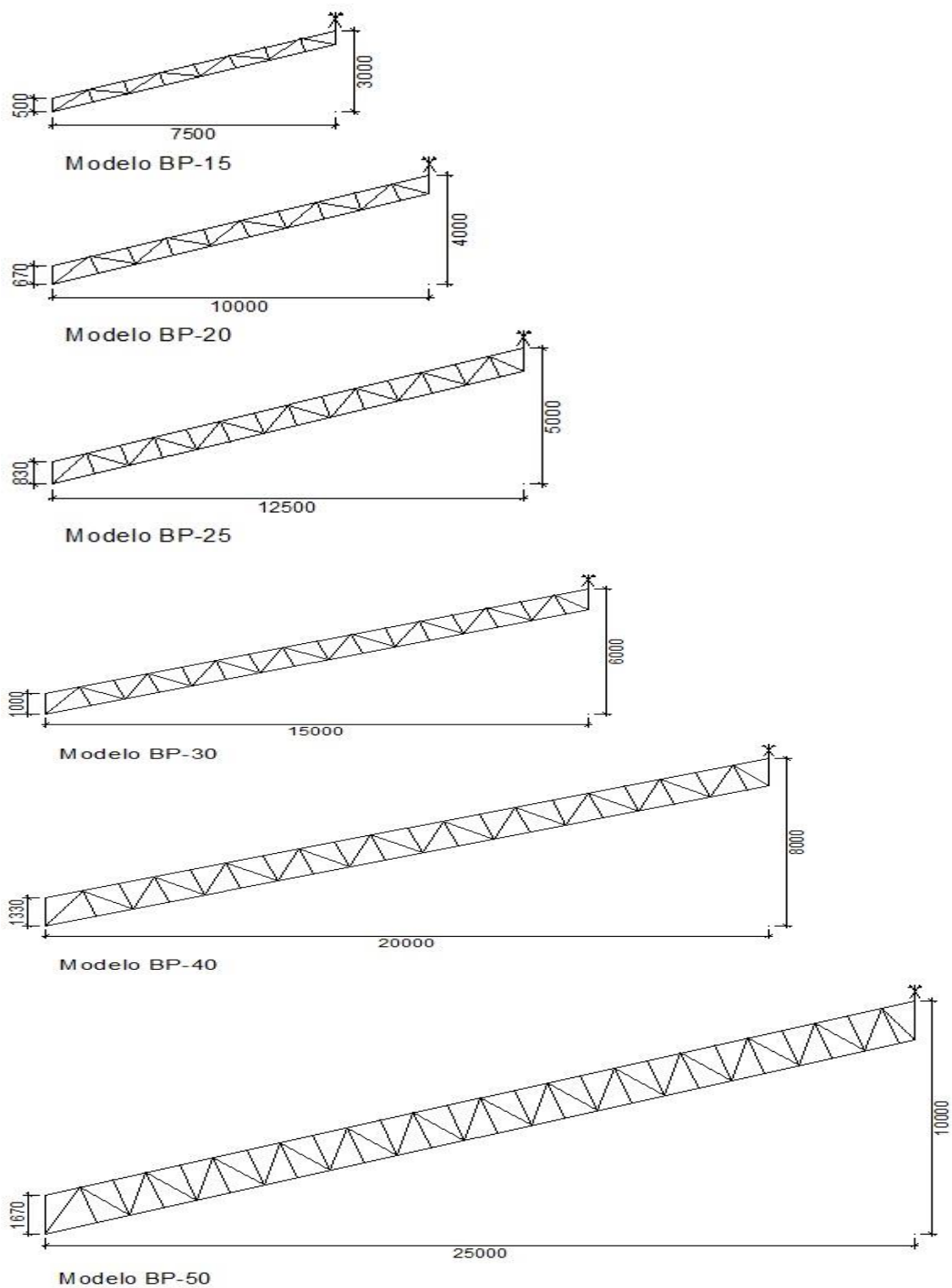
Modelo TA-40



Modelo TA-50

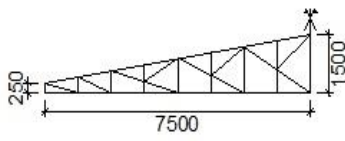
Varição da geometria para treliça em arco (TA).

APÊNDICE B

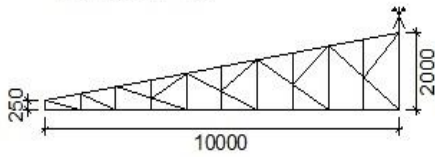


Variação da geometria para treliça de bantos paralelos (BP).

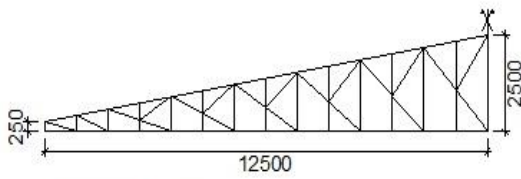
APÊNDICE C



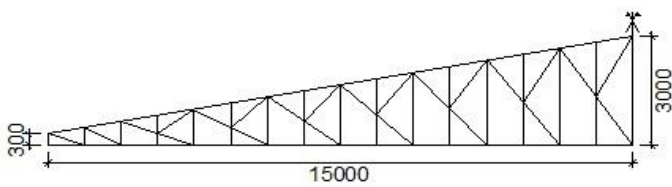
Modelo TP-15



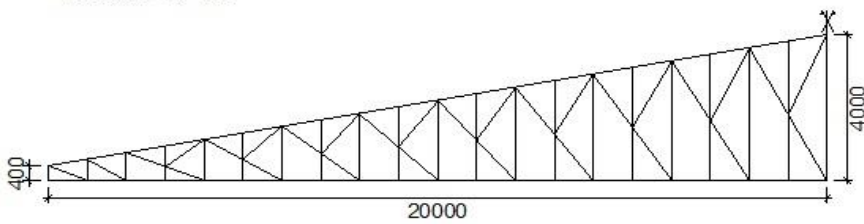
Modelo TP-20



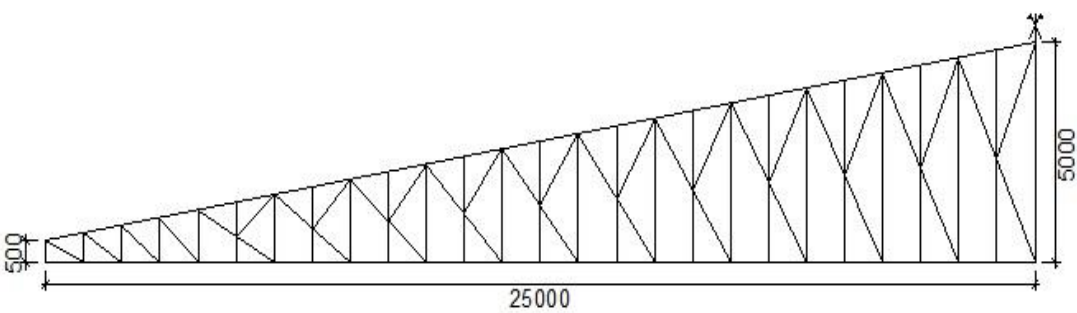
Modelo TP-25



Modelo TP-30



Modelo TP-40



Modelo TP-50

Variação da geometria para treliça trapezoidal (TP).

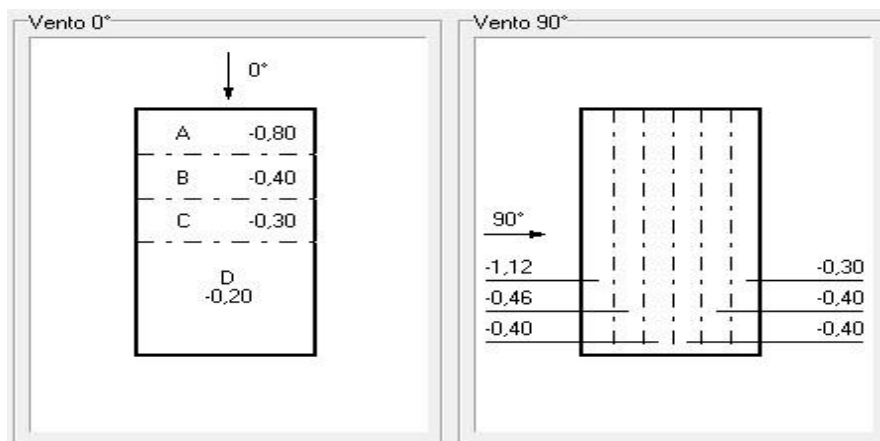
APÊNDICE D

Estudo de Vento para Treliça em Arco

a) Foram admitidas as seguintes características:

Vão livre	30 metros
Distância entre as estruturas	6 metros
Altura da coluna	6 metros
Comprimento	60 metros
Flecha no meio do vão	6 metros

b) Coeficientes de forma externos:



Coeficientes de forma externos para telhado com treliça em arco (TA).

c) Coeficientes de pressão interna

Admite-se que o galpão possui quatro faces igualmente permeáveis:

$C_{pi} = -0,3$ ou 0 (considerar o valor mais nocivo).

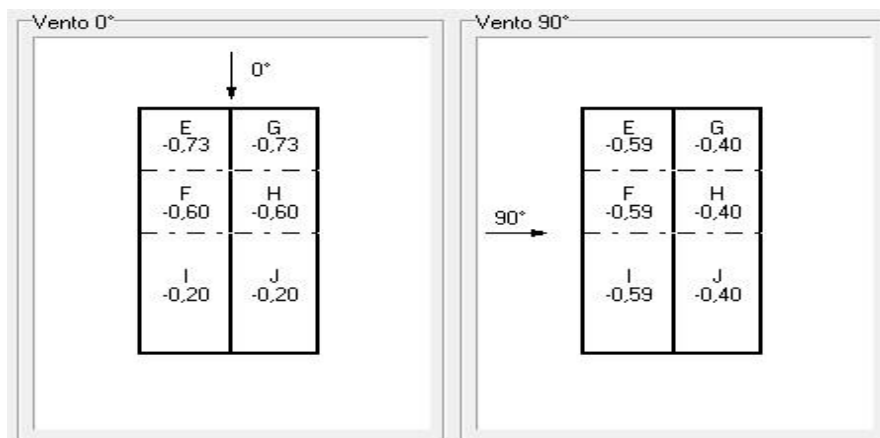
APÊNDICE E

Estudo de Vento para Treliça de Banzos Paralelos

a) Foram admitidas as seguintes características:

Vão livre	30 metros
Distância entre as estruturas	6 metros
Altura da coluna	6 metros
Comprimento	60 metros
Inclinação	18,45°

b) Coeficientes de forma externos:



Coeficientes de forma externos para telhado com treliça de banzos paralelos (BP).

c) Coeficientes de pressão interna

Admite-se que o galpão possui quatro faces igualmente permeáveis:

$C_{pi} = -0,3$ ou 0 (considerar o valor mais nocivo).

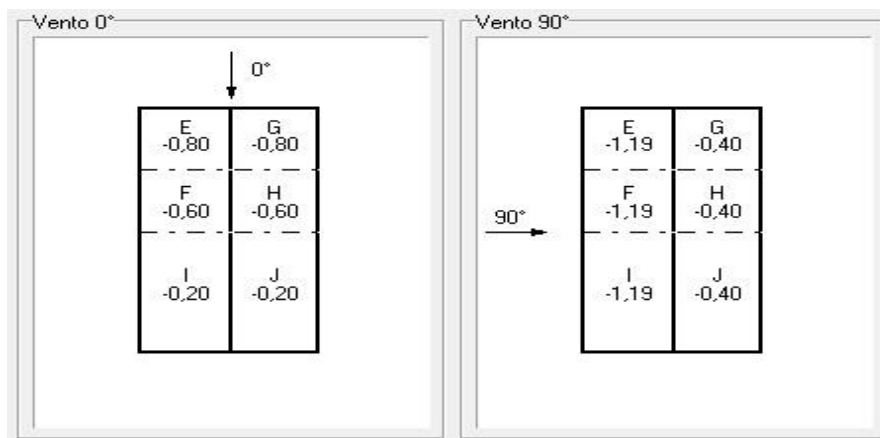
APÊNDICE F

Estudo de Vento para Treliza Trapezoidal

a) Foram admitidas as seguintes características:

Vão livre	30 metros
Distância entre as estruturas	6 metros
Altura da coluna	6 metros
Comprimento	60 metros
Inclinação	10,20°

b) Coeficientes de forma externos:



Coeficientes de forma externos para telhado com treliça trapezoidal (TP).

c) Coeficientes de pressão interna

Admite-se que o galpão possui quatro faces igualmente permeáveis:

$C_{pi} = -0,3$ ou 0 (considerar o valor mais nocivo).

Anexos**ANEXO 01****Roteiro para cálculo da ação do vento**

V_0	-	Velocidade básica do vento Ocorre uma vez em média a cada 50 anos. Determinado pelo mapa das isopletras NBR 6123
V_k	-	Velocidade característica do vento $V_k = V_0 S_1 S_2 S_3$ Onde: S_1 - Fator topográfico S_2 - Fator de rugosidade - 5 categorias Dimensões do terreno - 3 classes Altura sobre o terreno - Tabela 2 da NBR 6123 S_3 - Fator estatístico - Tabela 3 da NBR 6123
q	-	Pressão dinâmica $q = 0,613 V_k^2$ (N/m ²)
q_v	-	Cargas do vento sobre a estrutura $q_v = C_t q$ C_t - Coeficiente aerodinâmico experimental Obtido pelo túnel de vento ou tabelas da NBR 6123 Tabela 4 - Paredes Tabela 5 - Telhados com duas águas Tabela 6 - Telhados com uma águas Anexo E - Telhados com coberturas curvas
C_{pe}	-	Coeficientes de pressão e de forma, externos Item 6.1 - NBR 6123
C_{pi}	-	Coeficientes de pressão interna Item 6.1 - NBR 6123

ANEXO 02

Roteiro para cálculo da força normal de compressão resistente de cálculo

1. Valor N_e

Conforme item 7.7.2 da NBR 14762

- Perfis com dois eixos de simetria:

Menor valor entre N_{ex} , N_{ey} e N_{et}

- Perfis com um eixo de simetria:

Menor valor entre N_{ey} e N_{exz}

2. Valor λ_0

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A f_y}{N_e}}$$

3. Valor χ

$$\begin{aligned} \lambda_0 \leq 1,50 & \quad \chi = 0,658^{\lambda_0^2} \\ \lambda_0 > 1,50 & \quad \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2} \end{aligned}$$

4. Cálculo área efetiva

- MSE - Método Seção Efetiva

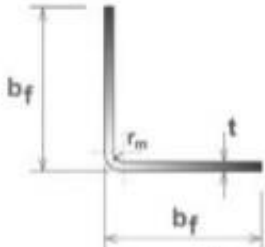
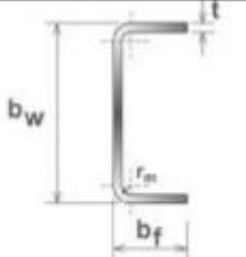
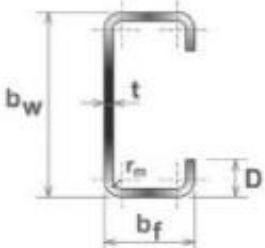
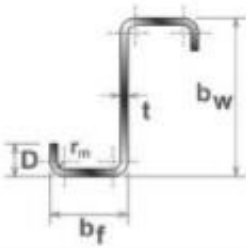
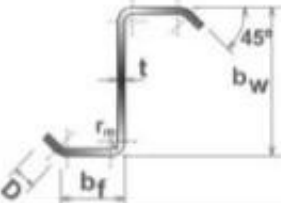
- MLE - Método Largura efetiva

5. Valor $N_{c,Rd}$

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi A_{ef} f_y}{\gamma} \quad \gamma = 1,20$$

ANEXO 03

Perfis padronizados pela NBR

Série	Seção transversal	Designação
Cantoneira de abas iguais		L $b_f \times t$ Ex: L 50 x 3,00
U simples		U $b_w \times b_f \times t$ Ex: U 150 x 50 x 2,65
U enrijecido		Ue $b_w \times b_f \times D \times t$ Ex: Ue 150 x 60 x 20 x 2,65
Z enrijecido a 90°		Z₉₀ $b_w \times b_f \times D \times t$ Ex: Z₉₀ 200 x 75 x 20 x 2,25
Z enrijecido a 45°		Z₄₅ $b_w \times b_f \times D \times t$ Ex: Z₄₅ 200 x 75 x 20 x 2,25

Fonte: NBR 6355:2003