REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 29/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/t8g39594
Pages: 1-18

ANÁLISE DA ESTABILIDADE ELÁSTICA DE PILARES DE AÇO VIA ELEMENTOS FINITOS USANDO PROGRAMA LIVRE DE CÓDIGO ABERTO FreeCAD.

STEEL COLUMNS FINITE ELEMENT BUCKLING ANALYSIS BY OPEN-SOURCE SOFTWARE FreeCAD.

Celisy Grasiela Ribeiro Dias
Engenheira Civil, M.Sc, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil
E-mail: celisy.dias@aluno.ufop.edu.br

Geraldo Donizetti de Paula
Engenheiro Civil, D.Sc, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil
E-mail: geraldo.paula@ufop.edu.br

Flávio Teixeira de Souza
Engenheiro Civil, D.Sc, IFMG – Campus Ouro Preto, Brasil
E-mail: flavio.souza@ifmg.edu.br

Resumo

As estruturas de aço constituem uma alternativa adequada para construções que demandam rapidez na execução e grandes vãos livres, devido à sua elevada resistência. No entanto, a esbeltez dos elementos estruturais torna estas estruturas susceptível à flambagem, que é um fenômeno de instabilidade caracterizado pela flexão repentina do pilar. Nas estruturas de aço formadas a frio ocorrem ainda a flambagem local e a distorcional, devido à pequena espessura das chapas, o que torna seu comportamento ainda mais complexo. Desta forma, é comum a utilização de métodos computacionais, como o Método dos Elementos Finitos, para a avaliação destas estruturas. Existem programas comerciais para este fim, no entanto o elevado custo das licenças muitas vezes inviabiliza sua aquisição por instituições e profissionais. Uma alternativa são os programas livres de código aberto, como o FreeCAD, que entre suas diversas funcionalidades apresenta uma bancada para a análise via Método dos Elementos Finitos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a flambagem de pilares metálicos via FreeCAD. Foram desenvolvidas metodologias de análise para diferentes tipos de pilares em aço, e seus resultados foram comparados com resultados teóricos. Todas as simulações apresentaram boas correlações entre resultados numéricos e teóricos, o que indicou a viabilidade do FreeCAD para estas análises, o que pode acarretar em significativa redução de custos para instituições e profissionais e a viabilidade das metodologias desenvolvidas, que poderão servir de base para trabalhos futuros.

Palavras-chave: Pilares de aço; flambagem elástica; método dos elementos finitos; programa livre de código aberto; FreeCAD.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 29/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/t8g39594
Pages: 1-18

Abstract

Steel structures are widely used in buildings that demand rapidity and large free spans, because they are slender, lighter and stronger than concrete structures. This slenderness, however, make these structures prone to buckling, an instability phenomena characterized by columns repentine curvature. In cold-formed structures, there are also local and distortional buckling due to the use o very thin steel plates, that makes, their behavior still more complex. Numerical melhods, as the Finite Element Method, are commonly used to evaluate the strenght and behavior of steel structures. There are commercial Finite Element packages, but their high costs may difficult access by institutions and professionals tho them. An alternative are the open-source software, as FreeCAD. This work analyses the efficience of steel columns bucking analysis by FreeCAD Finite Element workbench. Laminated and cold-formed columns were analized, and Finite Element results were compared to theoretical ones. It was observed good agreement of results. It validades the procedures developed in buckling Finite Element analysis by FreeCAD. That indicates a possibility of costs reduction for institutions and professionals by adoption of FreeCAD for steel structuresfor research and design.

Keywords: Steel columns; linear buckling; finite element method; open-source software; FreeCAD.

1. Introdução

As estruturas de aço são conhecidas por apresentarem elevada resistência se comparadas àquelas de concreto e madeira. Isto permite a obtenção de grandes vãos com elementos estruturais significativamente menores e mais leves do que aqueles necessários quando se usam os outros materiais.

A obtenção das seções pode ser feita por laminação a quente, em que se obtêm seções sem emendas conhecidas por perfis laminados; por soldagem de chapas que resultam nos chamados perfis soldados ou ainda pelo dobramento de chapas à temperatura ambiente, que resultam nos perfis formados a frio.

Como as chapas de aço normalmente apresentam pequena espessura, resultam em elementos estruturais esbeltos, que estão sujeitos a fenômenos de instabilidade, como a flambagem, que tornam o seu comportamento e a avaliação de sua resistência mais complexos, muitas vezes inviável de forma analítica. Isto demanda a utilização de ferramentas computacionais para o desenvolvimento destas análises.

Existem programas comerciais desenvolvidos para a avaliação do comportamento e previsão da resistência de estruturas adequados à pesquisa e

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 29/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/t8g39594
Pages: 1-18

ao dimensionamento de estruturas de aço. No entanto, o elevado custo de aquisição e manutenção destes programas pode inviabilizar sua utilização por instituições de ensino, que muitas vezes possuem orçamento restrito, ou por profissionais que não conseguem arcar com a manutenção das licenças necessárias para o funcionamento dos escritórios de projeto, o que pode afastá-los do mercado.

Uma alternativa para esta situação é a utilização de programas livres de código aberto. Estes programas são desenvolvidos e mantidos por comunidades e disponibilizados, livremente, para uso educacional ou profissional. No entanto, muitos usuários desconhecem sua existência, uma vez que programas livres não possuem recursos para publicidade como acontece com os programas comerciais. Além disto, existe uma natural resistência à migração, uma vez que existe desconfiança em relação à qualidade e à usabilidade destes programas livres de código aberto.

Um programa de livre de código aberto com funcionalidades bastante abrangentes é o FreeCAD (2025). Ele pode ser utilizado, entre outras funções, para a modelagem CAD 2D e 3D, possui interface BIM (*Building Information Model*) e também para a análise via Método dos Elementos Finitos. No entanto, são poucas as referências que orientem potenciais usuários no desenvolvimento dos modelos.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência e a eficácia da bancada de Elementos Finitos do FreeCAD na simulação de diferentes estruturas de aço sujeitas à flambagem elástica. Foram considerados diferentes tipos de estruturas para considerar diferentes tipos de flambagem. Os resultados obtidos foram validados a partir da comparação com resultados teóricos e, foram descritos os procedimentos necessários para a correta utilização do FreeCAD nestas avaliações.

2. Revisão da Literatura

As estruturas de aço são amplamente utilizadas em construções que demandam grandes vãos pois possuem elevada resistência com a utilização de elementos estruturais leves. No entanto, por serem constituídas de chapas de pequena espessura, as estruturas de aço são esbeltas, o que as torna susceptíveis a diferentes tipos de flambagem. Perfis laminados e soldados podem sofrer

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 29/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/t8g39594
Pages: 1-18

flambagem local nas chapas que os constituem ou flambagem global, por flexão, torção ou flexo-torção. Leonhard Euller, ainda no século XVIII desenvolveu a formulação analítica para a avaliação da flambagem global por flexão (Salmon e Jonhson, 1990), conhecida como Fórmula de Euller.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}$$

Onde:

P_{cr} é a força axial de flambagem global elástica.

E é o módulo de elasticidade do material.

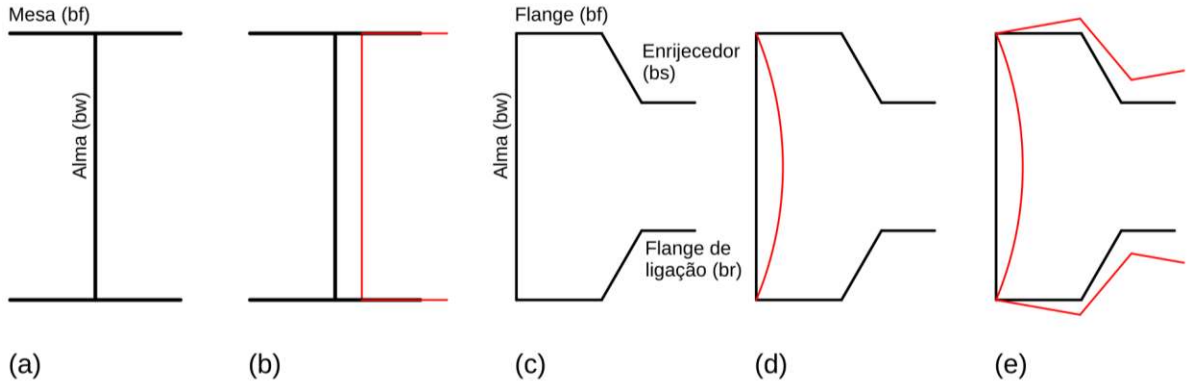
I é o momento de inércia da seção transversal do pilar.

L é o comprimento da coluna.

K é o fator de comprimento efetivo, que depende das condições de apoio.

A elevada esbeltez dos perfis formados a frio torna mais complexa a avaliação da sua resistência e do comportamento pois, além de serem muito susceptíveis à flambagem local, surge ainda a flambagem distorcional (Hancock, Kwon e Bernard, 1994; Schafer e Yu, 2006). A Figura 1 apresenta a seção laminada do tipo H e a seção formada a frio do tipo rack, com a nomenclatura de seus componentes e os tipos de flambagem a que ela está sujeita.

Figura 1 - (a) Elementos da seção H; (b) Flambagem global por flexão; (c) Elementos da seção rack; (d) Flambagem local da alma; (e) Flambagem distorcional.



Fonte: Elaboração própria.

As prescrições normativas vigentes sobre perfis formados a frio (AISI, 2024, ABNT, 2010) recomendam a avaliação computacional da estabilidade elástica. Um

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 29/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/t8g39594
Pages: 1-18

dos métodos adequados é a GBT (Schardt, 1989) por meio do programa livre GBTul (Bebiano et al, 2008), podendo ter seus resultados considerados como referência para fins de pesquisa e dimensionamento.

O aumento da complexidade das estruturas faz com que métodos puramente analíticos sejam insuficientes para a avaliação de seu comportamento e sua resistência. Assim, a utilização de métodos numéricos torna-se fundamental para agilizar estas análises. Entre estes, destaca-se o Método dos Elementos Finitos, por sua versatilidade e eficiência. No entanto, os modelos via elementos finitos são muito sensíveis a parâmetros como o refinamento da malha de elementos finitos e a correta definição das condições de contorno.

O refinamento da malha refere-se ao tamanho e à quantidade de elementos utilizados. Se a malha for constituída por elementos grandes, pode levar a resultados pouco precisos; se for excessivamente pequeno, a grande quantidade de elementos pode levar a elevado custo computacional. A definição das condições de contorno refere-se à aplicação dos apoios e dos carregamentos. Esta etapa é de suma importância, pois deve simular as condições reais da estrutura. Normalmente os erros nos modelos via Elementos Finitos decorrem de escolhas inadequadas na aplicação das condições de contorno. Ressalta-se ainda que, via de regra, a dificuldade em reproduzir as condições reais da estrutura torna complexa a aplicação dos carregamentos e apoios, os que demanda especial atenção nesta etapa da construção do modelo numérico. (Freitas, Freitas e Souza, 2010; Freitas; Freitas; Moen; Schafer, 2011; Neiva et al. 2018; Souza; Santos; Sarmanho, 2020; Jardim Jr. et el. 2021; Pinto; Sarmanho; Souza, 2021; Oliveira; Sarmanho; Souza, 2022; Gomes, Sarmanho e Souza, 2023; Pereira; Sarmanho; Souza, 2023; Ferreira, Sarmanho e Souza, 2025).

3. Metodologia

Nesta pesquisa foram feitas simulações via Método dos Elementos Finitos de pilares de aço no programa livre de código aberto FreeCAD. Foram considerados perfis laminados com diferentes condições de apoio e perfis formados a frio sujeitos à flambagem local e à flambagem distorcional.

Foram avaliados pilares em perfis laminados sujeitos à flambagem global por flexão. Foi considerada a seção W150x22,5 de fabricante nacional e pilares

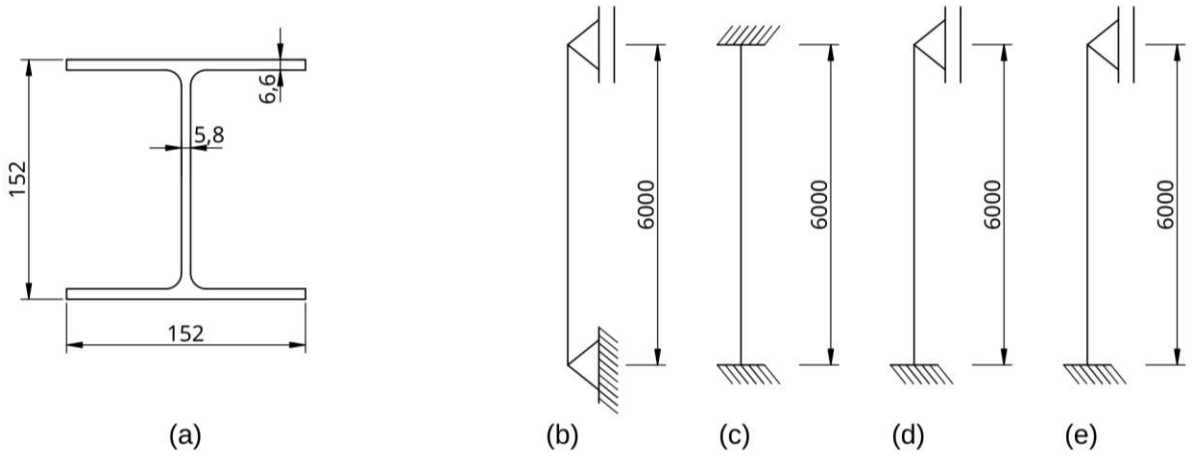
REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 29/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/t8g39594
Pages: 1-18

biapoiado, biengastado, engastado-apoiado e engastado-livre. A Figura 2 apresenta a seção adotada e as condições de apoio simuladas.

Foram avaliados também perfis formados a frio do tipo rack. A escolha deste tipo de seção foi motivada pela complexidade de seu comportamento estrutural. Duas dimensões foram consideradas para possibilitar a observação das flambagens local e distorcional. A primeira seção, com largura da alma igual a 100 mm, mostra-se mais susceptível à flambagem local enquanto a segunda, com largura da alma igual a 80 mm está sujeita à flambagem distorcional. A Figura 3 apresenta as dimensões dos pilares em perfis formados a frio considerados neste trabalho.

Figura 2 – Pilares laminados (a) Seção; (b) pilar biapoiado; (c) Pilar biengastado; (d) Pilar engastado-apoiado; (d) Pilar engastado-livre (dimensões em mm).

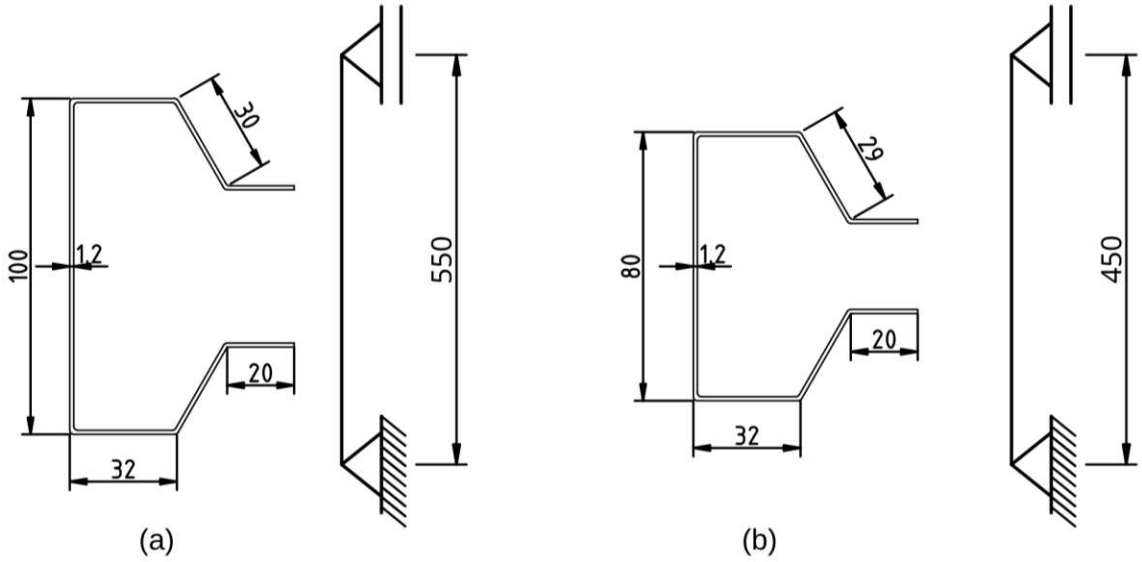


Fonte: elaboração própria.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 29/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/t8g39594
Pages: 1-18

Figura 3 – Pilares em perfis formados a frio do tipo rack. (a) Seção sujeita à flambagem local; (b) Seção sujeita à flambagem distorcional (dimensões em mm).



Fonte: elaboração própria.

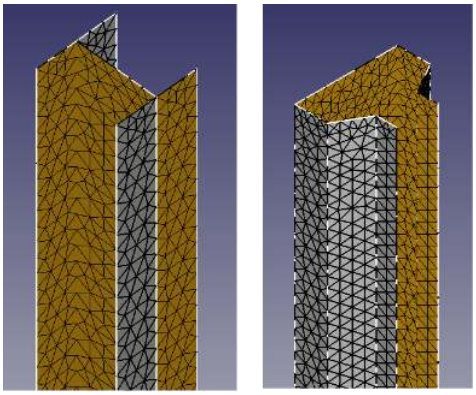
Em todos os modelos o aço foi considerado em sua fase linear, uma vez que o objetivo é a avaliação da flambagem elástica. O material adotado foi o modelo da biblioteca interna do FreeCAD "*Steel generic*", com Módulo de Elasticidade E = 200 GPa e Coeficiente de Poison ν = 0,3.

Para a modelagem via Método dos Elementos Finitos no FreeCAD foram construídas as geometrias de todas as seções e, em seguida, foram geradas as malhas de elementos finitos. Para isto foi utilizado o gerador de malhas Gmesh. Foram adotados em todos os modelos malhas de elementos triangulares, com refinamento da malha diferentes para os tipos de perfis. Para os perfis laminados, foi adotado o tamanho máximo do elemento igual a 30 mm e para os perfis formados a frio o tamanho máximo de 10 mm. A Figura 4 apresenta as malhas de elementos finitos geradas para os pilares laminados e formados a frio.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 29/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/t8g39594
Pages: 1-18

Figura 4 – Malhas de Elementos Finitos (a) Pilares laminados; (b) Pilares em perfis formados a frio.

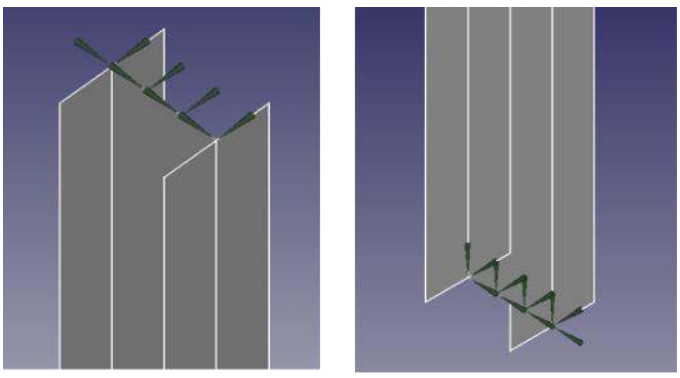


(a) (b)

Fonte: Elaboração própria.

As condições de contorno foram aplicadas buscando simular o comportamento de cada tipo de pilar, permitindo o pleno desenvolvimento do modo de flambagem esperado para cada situação. No pilar laminado biapoiado, foram restringidos os deslocamentos nas direções x, y e z na extremidade inferior e nas direções x e y na extremidade superior, conforme apresentado na Figura 5. Esta configuração foi escolhida visando manter as rotações livres nas duas extremidades e a permitir o deslocamento na direção axial na extremidade superior.

Figura 5 – Condições de contorno do pilar laminado biapoiado (a) Extremidade superior; (b) Extremidade inferior.



(a) (b)

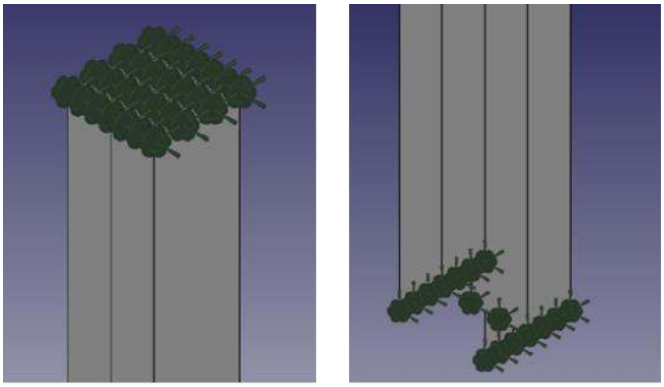
Fonte: Elaboração própria.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 29/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/t8g39594
Pages: 1-18

Para o pilar laminado biengastado foram restringidos os deslocamentos e rotações nas direções x, y e z na extremidade inferior. Na extremidade superior é necessário que todos os graus de liberdade sejam restringidos, com exceção do deslocamento axial. Para obter esse efeito, foi inserida uma chapa de topo rígida, com 20 mm de espessura, e foram restringidos os deslocamentos nas direções x e y, ortogonais ao eixo do pilar, conforme é mostrado na Figura 6.

Figura 6 – Condições de contorno do pilar laminado biengastado (a) Extremidade superior; (b) Extremidade inferior.

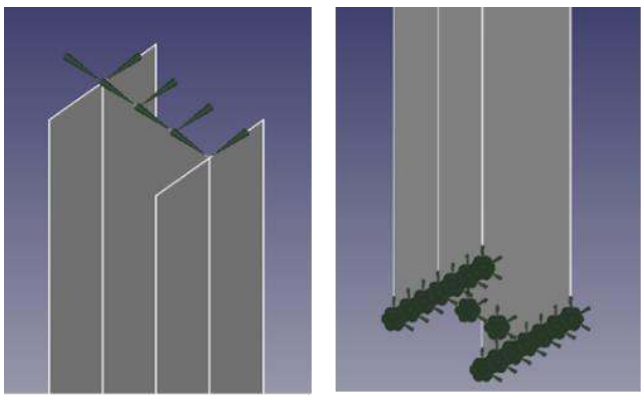


(a) (b)

Fonte: Elaboração própria.

No pilar laminado engastado-apoiado foram restringidos todos os graus de liberdade na extremidade inferior. Na extremidade superior, foram restringidos apenas os deslocamentos nas direções x e y, ortogonais ao eixo do pilar, como mostrado na Figura 7.

Figura 7 – Condições de contorno do pilar laminado engastado-apoiado (a) Extremidade superior; (b) Extremidade inferior.



(a) (b)

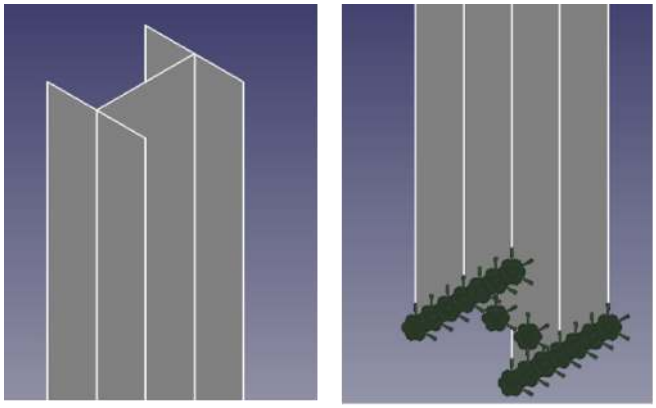
Fonte: Elaboração própria.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 29/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/t8g39594
Pages: 1-18

Para o pilar laminado engastado-livre foram restringidos os deslocamentos e rotações em todas as direções na extremidade inferior e todos os graus de liberdade foram mantidos livres na extremidade superior, conforme pode ser visto na Figura 8.

Figura 8 – Condições de contorno do pilar laminado engastado-livre (a) Extremidade superior; (b) Extremidade inferior.



(a) (b)

Fonte: Elaboração própria.

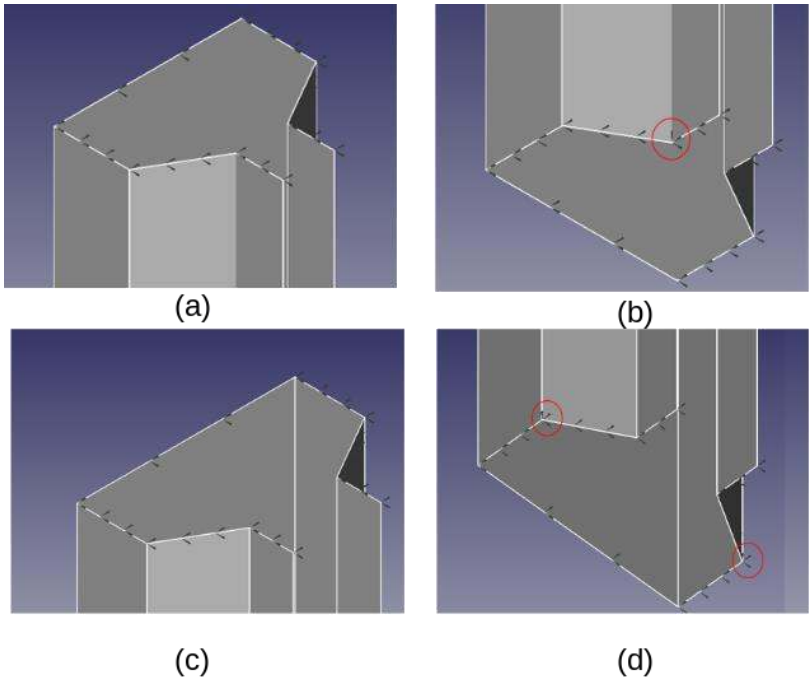
A simulação das condições de contorno nos pilares em perfis formados a frio requer cuidados adicionais. Devido à elevada esbeltez destes perfis, é necessário que na suas extremidades o empenamento não esteja restringido (Bebiano et al, 2008). Assim, apenas os deslocamentos nas direções ortogonais ao eixo (x e y) foram restringidos nas extremidades dos pilares, como pode ser visto na Figura 10.

No entanto, é necessária a aplicação de ao menos uma restrição na direção axial do pilar para evitar o deslocamento de corpo rígido e consequente hipostaticidade do pilar. Assim foram restringidos os deslocamentos na direção z em dois nós da extremidade inferior. No pilar em perfil formado a frio sujeito à flambagem local foram restringidos os nós da interseção entre o flange de ligação e o enrijecedor. Já para o pilar em perfil formado a frio sujeito à flambagem distorcional foram restringidos na direção z os nós da interseção entre a alma e o flange, conforme destacado na Figura 9.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 29/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/t8g39594
Pages: 1-18

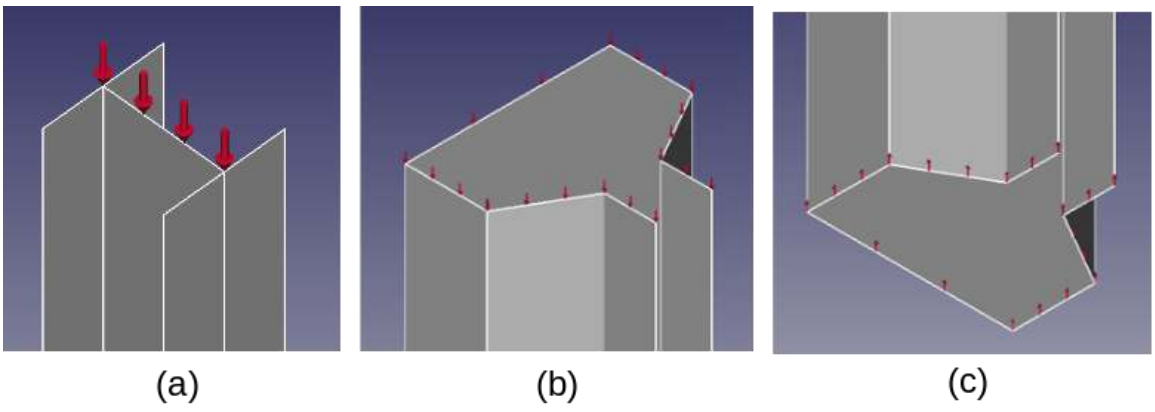
Figura 9 – Condições de contorno dos pilares formados a frio: (a) Extremidade superior do pilar sujeito à flambagem local; (b) Extremidade inferior do pilar sujeito à flambagem local; (c) Extremidade superior do pilar sujeito à flambagem distorcional; (d) Extremidade inferior do pilar sujeito à flambagem distorcional.



Fonte: Elaboração própria.

Em todos os pilares foram aplicadas forças axiais de compressão de 10 kN, conforme mostra a Figura 11. Ressalta-se que nos pilares laminados a aplicação ocorreu na extremidade superior e nos pilares formados a frio a aplicação foi feita em ambas as extremidades.

Figura 10 – Carregamentos aplicados nos pilares (a) Pilares laminados; (b) e (c): Pilares formados a frio.



Fonte: Elaboração própria.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 29/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/t8g39594
Pages: 1-18

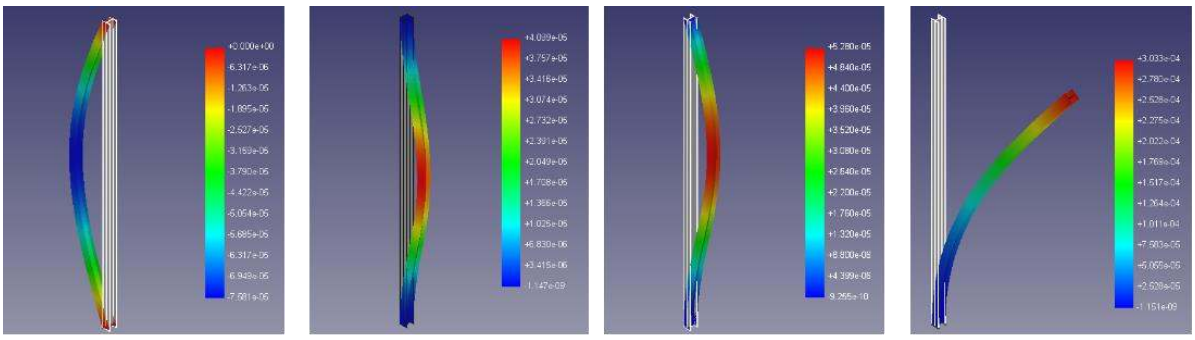
Após concluído o modelo, é feita a análise de flambagem pelo solver Calculix. A partir da análise de flambagem é obtido o autovalor, que representa a força axial de flambagem, expressa em um fator que deve ser multiplicado pela força axial aplicada (10 kN). São também obtidos os autovetores, que mostram o modo de flambagem do pilar.

4. Resultados e Discussão

Para os pilares laminados, foram observados os modos de flambagem apresentados na Figura 11. Observa-se que todos os modelos captaram adequadamente os deslocamentos previstos para as respectivas condições de contorno.

A Tabela 1 apresenta os valores das forças axiais de flambagem global elástica dos pilares laminados, e sua comparação com os valores obtidos pela Fórmula de Euler. Observa-se excelente correlação entre os resultados teóricos e experimentais para os quatro casos analisados de pilares laminados, com dispersão máxima igual a 1,56% para o pilar biengastado, cuja simulação do engaste na extremidade superior exigiu a utilização da chapa de topo, o que pode ter induzido esta imprecisão. Apesar disto, pode-se observar que o FreeCAD permite de forma adequada a análise de flambagem de pilares laminados.

Figura 11 – Modos de flambagem para os pilares laminados: (a) Pilar biapoiado; (b) Pilar biengastado; (c) Pilar engastado-apoiado; (d) Pilar engastado-livre.



(a) (b) (c) (d)

Fonte: Elaboração própria.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 29/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/t8g39594
Pages: 1-18

Tabela 1 – Forças axiais de flambagem global elástica para os pilares laminados.

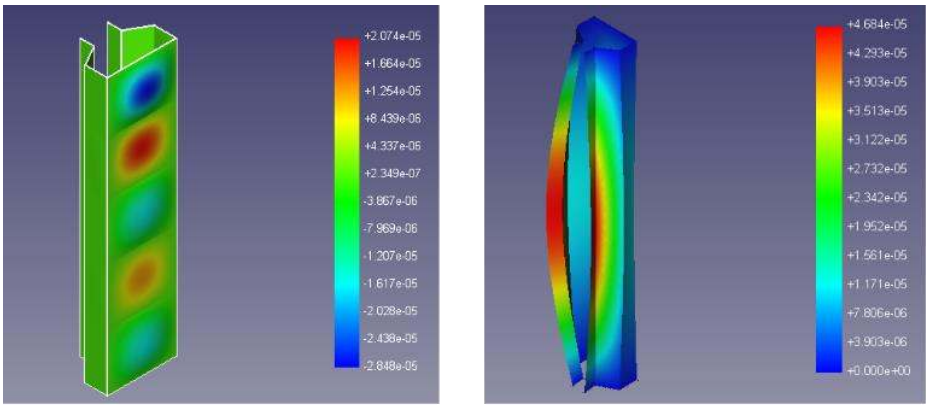
Pilar	Euller (kN)	FreeCAD (kN)	Diferença (%)
Biapoiado	212,19	211,52	0,32
Biengastado	848,78	862,09	1,56
Engastado-apoiado	433,05	433,40	0,08
Engastado-livre	53,05	52,89	0,30

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 12 apresenta os modos de flambagem observados para os pilares formados a frio. Observa-se o desenvolvimento dos modos local e distorcional para os respectivos pilares.

A Tabela 2 apresenta as forças axiais de flambagem elástica para os pilares formados a frio. Estes resultados foram comparados com aqueles obtidos via GBT pelo programa GBTul. Observa-se que em ambos os casos foi obtida boa correlação, o que, mais uma vez, valida os procedimentos adotados no FreeCAD para a avaliação da flambagem elástica de perfis de aço.

Figura 12 – Modos de flambagem para os pilares formados a frio: (a) Pilar com largura da alma igual a 100 mm; (b) Pilar com largura da alma igual a 80 mm.



(a) (b)

Fonte: Elaboração própria.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 29/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/t8g39594
Pages: 1-18

Tabela 2 - Forças axiais de flambagem local e distorcional elástica para os pilares formados a frio.

Seções	GBTul (kN)	FreeCAD (kN)	Diferença (%)
b_w = 100 mm	55,43	56,19	1,37
b_w = 80 mm	49,70	49,14	1,12

Fonte: Elaboração própria.

5. Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo realizar simulações computacionais utilizando o Método dos Elementos Finitos, com o emprego do software livre e de código aberto FreeCAD, a fim de avaliar a flambagem elástica de perfis de aço submetidos à compressão. Foram estudados dois tipos de perfis estruturais: perfis laminados a quente e perfis formados a frio de seção rack.

Os perfis laminados, caracterizados por geometrias compactas e espessuras mais elevadas, apresentaram comportamento estrutural dominado pela flambagem global, relacionada à perda de estabilidade do elemento como um todo. As simulações realizadas no FreeCAD demonstraram boa concordância com os valores de referência, comprovando a confiabilidade do programa na previsão da instabilidade global desses elementos.

Por outro lado, os perfis formados a frio, cujas seções possuem paredes delgadas e geometrias complexas, apresentaram a flambagem local e a flambagem distorcional. Apesar da complexidade inerente à modelagem desses perfis, os resultados obtidos através do FreeCAD apresentaram coerência com os valores teóricos, atestando sua viabilidade também para estas análises.

Conclui-se, portanto, que o FreeCAD é uma ferramenta eficaz para análises de estabilidade elástica via Método dos Elementos Finitos, apresentando resultados satisfatórios tanto para perfis laminados quanto para perfis formados a frio, desde que a aplicação das condições de contorno e o refinamento de malha sejam adequadamente conduzidos. A adoção de ferramentas livres como o FreeCAD se mostra promissora, especialmente em contextos acadêmicos e profissionais que demandam soluções acessíveis, transparentes e tecnicamente robustas.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 29/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/t8g39594
Pages: 1-18

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal de Ouro Preto, ao Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Ouro Preto e à CAPES pelo apoio a esta pesquisa.

Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por Perfis Formados a Frio. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE. AISI-S100-16 (2024). “North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members”, Washington, D.C., 2024.

BEBIANO, R.; PINA, P.; SILVESTRE, N.; CAMOTIM, D. GBTUL – Buckling and Vibration Analysis of Thin-Walled Members, DECivil/IST, Technical University of Lisbon, 2008. (http://www.civil.ist.utl.pt/gbt).

FreeCAD. **Disponível em**: https://www.FreeCAD.org/features.php. Acesso em: 125 de outubro de 2025

HANCOCK, G. J., KWON, Y. B., BERNARD, E. S. (1994). Strength design curves for thin-walled sections undergoing distortional buckling. Journal of Constructional Steel Research. 31 (1994) 169-186

FERREIRA, G. H., SARMANHO, A. M. C., SOUZA, F. T. Avaliação via método dos elementos finitosda flambagem local em pilares em aço formados a frio do tipo rack com furos com bordas enrijecidas. Revista Brasileira Multidisciplinar, v. 28 n. 2, p. 173-189, 2025. **Disponível em**: https://revistarebram.com/index.php/revistauniara/article/view/2222

FREITAS, A. M. S., FREITAS, M. S. R., SOUZA, F. T. (2010). Analysis and behavior of steel storage drive-in racks.Thin-Walled Structures, Vol. 48, p. 110-117.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 29/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/t8g39594
Pages: 1-18

DOI: https://doi.org/10.1016/j.tws.2009.09.003. **Disponível em:** https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263823109001992

GOMES, D. M.; SARMANHO, A. M. C.; SOUZA, F. T.; Análise numérica de pilares formados a friodo tipo rack com perfurações de borda enrijecida. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 19 n. 1, p. 78-91, 2023. DOI: https://doi.org/10.5216/reec.v19i1.74342. **Disponível em:** https://revistas.ufg.br/reec/article/view/74342.

JARDIM JR, F.; HELENO, R. P.; SOUZA, F. T.; SARMANHO, A. M. C. Estudo da viabilidade do método da Resistência Direta em Perfis U enrijecidos formados a frio com perfurações. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 17 n. 1, p. 1-15, 2021. DOI: https://doi.org/10.5216/reec.v17i1.56289. **Disponível em:** https://revistas.ufg.br/reec/article/view/56289.

MOEN, C. D.; SCHAFER, B. W. Direct strength method for design of cold-formed steel columns withholes. Journal of Structural Engineering, v. 137, n. 5, p. 559-570, 2011.

NEIVA, L. H. A.; SALES, A. E. C. A.; ELIAS, G. C.; SARMANHO, A. M. C.; SOUZA, F. T. Análise do modo distorcional de elementos perfurados segundo Método da Resistência Direta. Revista da Estrutura de Aço. v. 7. p. 17-36, 2018.

NICOLAU, I. A. N.; SARMANHO, A. M. C.; SOUZA, F. T. Análise Numérica de Perfis Formados a Frio do tipo U Enrijecido com Perfurações Enrijecidas Submetidos à Compressão. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v. 8, n. 2, p. 1-10, 2023. DOI: https://doi.org/10.25286/repa.v8i2.2193. **Disponível em:** http://revistas.poli.br/index.php/repa/article/view/2193.

OLIVEIRA, L. C. P.; SARMANHO, A. M. C.; SOUZA, F. T. Análise da influência das dimensões das perfurações em pilares compostos por perfis em aço formados a frio do tipo U enrijecido. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v. 7, n. 1, p. 30-37, 2022. DOI: 10.25286/repa.v7i1.1717. **Disponível em:**

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 10/10/2025 - **Accepted:** 29/10/2025
Vol: 19.03
DOI: 10.61164/t8g39594
Pages: 1-18

http://revistas.poli.br/index.php/repa/article/view/1717

PEREIRA, A. F. N.; SARMANHO, A. M. C., SOUZA, F. T. Análise via Elementos Finitos de Pilares em Perfis Formados a Frio do tipo U enrijecido com perfurações submetidos à flambagem distorcional. REUCP, Petrópolis, v. 17, n. 1, 85-98, 2023. **Disponível em**: https://seer.ucp.br/seer/index.php/REVCEC/article/view/2646

PINTO, R. A. R.; SARMANHO, A. M. C.; SOUZA, F. T. Análise Numérica da influência das dimensões e posição das perfurações na resistência à instabilidade distorcional de perfis formados a frio do tipo rack comprimidos. Revista da Estrutura de Aço. v. 10. p. 333-350, 2021.

SALMON, C. G.; JOHNSON, J. E. STEEL STRUCTURES-DESIGN AND BEHAVIOUR. 1990.

SANTOS, E. T.;; SARMANHO, A. M. C.; SOUZA, F. T. Análise numérica da influência das dimensões de perfurações em perfis formados a frio do tipo rack submetidos à compressão. Revista Mundi Engenharia, TecnologiaeGestão,Paranaguá,PR,v.5,n.5,p.1-266,2020.DOI:10.21575/25254782rmetg2020vol5n51128. **Disponível em**: https://periodicos.ifpr.edu.br/index.php/MundiETG/article/view/1128.

SCHAFFER, B., YU, C. (2006). Distortional buckling tests on cold-formed steel beams. Journal of Structural Engineering 132 (2006) 515-528.

SCHARDT, R. (1994). Generalized Beam Theory – An Adequate method for Coupled Stability Problems. Thin-Walled Structures, 19, p. 161-180.