

ESTUDO EM OTIMIZAÇÃO DE TERÇAS METÁLICAS EM GALPÕES LEVES UTILIZANDO PERFIL Z ENRIJECIDO FORMADO A FRIO

Marco Aurélio S Bessa¹, Yago S R M de Godoi¹, Lenildo Santos da Silva²

¹*Dept. de Engenharia Civil, Centro Universitário de Brasília
QS 1 Lote 1/17 Rua 214, 72025-120, Brasília-DF, Brasil
marco.bessa@ceub.edu.br*

²*Departamento de engenharia, Centro universitário de Brasília
QSF 15 Lote 511, 72025650, Brasília-DF, Brasil
yagosalgueiro@hotmail.com*

Resumo. Este trabalho visa otimizar perfis formados a frio empregados como terças em galpões leves, tendo suas dimensões previamente definidas. Utilizou-se como variáveis a inclinação, o vão e o espaçamento entre as terças para determinar os menores pesos possíveis para cada combinação. Foi adotado o método dos estados limites para o estudo, fazendo análises que verificam e consideram unicamente a terça, apontando os vãos e espaçamentos mais viáveis para a estrutura de um galpão leve, de acordo com sua inclinação, além de fazer um comparativo entre as inclinações estudadas. As análises e cálculos foram feitos embasados em normas nacionais e internacionais referentes a estruturas metálicas, em conjunto com softwares e planilhas eletrônicas geradas no decorrer do estudo. Como esperado percebeu-se um comportamento não linear ao relacionar o peso dos perfis com as inclinações propostas, vãos maiores que 7 metros necessitam de perfis muito grandes para vencer seus vãos; e, espaçamentos menores que 1,25 metros, ocasionam em mais peso por metro quadrado. Também se notou a necessidade de travamentos horizontais em diferentes vãos a fim de otimizar e aumentar a precisão das equações encontradas.

Palavras-chave: Otimização, Terça metálica, Perfil formado a frio.

1 Introdução

O mercado em torno da engenharia civil tem se tornado cada vez mais seletivo com relação aos projetos de estruturas metálicas, onde está sempre buscando por propostas mais eficientes e econômicas que garantam conforto, segurança e utilidade das estruturas, o que traz consigo a demanda por estudos de otimização de estruturas que impactam significativamente na eficiência e no custo da estrutura, assim como em um maior aproveitamento dos materiais empregados na construção.

Com o crescimento das construções metálicas, houve também um aumento na utilização de perfis formados a frio, os quais constituem a grande maioria das estruturas leves no país, mesmo quando não existia uma norma nacional que regulamentasse seu dimensionamento. “Esse elemento estrutural pode ser eficientemente utilizado em galpões de pequeno e médio porte, coberturas, mezaninos, em casas populares e edifícios de pequeno porte” (CBCA, 2008).

A distância entre os pórticos é uma das variáveis que mais influencia no peso das terças. Perfis com grandes vãos possuem cargas atuantes maiores devido à maior área de influência que a atinge, enquanto grandes espaçamentos necessitam de telhas mais espessas para garantir sua efetividade (ROMAN, 2016). Sabendo que ambas as variáveis podem gerar grandes esforços nas terças, deve ser considerado na análise o conjunto de toda a estrutura do galpão para avaliar a viabilidade de se utilizar terças em vãos maiores.

2 Metodologia

Esse estudo é baseado na análise de terças constituídas por perfis do tipo Z enrijecido, nas quais variam suas inclinações, vãos e espaçamentos. O objetivo é analisar as combinações de tais variáveis,

disponibilizando qual o peso mínimo possível a ser utilizado em cada caso, sendo dimensionados com perfis comerciais predeterminados, gerando posteriormente gráficos que possibilitem a comparação do peso dos perfis relacionados aos diferentes valores de espaçamento, vão e inclinação da cobertura.

As terças são submetidas às cargas de peso próprio da cobertura, ações de sobrecarga, decorrentes do uso e às ações do vento. Estas últimas foram determinadas com a localização da estrutura no estado de Goiás.

2.1 Normas

- NBR 6123/1988 – Forças devidas ao vento em edificações;
- ASCE/SEI 7-10 – American society of civil engineer- Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.
- AISI LRFD 96 – Method for Cold-formed Steel Structural Members.

Sendo a primeira para determinar as cargas de vento, a segunda para determinar as combinações das ações e a terceira para realizar o dimensionamento das terças.

2.2 Softwares utilizados

- Software comercial SAP2000 – Programa de análise estrutural
- Software Microsoft Office Excel
- Software CFS – Cold Formed Steel - Aço formado a frio.

3 Apresentação e análise dos resultados

Na análise estrutural são definidos os efeitos gerados na estrutura devido às cargas aplicadas na mesma, onde o tipo de análise pode ser determinado de acordo com esses efeitos. A análise global elástica é baseada no diagrama tensão-deformação elástico-linear, e a análise global plástica é feita de acordo com o diagrama tensão-deformação rígido-plástico, elastoplástico perfeito ou elastoplástico não-linear. Ambas as análises são determinadas de acordo com a conduta do material, sendo a análise plástica normalmente destinada à análise não-linear física.

A análise linear (teoria de primeira ordem) e a análise não linear são baseadas na geometria indeformada e deformada da estrutura, respectivamente, e são utilizadas quando se refere ao deslocamento da estrutura analisada. Este trabalho apresentará uma análise elástica e linear da estrutura.

3.1 Topologia

As terças analisadas neste trabalho possuem uma estrutura de suporte de mão francesa, onde a distância da extremidade da terça para o apoio da mão francesa está fixada em 0,50 m, e o comprimento de flambagem em torno do eixo x varia unicamente com a alteração do vão da terça, que vai de 2 m a 10 m, em intervalos de 0,5 m.

Durante o estudo foi adotado os intervalos entre travamentos da mesma forma que foi determinado no trabalho de otimização de terças com perfiz em U, onde os travamentos são distribuídos entre os vãos em todos os espaçamentos e inclinações, sendo o vão de 2 m e 3,5 m sem travamento, o vão de 4 m até 6 m com um travamento, o vão de 6,5 m até 8 m com dois travamentos, e partir do vão de 8,5 m foram inseridos três travamentos. (BESSA e NASCIMENTO, 2018).

Para a determinação dos esforços de vento, foi considerada a estrutura de um galpão leve de 25x50 m², com altura de 5 m, destinado ao armazenamento de grãos.

Já o α representa a inclinação da terça e, automaticamente, do telhado, valor que varia de 5° a 15° em intervalos de 2,5°, alterando, assim, a altura total do galpão. Neste estudo, foi considerada a mudança nas cargas de vento de acordo com a inclinação definida.

Outra variável analisada é o espaçamento entre as terças, que vai de 0,25 m a 3,00 m em intervalos de 0,25 m, influenciando nas cargas a serem aplicadas nas terças. O perfil determinado para as terças foi o perfil Z enrijecido, já nas mãos francesas foi utilizada cantoneira.

3.2 Dimensionamento

Para realizar o dimensionamento das terças, seguiu-se o roteiro apresentado a seguir:

- Determinação das ações permanentes (D);
- Determinação das ações devido à sobrecarga (L);
- Determinação das ações decorrentes de uso (Lr);
- Determinação dos coeficientes de pressão interna e externa;
- Determinação das ações de vento a 0° e a 90° (W1 – W10);
- Seleção de perfis para verificação;
- Modelagem da estrutura no SAP com a inserção de perfis e ações atuantes;
- Verificação dos perfis no SAP;
- Análise de deslocamento no SAP;
- Geração de gráficos para análise de resultados no EXCEL.

As ações serão multiplicadas pelos espaçamentos entre as terças, gerando uma carga distribuída que atuará sobre a terça. As ações D, Lr e L variam apenas com o espaçamento entre as terças. A ação W varia tanto com o espaçamento quanto com a inclinação, como será apresentado mais a frente.

3.3 Ações de vento

Para determinação das cargas de vento foram utilizados os parâmetros estabelecidos na ABNT NBR 6123/1988, que em conjunto com o contexto do estudo, se adota como constante os valores de:

- V0: 30 m/s (Velocidade do vento referente ao estado de Goiás)
- S1: 1,00 (Terreno plano ou fracamente acidentado);
- S2: Categoria 2, Classe B; Varia de acordo com a inclinação da cobertura;
- S3: 0,95 (Grupo 3 – Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação);
- CI (coeficiente de pressão interna): $\pm 0,5$

De acordo com De Paula (2016), para galpões com o fim de armazenamento de cereais, quando não há dados que definem a permeabilidade de fechamento e telhados, a arquitetura utilizada permite adotar para CI valores entre +0,5 e +0,7, sendo recomendado $CI = \pm 0,5$.

3.4 Perfis

Os perfis “Z” selecionados para a realização do estudo foram extraídos do catálogo da gravia de 2013, disponível na internet. Para os casos onde os perfis da GRAVIA (2013) não foram capazes de suportar os efeitos gerados pelas variáveis propostas no estudo, foi utilizado o software CFS para determinar perfis mais pesados que suportem os efeitos gerados pelas variáveis propostas. As dimensões dos perfis Z enrijecidos testados são mostradas na Tabela 1, com as espessuras de 1,2; 1,5; 2,00; 2,25; 2,65; 3,00; 3,35; 3,75; 4,25; 4,75; 6,30 mm para o estudo.

Tabela 1 Perfis analisados

Perfis Comerciais - GRAVIA -	Perfis ã comerciais - CFS -
050 x 25 x 10 # e	350 x 100 x 30 # e
075 x 40 x 15 # e	375 x 100 x 30 # e
100 x 50 x 17 # e	400 x 100 x 30 # e
125 x 50 x 17 # e	425 x 100 x 30 # e
150 x 60 x 20 # e	450 x 125 x 40 # e
200 x 75 x 20 # e	475 x 150 x 40 # e
250 x 85 x 25 # e	500 x 150 x 40 # e
300 x 85 x 25 # e	

Fonte: Autor

3.5 Combinações

Para determinar as combinações atuantes nas terças que foram inseridas no SAP 2000, foi utilizada a norma ASCE/SEI 7-10 (American society of civil engineer- Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures), possibilitando a escolha do pior caso de esforços atuantes nas terças.

As combinações utilizadas para o ELU, que definem os esforços para a análise da resistência da estrutura, foram:

- 1,4D;
- 1,2D + 1,4L + 0,5Lr;
- 1,2D + 1,4Lr + L;
- 1,2D + 1,4W + L + 0,5Lr;
- 1,2D + L;
- 0,9D + 1,6W;
- 0,9D.

Já as combinações para o ELS, que definem os deslocamentos das terças, foram:

- D;
- D + L;
- D + Lr;
- D + 0,75L + 0,75Lr;
- D + W;
- D + 0,75W + 0,75L + 0,75Lr;
- 0,6D + W;
- 0,6D.

A partir da inserção das combinações no SAP2000, juntamente com as cargas atuantes referentes a cada espaçamento e inclinação, foi gerada pelo programa uma tabela com todos os esforços de todas as combinações, onde o caso com os maiores valores de cargas atuantes era selecionado para conferir se o perfil utilizado era o ideal para aquelas condições, constatando se suportava as forças e se não estava superdimensionado para tal situação. Após repetir esse processo para todos os perfis estudados, é feito um comparativo de peso entre os perfis que foram satisfatórios no dimensionamento.

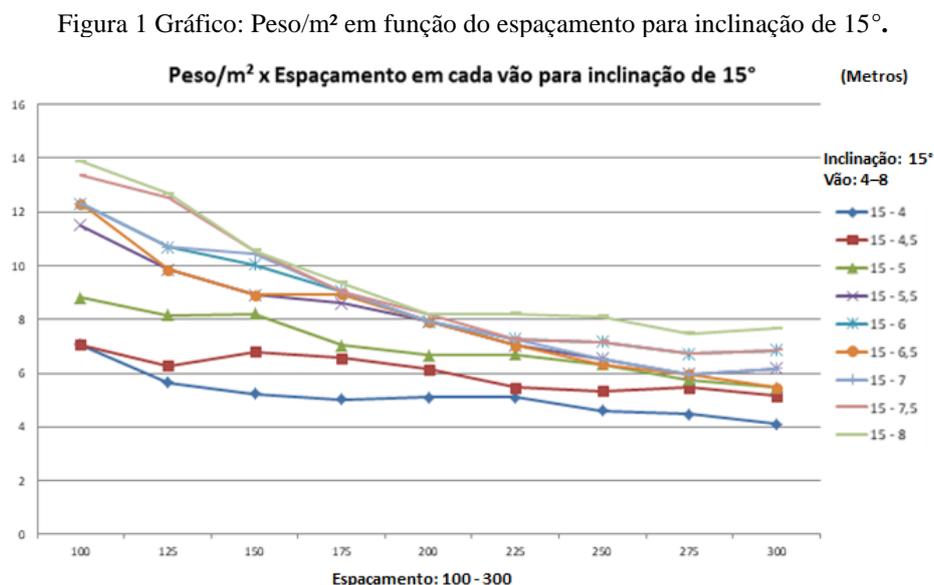
3.6 Deslocamentos

Para a análise dos deslocamentos máximos, a NBR 8800/2008 determina os valores de $L/180$ e $L/120$, onde L é a lacuna teórica entre suportes. No estudo em questão foi utilizado como deslocamento máximo o valor de $L/250$, e como todos os perfis que se adequaram ao estudo tiveram deslocamentos menores que o determinado, então a estrutura está ainda mais segura em relação ao deslocamento padrão exigido.

4 Análise dos resultados

Para melhor visualização, serão analisados os dados de algumas situações específicas consideradas no estudo, além de selecionar os valores mais relevantes para as variáveis.

A figura 1 apresenta o gráfico para análise de peso/ m^2 em função do espaçamento para cada vão em uma inclinação de 15° :



Ao observar a figura 1, nota-se um comportamento decrescente não linear do peso de acordo com a

progressão do espaçamento, e no caso do peso em função do vão, pode se observar um comportamento crescente do peso com a progressão do vão, o que já eram comportamentos esperados, pois maiores vão necessitam de terças mais pesadas, e maiores espaçamentos utilizam quantidades menores de terças.

Observando os valores de peso em cada vão, nota-se uma maior diferença entre os resultados nos menores espaçamentos e o contrário nos espaçamentos maiores, dessa forma podemos dizer que nos espaçamentos menores o estudo de otimização se torna ainda mais relevante.

Ao observar a figura 1, a princípio já é possível afirmar que a estrutura de terça mais leve tem 300 cm de espaçamento e vão de 4 metros, mas vale lembrar que as terças compõem uma estrutura entre várias outras que compõem a estrutura de um galpão, dessa forma, o estudo de otimização deve ser aplicado sempre considerando a estrutura de forma global.

A Tabela 2 mostra as equações que foram geradas para encontrar o valor do peso para cada vão em função do espaçamento na inclinação de 15°.

Tabela 2 Equações do peso/m² em função do espaçamento para cada vão na inclinação de 15°

Vão	y = f(espaçamento)	Precisão
2,00 m	$y = 13,562x^{-0,708}$	R ² = 0,9959
2,50 m	$y = 17,049x^{-0,731}$	R ² = 0,989
3,00 m	$y = 13,24x^{-0,475}$	R ² = 0,9764
3,50 m	$y = 14,661x^{-0,442}$	R ² = 0,9505
4,00 m	$y = 15,174x^{-0,538}$	R ² = 0,9629
4,50 m	$y = 17,238x^{-0,517}$	R ² = 0,9381
5,00 m	$y = 19,261x^{-0,506}$	R ² = 0,9807
5,50 m	$y = 22,193x^{-0,519}$	R ² = 0,9814
6,00 m	$y = 25,147x^{-0,536}$	R ² = 0,9856
6,50 m	$y = 22,233x^{-0,519}$	R ² = 0,9829
7,00 m	$y = 0,1167x^2 - 2,7078x + 21,926$	R ² = 0,9808
7,50 m	$y = 0,1332x^2 - 2,9813x + 23,479$	R ² = 0,995
8,00 m	$y = 0,1814x^2 - 3,6974x + 26,326$	R ² = 0,9945
8,50 m	$y = 0,1868x^2 - 3,6501x + 26,311$	R ² = 0,9911
9,00 m	$y = 0,2166x^2 - 4,1153x + 28,672$	R ² = 0,9803
9,50 m	$y = 0,2597x^2 - 4,5975x + 30,372$	R ² = 0,9579
10,00 m	$y = 0,2724x^2 - 4,7012x + 31,254$	R ² = 0,9555

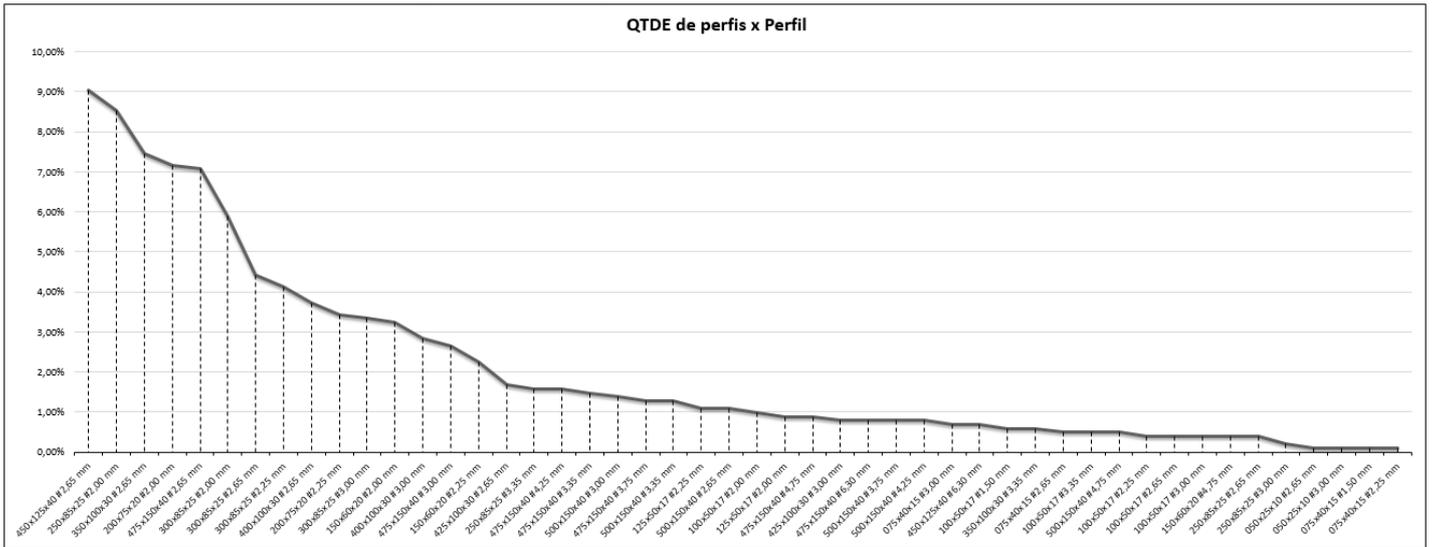
Fonte: Autor

Percebe-se um comportamento organizado nos resultados, onde todos os resultados convergem para equações de segundo grau ou em forma de potência, além de que todas as equações possuem precisão considerável.

Foi constatado que o modelo de gráfico em função do espaçamento é mais adequado que o modelo em função do vão, isso se deve a presença dos travamentos laterais em diferentes vão, que fazem os dados ficarem desorganizados no gráfico.

A Figura 2 mostra quantos e quais perfis foram capazes de suportar as condições que foram impostas durante o estudo, onde 27 são perfis comerciais e 21 são perfis gerados no programa CFS, totalizando 44% de 109 perfis considerados no estudo. Dessa forma percebe-se que 56% dos perfis analisados não servem como perfis otimizados para as condições impostas, ou seja, caso o profissional opte por utilizar desses perfis não otimizados nas condições do estudo, certamente estará gastando mais do que o necessário.

Figura 2 Gráfico: QTDE de perfis x Perfil em todo o estudo



Fonte: Autor

Ainda analisando os perfis, foi constatado que em nenhuma situação analisada o perfil de 375 x 100 x 30 mm atendeu como perfil otimizado, o que expõe uma grande ineficiência desse perfil nas condições consideradas no estudo.

5 Considerações finais

Esse estudo teve como objetivo analisar as variáveis inclinação, vão e espaçamento das terças, de modo que fosse possível notar as influências geradas por elas em cada caso combinando-as. As terças foram consideradas como vigas biapoiadas, com suporte de mão-francesa, analisando sua resistência aos esforços e seus deslocamentos máximos. Foi feito um comparativo sendo possível afirmar que, das variáveis analisadas, a que mais influencia no peso da terça por metro quadrado é o vão da terça.

Para os espaçamentos, foi observado que espaçamentos menores que 125 cm apesar de proporcionarem uma carga menor em cada terça, por necessitar de perfis mais leves, ocasionam em uma estrutura mais pesada, pois espaçamentos menores necessitam de uma quantidade maior de terças. Para espaçamentos maiores, nota-se estruturas mais leves apesar de necessitar de perfis pesados, contudo, nesse caso deve se atentar para a espessura das telhas, pois como a telha fica apoiada na terça, o vão da telha pode se tornar muito grande para atender as solicitações atuantes, o que exige uma telha mais resistente, portanto, mais cara.

Com relação aos vãos, podemos afirmar que existe uma relação direta entre o tamanho do vão e o peso do perfil, já que vãos maiores geram solicitações maiores nas terças, o que costuma necessitar de perfis mais pesados, e dessa forma podemos pensar que uma estrutura com vãos pequenos ocasionaria em uma estrutura de terças mais leve e econômica, porém, se levarmos em consideração a quantidade e conformidade de pórticos necessários a estrutura, vãos maiores podem se tornar viáveis.

Para as inclinações, classificando por ordem de melhor ao pior temos os ângulos de 5°, 7,5°, 15°, 12,5° e 10°, onde o ângulo de 5° tem um comportamento mais uniforme e diferenças menores de peso entre os vãos, o que não acontece nas demais inclinações.

Para os casos mais comuns de pórticos, temos os vãos das terças de 5 a 6 metros. Ao analisar este intervalo podemos concluir que a estrutura de terças mais leve se encontra na inclinação de 5° no espaçamento de 275 cm, assim como para a inclinação de 15°, a mais comum devido aos pórticos, temos o espaçamento de 275 cm como estrutura mais leve.

Ao analisar os perfis que foram adotados no estudo, pôde se concluir a eficiência de diversos perfis, onde apenas 44% satisfizeram o estudo. Dessa forma podemos pensar que dificilmente os outros perfis serão utilizados no mercado, pois mesmo que os perfis não ideais passem no dimensionamento esse perfil será mais pesado que o perfil ideal.

Apesar de esse estudo ter como foco determinar a melhor situação de estrutura de terças para o mercado, só deverá ser aplicado se combinado com um estudo de pórticos.

Referências

- [1] AMERICAN IRON AND STEEL INTITUTE (AISI), AISI LRFD 96 – Method for Cold-formed Steel Structural Members. International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures. 3. 1988
- [2] AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE), ASCE/SEI 7-10: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. Reston, Virginia, United States, 2010.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800. Projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123. Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.
- [5] BESSA, Marco Aurélio Souza. Study on Purlin Optimization For Light Shed Roofs. 2017. 24f. Programa de Pós Graduação – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - FAU, Brasília, 2018
- [6] NASCIMENTO, Kamila Barbosa. Estudo em Otimização de Terças para Coberturas de Galpões Leves. 2017. 117 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil – Centro Universitário de Brasília – UniCEUB, Brasília, 2018.
- [7] DE PAULA, José Humberto M. Projeto de Perfis de Aço de Chapa Dobrada a Frio. 5. ed. Brasília: UnB, 2016.
- [8] GRAVIA. Catálogo Técnico. 2013. Disponível em: <<http://www.gravia.net.br/grupo/>> Acesso em: 29 Jan. 2020.