



2026

Análise e desenvolvimento de uma ferramenta computacional para verificação de vigas metálicas com seção I segundo a NBR 8800:2024

Tais Regina Cavasana ^a; Christiane Areias Trindade ^b

^a Aluno de Graduação em Engenharia Civil, tais.cavasana@ufms.br

^b Professora Orientadora, Doutora, christiane.trindade@ufms.br

Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Av. Costa e Silva, s/nº | Bairro Universitário | 79070-900 | Campo Grande, MS, Brasil.

RESUMO

A recente atualização da ABNT NBR 8800 introduziu alterações relevantes nos critérios de dimensionamento de estruturas metálicas, impactando diretamente as rotinas de cálculo empregadas na prática profissional. Neste contexto, este artigo apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta computacional em planilha eletrônica destinada à verificação estrutural de vigas metálicas conforme a ABNT NBR 8800:2024. A metodologia baseia-se no estudo da norma vigente, na modelagem matemática das verificações estruturais e na implementação automatizada dos cálculos. Os resultados obtidos foram validados por meio de exemplo retirado de bibliografia, comparando com o resultado da ferramenta. Os resultados evidenciam diferenças nos parâmetros resistentes e reforçam a importância do uso de uma ferramenta computacional que proporciona maior precisão e menores possibilidades de erros manuais, bem como a aplicabilidade prática e facilidade de uso da ferramenta desenvolvida. Conclui-se que a ferramenta é um recurso auxiliar viável para a prática profissional, ressaltando-se que a atual escassez de literatura técnica atualizada conforme a versão 2024 limita a realização de comparações mais extensas no presente momento.

Palavras-chave: estruturas metálicas; ABNT NBR 8800; vigas metálicas; ferramenta computacional.

ABSTRACT

The recent update to ABNT NBR 8800 introduced significant changes to the design criteria for steel structures, directly affecting the calculation routines used in professional practice. In this context, this paper presents the development of a spreadsheet-based computational tool for the structural verification of steel beams in accordance with ABNT NBR 8800:2024. The methodology is based on the study of the current standard, the mathematical modeling of structural verifications, and the automated implementation of calculations. The obtained results were validated through a bibliographic example and comparative analyses, comparing the results with the tool's output. The findings highlight differences in resistance parameters and reinforce the importance of normative updates and the use of a computational tool that provides greater precision and lower possibilities of manual errors, as well as the practical applicability and ease of use of the developed tool. It is concluded that the tool is a viable auxiliary resource for professional practice, noting that the current scarcity of updated technical literature according to the 2024 version limits the performance of more extensive comparisons at this time.

Keywords: steel structures; ABNT NBR 8800; steel beams; computational tool.

1. INTRODUÇÃO

As estruturas metálicas consolidaram-se como uma das soluções mais eficientes na engenharia civil contemporânea, sendo amplamente empregadas devido à sua elevada resistência mecânica, precisão geométrica e rapidez de montagem. O uso do aço estrutural permite a execução de projetos complexos

em edificações industriais e comerciais, desde que o dimensionamento seja rigorosamente balizado pelos critérios normativos vigentes, garantindo a segurança e a economia das obras.

No cenário brasileiro, o projeto de estruturas de aço é regido pela ABNT NBR 8800. Após um longo período de 16 anos de vigência da versão de 2008, a norma passou por uma revisão profunda, culminando

na publicação da ABNT NBR 8800:2024. Esta atualização não representa apenas um ajuste burocrático, mas uma mudança significativa nos procedimentos de cálculo, impactando a classificação de seções transversais, os novos limites de esbeltez e a introdução de coeficientes de ajuste para estados limites de instabilidade, como a Flambagem Lateral com Torção (FLT).

Todavia, a implementação prática de uma nova norma acarreta desafios inerentes ao período de transição. Historicamente, a atualização de normas de grande porte é seguida por um intervalo de tempo em que a literatura técnica e os manuais de exemplos resolvidos ainda não estão amplamente disponíveis. Esta escassez de material de referência dificulta a curva de aprendizagem dos profissionais e torna o processo de validação de novos projetos mais complexo, uma vez que não existem parâmetros comparativos imediatos para a triangulação de resultados manuais e automatizados.

Neste contexto, a relevância de desenvolver ferramentas computacionais torna-se ainda mais evidente. A complexidade das novas fórmulas e a precisão exigida pela versão 2024 aumentam a probabilidade de erros operacionais em cálculos manuais. A automatização surge, portanto, como uma estratégia para assegurar a aderência normativa e a eficiência operacional na rotina de projeto.

Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar o desenvolvimento do MetalCheck, uma ferramenta computacional destinada à verificação de vigas metálicas em conformidade com a ABNT NBR 8800:2024. O foco principal reside em oferecer um sistema que garanta maior precisão analítica e rastreabilidade dos cálculos, reduzindo a subjetividade interpretativa e os erros de arredondamento comuns em métodos simplificados, consolidando-se como um recurso auxiliar para o engenheiro estrutural perante o novo panorama normativo nacional.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Verificação à flexão em vigas metálicas segundo a ABNT NBR 8800

A verificação à flexão constitui uma das etapas centrais no dimensionamento de vigas metálicas, uma vez que esses elementos são, em grande parte das aplicações, solicitados predominantemente por momentos fletores. Segundo a ABNT NBR 8800:2024, a resistência à flexão depende não apenas das propriedades mecânicas do aço, mas também do comportamento geométrico da seção transversal e da

possibilidade de ocorrência de instabilidades locais ou globais.

O primeiro passo para a verificação à flexão consiste na classificação da seção transversal, realizada a partir da avaliação das relações de esbeltez da mesa e da alma do perfil. Essas relações permitem identificar se a seção é capaz de desenvolver plenamente sua resistência plástica ou se está sujeita à instabilidade local antes do escoamento do material.

A esbeltez da mesa é definida pela Equação (1):

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2t_f} \quad (1)$$

Sendo: b_f é a largura da mesa e t_f é a espessura da mesa do perfil.

De forma análoga, a esbeltez da alma é dada pela Equação (2):

$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} \quad (2)$$

Onde: h a altura livre da alma e t_w a espessura da alma.

Esses parâmetros são comparados com limites normativos que dependem da resistência ao escoamento do aço f_y e do módulo de elasticidade E . A partir dessa comparação, a seção é classificada como compacta, semicompacta ou esbelta, o que influencia diretamente o modelo resistente adotado para o cálculo da resistência à flexão.

Para seções classificadas como compactas, a ABNT NBR 8800:2024 permite que a resistência nominal à flexão seja determinada com base no momento plástico da seção, conforme a Equação (3):

$$M_{pl} = Z_x \cdot f_y \quad (3)$$

em que Z_x é o módulo plástico da seção em relação ao eixo de flexão considerado. A resistência de cálculo à flexão é então obtida pela aplicação do coeficiente parcial de segurança, conforme a Equação (4):

$$M_{rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_a} \quad (4)$$

Para seções semicompactas ou esbeltas, a norma impõe reduções na resistência à flexão, considerando os efeitos da instabilidade local. Pequenas variações nos parâmetros geométricos ou no valor de f_y podem alterar a classificação da seção e, consequentemente, modificar significativamente o valor da resistência de cálculo, evidenciando a sensibilidade desse processo.

A versão de 2024 da ABNT NBR 8800 introduziu ajustes nos limites de esbeltez utilizados na classificação das seções, alterando o enquadramento de determinados perfis quando comparados à versão de 2008. Essas mudanças impactam diretamente os valores de momento resistente obtidos e reforçam a necessidade de reavaliação das rotinas de cálculo anteriormente empregadas.

2.2. Flambagem lateral com torção (FLT)

A ocorrência da flambagem lateral com torção depende de diversos parâmetros, destacando-se o comprimento destravado da viga, as propriedades geométricas da seção, como o raio de giração r_y , e as propriedades mecânicas do material. A interação entre esses parâmetros torna essa verificação uma das mais complexas do dimensionamento de vigas metálicas.

A ABNT NBR 8800:2024 define comprimentos limites que delimitam os regimes de comportamento da viga. Um desses limites é o comprimento L_p , dado pela Equação (5):

$$L_p = 1,76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (5)$$

Para comprimentos destravados inferiores a L_p a viga pode desenvolver plenamente sua resistência à flexão. Para comprimentos superiores, a resistência deve ser reduzida de acordo com expressões normativas que consideram o efeito da instabilidade global (ABNT, 2008; ABNT, 2024).

A correta avaliação da flambagem lateral com torção exige atenção especial à definição dos parâmetros geométricos e às condições de vinculação do elemento. A versão de 2024 da ABNT NBR 8800 promoveu alterações nos procedimentos de verificação desse fenômeno, tornando-os mais alinhados com referências internacionais e, em alguns casos, mais conservadores quando comparados à versão de 2008.

Essas modificações aumentam a complexidade do processo de dimensionamento e evidenciam a importância da utilização de ferramentas que auxiliem o engenheiro na correta aplicação dos critérios normativos.

2.3. Comparação entre as versões da ABNT NBR 8800:2008 e 2024

A revisão da ABNT NBR 8800 publicada em 2024 introduziu modificações relevantes nos critérios de verificação à flexão de vigas metálicas, especialmente no que se refere ao tratamento da flambagem lateral com torção e à influência do diagrama de momentos

ao longo do comprimento destravado. Enquanto a ABNT NBR 8800:2008 considera esse efeito por meio do coeficiente C_b nas expressões de resistência à instabilidade, a versão de 2024 reorganiza essa consideração por meio do coeficiente k_c , aplicado conforme os regimes e limites normativos adotados (ABNT, 2008; ABNT, 2024).

Na ABNT NBR 8800:2008, a resistência à flexão considerando a flambagem lateral com torção é determinada por expressões que incorporam a influência da distribuição de momentos por meio do coeficiente C_b . De forma simplificada, a resistência nominal à flexão pode ser representada conforme a Equação (7):

$$M_n = f(Z_x, f_y, L_b, r_y, E) \quad (7)$$

Em que a resistência depende fundamentalmente das propriedades geométricas da seção, das propriedades mecânicas do aço e do comprimento destravado L_b , sendo a influência do diagrama de momentos considerada pelo coeficiente C_b , conforme a ABNT NBR 8800:2008 (ABNT, 2008).

Com a publicação da ABNT NBR 8800:2024, a influência da distribuição do momento ao longo do vão passa a ser tratada de forma mais sistematizada por meio do coeficiente k_c , associado aos limites e regimes de verificação adotados para a flambagem lateral com torção. Assim, a resistência nominal à flexão pode ser expressa, de forma geral, conforme a Equação (8):

$$M_n = k_c \cdot f(Z_x, f_y, L_b, r_y, E) \quad (8)$$

A introdução do coeficiente k_c reconhece que vigas submetidas a diferentes distribuições de momento apresentam distintos níveis de suscetibilidade à flambagem lateral com torção. Situações com momento aproximadamente constante ao longo do comprimento destravado tendem a ser mais desfavoráveis, enquanto casos com variação significativa do momento podem resultar em maior estabilidade relativa do elemento (ABNT, 2024).

Essa mudança altera não apenas os valores de momento resistente obtidos, mas também os limites de transição entre os diferentes regimes de comportamento da viga, impactando diretamente a razão de utilização calculada no dimensionamento. Como consequência, perfis que atendiam aos critérios de segurança segundo a versão de 2008 da norma podem apresentar resultados distintos quando avaliados conforme a versão de 2024, reforçando a importância da correta aplicação dos critérios normativos atualizados (ABNT, 2008; ABNT, 2024).

3. METODOLOGIA

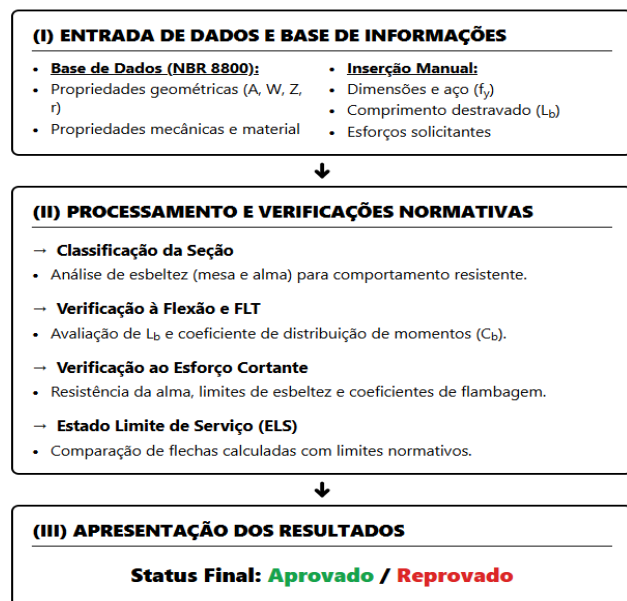
A metodologia adotada neste trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de natureza tecnológica, com abordagem qualitativa e quantitativa, voltada ao desenvolvimento de uma ferramenta computacional para a verificação de vigas metálicas conforme a ABNT NBR 8800:2024. O enfoque metodológico consiste na sistematização dos critérios normativos e na sua implementação em uma planilha eletrônica, de modo a tornar o processo de dimensionamento mais transparente, organizado e menos suscetível a erros operacionais. Essa planilha serviu como base para criar uma interface melhorada e mais intuitiva para uso.

O desenvolvimento da ferramenta foi estruturado de forma a refletir a sequência lógica de verificações estabelecida pela norma, permitindo que cada etapa do cálculo seja visualmente identificada e compreendida pelo usuário.

3.1. Estrutura geral da ferramenta

A ferramenta computacional foi desenvolvida em ambiente de planilha eletrônica, organizada em abas sequenciais que representam as principais etapas do dimensionamento de vigas metálicas. Essa organização tem como objetivo facilitar a navegação do usuário e permitir a verificação individual das etapas intermediárias do cálculo. A Figura 1 apresenta a visão geral da estrutura da planilha, evidenciando a organização das abas e a disposição dos principais campos de cálculo.

Figura 1 – Fluxograma de desenvolvimento.



I. Entrada de dados e base de informações;

A etapa inicial do desenvolvimento da ferramenta consistiu na definição da **base de dados necessária ao dimensionamento**, contemplando as propriedades geométricas e mecânicas das seções metálicas, bem como os parâmetros normativos aplicáveis. Essa base de dados inclui informações como área da seção, módulos resistentes, módulos plásticos, raios de giração e propriedades do material, conforme especificado na ABNT NBR 8800. O dados que são necessários inserir são:

- Dimensões da seção transversal;
- Resistência ao escoamento do aço;
- Comprimento destravado da viga;
- Esforços solicitantes (obtidos a partir da análise estrutural).

II. Processamento e verificações normativas;

Esta etapa compreende o núcleo de processamento da planilha onde os dados de entrada são submetidos às rotinas matemáticas para determinar a segurança e a funcionalidade da peça. O processamento é estruturado para garantir que cada critério da NBR 8800:2024 seja rigorosamente atendido, dividindo-se nas seguintes modalidades:

Classificação da seção transversal: A classificação da seção transversal constitui uma etapa fundamental no dimensionamento de vigas metálicas, pois define o comportamento resistente do elemento e determina quais modelos normativos podem ser empregados nas verificações à flexão. Conforme a ABNT NBR 8800:2024, essa classificação é realizada com base na análise da esbeltez dos elementos constituintes da seção, em especial da mesa e da alma, em relação aos respectivos limites normativos.

Verificação à flexão e flambagem lateral com torção: A verificação da flambagem lateral com torção é realizada a partir da avaliação do comprimento destravado da viga e da aplicação explícita do coeficiente k_c , que incorpora a influência da distribuição do momento fletor ao longo do vão, conforme os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 8800:2024.

Verificação do esforço cortante: Após a verificação da flexão, a ferramenta realiza a verificação do esforço cortante, conforme os critérios da ABNT NBR 8800:2024. Nessa etapa, são avaliados os parâmetros relacionados à resistência da alma da seção, incluindo a esbeltez da alma, os limites normativos aplicáveis e, quando pertinente, o coeficiente de flambagem.

Verificação do estado limite de serviço (ELS): A verificação da flecha é realizada no estado limite de serviço (ELS) e tem como objetivo assegurar o desempenho funcional adequado da estrutura, limitando os deslocamentos verticais a valores compatíveis com o uso previsto e com os critérios normativos estabelecidos. Na ferramenta computacional desenvolvida, essa verificação é realizada com base na inserção do valor previamente calculado, que será comparado aos valores tabelados de acordo com o tipo de material, conforme os procedimentos da ABNT NBR 8800:2024.

III. Apresentação dos resultados.

A planilha consolida os resultados das verificações estruturais, apresentando a resistência de cálculo, o esforço solicitante e a razão de utilização da viga. Essa razão constitui o principal indicador de segurança estrutural adotado no dimensionamento.

3.2. Desenvolvimento do MetalCheck

A arquitetura do MetalCheck foi estruturada sob o conceito de modularidade, separando o motor de processamento da interface de interação com o usuário. O núcleo de cálculo foi implementado utilizando a linguagem VBA (Visual Basic for Applications), escolhida pela sua robustez no tratamento de matrizes e rotinas matemáticas complexas inerentes à NBR 8800:2024.

Para a camada de Frontend (interface visual), utilizou-se a linguagem JavaScript, que possibilitou a criação de um ambiente dinâmico e responsivo. A integração entre o motor de cálculo e a interface gráfica permite que o software processe as verificações de forma instantânea, oferecendo ao projetista um diagnóstico visual imediato. Essa estruturação em seções independentes foi projetada para garantir a escalabilidade do sistema; caso ocorram novas atualizações normativas, os ajustes podem ser realizados de forma isolada em blocos específicos de código, sem comprometer a integridade global da ferramenta ou a experiência do usuário.

3.2.1. Apresentação e Diagnóstico de Resultados

Este bloco constitui a interface final do MetalCheck, onde os dados processados pelo motor de cálculo em VBA são sintetizados e apresentados de forma intuitiva. O objetivo é permitir que o usuário avalie a segurança da viga metálica sem a necessidade de consultar as abas intermediárias de cálculo. A organização da tela pode ser descrita em três setores fundamentais:

3.2.1.1. Barra Lateral Esquerda

Entrada de Dados: Este painel vertical fixo é destinado exclusivamente à definição dos parâmetros do projeto. Ele é segmentado em grupos lógicos para facilitar o preenchimento:

- **Seleção do Perfil:** Permite ao usuário alternar entre dois modos de entrada via botões: "Catálogo" (para seleção de perfis comerciais padronizados através de menus suspensos de Família e Bitola) ou "Manual" (para inserção direta das dimensões geométricas: altura (d), largura da mesa (bf), espessuras (tf) e (tw), e raio (r).

- **Material:** Seção para definição das propriedades mecânicas do aço, com seleção de classes predefinidas ou entrada manual das resistências de escoamento (f_y) e do módulo de elasticidade (E).

- **Esforços de Cálculo:** Campos para inserção da geometria do vão (L), comprimento destravado (L_b) e os esforços solicitantes de cálculo: Momento Fletor (M_{sd}) e Esforço Cortante (V_{sd}).

- **Estabilidade (FLT):** Área dedicada ao parâmetro crítico da Flambagem Lateral com Torção, permitindo a definição do coeficiente C_b .

- **ELS (Flecha):** Parâmetros para verificação do Estado Limite de Serviço, incluindo flecha calculada e limites normativos

3.2.1.2. Área Principal à Direita

Dashboard de Resultados: é a área dinâmica que reage aos cálculos realizados. Ela é subdividida em duas partes:

- **Cartões de Status:** Três painéis de destaque fornecem um diagnóstico visual imediato das principais verificações: "FLEXÃO", "CISALHAMENTO" e "FLECHA". Cada cartão exibe a razão de utilização em porcentagem (inicialmente 0%), uma barra de progresso visual e uma mensagem de status (ex.: "Aguardando dados..."), que muda para "OK" ou "ALERTA" após o cálculo.

- **Painel de Detalhes (Abas Inferiores):** Uma seção tabular para análise mais aprofundada.

- **Aba "Seção Transversal":** Exibe, uma representação gráfica (desenho em Canvas) do perfil I configurado, auxiliando na conferência visual da geometria.

- **Aba "Propriedades":** Contém uma estrutura de tabela preparada para listar as propriedades geométricas calculadas (Inércias, Módulos

Resistentes, Constantes de Torção e Empenamento) e os resultados intermediários das verificações.

3.2.1.3. Barra Superior de Ações

Localizada no topo da área principal de conteúdo, esta barra contém o título do ambiente ("Dashboard de Análise") e agrupa os comandos principais de controle do fluxo de trabalho à direita:

- Botão "Recalcular": O principal acionador do motor de cálculo. Após o preenchimento dos dados na barra lateral, este botão executa as rotinas de verificação (VBA/JS) e atualiza o dashboard.
- Botão "Zerar": Funcionalidade para limpar todos os campos de entrada, permitindo iniciar um novo estudo de caso rapidamente.
- Botão "Exportar Relatório": Função final que compila os dados de entrada e os resultados obtidos em um documento PDF formatado como memória de cálculo. é possível visualizá-lo.

3.3. Definição do Problema-base

Com o objetivo de validar a ferramenta computacional desenvolvida, foi definido um problema-base representativo do dimensionamento de vigas metálicas, permitindo comparar os resultados obtidos por diferentes abordagens de cálculo. O enunciado adotado foi extraído de material técnico do Centro Brasileiro da Construção em Aço (PRAVIA E VANIN, 2025), selecionando-se um exercício com solução manual apresentada, o que viabiliza o uso do resultado publicado como referência de validação.

A validação foi conduzida por meio de uma comparação dupla:

- Resultados apresentados no exercício resolvido do manual do CBCA;
- Resultados obtidos no protótipo de interface em formato de aplicativo (MetalCheck), que reproduz o fluxo de entrada e a apresentação das saídas da ferramenta.

Para garantir consistência, foram mantidos os mesmos dados geométricos, propriedades do material, condições de apoio e carregamento definidos nos enunciados originais, de modo que eventuais diferenças estejam associadas exclusivamente ao processo de cálculo e à implementação.

Foram comparados os valores de esforços solicitantes, resistências e razões de utilização para as verificações pertinentes (ELU e ELS), bem como o status final de atendimento (aprovado/reprovado).

Problema-base 1: O estudo de caso consiste em um perfil laminado W 410 x 38,8, em aço ASTM A572

Gr. 50 ($f_y = 345$ MPa), com vão de 6,0 m e contenção lateral no ponto central do vão ($L_b = 3,0$ m), submetido a um momento fletor de cálculo $M_{sd} = 150$ kNm e esforço cortante $V_{sd} = 60$ kN.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Base de dados e parâmetros de entrada

A Tabela 1 ilustra a aba da planilha destinada à inserção desses dados de entrada, destacando os campos de preenchimento e os parâmetros considerados.

Tabela 1 – Interface de entrada de dados da ferramenta computacional.

PROPRIEDADES DO MATERIAL (AÇO)		
Tipo do Aço	ASTM A500 Grau B	-
Tensão de Escoamento (f_y)	29	kN/cm ²
Tensão de Ruptura (f_u)	40,0	kN/cm ²
Módulo de Elasticidade (E)	20000,0	kN/cm ²

PROPRIEDADES DO PERFIL		
Nome do Perfil	W 250x32,7	-
Altura (d)	253	mm
Largura da Mesa (bf)	146	mm
Espessura da Alma (tw)	6,1	mm
Espessura da Mesa (tf)	9,1	mm
Área Bruta (A_g)	41,7	cm ²
Momento de Inércia (I_x)	4.880	cm ⁴
Módulo Elástico (W_x)	386	cm ³
Módulo Plástico (Z_x)	438	cm ³
Raio de Giração (r_y)	3,24	cm
Constante de Torção (J)	16,9	cm ⁴
Constante de Empenamento (C_w)	40100	cm ⁵
I_y	488	cm ⁴

GEOMETRIA E ESFORÇOS SOLICITANTES		
Comprimento da Viga (L)	5,0	m
Comprimento Destravado (L_b)	3,0	m
Momento Fletor Solicitante (M_{sd})	35,0	kN.m
Força Cortante Solicitante (V_{sd})	60,0	kN

DADOS PARA VERIFICAÇÃO DA FLECHA		
Tipo de Carregamento	Carga Distribuída	-
Carga Distribuída de Serviço (q)	10,0	kN/m
Carga Pontual (P)	0,0	kN
Posição da Carga (a)	0,0	m
Limite de Flecha:	L/250	

As células destacadas em amarelo correspondem aos campos de interação do usuário. Nos blocos de propriedades do material e propriedades do perfil, os campos em amarelo permitem a seleção de opções a partir de uma base de dados previamente implementada, incluindo tipos de aço e perfis metálicos. As células destacadas em cinza apresentam os parâmetros automaticamente preenchidos pela ferramenta, os quais são carregados conforme o tipo de aço e o perfil selecionados. Nos demais blocos, as células em amarelo representam os dados de projeto a serem inseridos manualmente, tais como comprimentos, esforços solicitantes, condições de carregamento e critérios de verificação de flecha.

Subsequentemente, os dados inseridos na planilha de entrada são automaticamente transferidos para a aba "Cálculos", onde são unificados no Sistema

Internacional de Unidades (S.I.), assegurando a compatibilidade entre as grandezas e evitando inconsistências decorrentes de erros de conversão de unidades. Esse processo de unificação e padronização das grandezas é ilustrado na Tabela 2, que apresenta a estrutura da aba de cálculos e a organização das informações processadas pela ferramenta.

Tabela 2 – Planilha unificada de dados de entrada da ferramenta computacional.

1. PARÂMETROS DE ENTRADA UNIFICADOS		
Descrição do Parâmetro	Valor	Unidade
Propriedades do Material		
Tensão de Escoamento (f_y)	29,00	kN/cm ²
Tensão de Ruptura (f_u)	40,00	kN/cm ²
Módulo de Elasticidade (E)	20000,00	kN/cm ²
Propriedades da Seção (convertidas)		
Altura (d)	25,30	cm
Largura da Mesa (b _f)	14,60	cm
Espessura da Alma (t _w)	0,61	cm
Espessura da Mesa (t _f)	0,91	cm
Área Bruta (A _g)	41,70	cm ²
Momento de Inércia em torno do eixo x (I _x)	4880,00	cm ⁴
Módulo Elástico (W _x)	386,00	cm ³
Módulo Plástico (Z _x)	438,00	cm ³
Raio de Giração (r _y)	3,24	cm
Constante de Torção (J)	16,90	cm ⁴
Constante de Empenamento (C _w)	40100,00	cm ⁵
Momento de Inércia em torno do eixo y (I _y)	488,00	cm ⁴
Geometria e Esforços (convertidos)		
Comprimento da viga (L)	500,00	cm
Comprimento Destravado (L _b)	300,00	cm
Momento Solicitante (M _{sd})	3500,00	kN.cm
Força Cortante Solicitante (V _{sd})	60,00	kN
Carga Distribuída (q)	0,10	kN/cm
Carga Pontual (P)	0,00	kN
Posição da Carga (a)	0,00	cm
Coefficiente de Flambagem (C _b)	1,14	-

4.2 Classificação da seção transversal

Na ferramenta desenvolvida, essa verificação é apresentada de forma sistematizada, conforme ilustrado na Tabela 3, e divide-se em duas etapas principais: *análise da mesa e análise da alma*.

Tabela 3 – Classificação da seção transversal quanto à flambagem local à flexão.

2. CLASSIFICAÇÃO DA SEÇÃO (FLAMBAGEM LOCAL À FLEXÃO)			
Descrição do Parâmetro	Valor Calculado	Limite	Classificação
Análise da MESA			
Esbeltez da Mesa (λ_f)	8,02	-	Compacta
Limite Compacta (λ_{pf})	-	9,98	-
Limite Semicompacta (λ_{rf})	-	26,05	-
Análise da ALMA			
Altura da Alma (h _w)	23,48	-	-
Esbeltez da Alma (λ_w)	38,49	-	Compacta
Limite Compacta (λ_{pw})	-	98,74	-
Limite Semicompacta (λ_{rw})	-	149,69	-
Classificação FINAL da Seção	-	-	Compacta

Na análise da mesa, inicialmente calcula-se a esbeltez da mesa (λ_f), obtida a partir da relação entre a largura efetiva da mesa e sua espessura. Esse valor calculado é então comparado com os limites normativos de esbeltez para seções compactas (λ_{pf}) e semicompactas (λ_{rf}). Caso a esbeltez da mesa seja inferior ao limite compacto, a mesa é classificada como compacta, indicando que não ocorre flambagem local antes do escoamento do aço.

De forma análoga, na análise da alma, calcula-se a esbeltez da alma (λ_w), em função da altura livre da alma e de sua espessura. Esse valor é comparado com os limites normativos correspondentes às condições compacta (λ_p) e semicompacta (λ_r), permitindo a classificação da alma quanto à suscetibilidade à flambagem local.

A classificação final da seção transversal é determinada de forma conservadora, considerando o elemento mais desfavorável entre a mesa e a alma. Assim, apenas quando ambos os elementos atendem aos critérios de compactidade a seção é classificada como compacta, possibilitando a utilização do modelo resistente plástico na verificação de flexão.

Na interface da ferramenta, os valores calculados, os limites normativos e a classificação resultante são apresentados de forma organizada, permitindo ao usuário acompanhar o processo de verificação e compreender o enquadramento normativo adotado em cada caso. Essa abordagem contribui para a transparência dos cálculos e reduz a possibilidade de erros de interpretação na aplicação da ABNT NBR 8800.

4.3 Verificação à flexão e flambagem lateral com torção

Na etapa seguinte, a ferramenta procede à verificação à flexão, considerando o comportamento da seção transversal e os possíveis efeitos de instabilidade. A resistência nominal à flexão é determinada de acordo com o modelo resistente correspondente à classificação da seção. A Tabela 4 apresenta a aba da planilha dedicada a essa verificação, destacando os parâmetros utilizados e os valores intermediários obtidos.

Essa etapa representa uma das principais contribuições da ferramenta, uma vez que integra de forma sistematizada os parâmetros geométricos, mecânicos e de carregamento envolvidos na instabilidade lateral.

Tabela 4 - Verificação à Flexão e flambagem lateral com torção (FLT) segundo a ABNT NBR 8800:2024.

4. VERIFICAÇÃO À FLT (conforme NBR 8800:2024)		
Descrição do Parâmetro	Valor Calculado	Unidade
Momento Crítico (com $C_b=1.0$) M _{cr,1}	9789,12	kN.cm
Esbeltez Reduzida (λ_{L1})	1,14	-
Parâmetro Auxiliar ($\alpha=0,007$; $\lambda_0=0,4$) (ϕ_{L1})	1,15	-
Fator de Redução da FLT (χ_{L1})	0,76	-
Momento Nominal (FLT - NBR 2024) (M _{n,FLT})	10978,58	kN.cm
RESULTADO FINAL DA FLEXÃO (ELU)		
Flambagem Local (M _{n,local})	12702,00	kN.cm
FLT - Norma 2024 (M _{n,FLT})	10978,58	kN.cm
Momento Nominal Final (M _{n,final})	10978,58	kN.cm
Momento Resistente Final (M _{Rd,final})	9980,53	kN.cm
Status MRd ≥ M _{Sd} ?	APROVADO	-

4.4 Verificação ao esforço cortante

A planilha determina a força cortante resistente de cálculo e a compara com a força cortante solicitante informada pelo usuário. A partir dessa comparação, a ferramenta emite o status da verificação ao cisalhamento (aprovado/reprovado), permitindo ao usuário identificar de forma direta o atendimento ao critério normativo.

A Tabela 5 apresenta a seção da planilha correspondente à verificação do esforço cortante, com a indicação dos parâmetros normativos adotados e dos valores calculados de resistência e de solicitação.

Tabela 5 - Verificação do esforço cortante conforme a ABNT NBR 8800:2024.

5. VERIFICAÇÃO AO ESFORÇO CORTANTE (Vrd) - Padrão (NBR 8800:2024)		
Descrição do Parâmetro	Valor Calculado	Unidade
Esbeltez da Alma (λ)	38,49	-
Coefficiente de flambagem (k_v)	5,34	-
Límite Compacta (λ_p)	66,75	-
Límite Semicompacta (λ_r)	83,14	-
Força Cortante de Plastificação (Vpl)	268,53	kN
Força Cortante Resistente de Cálculo (Vrd)	244,12	kN
Força Cortante Solicitante (Vsd)	60,00	kN
Status da Verificação ao Cisalhamento	APROVADO	-

A inclusão dessa verificação amplia a aplicabilidade da ferramenta, uma vez que possibilita a análise conjunta dos principais critérios de dimensionamento da viga metálica em estado limite último, complementando a verificação de flexão e contribuindo para uma avaliação estrutural mais completa.

4.5 Verificação do estado limite de serviço (ELS)

Inicialmente, a ferramenta pede a inserção da flecha máxima calculada (δ_{calc}). Em seguida, esse valor é comparado à flecha limite admissível (δ_{lim}), definida com base no tipo de elemento em análise:

- Cob. s/ forro (L/180)
- Cob. c/ forro (L/240)
- Piso (Acidental) (L/350)
- Piso (Total) (L/250)
- Viga Rolamento (L/600)
- Outro / Personalizado

O atendimento ao critério de serviço é avaliado por meio da comparação direta entre a flecha calculada inserida e a flecha limite, resultando na indicação final de **aprovação ou reprovação** da verificação no ELS. A Tabela 6 apresenta o cálculo da flecha máxima da viga, o limite normativo admissível e o resultado final da verificação em estado limite de serviço.

Tabela 6 - Verificação da flecha em estado limite de serviço (ELS) conforme a ABNT NBR 8800:2024.

6. VERIFICAÇÃO DE FLECHA (ELS)		
Descrição do Parâmetro	Valor Calculado	Unidade
Comprimento da Viga, L (cm)	500,00	cm
Flecha Máxima Calculada (δ_{calc})	0,83	-
Flecha Limite da Norma (δ_{lim})	2,00	-
Status da Verificação de Flecha	APROVADO	-

4.6 Apresentação dos resultados e verificação final

A Tabela 7 ilustra a aba de resultados da planilha, na qual o usuário pode identificar diretamente se a viga atende ou não aos critérios normativos de segurança estabelecidos pela ABNT NBR 8800.

Tabela 7 - Síntese das verificações estruturais em ELU e ELS.

Verificação ao Momento Fletor (ELU)	
Classificação da Seção:	Compacta
Verificação Final	$M_{rd} = 11547,27 \text{ kN.cm} < M_{sd} = 3500,00 \text{ kN.cm} = \text{APROVADO}$
Verificação ao Esforço Cortante (ELU)	
Verificação Final	$V_{rd} = 244,12 \text{ kN} < V_{sd} = 60,00 \text{ kN} = \text{APROVADO}$
Verificação de Deslocamentos (ELS)	
Verificação Final	$\delta_{calc} = 0,83 \text{ cm} < \delta_{lim} = 2,00 \text{ cm} = \text{APROVADO}$

4.7 Problemas-Base

Para consolidar a etapa de validação, o problema base utilizado foi testado e está visível na Figura 2 ilustrando como o sistema processa as informações de entrada e fornece o diagnóstico visual imediato da peça. Após o processamento, o software permite a extração dos dados de forma documentada. O relatório na Figura 3 apresenta a memória de cálculo completa, detalhando as verificações normativas realizadas para garantir a segurança da estrutura.

Figura 2 – Metalcheck Problema-base.



MetalCheck 2024 - Relatório de Verificação

NBR 8800:2024 | Data: 23/02/2026

1. DADOS DE ENTRADA & GEOMETRIA

Perfil: W 410 38.8 kg/m (Laminado)

Vão (L): 6.00 m

Msd: 150.0 kNm

Cb: 1.14 (Manual)

Aço: fy = 345 MPa / E = 200000 MPa

Destravado (Lb): 3.00 m

Vsd: 60.0 kN

Geometria: d=399, bf=140, tf=8.8, tw=6.4 mm

2. PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS

Área (Ag): 49.05 cm²

Módulo Plást. X (Zx): 713.5 cm³

Raio Giração Y (ry): 2.87 cm

Cte. Torção (J): 9.77 cm⁴

Inércia X (Ix): 12339.5 cm⁴

Módulo Elást. X (Wx): 618.5 cm³

Cte. Empenamento (Cw): 153507 cm⁶

Inércia Y (Iy): 403.3 cm⁴

3. CLASSIFICAÇÃO DA SEÇÃO

MESA (FLANGE):

Esbeltez Calculada (lambda) = 7.95

Limites da Norma: lambda_p = 9.15 | lambda_r = 19.98

Situação da Mesa: COMPACTA

ALMA (WEB):

Esbeltez Calculada (lambda) = 59.59

Limites da Norma: lambda_p = 90.53 | lambda_r = 137.24

Situação da Alma: COMPACTA

4. VERIFICAÇÃO À FLEXÃO (Mrd)

1) Momento Plástico (Plastificação Total):

Mpl = Zx * fy = 713.5 * 34.5 = 246.1 kNm

2) Flambagem Lateral com Torção (FLT):

Mcr (Momento Crítico Elástico) = 217.6 kNm

Esbeltez Reduzida (lambda_0) = sqrt(Mpl / Mcr) = sqrt(246.1 / 217.6) = 1.064

Fator de Redução (X_LT) = 0.791

Mn_FLT = X_LT * Mpl = 0.791 * 246.1 = 194.8 kNm

3) Flambagem Local da Mesa (FLM):

Classificação da Mesa: Compacta

Mn_FLM = 246.1 kNm

4) Flambagem Local da Alma (FLA):

Classificação da Alma: Compacta

Mn_FLA = 246.1 kNm

RESULTADO DE FLEXÃO:

Fator Governante (Menor Mn) = FLT

Mrd = Mn_min / 1.10 = 177.06 kNm

5. VERIFICAÇÃO AO CISALHAMENTO (Vrd)

1) Área Cisalhada e Esbeltez:

Aw = d * tw = 399.0 mm * 6.4 mm = 25.54 cm²

Esbeltez da Alma (h/tw) = 59.59

2) Resistência Plástica e Coeficiente Cv:

Vpl = 0.60 * Aw * fy = 0.60 * 25.54 * 34.5 = 528.6 kN

Cv (Baseado na esbeltez da alma) = 0.994

RESULTADO DE CISALHAMENTO:

Vrd = (Vpl * Cv) / 1.10 = (528.6 * 0.994) / 1.10 = 477.54 kN

6. QUADRO RESUMO E CONCLUSÃO

Verificação	Solicitação (Sd)	Resistência (Rd)	Utilização	Status
Flexão (Msd vs Mrd)	150.0 kNm	177.1 kNm	84.7%	OK
Cisalhamento (Vsd vs Vrd)	60.0 kN	477.5 kN	12.6%	OK
Flecha ELS (Calc vs Lim)	0.00 cm	0.00 cm	0.0%	OK

SITUAÇÃO FINAL: ESTRUTURA APROVADA

Página 10 de 12

4.8. Validação: Comparativo Técnico

Os dados foram processados individualmente pelo motor de cálculo em ambiente Excel/VBA e, posteriormente, pela interface interativa MetalCheck. A Tabela 8 apresenta os valores do exemplo de CBCA (2025) e a comparação dos parâmetros de resistência obtidos.

Tabela 8 – Comparativo de Resultados Problema-base: Referência Teórica vs. MetalCheck.

Parâmetro Técnico	Referência (Manual CBCA)	MetalCheck (Software)	Desvio Relativo
Classificação da Mesa	Compacta	Compacta	0,00%
Classificação da Alma	Compacta	Compacta	0,00%
Resistência à Flexão (M_{Rd})	166,00 kNm	176,94 kNm	6,59%*
Resistência ao Cisalhamento (V_{Rd})	480,10 kN	477,54 kN	0,53%
Status Final da Peça	APROVADO	APROVADO	--

A variação observada no momento resistente deve-se à precisão geométrica do software. Enquanto manuais didáticos simplificam a largura da mesa (bf) para 140 mm, o MetalCheck utiliza o valor nominal de catálogo de 140,3 mm e calcula analiticamente as constantes de torção (J) e empenamento (Cw), resultando num Momento Crítico (Mcr) mais refinado. No que tange à resistência ao cisalhamento (V_{Rd}), a variação marginal de 0,53% é atribuída a critérios de arredondamento e ao tratamento de casas decimais nas rotinas de cálculo digital.

Do ponto de vista da segurança estrutural, a automatização das rotinas da NBR 8800:2024 introduzida pelo sistema atua como uma camada de proteção contra o erro operacional. Este fator é particularmente relevante no atual período de transição normativa, onde a complexidade dos novos algoritmos — que incluem novos grupos de classificação — aumenta a probabilidade de falhas interpretativas em processos manuais. O MetalCheck elimina a variável da subjetividade e do erro de arredondamento sistemático, garantindo que o diagnóstico de segurança seja baseado numa execução lógica constante. Por fim, é necessário destacar a importância da transparência no dimensionamento digital. Para mitigar o risco do conceito de sigilo, comum em softwares comerciais, a ferramenta gera uma memória de cálculo detalhada em formato PDF. Este recurso é fundamental para a análise crítica do engenheiro, pois permite a rastreabilidade integral de cada etapa normativa. Assim, o sistema não se limita a fornecer

um veredito, mas fundamenta tecnicamente a decisão do projetista.

5. CONCLUSÃO

O presente estudo permitiu o desenvolvimento e a análise preliminar da ferramenta MetalCheck, voltada para a verificação de vigas metálicas em conformidade com as diretrizes da NBR 8800:2024. Os resultados obtidos indicam que a automatização proposta apresenta-se como uma alternativa viável para auxiliar na aplicação dos novos critérios normativos, fornecendo um suporte estruturado aos métodos de cálculo convencionais.

É importante ressaltar, contudo, a limitação imposta pela relativa escassez de literatura técnica e manuais de exemplos práticos totalmente atualizados conforme a NBR 8800:2024 até o presente momento. Esta lacuna bibliográfica restringe as possibilidades de uma triangulação de dados mais abrangente, dificultando a obtenção de uma gama variada de parâmetros de comparação. Todavia, a convergência satisfatória observada nos testes realizados frente aos manuais de referência disponíveis — com variações de 0,53% no esforço cortante e 6,59% no momento fletor resistente — sugere a consistência do sistema. Tais diferenças parecem decorrer do nível de detalhamento geométrico da ferramenta, que utiliza propriedades nominais exatas em substituição às simplificações manuais.

Além da dimensão numérica, a ferramenta demonstrou potencial para contribuir com a rotina do engenheiro estrutural, oferecendo recursos que podem favorecer a redução de inconsistências interpretativas e promover a rastreabilidade das etapas de dimensionamento.

Em suma, as evidências colhidas indicam a aplicabilidade do MetalCheck como suporte complementar à prática profissional. Como continuidade desta investigação, reconhece-se que a realização de testes adicionais e a inclusão de um maior volume de comparações, à medida que novas publicações e manuais de referência surjam na área, serão fundamentais para consolidar a robustez e a precisão da ferramenta perante a evolução do setor de estruturas metálicas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120:2019 – Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681:2003 – Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800:2024 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

DIAS, Luís Andrade; SANTOS, Sérgio Hampshire de Carvalho; BATISTA, Eduardo de Miranda. Estruturas de aço: conceitos, técnicas e linguagem. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

GIL, Antônio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

PRAVIA, Z. M.; VANIN, L. F. Uso Fácil - ABNT NBR 8800:2024: dimensionamento de vigas e colunas de aço. Rio de Janeiro: CBCA, 2025.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. Estruturas de aço: dimensionamento prático. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

SOUZA, Ricardo de. Automatização de cálculos estruturais com planilhas eletrônicas. São Paulo: Blucher, 2015.