

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
Campus Alto Paraopeba

GABRIELA SILVA THOMÉ DO AMARAL
RAFAELLA SAMIRA BARBOSA PEREIRA

**DIMENSIONAMENTO DE UM PERFIL U ENRIJECIDO FORMADO A
FRIO, COM MESA SUPERIOR INCLINADA, APLICANDO MSE E MRD**

OURO BRANCO, MG
JULHO/2022

GABRIELA SILVA THOMÉ DO AMARAL
RAFAELLA SAMIRA BARBOSA PEREIRA

**DIMENSIONAMENTO DE UM PERFIL U ENRIJECIDO FORMADO A
FRIO, COM MESA SUPERIOR INCLINADA, APLICANDO MSE E MRD**

Artigo apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Civil – Ênfase em Estruturas Metálicas, da Universidade Federal de São João del-Rei, *campus* Alto Paraopeba, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Roquete Amparo.

OURO BRANCO, MG
JULHO/2022

FOLHA DE APROVAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAÓPEBA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: Dimensionamento de um perfil U enrijecido formado a frio, com mesa superior inclinada, aplicando MSE e MRD

Autores: Gabriela Silva Thomé do Amaral
Rafaella Samira Barbosa Pereira

Aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Civil.

Prof. Dr. Lucas Roquete Amparo
(Orientador)

Prof.^a Amanda Carvalho Magalhães Marques
(Banca Examinadora)

Eng. Me. Matheus Miranda Oliveira
(Banca Examinadora)

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao nosso orientador, Lucas, pela oportunidade, compreensão e ensinamento.

Aos nossos pais, por nos ensinar os primeiros passos nesta vida, pois sem eles não chegaríamos até aqui.

Aos familiares que, mesmo estando de longe, sempre torceram por nós.

A todos os nossos amigos por nos ajudarem de forma direta ou indireta na elaboração deste trabalho.

À Universidade Federal de São João del-Rei, aos docentes, diretores, coordenadores e administração que proporcionaram o melhor dos ambientes para que esse trabalho fosse realizado.

A todos, nosso muito obrigada.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Seções transversais de PFF usuais, seção (a) U, (b) Ue, (c) Z, (d) Zee (e) Cartola.....	2
Figura 2 – Tipologia proposta por Roquete <i>et al</i> (2021)	3
Figura 3 – Tipologia de perfil proposta	4
Figura 4 – Modelo estudado: a) Esboço estrutural; (b) solicitações de momento fletor [kNm]; (c) carga axial [kN]	8
Figura 5 - Estrutura simulada no GBTUL	11
Figura 6 - Curva de Assinatura do Perfil no GBTUL.....	11

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	MÉTODOS ANALÍTICOS PARA PREVISÃO DE RESISTÊNCIA	4
2.1	Método da Resistência Direta (MRD).....	4
2.2	Método da Seção Efetiva (MSE)	5
3	METODOLOGIA	5
3.1	Coeficiente de flambagem local	6
4	RESULTADOS	7
5	CONCLUSÃO	13
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14

Dimensionamento de um perfil U enrijecido formado a frio, com mesa superior inclinada, aplicando MSE e MRD

Amaral, G. S.T.¹; Pereira, R. S. B.¹; Roquete, L.¹

¹Universidade Federal de São João del-Rei – UFSJ, Departamento de Tecnologia em Engenharia Civil - DTECH, Ouro Branco – Minas Gerais – Brasil.

RESUMO

Por possuir um baixo custo de produção e a possibilidade de criar formas geométricas para atender à solicitação, os perfis formados a frio (PFF) se destacam como uma das soluções mais empregadas na utilização de galpões em geral e em edificações residenciais. Atualmente, pode-se dimensionar os elementos de PFF por meio de três diferentes metodologias explícitas na prescrição normativa ABNT NBR 14762 (2010). No entanto, o presente trabalho avalia o dimensionamento de um perfil formado a frio não padronizado por norma, com tipologia U enrijecido (U_e) e mesa superior inclinada em 30° . Utilizou-se dois métodos de cálculo para a aplicação do perfil em uma cobertura, o Método da Seção Efetiva (MSE) e Método da Resistência Direta (MRD). Este trabalho baseou-se no estudo de Roquete (2021), utilizando para isso o coeficiente de flambagem proposto pelo autor, além de *softwares*, como GBTUL e FTOOL. Pode-se concluir, então, que ambos os métodos podem ser utilizados.

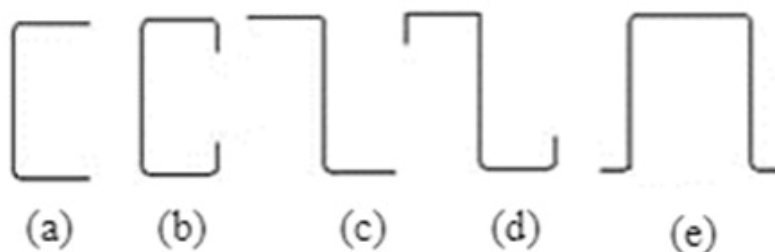
Palavras-chave: Perfil formado a frio; Perfil U enrijecido; Método da seção efetiva; Método da resistência Direta.

1 INTRODUÇÃO

O aço é uma liga de ferro-carbono em que o teor de carbono varia desde 0,008% até 2,11%. Do ponto de vista de aplicações, os aços podem ser classificados em diversas categorias, que variam de acordo com suas características (Chiaverini, 1996). Os grupos de perfis possuem três famílias principais: (1) perfis laminados a quente, (2) perfis soldados e (3) perfis formados a frio (PFF), destacadas por Teixeira (2020).

Por possuir um baixo custo em comparação com perfis laminados e soldados, os perfis PFF se destacam como uma das soluções mais empregadas na utilização de galpões em geral e em edificações residenciais - em vigas e pilares de pórticos (SOARES, 2002). Além disso, Silva (2014) ressalta que os elementos estruturais podem ser eficientemente utilizados em galpões de pequeno e médio porte, devido a sua rapidez e economia exigidas pelo mercado. A Figura 1 abaixo representa diferentes seções que são usualmente empregadas na prática da engenharia estrutural (DEPOLLI, 2018).

Figura 1 – Seções transversais de PFF usuais, seção (a) U, (b) Ue, (c) Z, (d) Zee (e) Cartola

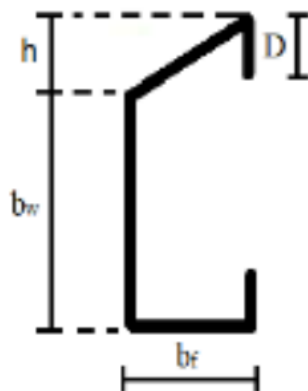


Fonte: Depolli (2018).

Levando em conta a limitação de perfis existentes para a aplicação em terças e vigas de coberturas em edificações, modelos de novas tipologias de perfis são comumente adotados nas pesquisas mais recentes. A reprodução de seções inéditas tem despertado o interesse em pesquisadores da área, como é o caso de Roquete *et al* (2021).

Visando a aplicação em telhados e coberturas, Roquete *et al* (2021) propôs uma tipologia de PFF em U enrijecido (Ue) com a mesa superior inclinada. Como o perfil proposto não é padronizado por norma, o autor determinou uma formulação para a obtenção dos coeficientes de flambagem local (KI) da seção proposta. A vantagem deste tipo de abordagem é obter, a partir de simulações computacionais e análises paramétricas, um fundamento seguro. A Figura 2 demonstra a seção proposta por Roquete *et al* (2021).

Figura 2 – Tipologia proposta por Roquete *et al* (2021)



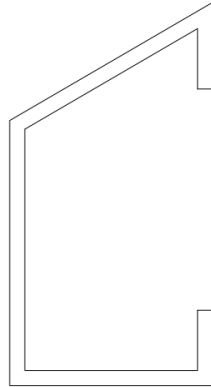
Fonte: Roquete *et al* (2021).

Para o projeto de PFF, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a partir da NBR 14762 (2010): Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio, define considerações nos cálculos estruturais por meio de três métodos de cálculo: Método da Largura Efetiva (MLE), Método da Seção Efetiva (MSE) e Método da Rigidez Direta (MRD).

O Método da Largura Efetiva (MLE), de acordo com Lima (2018), pode ser considerado como uma das metodologias clássicas e consagradas, por exigir um razoável esforço de cálculo e que considera de forma simples o comportamento dos elementos que formam um perfil. Em alguns casos, trata-se de um cálculo complexo, uma vez que são necessários processos iterativos, dificultando o uso na prática. Por esse motivo, não será realizado o dimensionamento por este método.

Neste trabalho, objetiva-se dimensionar e comparar o Método da Seção Efetiva (MSE) e o Método da Rigidez Direta (MRD), por meio da aplicação do PFF em uma viga de um sistema de cobertura de telhado, em seção U_e com mesa superior inclinada em 30° , como proposto por Roquete *et al* (2021). Além disso, para o dimensionamento utilizou-se os *softwares* FTOOL e GBTUL e, em um estudo inicial, o *software* ROBOT. A Figura 3 exemplifica a tipologia utilizada nesse trabalho.

Figura 3 – Tipologia de perfil proposta



Fonte: Autoral.

2 MÉTODOS ANALÍTICOS PARA PREVISÃO DE RESISTÊNCIA

2.1 Método da Resistência Direta (MRD)

O método da resistência direta (MRD) considera as propriedades geométricas da seção transversal bruta da barra, facilitando o dimensionamento dos perfis formado a frio.

A avaliação, pelo MRD, considera a flambagem local do perfil inteiro e não de cada elemento que o constitui, como destaca Lima (2018) em seus estudos. Os resultados são obtidos por análise de estabilidade e considera a interação entre a flambagem local, distorcional e global, requerendo a determinação das cargas críticas do perfil, por meio da análise numérica. De acordo com o Anexo C da ABNT NBR 14762 (2010), a resistência do perfil, objeto deste estudo, é dada pelo menor valor determinado pelos modos global, distorção e local.

Entretanto, esse método exige um emprego de uma aplicação computacional para análise da estabilidade, o que nem sempre os profissionais dispõem de programas para determinar essa força e esse momento.

2.2 Método da Seção Efetiva (MSE)

O Método da Seção Efetiva (MSE) é considerado uma simplificação do Método da Resistência Direta (MRD). No MSE realiza-se um cálculo da seção transversal da barra com base na flambagem local, a qual é considerada por meio de propriedades geométricas efetivas (reduzidas), onde a capacidade de carga da seção não é mais calculada separadamente.

De acordo com a ABNT NBR 14762 (2010), o MSE é um método aplicável a seções específicas e com algumas restrições geométricas, desconsiderando o fenômeno de flambagem distorcional. O método, proposto por Batista (2010), consiste em determinar o valor do coeficiente de flambagem local do perfil (k_l) e, com esse valor, verificar a carga crítica de flambagem local sob tração ou compressão.

3 METODOLOGIA

Inicialmente foi realizado um estudo de bibliografias que tratam do tema. Na sequência, baseando-se nos estudos de Roquete et al (2021), foi proposta uma estrutura de cálculo hipotética para aplicação da tipologia de perfil na viga de um pórtico. A estrutura foi simulada no programa Ftool para obtenção dos esforços máximos na viga.

Além disso, realizou-se um estudo preliminar no *software* ROBOT, no qual foi simulado uma estrutura de cobertura disposta no Apêndice A. Porém, a avaliação quantitativa desta alternativa não foi realizada e serve de parâmetro para novas pesquisas.

Assim, foram feitas as verificações de dimensionamento de acordo com os estudos apresentados por Roquete et al (2021) e ABNT NBR 14762 (2010). Para o dimensionamento utilizou-se as metodologias de cálculo MSE e MRD. Para a aplicação do MSE utilizou-se as equações propostas por Roquete et al (2021). E para a análise de estabilidade, necessária para uso do MRD (ABNT NBR 14762, 2010), utilizou-se o *software* GBTUL.

Após a verificação de um perfil adequado para uso na viga proposta, comparou-se os resultados obtidos para o MSE e MRD.

3.1 Coeficiente de flambagem local

De acordo com a norma ABNT NBR 14762 (2010), o coeficiente de flambagem local (k_l) para diferentes seções pode ser obtido para os casos: seção U e Z simples; seção U e Z enrijecido e seção cartola; seção rack e seção tubular retangular. As formulações para os coeficientes de flambagem local, apresentados na referida prescrição normativa, foram baseadas em estudos paramétricos disponíveis na literatura. O estudo foi desenvolvido por Batista (2010), que definiu curvas que permitem a determinação do coeficiente para diversos tipos de seção, que são as curvas apresentadas na norma brasileira ABNT NBR 14762 (2010).

Uma das vantagens dos perfis formados a frio é a versatilidade na obtenção de diversas tipologias de seção, diferentes dos apresentados por prescrições normativas. Recentemente, Roquete *et al* (2021) realizaram, com uso do software GBTUL, a determinação de Equações para o perfil proposto nesse trabalho, que se trata de uma seção diferente das propostas em norma. Logo, para determinação do coeficiente k_l levou-se em consideração o esforço axial de compressão e o esforço de flexão simples, conforme apresentado nas Equações (1) e (2), respectivamente, propostas pelos autores.

$$k_l = 7,6347 - 5,3696 \eta - 93,839 \eta^2 + 679,08 \eta^3 - 1883,4 \eta^4 + 2396,3 \eta^5 - 1164,5 \eta^6 \quad (1)$$

$$k_l = -1276,2 + 18509 \eta - 105239 \eta^2 + 311754 \eta^3 - 513225 \eta^4 + 447141 \eta^5 - 161357 \eta^6 \quad (2)$$

Onde:

- k_l – Valor do coeficiente de flambagem local;
- $\eta = b_f/b_w$.

Utilizando o MSE, é possível calcular a força axial de flambagem elástica local elástica (N_l) e o momento fletor de flambagem local elástica (M_l), utilizando as Equações (3) e (4):

$$N_l = k_l \frac{\pi^2 E}{12(1 - \nu^2) \left(\frac{b_w}{t}\right)^2} A \quad (3)$$

$$M_l = k_l \frac{\pi^2 E}{12(1 - \nu^2) \left(\frac{b_w}{t}\right)^2} w_c \quad (4)$$

Onde:

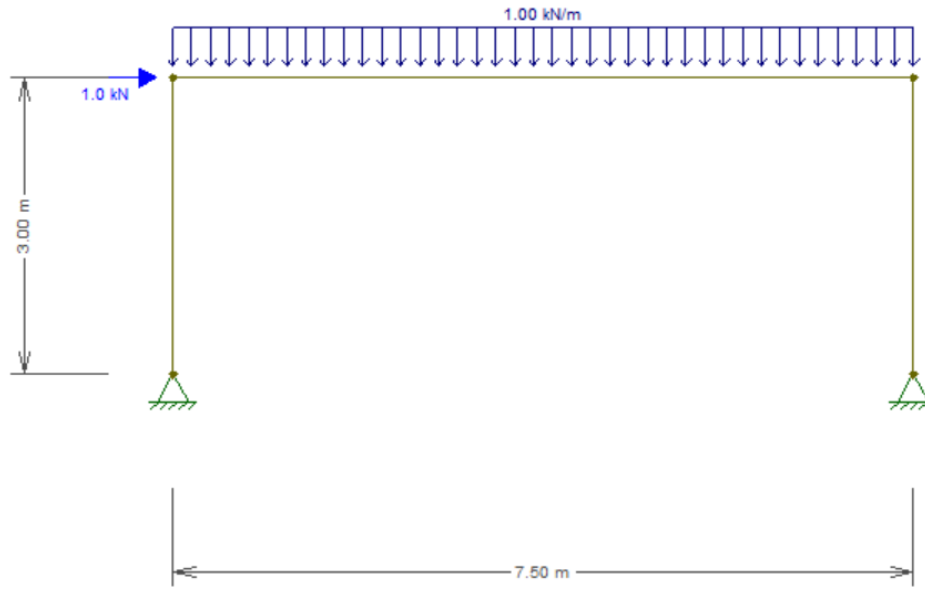
- k_l – Valor do coeficiente de flambagem local;
- E – Módulo de elasticidade do aço;
- ν – Coeficiente de Poisson do aço;
- b_w – Largura nominal da alma;
- t – Espessura da chapa ou do elemento;
- w_c – Módulo de resistência elástico da seção bruta em relação à fibra extrema comprimida;
- A – área bruta da seção transversal da barra.

4 RESULTADOS

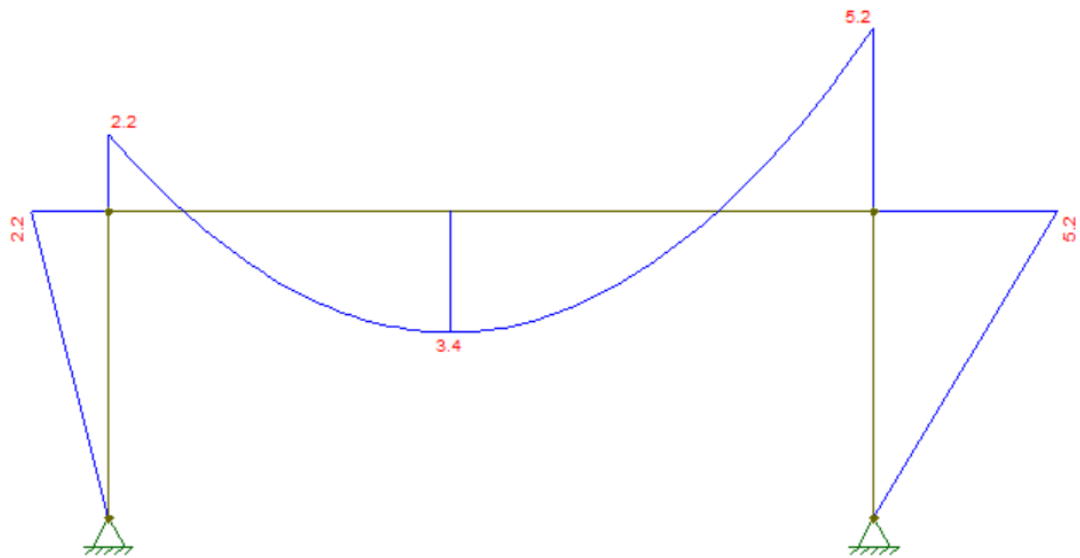
Esse trabalho visou apresentar o dimensionamento de uma viga com a comparação do resultado da força axial de compressão resistente de cálculo (N_{cRd}) e do momento resistente de cálculo (M_{Rd}), utilizando métodos distintos de cálculos: o Método da Seção Efetiva e o Método da Resistência Direta. Todos os cálculos seguiram as normativas da ABNT NBR 14762 (2010) e os estudos apresentados por Roquete *et al* (2021).

Inicialmente, realizou-se o esboço de uma estrutura. A viga analisada foi considerada bi apoiada com comprimento igual a 7,5 m. Com isso, para a viga, nesse caso viga-coluna, devido a ação conjunta do momento fletor e carga axial, tem-se como solicitações máximas $N_{sd}=1,7\text{kN}$ e $M_{sd}=5,2\text{kNm}$ (Figura 3).

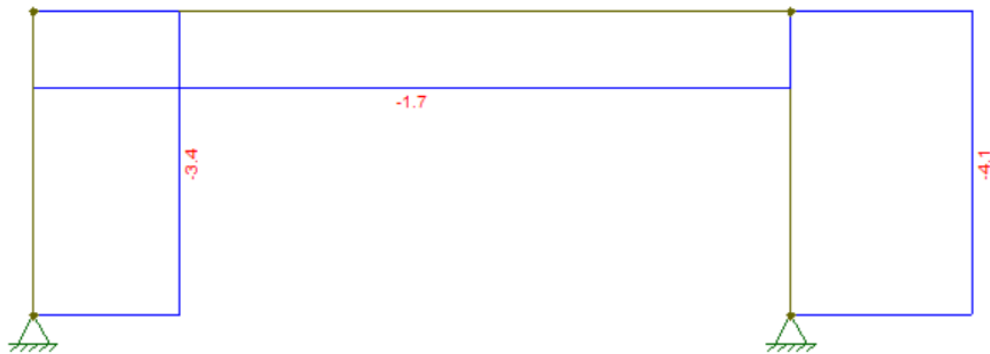
Figura 4 – Modelo estudado: a) Esboço estrutural; (b) solicitações de momento fletor [kNm]; (c) carga axial [kN]



(a)



(b)



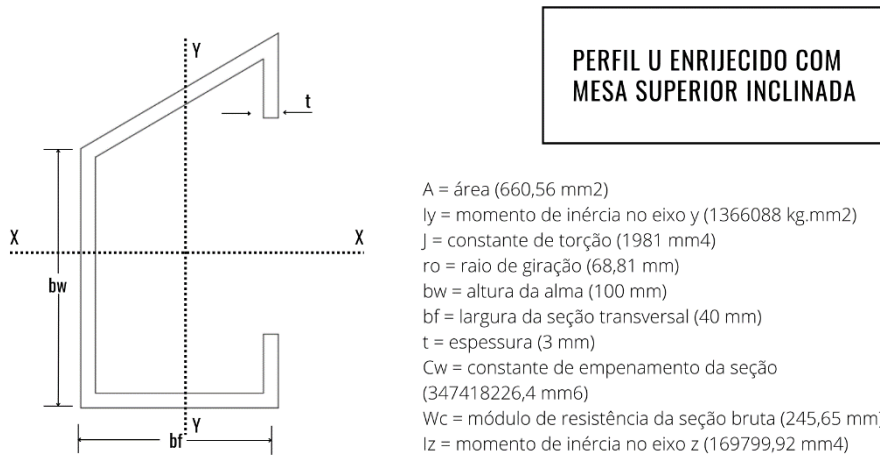
(c)

Fonte: Ftool (2022).

Destaca-se que esse é um pórtico hipotético apenas para uma aplicação do perfil desenvolvido. Sendo assim, é importante conhecer a solicitação na viga na qual será aplicado a seção transversal em estudo.

A partir dos 95 perfis analisados por Roquete *et al* (2021), numa situação de pré-dimensionamento, a partir da solicitação obtida de momento fletor solicitante de cálculo M_{sd} , escolheu-se aquele que possuía valor mais adequado em relação ao módulo de resistência elástico da seção bruta (W), função da solicitação obtida na análise estrutural e da tensão de escoamento do material. A Figura 6 demonstra o perfil escolhido.

Figura 5 – Dados geométricos do perfil

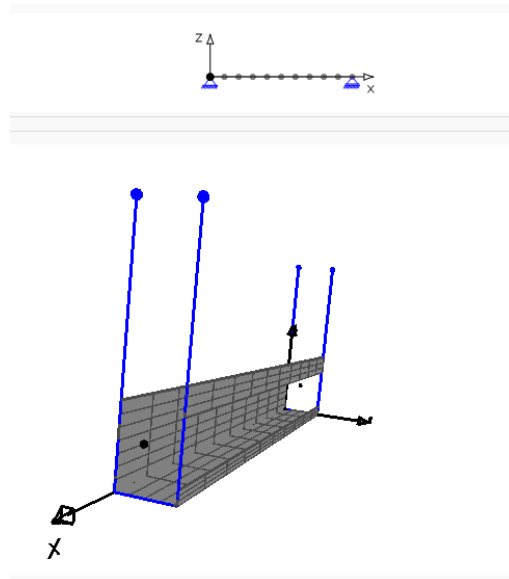


Fonte: Autoral.

De acordo com os dados extraídos do perfil escolhido, realizaram-se os cálculos pelos métodos MSE e MRD. No Método da Seção Efetiva, utilizou-se as Equações 1 e 2, substituindo-se as propriedades geométricas e realizando a determinação do valor de k_1 para compressão e flexão, e, posteriormente, determinaram-se os valores de N_{cRd} e M_{Rd} conforme ABNT NBR 14762 (2010).

Já no Método da Resistência Direta é preciso análise de estabilidade para obtenção dos esforços referentes a flambagem local (N_l e M_l) e distorcional (N_{dist} e M_{dist}) da seção. Assim, realizou-se a simulação da seção transversal do perfil no software GBTUL (Figura 6).

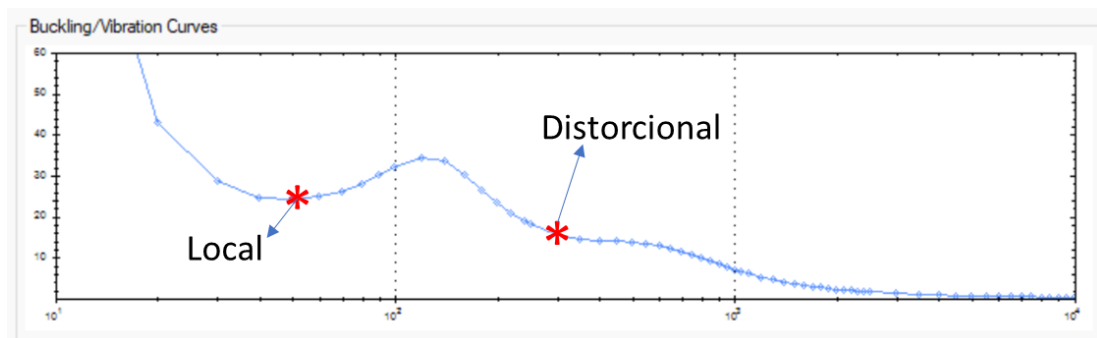
Figura 5 - Estrutura simulada no GBTUL



Fonte: Gbtul (2022).

A partir de então, extraiu-se o valor da Força Axial de Flambagem Local Elástica (N_l), a Força Axial de Flambagem Distorcional Elástica (N_{dist}), o Momento fletor de flambagem por distorção (M_{dist}) e o Momento Fletor de Flambagem Local Elástica (M_l) das curvas de assinatura obtidas no GBTUL. O ponto mínimo desta curva é particularmente importante no projeto de perfis formados a frio. Em geral, o programa é capaz de correlacionar o perfil com os tipos de flambagem (local, global ou distorcional) do perfil, o que permite identificar o modo dominante através da curva e estimar a resistência adequada e a capacidade da viga. Na Figura 7 é exemplificado a curva extraída do programa.

Figura 6 - Curva de Assinatura do Perfil no GBTUL



Com isso, utilizando os valores extraídos do Gbtul e utilizando o Método da Resistência Direta, determinou-se $N_{c,Rd}$ e M_{Rd} . Os valores para cada método são expostos na Quadro 1.

Quadro 1 - Dados comparativos

	Compressão	Flexão
MSE	$k_l = 5,487$ $N_l = 589,654 \text{ kN}$	$k_l = 20,661$ $M_l = 82,574 \text{ kNm}$
	$N_{c,Rd} = 25,431 \text{ kN}$	$M_{Rd} = 5,583 \text{ kNm}$
MRD	$N_l = 588 \text{ kN}$ $N_{dist} = 632 \text{ kN}$	$M_l = 79,745 \text{ kNm}$ $M_{dist} = 31,597 \text{ kNm}$
	$N_{c,Rd} = 25,43 \text{ kN}$	$M_{Rd} = 5,583 \text{ kNm}$
Comparação	$N_{l,MSE}/N_{l,MRD}$ 1,0028	$M_{l,MSE}/M_{l,MRD}$ 1,0355
	$N_{c,Rd,MSE}/N_{c,Rd,MRD}$ 1,000	$M_{Rd,MSE}/M_{Rd,MRD}$ 1,000
Obs.: No MSE não se calcula o modo distorcional, sendo a análise feita de forma isolada.		

Da Tabela 1 observa-se que os valores de resistências foram iguais para ambos métodos MSE e MRD. Pode-se afirmar que, devido ao comprimento da viga (7,5 m) esse valor está associado a flambagem global, assim, quem domina o dimensionamento e o modo global e não local e nem o distorcional. Por isso os valores foram idênticos.

Porém, vale destacar que, ao analisar os valores de flambagem local, existe uma pequena diferença, da ordem de 0,28% para a compressão e 3,5% para a flexão. Caso o modo local fosse dominante seria possível usar o MSE, no qual dispensa-se o uso de computador para análise de estabilidade, via software específico, como exigido pelo MRD, pois os valores do MSE (com uso das equações) se aproximaram do MRD.

Comparando-se as resistências e solicitações observa-se segurança na adoção do perfil.

No Apêndice A, é apresentado uma situação real de um sistema de cobertura com telhado inclinado a 30° para possível aplicação da seção estudada, representando um estudo preliminar.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho, apresenta-se uma base teórica para uma breve compreensão do que é um perfil conformado a frio, as peculiaridades de seu comportamento estrutural, disposições normativas e recomendações quanto ao seu dimensionamento. Foram apresentados dois métodos de cálculo necessários para prever a resistência de um perfil PFF.

Com a definição de uma nova tipologia de perfil e equação para obtenção do coeficiente de flambagem local do PFF do tipo U_e , com mesa superior inclinada a 30°, proposta por Roquete *et al* (2021), realizou-se uma análise comparativa entre o MSE e MRD para determinação da força axial de compressão resistente de cálculo (N_{cRd}) e do momento resistente de cálculo (M_{Rd}).

A análise teórica levou em consideração a norma ABNT NBR 14762 (2010) e a análise numérica foi realizada por meio do software GBTUL. Para o perfil analisado, observa-se que os resultados apresentaram boa segurança para o perfil analisado, ao se comparar resistências e solicitações.

Como sequência desse trabalho sugere-se variações nos comprimentos das vigas visando a modificação do modo de flambagem dominante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 14762. (2010). Dimensionamento de Estruturas de Aço constituídas por Perfis Formados a Frio (Associação Brasileira de Normas Técnicas (ed.)).

ABNT NBR 6120. (2019). Cargas para o cálculo de estruturas de edificações (Associação Brasileira de Normas Técnicas (ed.1)). Rio de Janeiro, 2019.

ALMEIDA, S. J. C. **Análise numérica de perfis de aço formados a frio comprimidos considerando imperfeições geométricas iniciais**. 206 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

BATISTA, E. **Effective section method: A general direct method for the design of steel cold-formed members under local-global buckling interaction**. Thin Walled Structures, v. 48 (4-5), p. 345-356, 2010.

CHIAVERINI, V. **“Aços e Ferros fundidos” 7º Edição – 1996**, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM.

DEPOLLI, Isis Cler. **Dimensionamento à falha distorcional via método da resistência direta de vigas de aço em perfil formado a frio sob flexão não-uniforme**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

KLEINA, M. S. M; CASEKER, Milena Portes. INSTABILIDADE POR DISTORÇÃO DE PERFIS DE AÇO FORMADOS A FRIO, AVALIAÇÃO ANALÍTICA E EXPERIMENTAL. **UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 1-100, dez./2014. Disponível em: <https://docplayer.com.br/23507042-Universidade-federal-do-parana-mario-sergio-mandu-kleina-milena-portes-caseker.html>. Acesso em: 19 mai. 2022.

LIMA, A. J. D. ANÁLISE ESTRUTURAL DE VIGAS EM PERFIS FORMADOS A FRIO, SUBMETIDOS À FLEXÃO SIMPLES PELO METODO DA SEÇÃO EFETIVA (MSE) . **Centro Universitário de Brasília - UNICEUB**, Brasília, v. 1, n. 1, p. 1-87, jul./2018. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/prefix/14001/1/21505870.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2022.

ROQUETE, L.; OLIVEIRA, M. M. de; COSTA, F. N. da S.; MARINHO, L. V.; SARMANHO, A. M. C. Local buckling coefficient for thin-walled lipped channel section with top flange inclined. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e92101220254, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i12.20254.

Silva, E. L. (2014). **Estruturas compostas por perfis formados a frio – Dimensionamento pelo método das larguras efetivas e aplicação conforme ABNT NBR 14762:2010 e ABNT NBR6355:2012** (Série Manual de Construção em Aço (ed.)).

SOARES, C. H. **Dimensionamento de Estruturas de Aço Constituídas por Perfis Formados a Frio em Situação de Incêndio**. Belo Horizonte, 2002.

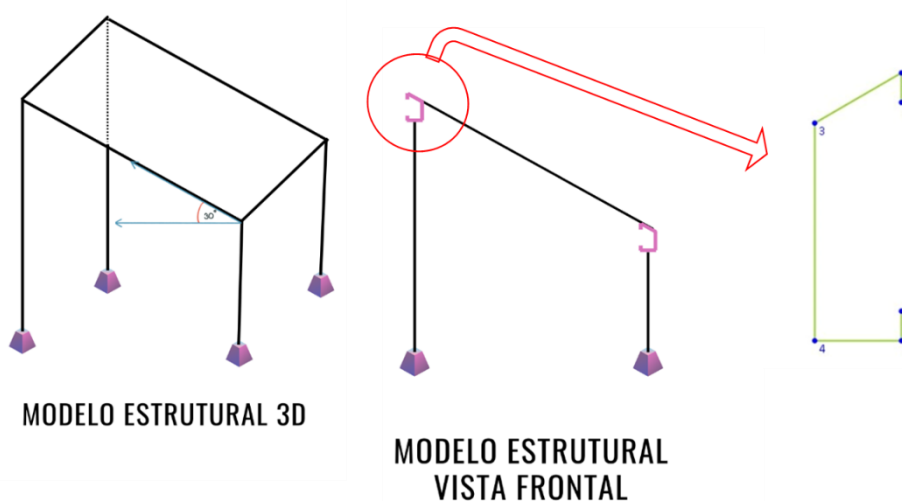
TEIXEIRA, I. D. L. Otimização de Coberturas em Aço de Perfil Formado a Frio de Edifícios Industriais. **UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA CENTRO TECNOLÓGICO - CTC**, Florianópolis, v. 1, n. 1, p. 1-116, out./2020. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/216949/TCC_Igor_de_Li_ma_Teixeira.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 10 mai. 2022.

Apêndice A

Nesse apêndice apresenta-se uma estrutura inicialmente projetada para aplicação do perfil apresentado.

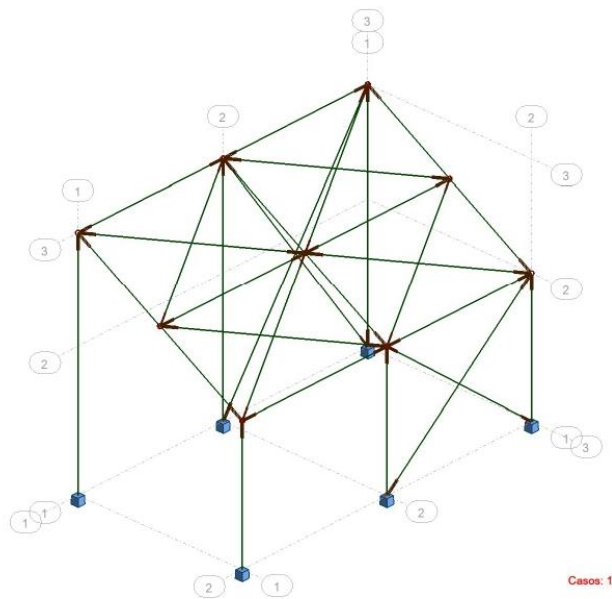
Inicialmente, realizou-se o esboço de uma estrutura, tratando-se de uma cobertura de uma residência unifamiliar, com inclinação de 30°, o qual está apresentado na Figura A1.

Figura A1 – Esboço estrutural e aplicação da seção



Determinou-se as cargas que incidem sob a mesma, embasados na ABNT NBR 6120 (2019), realizando-se cálculos necessários, como peso próprio, carga de revestimento, carga de uso e ocupação, carga de vento, entre outros parâmetros. Para a determinação da carga de vento, considerou-se a estrutura instalada no município de Ouro Branco. Posteriormente, fizeram-se as combinações das ações, simulando-se a estrutura no *software* ROBOT, como apresentado na Figura A.2.

Figura A.2 - Simulação da estrutura no ROBOT



Observa-se que, para garantir a proteção, estabilidade e rigidez da estrutura, acrescentou-se ao modelo os contraventamentos. Logo, com a estrutura gerada e calculada pelo programa, obtiveram-se os resultados de solicitação e resistência dos perfis de cada barra existente. Os dados da viga, na qual aplicou-se a seção em estudo são apresentados na Figura A.3.

Figura A.3 - Barra solicitada

Resultados simplificados		Resultados detalhados	
PARÂMETROS DE MEMBRO			
	Ly = 7.50 m Lcy = 7.50 m Lcy/ry = 106.53		Lz = 7.50 m Lcz = 7.50 m Lcz/rz = 284.10
	Lb = 7.50 m Cb = 1.00		
FORÇAS INTERNAS:		RESISTÊNCIAS DO PROJETO	
Pr = 2.62 kN Mry = -15.82 kN*m		Fic*Pn = 73.36 kN Fib*Mny = 32.71 kN*m	
FATORES DE SEGURANÇA		ELEMENTOS DE SEÇÃO	
Fic = 0.90 Fib = 0.90		Mesa = Compacto Alma = Compacto	
RESULTADOS			
Pr/(2*Fic*Pn) + Mny/(Fib*Mny) = 0.50 < 1.00 LRFD (H1-1b)			
Lcy/ry = 106.53 < (Lc/r),max = 200.00		Lcz/rz = 284.10 > (Lc/r),max = 200.00 INSTÁVEL	

Com base nos estudos apresentados a seção analisada não pode ser aplicada nessa situação, uma vez que a solicitação de momento fletor é igual a 15,82 kN. Para melhorar o comportamento da estrutura sugere-se a redução dos comprimentos da viga, reduzindo a solicitação. Assim como a verificação de outros perfis para determinação de outras resistências.