ANÁLISE DE PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURA METÁLICA PARA SUPORTE DE PAINÉIS DE LED EM APLICAÇÕES URBANAS: UM ESTUDO DE CASO EM BETIM/MG

Kleiton Alves de Souza[1], Marcos Aurélio dos Reis Freitas[2], Ana Paula de Oliveira Bonifácio[3], Isaura Rodrigues de Souza[4], Thiago Deonitas Rodrigues Pinheiro[5]
kleiton.engcivil@gmail.com, marcosfreitassl@hotmail.com, b.anapaulaa@gmail.com, isaurars@hotmail.com, thiagopinheiro09@hotmail.com

Professora orientadora: Sheila Leal Oliveira Loureiro

Coordenação de curso de Engenharia Civil

Resumo

O artigo aborda a análise e dimensionamento de estruturas metálicas para sustentar painéis de LED em contextos urbanos, utilizando um estudo de caso em Betim/MG. Destaca o crescente uso do aço na construção civil devido às suas vantagens, mas ressalta a necessidade de cuidado no projeto e execução para garantir segurança e eficiência. O foco é nas estruturas reticuladas projetadas para suportar painéis eletrônicos, enfatizando a importância do vento e técnicas computacionais na engenharia moderna. O estudo adota métodos qualitativos, como análise de documentos e estudo de caso, seguindo as diretrizes das normas ABNT NBR 8800:2008 e ABNT NBR 6123:1988. Explora a distribuição de esforços em estruturas de totem digital, destacando a relevância das normas técnicas na concepção dessas estruturas. O objetivo é demonstrar a distribuição de esforços nas barras da estrutura e verificar o dimensionamento adequado para resistir às ações atuantes. Apresenta detalhes construtivos, cálculos das ações atuantes e compara resultados dos esforços obtidos manualmente com simulações em softwares de análise estrutural. Nas avaliações, os esforços na coluna de fixação atingiram apenas 25% do valor resistente para força cortante, enquanto o deslocamento ficou em 26% do máximo permitido. Para a viga de apoio, os esforços alcançaram 70% do valor resistente, com deslocamento atuante de 32% do limite permitido. Conclui-se que ambas as estruturas metálicas são capazes de suportar as ações com segurança, sem ocorrência de falhas estruturais.

Palavras-chave: Estrutura metálica. Análise estrutural. Simulação computacional. Ação dos ventos.

1. INTRODUÇÃO

Conforme Neto (2020), a adoção de elementos metálicos tem conquistado uma posição crescente no cenário da construção civil. A preferência pelo uso do aço deriva de uma série de vantagens substanciais em relação a outros materiais, como a madeira ou o concreto armado. Uma das características mais notáveis dessas vantagens é a resistência aos diversos esforços estruturais, incluindo tração, compressão, cisalhamento e momentos, que capacita os componentes metálicos a vencer grandes vãos. Além disso, as estruturas metálicas apresentam

[1] Graduação em Engenharia Civil – Centro Universitário UNA.
[2] Graduação em Engenharia Civil – Centro Universitário UNA.
[3] Graduação em Engenharia Civil – Centro Universitário UNA.
[4] Graduação em Engenharia Civil – Centro Universitário UNA.
[5] Graduação em Engenharia Civil – Centro Universitário UNA.

outras vantagens como facilidade e rapidez no processo de montagem, resistência a choques e vibrações, possibilidade de remontagem da estrutura em outro local. Como desvantagens são destacadas a necessidade de mão de obra qualificada para fabricação e montagem, limitação dos perfis fornecidos e necessidade de tratamento superficial (PINHEIRO, 2005).

É importante ressaltar que, embora as vantagens do uso de perfis metálicos sejam indiscutíveis, a elaboração de um projeto estrutural adequado torna-se imprescindível. Entre as estruturas metálicas mais comuns na Engenharia Civil, encontram-se as estruturas reticuladas, que consistem em barras estruturais interconectadas em suas extremidades. Essas estruturas reticuladas são amplamente empregadas na construção de coberturas, torres, pórticos, contraventamentos, entre outras aplicações. Elas são compostas por uma série de elementos com funções específicas que operam em conjunto para resistir às solicitações e garantir a estabilidade da estrutura (NETO, 2020; MORITANI, 2016).

Portanto, de acordo com Moritani (2016), devido à diversidade de configurações e materiais constituintes, as estruturas reticuladas representam opções viáveis para suportar gabinetes de painéis eletrônicos, frequentemente utilizados para publicidade e marketing, como é o caso do totem digital de gabinetes de painéis de LED retratado na Figura 1 abaixo.

Figura 1 - Exemplo de totem digital com gabinetes de painéis de LED

Fonte: SP Outdoor, 2022.

Neto (2020), afirma que as estruturas construídas com materiais leves, como madeira e metal, são particularmente suscetíveis à ação do vento. O vento é um fenômeno natural de grande complexidade e, por vezes, imprevisibilidade, com potencial para desencadear desastres naturais significativos. Ele gera uma força de arrasto que pode desestabilizar sistemas estruturais e, em casos extremos, resultar em colapsos.

Uma estrutura metálica está submetida a diversas ações, ou cargas, de forma isolada ou combinada. Para Pravia, Ficanha e Fabeane (2013), tudo o que causa deformação e tensões nos elementos estruturais pode ser entendido como ação. Essas ações são primordiais para o projeto

da estrutura, tendo em vista sempre não ultrapassar os estados-limites. Para garantir que uma estrutura seja capaz de suportar as cargas às quais está exposta durante sua vida útil, são aplicados cálculos de dimensionamento conforme as diretrizes estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Esses cálculos levam em consideração os critérios de Estados Limites Últimos e Estados Limites de Serviço, conforme estipulado nas normas ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios; e ABNT NBR 6120:2019 - ações para o cálculo de estruturas de edificações; informam (GUINZELLI, 2017; CARVALHO, 2017).

Para Moritani (2016), análise do comportamento de uma estrutura sujeita às cargas de peso próprio, forças do vento, variações de temperatura e condições climáticas requer o uso de conhecimento matemático aplicado no desenvolvimento de formulações que proporcionem soluções confiáveis. Devendo considera as cinco variações das velocidades básicas do vento no Brasil, conforme estabelecido pela ABNT NBR 6123:1988 - forças devidas ao vento em edificações; que define as condições necessárias para o cálculo de forças de vento em estruturas (CARVALHO, 2017). Além disso, tais análises podem ser realizadas por meio de técnicas computacionais, que são fundamentais na engenharia atualmente.

A computação desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de técnicas numéricas, permitindo análises mais precisas de problemas físicos relacionados à engenharia e uma modelagem estrutural mais próxima da realidade (MORITANI, 2016).

A partir do conhecimento sobre estruturas metálicas reticuladas, especialmente as destinadas a suportar para gabinetes eletrônicos, e de procedimentos para garantir estabilidade e segurança durante a fase de projeto, o Grupo SADA planeja substituir seu totem tradicional por um eletrônico, com gabinetes de LED. Para isso, é necessária uma adaptação estrutural para acomodar a nova configuração, que será submetida a uma análise dimensional para aprovação.

Este artigo apresenta um estudo numérico, auxiliado pelos softwares FTOOL® e SolidWorks®, que simula os esforços solicitantes provocados pelas ações dos ventos, temperatura, uso e ocupação etc., em estruturas reticuladas, em particular aquelas usadas para suportar totens de identificação eletrônicos. O objetivo é demonstrar a distribuição de esforços solicitantes nas barras da estrutura e verificar se o arranjo estrutural está devidamente dimensionado para resistir aos efeitos das ações atuantes, principalmente; a devida às forças dos ventos da cidade de Betim – MG.

2. DESENVOLVIMENTO

De acordo com Palomo e Júnior (2016), projetar estruturas metálicas requer cuidado e detalhamento minucioso. É essencial seguir normas específicas para garantir que os dimensionamentos relativos às cargas de vento e de utilização da estrutura sejam adequados. Além disso, o projeto exige uma vasta gama de detalhes para a fabricação, o que demanda um conhecimento sólido em desenho técnico por parte da equipe envolvida. Os engenheiros que participam do processo também precisam possuir amplo conhecimento das diferentes ligas de aço disponíveis no mercado (como SAC 350, ASTM A-36, ASTM A-572, entre outras), todas elas normatizadas com composições químicas específicas que conferem diferentes capacidades e propriedades mecânicas e físicas.

No mercado, encontramos diversos perfis metálicos disponíveis, e é essencial saber utilizar esses elementos de forma adequada para evitar que as estruturas se tornem excessivamente pesadas. A etapa de projeto deve ser valorizada em empreendimentos que utilizam sistemas construtivos metálicos, já que a industrialização da construção reduz as improvisações frequentes em obras. Problemas de projeto afetam a agilidade do processo construtivo e a qualidade do produto final, tornando a construção metálica menos competitivas.

Portanto, as etapas de dimensionamento e detalhamento do projeto devem garantir as vantagens da construção metálica (PALOMO e JUNIOR, 2016).

2.1 Estrutura metálica

Castro (1999) destaca que projetar uma estrutura metálica exige um profundo conhecimento das características e propriedades dos materiais envolvidos, principalmente do aço. A falta desse conhecimento pode levar a soluções incompatíveis com o sistema estrutural, resultando em problemas diversos. Muitas vezes, edifícios são inicialmente idealizados com base em soluções de concreto armado e depois adaptados para utilizar o aço como elemento estrutural. No entanto, essa abordagem pode resultar em estruturas superdimensionadas e economicamente inviáveis em comparação com o concreto. O desconhecimento de novas tecnologias também perpetua a tradição do concreto.

De acordo com a norma ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, o projeto de uma estrutura metálica compreende um conjunto de cálculos, desenhos e especificações de fabricação e montagem da estrutura. Todas as obras com estruturas metálicas devem seguir as diretrizes desta norma, que regula o projeto e a execução das estruturas metálicas em temperatura ambiente, com base no "método dos estados limites".

No Manual Brasileiro para Cálculo de Estruturas Metálicas – MBCEM, é informado que os desenhos de projeto precisam ser elaborados em escala apropriada para o nível de informações desejado e devem conter todos os dados necessários para o detalhamento da estrutura, para a elaboração dos planos de montagens e projeto das fundações. Eles também devem indicar as normas usadas e fornecer especificações detalhadas de todos os materiais estruturais utilizados (MBCEM, 1989).

Conforme a ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, os desenhos de fabricação têm como objetivo traduzir as informações contidas nos desenhos de projeto, informando sobre os elementos que compõem a estrutura, os materiais utilizados, suas especificações, a localização, o tipo e as dimensões de todos os parafusos e soldas de fábrica e de campo, além de indicar a sequência de execução das ligações para evitar empenos ou tensões residuais excessivas. As especificações não devem ser confundidas com os critérios de projeto, pois se referem a materiais e métodos de execução.

A ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios; ressalta que, o uso de contraventos depende das características funcionais da edificação, e essas devem ser claramente definidas no projeto.

Os desenhos de fabricação desempenham um papel crucial no processo de construção de estruturas metálicas, como enfatizado pela ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Eles fornecem detalhes essenciais sobre os componentes, materiais e métodos de execução da estrutura, garantindo a qualidade e a segurança do projeto. Já os elementos que compõem a estrutura metálica, eles variam em termos de geometria, composição química e propriedades mecânicas. Portanto, a compreensão e especificação adequada de todos esses elementos são essenciais para um projeto bem-sucedido (PFEIL e PFEIL, 2010).

2.2 Elementos da estrutura metálica

A estrutura metálica é composta principalmente por elementos de aço laminado, soldado e forjado. Esses elementos são identificados por sua geometria, composição química e propriedades mecânicas, como demonstrado na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Propriedades mecânicas das ligas ASTM conforme a ABNT NBR 8800:2008

Classificação	Denominação	Produto	Grupo/grau		f_y (MPa)	f_u (MPa)
Aços-carbono	A-36	Perfis	1, 2 e 3		250	400 a 550
		Chapas e Barras	$t < 200$ mm			
	A-500	Perfis	Grupo 4	Grau A	230	310
				Grau B	290	400
Aços de baixa liga e alta resistência mecânica	A-572	Perfis	Grupos 1, 2 e 3	Grau 42	290	415
				Grau 50	345	450
		Chapas e Barras	Grau 42 ($t \leq 150$ mm)		290	415
			Grau 50 ($t \leq 100$ mm)		345	450
Aços de baixa liga e alta resistência mecânica resistentes à corrosão atmosférica	A-242	Perfis	Grupo 1		345	485
			Grupo 2		315	460
		Chapas e Barras	$t < 19$ mm		345	480
			19 mm $< t <$ 37,5 mm		315	460
			37,5 mm $< t <$ 100 mm		290	435
	A-588	Perfis	Grupos 1 e 2		345	485
		Chapas e Barras	$t \leq 100$ mm		345	480

Fonte: Pfeil e Pfeil, 2010.

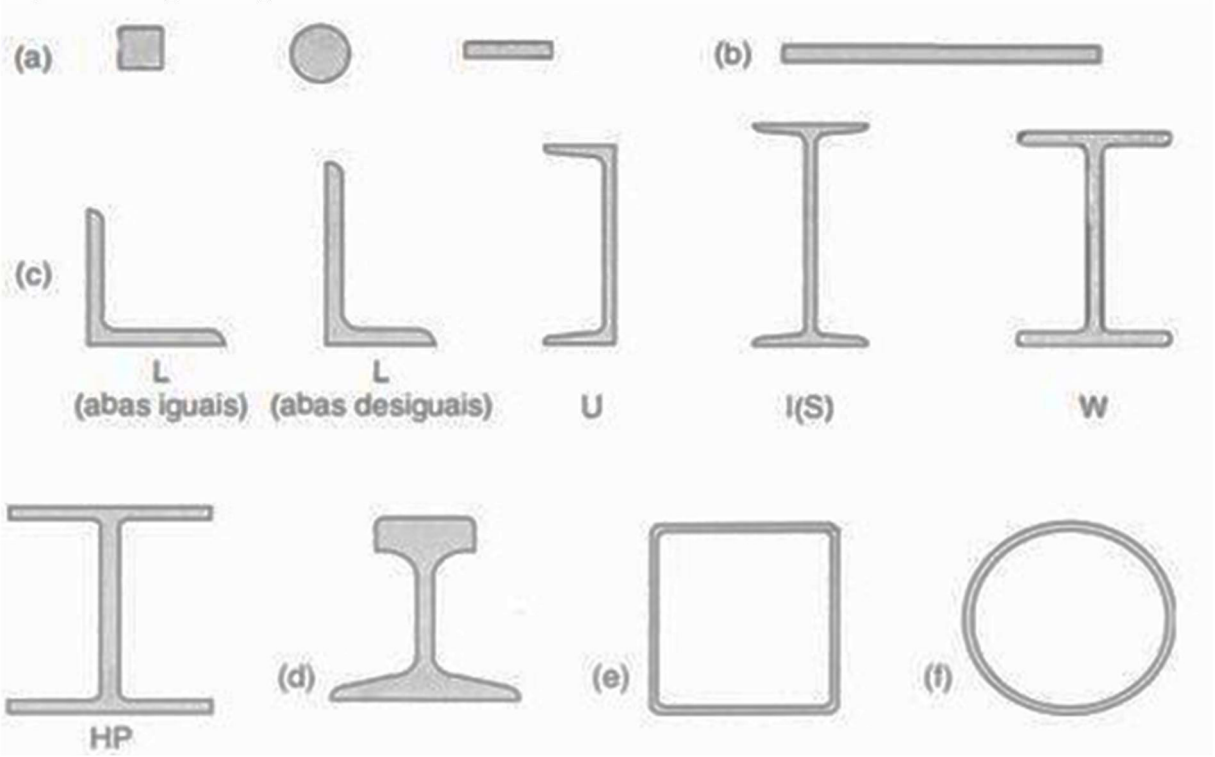
A utilização de normas e procedimentos adequados é fundamental para garantir que o projeto, fabricação e montagem das estruturas metálicas atendam aos padrões de qualidade e segurança estabelecidos pela ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, e outras normas como:

- ABNT NBR 14762:2010 - estruturas de aço para edifícios: projeto e execução, que define os requisitos para o projeto, fabricação e montagem de estruturas metálicas em edifícios;
- ABNT NBR 6123:1988 - forças devidas ao vento em edificações, que trata das cargas de vento em edificações, incluindo aquelas com estruturas metálicas;
- ABNT NBR 6120:2019 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, que estabelece os critérios gerais para o projeto de estruturas de aço e estruturas mistas;

- ABNT NBR 16239:2013 - segurança na montagem de estruturas metálicas, que trata dos requisitos de segurança durante a montagem de estruturas metálicas.

Os produtos estruturais laminados produzidos pelas usinas são fornecidos sob a forma de perfis, barras e chapas, como mostra a Figura 2 a seguir.

Figura 2 -Tipos de perfis laminado



Fonte: Pfeil e Pfeil, 2010.

Os perfis soldados são obtidos através da combinação de chapas e/ou perfis laminados simples por ligações soldadas (PFEIL E PFEIL, 2010).

A obtenção de perfis soldados, como descrito por Pfeil e Pfeil (2010), é um processo essencial na construção de estruturas metálicas. No entanto, a qualidade e o desempenho desses perfis soldados dependem diretamente da consideração das propriedades mecânicas dos materiais utilizados. A ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, destaca a necessidade de adotar valores específicos para propriedades mecânicas ao realizar a análise estrutural. Essas propriedades mecânicas desempenham um papel crítico na garantia da segurança e eficácia das estruturas metálicas.

2.3 Propriedades mecânicas do aço estrutural

De acordo com a ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, os aços aprovados para uso estrutural, devem ter sua qualificação assegurada por norma Brasileira ou norma e/ou especificação estrangeira, desde que apresente uma resistência ao escoamento máxima de 450 MPa e relação entre resistência à ruptura (f_u) e ao escoamento (f_y) maior ou igual a 1,18. Na análise estrutural requer a adoção de valores específicos para propriedades mecânicas dos itens de aço. Esses valores são os seguintes:

a) Módulo de elasticidade: E = Es = 200.000 MPa.

b) Coeficiente de Poisson: $\nu = 0{,}3$.
c) Módulo de elasticidade transversal: G = 77.000 MPa.
d) Coeficiente de dilatação térmica: $\beta a = 1{,}2 \times 10^{-5}\ °C^{-1}$.
e) Massa específica do aço: $\rho a = 7.850\ kg/m^3$.

Essas propriedades são de fundamental importância durante as etapas de projeto, onde devem ser verificados os estados limites das estruturas em análise.

2.4 Estados-limites

Segundo a ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, o método dos estados-limites utilizado para o dimensionamento de uma estrutura exige que nenhum deles seja excedido quando a estrutura for submetida a todas as combinações de ações atuantes. Se a estrutura deixa de satisfazer os critérios de um ou mais estados-limites, ela não mais atenderá aos objetivos de segurança e bom desempenho para os quais foi projetada. Eles podem ser divididos em:

- Estados Limites Últimos (ELU) - referem-se à segurança da estrutura diante das combinações mais adversas de ações ao longo de sua vida útil, incluindo períodos de construção e situações com a ocorrência de ações especiais ou excepcionais;
- Estados Limites de Serviço (ELS) - referem-se ao desempenho estrutural durante condições normais de operação.

Conforme ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, para o Estados Limites Últimos (ELU), quando a segurança é verificada isoladamente em relação a cada um dos esforços atuantes, as condições de segurança tomam a seguinte forma simplificada:

$$R_d \geq S_d$$

Onde:
- Sd é o esforço solicitante de cálculo, ou de projeto que causa o estado-limite;
- Rd é o esforço resistente de cálculo correspondente para esse mesmo estado-limite.

As condições usuais referentes aos estados-limites de serviço são expressas por desigualdades do tipo:

$$S_{ser} \leq S_{lim}$$

Onde:
- S_{ser} representa os valores dos efeitos estruturais de interesse, obtidos com base nas combinações de serviço das ações atuantes;
- S_{lim} representa os valores-limites adotados para esses efeitos, fornecidos pela Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 - Deslocamentos máximos para estados limites de serviço da NBR 8800:2008

Descrição	δ [a]
- Travessas de fechamento	$L/180$ [b]
	$L/120$ [c d]
- Terças de cobertura [g)]	$L/180$ [e]
	$L/120$ [f]
- Vigas de cobertura [g)]	$L/250$ [h]
- Vigas de piso	$L/350$ [h]
- Vigas que suportam pilares	$L/500$ [h]
Vigas de rolamento: [j)] - Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal inferior a 200 kN - Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN, exceto pontes siderúrgicas - Deslocamento vertical para pontes rolantes siderúrgicas com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN - Deslocamento horizontal, exceto para pontes rolantes siderúrgicas - Deslocamento horizontal para pontes rolantes siderúrgicas	 $L/600$ [i] $L/800$ [i] $L/1000$ [i] $L/400$ $L/600$
Galpões em geral e edifícios de um pavimento: - Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base - Deslocamento horizontal do nível da viga de rolamento em relação à base	 $H/300$ $H/400$ [k l]
Edifícios de dois ou mais pavimentos: - Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base - Deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos	 $H/400$ $h/500$ [m]
Lajes mistas	Ver Anexo Q

[a] L é o vão teórico entre apoios ou o dobro do comprimento teórico do balanço, H é a altura total do pilar (distância do topo à base) ou a distância do nível da viga de rolamento à base, h é a altura do andar (distância entre centros das vigas de dois pisos consecutivos ou entre centros das vigas e a base no caso do primeiro andar).
[b] Deslocamento paralelo ao plano do fechamento (entre linhas de tirantes, caso estes existam).
[c] Deslocamento perpendicular ao plano do fechamento.
[d] onsiderar apenas as ações variáveis perpendiculares ao plano de fechamento (vento no fechamento) com seu valor característico.
[e] Considerar combinações raras de serviço, utilizando-se as ações variáveis de mesmo sentido que o da ação permanente.
[f] Considerar apenas as ações variáveis de sentido oposto ao da ação permanente (vento de sucção) com seu valor característico.
[g] Deve-se também evitar a ocorrência de empoçamento, com atenção especial aos telhados de pequena declividade.
[h] Caso haja paredes de alvenaria sobre ou sob uma viga, solidarizadas com essa viga, o deslocamento vertical também não deve exceder a 15 mm.
[i] Valor não majorado pelo coeficiente de impacto.
[j] Considerar combinações raras de serviço.
[k] No caso de pontes rolantes siderúrgicas, o deslocamento também não pode ser superior a 50 mm.
[l] O diferencial do deslocamento horizontal entre pilares do pórtico que suportam as vigas de rolamento não pode superar 15 mm.
[m] Tomar apenas o deslocamento provocado pelas forças cortantes no andar considerado, desprezando-se os deslocamentos de corpo rígido provocados pelas deformações axiais dos pilares e vigas.

Fonte: ABNT, 2008, p.117.

Para garantir que a estrutura sempre esteja satisfazendo seus objetivos de segurança e bom desempenho, é fundamental evitar que um estado limite ocorra, e para isso é preciso tomar conhecimento de todas as ações atuantes na estrutura.

2.5 Ações na estrutura

A norma ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, informa que, "....na análise estrutural deve ser considerada a influência de todas as ações que possam produzir efeitos significativos para a estrutura, levando-se em conta os estados-limites últimos e de serviço"; ainda complementa classificando

as ações que devem ser consideradas em permanentes, variáveis e excepcionais. As ações permanentes, que podem ser classificadas em:

- Permanentes diretas: Essas ações incluem a massa da estrutura e a massa dos elementos construtivos fixos.
- Permanentes indiretas: As ações permanentes indiretas englobam deformações causadas por retração, dilatação, deslocamentos e imperfeições geométricas.

Além das ações permanentes, também são consideradas as ações variáveis e ações excepcionais. A definição dessas ações pode ser obtida por meio da norma ABNT NBR 8681:2003 - ações e segurança nas estruturas: procedimento.

Conforme a ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, as ações permanentes diretas incluem a massa da estrutura e a massa dos elementos construtivos fixos. As densidades do aço e de outros materiais podem ser determinadas com base na ABNT NBR 6120:2019 - cargas para o cálculo de estruturas de edificações.

Já as ações permanentes indiretas estão relacionadas a deformações causadas por retração, dilatação, deslocamentos e imperfeições geométricas, conforme estipulado na ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.

As ações variáveis são aquelas que apresentam variações significativas ao longo da vida útil da construção e incluem cargas acidentais decorrentes do uso, ocupação da edificação, ações do vento, temperatura e insolação, entre outras (ABNT, 2008).

Segundo a ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, os esforços devido à variação de temperatura na estrutura são causados por mudanças na temperatura atmosférica e exposição solar direta. Recomenda-se adotar um valor para a variação da temperatura atmosférica, correspondente a 60% da diferença entre as temperaturas médias máxima e mínima no local, com um mínimo de 10 °C. Para a exposição direta ao sol, é necessário um estudo específico.

Já as ações excepcionais são de curta duração e têm baixa probabilidade de ocorrência durante a vida útil da construção. No entanto, essas ações devem ser consideradas no projeto de certas estruturas (ABNT, 2008).

2.6 Projeto de montagem

Para Teixeira (2007), o projeto de montagem é uma etapa crucial que descreve como a estrutura será montada no local designado. Em alguns casos, define até mesmo a sequência da montagem. Marcas de montagem da estrutura são geralmente feitas nos próprios desenhos de projeto.

Segundo o MBCEM (1989), os desenhos de fabricação detalham peça por peça da estrutura a ser fabricada. Eles especificam o perfil a ser utilizado, as dimensões e extensões das soldas, o número de furos, diâmetro, espaçamento, tipos de acabamento e outros detalhes. Esses desenhos são preparados pelo fabricante da estrutura de acordo com seus métodos de fabricação e os equipamentos disponíveis.

Teixeira (2007) destaca que o projeto estrutural e o detalhamento têm grande impacto no custo final das estruturas. As atividades envolvidas na elaboração dos croquis de fabricação incluem a preparação da lista preliminar de encomenda de materiais, a elaboração do plano de montagem, a preparação dos sistemas de marcação e folhas de índice, a elaboração de detalhes típicos, layouts e memórias de cálculos, a preparação de desenhos de fabricação e a elaboração

de listas de materiais, cálculo de pesos, croquis de fabricação e listas dos conectores de campo e eletrodos.

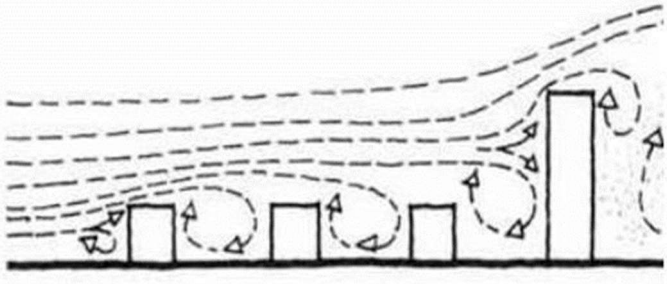
A gestão eficaz de custos em estruturas é influenciada não apenas pelo projeto estrutural e detalhamento, como observado por Teixeira (2007), mas também por fatores externos, como as ações do vento. De acordo com a ABNT NBR 6123:1988 - forças devido ao vento em edificações, as ações do vento têm um impacto significativo nas cargas acidentais das estruturas, e seu cálculo leva em consideração a área exposta à ação do vento e a velocidade característica do vento (Vk). Portanto, é fundamental considerar todos esses aspectos durante o projeto, a fim de garantir a eficiência de custos e a segurança das estruturas.

2.7 Ações e velocidade do vento conforme a ABNT NBR 6123:1988 - forças devido ao vento em edificações.

Para a ABNT NBR 6123:1988 - forças devido ao vento em edificações, a ação do vento exerce uma influência significativa nos carregamentos acidentais das estruturas em geral. A pressão do vento é determinada em função da área e da velocidade característica do vento (Vk).

A ABNT NBR 6123:1988 - forças devido ao vento em edificações, explica que quanto maior a velocidade do vento, maior a pressão exercida, de acordo com a norma ABNT NBR 6123:1988 - forças devido ao vento em edificações. É importante entender o vento como o movimento de uma massa de ar devido às variações de temperatura e pressão, conforme ilustrado na Figura 3 a seguir.

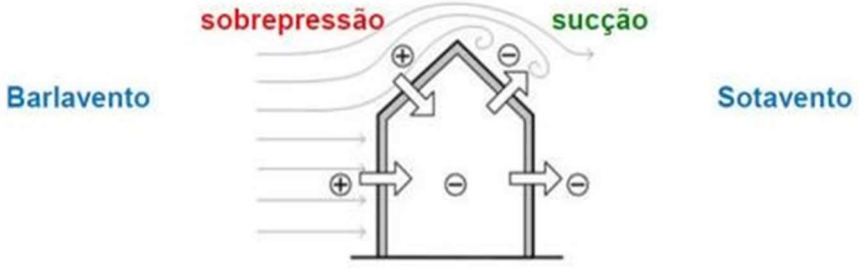
Figura 3 - Ação das linhas de fluxo nas edificações



Fonte: Leão e Aragão, 2013.

Para ABNT NBR 6123:1988 - forças devido ao vento em edificações, explica que quanto maior a velocidade do vento, estas ações e linhas de fluxo formam combinações que produzem condições favoráveis e desfavoráveis a edificação sujeita a estas ações conforme demonstra a Figura 4 a seguir.

Figura 4 - Condições de pressão em edificações



Fonte: Leão e Aragão, 2013.

Conforme ABNT NBR 6123:1988 - forças devido ao vento em edificações, as ações do vento são classificadas da seguinte forma:

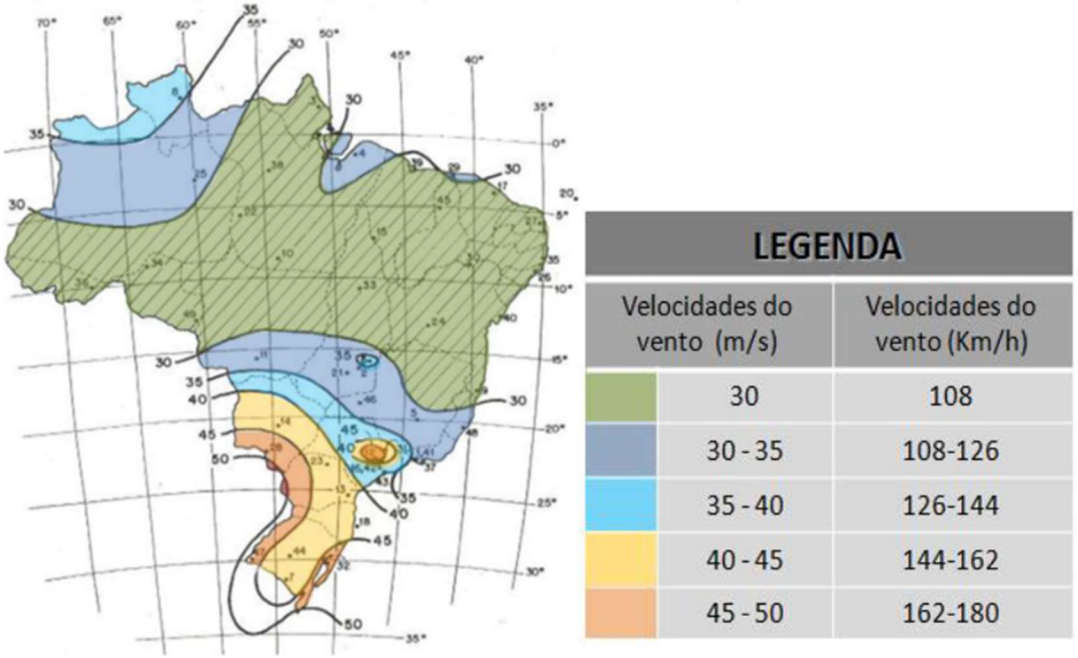
1. Barlavento: Refere-se à região onde o vento atinge a edificação diretamente, ou seja, onde o vento está soprando em direção à estrutura.
2. Sobrepressão: É a pressão efetiva do vento acima da pressão atmosférica de referência e é geralmente considerada como sinal positivo. Representa a pressão do vento que atua na superfície da estrutura de cima para baixo.
3. Sota-vento: Corresponde à região oposta àquela de onde o vento está soprando em relação à edificação.
4. Sucção: Refere-se à pressão efetiva do vento abaixo da pressão atmosférica de referência e é geralmente considerada como sinal negativo. Representa a pressão do vento que atua na superfície da estrutura de baixo para cima.

A classificação das ações do vento, conforme definida pela ABNT NBR 6123:1988 - forças devido ao vento em edificações, é fundamental para compreender como o vento afeta uma estrutura. Essas ações incluem barlavento, sobre pressão, sota-vento e sucção, cada uma representando a maneira como o vento interage com a edificação. No entanto, ao projetar estruturas sujeitas a essas ações, um parâmetro crítico a considerar é a velocidade do vento. ABNT NBR 6123:1988 - forças devido ao vento em edificações, fornece diretrizes precisas para calcular a velocidade característica do vento 'Vk', que é essencial no dimensionamento de estruturas capazes de resistir às forças do vento."

2.7.1 Velocidade do vento

A velocidade do vento é um parâmetro crítico ao projetar estruturas sujeitas a ações do vento. ABNT NBR 6123:1988 - forças devido ao vento em edificações, fornece a equação para calcular a velocidade característica do vento "Vk." Essa velocidade é calculada a partir da velocidade básica do vento "Vo", que é determinada com base no mapa de isopletas para diversas faixas territoriais do país, como ilustra a Figura 5.

Figura 5 - Mapa das isopletas (ABNT NBR 6123:1988)



Fonte: Carvalho, 2019.

A **Vo** é definida em metros por segundo (m/s) e considerada em um intervalo de 3 segundos em um período de 50 anos (ABNT, 1988).

Esses conceitos são fundamentais para analisar as cargas de vento e projetar estruturas que possam resistir eficazmente às forças do vento.

A velocidade característica do vento "***VK***" é obtida através da velocidade básica do vento (Vo) de acordo com o local da obra, e dos fatores S_1, S_2 e S_3. É determinada com a Equação 1 conforme expresso na ABNT NBR 6123:1988 - forças devido ao vento em edificações (ABNT, 1988):

$$VK = V0 * S_1 * S_2 * S_3 \quad (1)$$

De acordo com a ABNT NBR 6123:1988 - forças devido ao vento em edificações, os fatores citados anteriormente são classificados como:

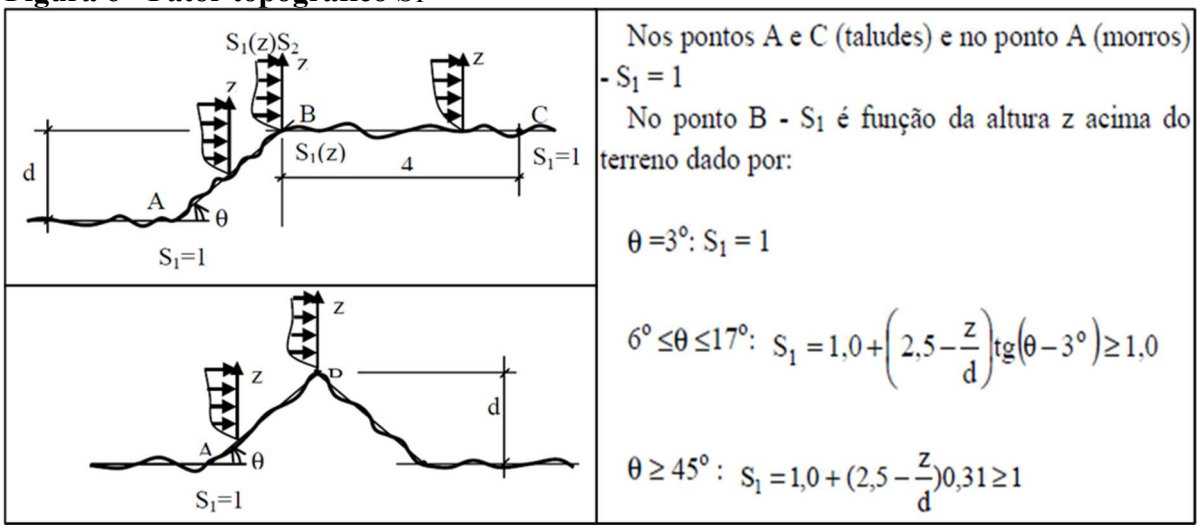
Fator topográfico (S_1)

Esse fator é estabelecido com base na topográfica do terreno em volta da estrutura, podendo incrementar ou diminuir a velocidade básica do vento. Três situações são consideradas:

a) Terreno plano ou fracamente acidentado - $S_1 = 1$;
b) Vales profundos, protegidos de ventos de qualquer direção - $S_1 = 0,9$;
c) Taludes e morros – o de valor S_1 é função da declividade.

Conforme a posição relativa da edificação no talude ou morro, o valor de S_1 é determinado conforme demonstra a Figura 6, abaixo.

Figura 6 - Fator topográfico S_1



Fonte: Adaptado de ABNT, 1988.

Onde:

- z: é a altura do ponto na edificação onde se aplica a pressão do vento;
- d: é a diferença de nível entre a base e o topo do talude;
- θ: é a inclinação média do talude ou encosta do morro.

Pode-se interpolar linearmente para 3° < θ < 6° e 17° < θ < 45°.

Fator de rugosidade (S2)

Como menciona ABNT NBR 6123:1988 - forças devido ao vento em edificações, este fator é estabelecido considerando a interação entre a rugosidade do terreno e as variações na velocidade do vento em relação à altura do terreno e às dimensões da construção ou da parte da construção em questão. É possível categorizá-lo em cinco classes:

1. Categoria 1: Superfícies amplas e planas com extensão superior a 5 km, medida na direção do vento predominante;
2. Categoria 2: Terrenos desimpedidos, geralmente planos ou quase planos, com poucos obstáculos isolados, cuja altura média é inferior a 1,0 metro;
3. Categoria 3: Terrenos planos ou levemente ondulados com obstáculos, como valas, muros e vegetação esparsa, juntamente com construções baixas, onde a altura média do topo dos obstáculos é de 3,0 metros;
4. Categoria 4: Áreas com muitos obstáculos próximos, como zonas industriais florestais ou urbanizadas, onde a altura média do topo dos obstáculos atinge 10 metros;
5. Categoria 5: Terrenos densamente cobertos por obstáculos muito grandes e altos, com pouca separação entre eles.

O fator S2 também considera a duração da rajada para que o vento englobe toda a estrutura. Nesse caso a NBR 6123:1988 - forças devido ao vento em edificações; fornece três tipos de edificações:

- Classe A - Edificação cuja maior dimensão horizontal ou vertical seja menor que 20 metros. Peças individuais de estruturas sem vedação. Unidades de vedação. (duração da rajada de 3 segundos).
- Classe B - Edificação ou parte dela cuja maior dimensão horizontal ou vertical esteja entre 20 e 50 metros (duração da rajada de 5 segundos).
- Classe C – Edificação ou parte da edificação cuja maior dimensão horizontal ou vertical exceda 50 metros (rajadas de 10 segundos).

O fator S_2 é usado para determinar a velocidade do vento a uma altura ‘z’ acima do terreno e é determinada pela Equação 2:

$$S_2 = b \cdot F_r \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^p \quad (2)$$

Onde:

- z – altura acima do nível médio do terreno;
- Fr – fator de rajada, correspondente à categoria II, classe A;
- b – parâmetro da categoria do terreno;
- p – função da rugosidade do terreno e intervalo de tempo.

Os parâmetros meteorológicos usados para determinação do fator S_2 são apresentados na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 - Parâmetros meteorológicos

Categoria	z_g (m)	Parâmetro	Classes		
			A	B	C
I	250	b	1,10	1,11	1,12
		p	0,06	0,065	0,07
II	300	b	1,00	1,00	1,00
		F_r	1,00	0,98	0,95
		p	0,085	0,09	0,10
III	350	b	0,94	0,94	0,93
		p	0,10	0,105	0,115
IV	420	b	0,86	0,85	0,84
		p	0,12	0,125	0,135
V	500	b	0,74	0,73	0,71
		p	0,15	0,16	0,175

Fonte: ABNT, 1988.

Fator estatístico (S3)

Como informa a ABNT NBR 6123:1988 - forças devido ao vento em edificações, o fator estatístico S3 considera o grau de segurança requerido e a vida útil da estrutura. Ainda complementa que, este fator é baseado em conceitos estatísticos e recomenda valores mínimos conforme é demonstrado na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 -Valores fator estatístico S3

Grupo	Descrição	S_3
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

Fonte: ABNT, 1988.

A determinação da pressão dinâmica do vento, conforme estabelecida na norma ABNT NBR 6123:1988 - forças devido ao vento em edificações, não se limita apenas à aplicação da pressão dinâmica. Ela também leva em consideração conceitos cruciais, tais como o grau de segurança exigido e a vida útil da edificação. Esta abordagem abrangente visa garantir que as estruturas sejam projetadas e dimensionadas de acordo com padrões que atendam às necessidades de segurança e durabilidade (ABNT, 1988).

2.7.2 Determinação da pressão dinâmica

Conforme é informaado na ABNT NBR 6123:1988 - forças devido ao vento em edificações, a pressão dinâmica é determinada pela Equação 3 (ABNT, 1988):

$$q = 0{,}613 * Vk^2 \quad (3)$$

Onde:

q (pressão dinâmica) - é dado em N/m²;
Vk (velocidade característica) - é dado em m/s.

Após determinarmos a pressão dinâmica causada pelo vento com base na Equação 2, é fundamental considerar o coeficiente de pressão externa e interna, representados por Δpe e Δpi, respectivamente. Vamos agora explorar como esses coeficientes desempenham um papel crucial no cálculo das forças de vento em estruturas, conforme estabelecido na norma ABNT NBR 6123:1988 - forças devido ao vento em edificações.

2.7.3 Coeficiente de pressão externa e interna

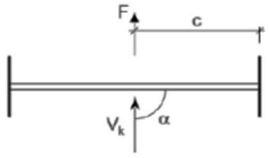
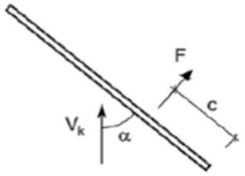
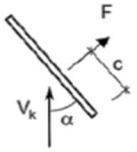
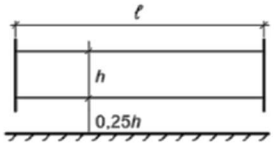
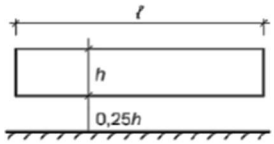
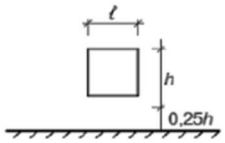
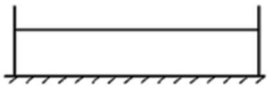
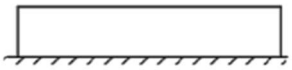
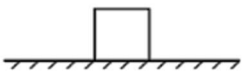
A força de vento depende da diferença de pressão nas faces opostas da parte da estrutura, com isto é necessário o coeficiente de pressão externa Δpe e interna Δpi. Para calcular esta diferença de pressão, utiliza-se a Equação 4 a seguir (ABNT, 1988).

$$\Delta p = \Delta pe - \Delta pi \quad (4)$$

A força do vento depende das diferenças de pressão nas superfícies opostas de uma estrutura (coeficientes aerodinâmicos). A norma ABNT NBR 6123:1988 - forças devido ao vento em edificações, permite calcular essas forças usando os coeficientes de força, ou forma; que são definidos para diferentes tipos de construções com base em testes em túneis de vento.

Para placas retangulares a força de vento depende do coeficiente de força *Cf*, que está relacionado com a angulação da estrutura em questão, a Tabela 5 apresenta alguns valores do coeficiente de força para diferentes configurações de muros e placas (ABNT, 1988).

Tabela 5 - Coeficientes de força C_f para muros e placas retangulares

<table>
<tr><td>$\ell / h \geq 60$ (sem placas de extremidade)
$\ell / h \geq 10$ (com placas de extremidade)</td><td colspan="2">$\ell / h = 10$</td><td colspan="2">$\ell / h = 1$</td></tr>
<tr><td> 
</td><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>$\alpha = 90°$</td><td>$c = 0{,}5\,\ell$</td><td>$\alpha = 50°$</td><td>$c = 0{,}3\,\ell$</td><td>$\alpha = 40°$</td><td>$c = 0{,}4\ell$</td></tr>
<tr><td> 
</td><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="2">$\alpha = 90°$</td><td rowspan="2">$C_f = 2{,}0$</td><td>$\alpha = 90°$</td><td>$C_f = 1{,}3$</td><td>$\alpha = 90°$</td><td>$C_f = 1{,}15$</td></tr>
<tr><td>$\alpha = 50°$</td><td>$C_f = 1{,}6$</td><td>$\alpha = 40°$</td><td>$C_f = 1{,}8$</td></tr>
<tr><td>  </td><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td rowspan="2">$\alpha = 90°$</td><td rowspan="2">$C_f = 1{,}2$</td><td>$\alpha = 90°$</td><td>$C_f = 1{,}2$</td><td>$\alpha = 90°$</td><td>$C_f = 1{,}1$</td></tr>
<tr><td>$\alpha = 50°$</td><td>$C_f = 1{,}5$</td><td>$\alpha = 40°$</td><td>$C_f = 1{,}5$</td></tr>
</table>

Fonte: ABNT, 1988.

Para valores intermediários de l/h (sem placas ou paredes nas extremidades) e para afastamentos do solo entre 0 e 0,25h, os valores de C_f são obtidos por interpolação linear. A Equação 5 é usada para calcular a força do vento com base nos coeficientes de forma da norma ABNT NBR 6123:1988 - forças devido ao vento em edificações (ABNT, 1988):

$$F = C_f * q * A \tag{5}$$

Onde:

- C_f = coeficiente de força;
- q = pressão dinâmica do vento no topo do muro ou placa;
- A = área da face (A = l * h):
  - l = comprimento do muro ou placa;
  - h = altura do muro ou placa.

A força do vento, calculada conforme a Equação 4; com base nos coeficientes de força estabelecidos pela norma ABNT NBR 6123:1988 - forças devido ao vento em edificações, é um dos fatores essenciais na determinação das cargas que atuam em uma estrutura. Para garantir a segurança e estabilidade estrutural, é necessário considerar as combinações de todas as ações atuantes na estrutura.

2.8 Combinações das ações

Para determinar os carregamentos que atuam em uma estrutura é necessário realizar a combinações das ações. Conforme a ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de

estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, estas, são determinadas pelos Quadros 1, 2, e 3 a seguir.

Quadro 1 - Coeficientes de ponderação das ações [$Y=Y_{f1}Y_{f3}$] NBR 8800:2008

Combinações	Ações permanentes (γ_g) [a c]					
	Diretas					Indiretas
	Peso próprio de estruturas metálicas	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes	Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições *in loco*	Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos	
Normais	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,35 (1,00)	1,40 (1,00)	1,50 (1,00)	1,20 (0)
Especiais ou de construção	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,25 (1,00)	1,30 (1,00)	1,40 (1,00)	1,20 (0)
Excepcionais	1,10 (1,00)	1,15 (1,00)	1,15 (1,00)	1,20 (1,00)	1,30 (1,00)	0 (0)
	Ações variáveis (γ_q) [a d]					
	Efeito da temperatura [b]		Ação do vento	Ações truncadas [e]	Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação	
Normais	1,20		1,40	1,20	1,50	
Especiais ou de construção	1,00		1,20	1,10	1,30	
Excepcionais	1,00		1,00	1,00	1,00	

Fonte: ABNT, 2008.

Quadro 2 – Fatores de combinação ψ_0 e de redução ψ_1 e ψ_2 para ações variáveis

Ações		γ_{f2} [a]		
		ψ_0	ψ_1 [d]	ψ_2 [e]
Ações variáveis causadas pelo uso e ocupação	Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas [b)]	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas [c]	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e sobrecargas em coberturas (ver B.5.1)	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Passarelas de pedestres	0,6	0,4	0,3
	Vigas de rolamento de pontes rolantes	1,0	0,8	0,5
	Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes	0,7	0,6	0,4

Fonte: ABNT, 2008.

Quadro 3 – Coeficientes de ponderações das resistências γ_m

Combinações	Aço estrutural [a] γ_a		Concreto γ_c	Aço das armaduras γ_s
	Escoamento, flambagem e instabilidade γ_{a1}	Ruptura γ_{a2}		
Normais	1,10	1,35	1,40	1,15
Especiais ou de construção	1,10	1,35	1,20	1,15
Excepcionais	1,00	1,15	1,20	1,00
[a] Inclui o aço de fôrma incorporada, usado nas lajes mistas de aço e concreto, de pinos e parafusos.				

Fonte: ABNT, 2008.

Como demonstrado pela ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, após todas a combinações levantadas, monta-se a Equação 6 abaixo:

$$Fd = \sum_{i=1}^{m} (\gamma_{gi} F_{Gi,k}) + \gamma_{qi} F_{Qi,k} \sum_{j=2}^{n} (\gamma_{qj} \Psi_{0j,ef} F_{Qj,k}) \quad (6)$$

- $Fd \rightarrow$ é a combinação de forças últimas;
- $FGi,k \rightarrow$ Valores característicos para as ações permanentes;
- $FQi,k \rightarrow$ Valor característico para a ação variável principal para a combinação;
- $FQj,k \rightarrow$ Representa os valores característicos das ações variáveis que podem atuar concomitantemente com a ação variável especial;
- $\gamma_{gi}, \gamma_{qi}\ e\ \gamma_{qj} \rightarrow$ São os valores de coeficientes de ponderação das ações;
- $\Psi 0j,ef \rightarrow$ Representa o fator de combinação das ações variáveis que pode atuar simultaneamente com a ação variável principal.

Componentes reais são mais complexos para aproximações de soluções analíticas, experimentação ou métodos numéricos. Assim utilizam-se programas (CAD) que permitem o desenvolvimento de desenhos tridimensionais (3-D), possibilitando realização de cálculos rápidos e precisos de propriedades de massa, centro de gravidade e momentos de inércia das massas. Alguns pacotes de programas realizam tarefas de análise de engenharia e/ou simulações específicas que são capazes de realizar análise de tensão, deflexão, vibração e até mesmo transferência de calor (BUDYNAS, 2011).

2.9 Utilização de softwares na análise estrutural

Os softwares empregados na análise estrutural da Engenharia Civil desempenham um papel essencial tanto na obtenção de resultados numéricos quanto na visualização gráfica, contribuindo para a compreensão do comportamento das estruturas. A análise estrutural, em sua essência, tem por objetivo determinar os esforços e deslocamentos induzidos pelas diversas cargas aplicadas sobre a estrutura.

Para o profissional da engenharia, a utilização de técnicas manuais de análise estrutural implica um consumo excessivo de tempo, em virtude da complexidade inerente a muitas

situações, tornando esse procedimento inviável para a maioria das questões cotidianas. Essa dificuldade prática motiva, portanto, a adoção de métodos computacionais (BRANCHIER, 2017).

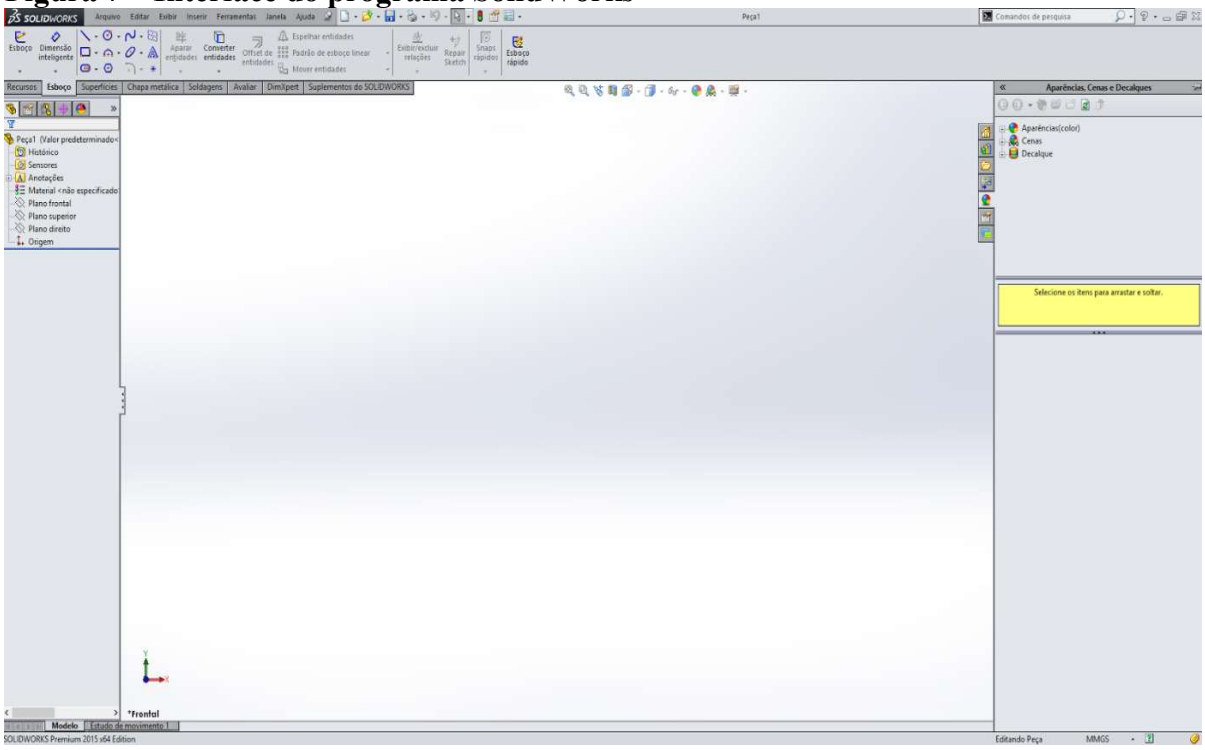
2.9.1 Software SolidWorks

O *SolidWorks* é um software de CAD (*Computer-Aided Design*) que opera com modelagem sólida (3D) paramétrica e variacional. Ele foi desenvolvido pela *SolidWorks Corporation*, que pertence ao grupo francês *Dassault Systèmes*, e foi criado em 1995.

O *SolidWorks* é classificado como um *software* de CAD de médio alcance, posicionando-se entre os softwares destinados a uso pessoal e os pacotes gráficos altamente sofisticados para grandes empresas. Portanto, é recomendado para empresas de médio porte e profissionais em áreas como engenharia, arquitetura e design. O *software* é valioso no desenvolvimento de protótipos, permitindo a verificação de aspectos de interferência geométrica e dimensional, além de auxiliar na criação de ambientes para a apresentação final do produto (SOLIDWORKS, 2017).

O programa baseia-se na representação em planos, onde o usuário começa representando uma geometria bidimensional e, em seguida, aplica a coordenada Z para obter o modelo 3D básico. Depois, recursos de edição e *features* são aplicados às faces do modelo para a modelagem. O ambiente de modelagem do *SolidWorks* é denominado "*Part*". Além desse ambiente, o programa inclui o ambiente "*Drawing*" para representações 2D do modelo e o ambiente "Assembly" para montagens (SOLIDWORKS, 2017). A sua interface inicial é apresentada na Figura 7 a seguir.

Figura 7 – Interface do programa SolidWorks



Fonte: SolidWorks, 2017.

O uso do *SolidWorks* tornou-se comum no dimensionamento de estruturas, pois ajuda no cálculo e na análise estrutural, contribuindo para a segurança dos trabalhadores. Além disso, o software permite a simulação virtual da montagem da estrutura, identificando possíveis falhas

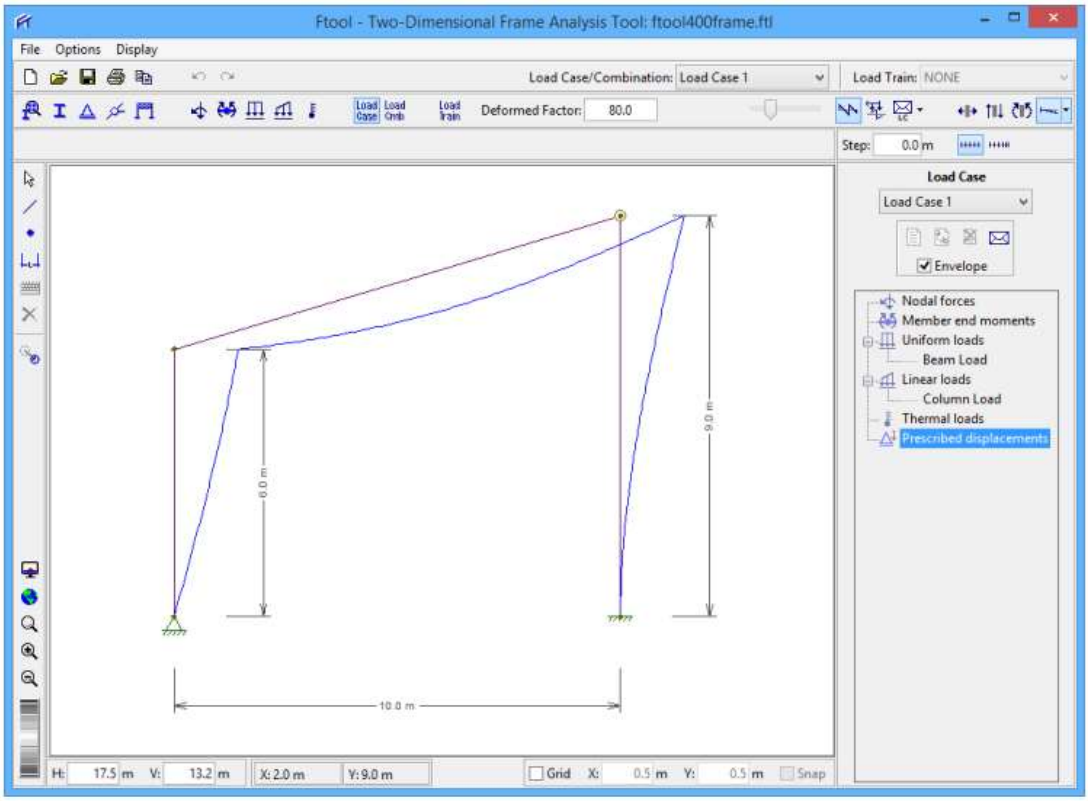
e aprimorando o projeto. Ele também facilita a geração automática de desenhos técnicos e listas de materiais, agilizando o planejamento e a execução da obra (SOLIDWORKS, 2017).

Além do uso do *SolidWorks* na análise e projeto de estruturas, é igualmente importante considerar as ferramentas disponíveis para a modelagem e análise de pórticos planos, como o software *Ftool.* Vamos agora explorar em detalhes como o *Ftool* é amplamente utilizado na Engenharia Civil e como ele pode contribuir para o entendimento do comportamento estrutural (TAVARES,2014).

2.9.2 Software Ftool

Segundo Branchier (2017), o *Ftool* é um programa de análise estrutural de código aberto amplamente utilizado na Engenharia Civil. Desenvolvido como um projeto de pesquisa na PUC-Rio pelo engenheiro civil Luiz Fernando Martha, ele se destina a ensinar o comportamento estrutural, especialmente de pórticos planos. Com sua interface intuitiva, o *Ftool* permite aos usuários modelarem e analisar estruturas com eficiência, combinando recursos para a criação e manipulação de modelos com análises rápidas e visualização eficaz de resultados, conforme demonstrado na Figura 8 a seguir.

Figura 8 – Interface do programa Ftool



Fonte: FTOOL, 2023.

Além de seu uso educacional, o *Ftool* tem encontrado aplicações práticas na análise estrutural de andaimes, onde desempenha um papel crucial na garantia da segurança dos trabalhadores. Através de simulações virtuais realizadas com o *Ftool*, é possível obter uma análise precisa do comportamento estrutural sob cargas aplicadas, permitindo ajustes e melhorias nos projetos. No entanto, é importante observar que o *Ftool* é um programa de código aberto e não possui garantia ou responsabilidade legal pelos resultados, sendo sua versão educacional amplamente utilizada por profissionais, embora não forneça resultados oficiais (BRANCHIER, 2017).

A versão mais recente do *Ftool* é a 4.00.04, atualizada em janeiro de 2018, e está disponível para sistemas Windows e Linux. O programa pode ser adquirido no site oficial e inclui um manual de utilização. Sua interface amigável apresenta menus suspensos, botões de atalho, caixas de entrada de dados e modos de exibição de resultados, tornando-o uma ferramenta valiosa tanto para fins educacionais quanto práticos na área da Engenharia Civil (FTOOL, 2023).

3. METODOLOGIA

Este trabalho de conclusão de curso foi desenvolvido com base em pesquisas bibliográficas e realizado por meio de um estudo de caso em uma empresa específica localizada na cidade de Betim/MG. Nossa pesquisa se valeu de fontes diversas, incluindo artigos científicos, dissertações, livros etc., e respeitou as diretrizes da ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, além de outras normas regulamentadoras relevantes.

A pesquisa conduzida neste trabalho é caracterizada como pesquisa aplicada. De acordo com Gil (2008), a pesquisa aplicada, por sua vez, compartilha muitos pontos de convergência com a pesquisa básica, uma vez que se apoia em suas descobertas e beneficia-se do seu avanço. No entanto, o traço distintivo essencial da pesquisa aplicada reside no seu foco no interesse pela aplicação, utilização e implicações práticas dos conhecimentos adquiridos. Sua atenção está menos voltada para a criação de teorias de valor universal e mais direcionada para a aplicação imediata em um contexto específico.

Adicionalmente, a pesquisa aplicada concentra-se na identificação e na resolução de questões específicas, comprometendo-se a criar diagnósticos direcionados para solucioná-las, atendendo às solicitações feitas por clientes ou instituições. Portanto, essa pesquisa é classificada como aplicada, uma vez que tem como objetivo investigar a distribuição de esforços nas barras da estrutura de um totem de identificação eletrônico e identificar o arranjo mais eficaz para suportar as ações atuantes na estrutura.

Quanto a sua natureza, a pesquisa segundo Gil (2008) pode se classificar como qualitativa - método de investigação que se caracteriza por ser exploratório e descritivo, no qual o pesquisador analisa os dados de maneira indutiva. Nesse contexto, reconhece-se que existe uma complexa relação entre o mundo estudado e o sujeito da pesquisa, uma relação que não pode ser reduzida a números. O objetivo primordial da pesquisa qualitativa é desvendar as razões e motivações por trás dos fenômenos estudados, proporcionando uma compreensão rica e aprofundada que se presta a análises de natureza qualitativa em diversas áreas de estudo.

Segundo Appolinário (2006) é muito difícil haver alguma pesquisa totalmente qualitativa como é altamente improvável existir alguma completamente quantitativa. Isso ocorre porque qualquer pesquisa pode incorporar elementos tanto qualitativos como quantitativos. Em vez de serem classificadas em categorias isoladas, temos uma dimensão contínua com extremos opostos, e as pesquisas se encontrarão em algum ponto, tendendo mais para um lado ou para outro. Embora alguns autores ainda defendam a separação clara entre essas duas naturezas de pesquisa há um crescente consenso em direção oposta a esta abordagem.

Sendo assim, esta pesquisa pode ser classificada em qualitativa, uma vez que se baseia na análise de dados provenientes de desenhos técnicos, especificações de serviços e fotos coletados pelos autores, os quais foram elaborados no contexto do empreendimento em análise, e revelaram conformidade com as diretrizes estabelecidas na ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.

Quanto aos meios de pesquisas, classificamos como estudo de caso. Segundo Gil (2008): “o estudo de caso é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira a permitir o seu conhecimento amplo e detalhado, tarefa praticamente

impossível mediante os outros tipos de delineamentos considerados". Para Yin (2005, p. 32), o estudo de caso é uma investigação empírica que "investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos".

Mazzotti (2006), afirma que, ao definir o objeto do estudo de caso como um fenômeno contemporâneo, Yin procura distingui-lo dos estudos históricos, nos quais a evolução temporal é o foco de interesse, o que não significa que, nos estudos de caso, não se recorra a fatos passados para compreender o presente. Assim, a aplicação dos critérios estabelecidos pela NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios justifica a importância do estudo de caso, com simulações virtuais auxiliadas por softwares como *Ftool* e *Solidwork.*

Quanto aos fins essa pesquisa pode ser classificada em descritiva-exploratória. A pesquisa exploratória de acordo com Selltiz et al.[6], (1967, p 63 apud GIL, 2002, p.41):

> "estas pesquisas têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses. Pode-se dizer que estas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Seu planejamento é, portanto, bastante flexível, de modo que possibilite a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado. Na maioria dos casos, essas pesquisas envolvem: (a) levantamento bibliográfico; (b) entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; e (c) análise de exemplos que "estimulem a compreensão""

A pesquisa descritiva tem como objetivo principal a apresentação de determinado fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Uma de suas características mais significativas é a utilização de técnicas padronizadas de coleta de dados, como questionário e observação sistemática (GIL, 2002).

Essa pesquisa se enquadra em descritiva-exploratória, pois através de pesquisas foi possível demonstrar as distribuições de esforços da estrutura em estudo e realizar uma investigação para identificar se o arranjo estrutural está devidamente dimensionado para resistir aos efeitos das ações atuantes.

O universo, ou população, é o conjunto de elementos que possuem as características que serão objeto do estudo, e a amostra, ou população amostral, é uma parte do universo escolhido selecionada a partir de um critério de representatividade (Vergara, 1997). Portanto, o universo desse estudo compreende projetos e dimensionamentos de estruturas metálicas destinadas a suportar painéis de LED em aplicações urbanas. A amostra refere-se ao estudo de caso realizado em Betim/MG.

A coleta e análise de dados desempenham um papel fundamental na metodologia científica. Para desenvolver um instrumento de pesquisa, é imperativo que o pesquisador antecipe a metodologia de análise dos dados coletados. A diversidade na coleta de dados de pesquisa é atribuível à ampla gama de opções disponíveis em relação aos instrumentos de pesquisa, conforme destacado por Appolinário (2006).

Com base nos conhecimentos adquiridos, determinou-se que a pesquisa envolve observações sistemáticas por meio da análise de documentos (artigos, livros e Normas Regulamentadoras Brasileira), documentos os quais representam o principal instrumento de embasamento utilizado. Referente a coleta de dados, a estrutura em estudo foi escolhida devido ao desafio do processo de troca de um totem tradicional para um totem de identificação digital luminoso.

---

[6] SELLTIZ, Claire et al. Métodos de pesquisa nas relações sociais. São Paulo: Herder, 1967.

Utilizando essas fontes de pesquisa, foi possível reunir dados necessários para a análise da norma ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Essa norma determina os requisitos mínimos que devem ser seguidos no projeto de estruturas metálicas em temperatura ambiente.

4. RESULTADOS E DISCUSÃO

O presente capítulo apresenta a sequência de etapas que possibilitam a análise, através das informações coletadas nos cálculos e softwares utilizados; do projeto da estrutura metálica para suporte de painéis de LED, de modo que as ações atuantes na estrutura sejam resistidas com segurança e os deslocamentos estejam dentro dos limites determinados aceitáveis. Tendo em vista o objetivo de se avaliar a estabilidade e segurança estrutural, também são apresentados os resultados das análises e realizada a comparação com resultados obtidos através das prescrições normativas, buscando discutir as principais características de cada metodologia.

4.1 Objeto de Estudo

O propósito deste trabalho se deu devido a um projeto de modificação do totem de identificação do grupo empresarial SADA Transportes, na sua unidade matriz, localizada no Distrito Industrial Paulo Camilo Sul em Betim-MG. O totem em questão, é utilizado para exibição do logotipo do grupo SADA; com uma iluminação *front light* (a fonte de luz é posicionada na frente do objeto a ser iluminado), para possibilitar a visualização em condições de baixa luminosidade, como durante a noite; como pode ser observado na Figura 9 a seguir.

Figura 9 – Totem de identificação do grupo SADA

Fonte: Google Maps, 2023.

Para entendimento e diferenciação de outros tipos de estruturas de divulgação, definiremos o totem como uma estrutura vertical, geralmente de forma monolítica, que é utilizada para várias finalidades, como sinalização, identificação, comunicação ou orientação em ambientes variados, como rodovias, áreas urbanas, estabelecimentos comerciais, entre outros. Totens são frequentemente construídos com materiais duráveis, como metal, concreto, madeira ou plástico, e podem variar em tamanho e forma de acordo com sua aplicação específica (CALORI e VANDEN-EYNDEN, 2015).

A proposta de modificação do totem, visa a instalação de uma estrutura metálica para suporte e fixação de painéis de LED em substituição à estrutura em forma de elipse com o logo do grupo SADA, mantendo a atual estrutura da torre de sustentação. De forma simplificada, pode se dizer que as etapas do trabalho a ser realizados se dividem em:

1º. Isolamento da área em torno da torre de sustentação;
2º. Desligamento e retirada dos componentes e circuitos elétricos da estrutura atual;
3º. Remoção da estrutura atual - em forma de elipse;
4º. Posicionamento e fixação da estrutura de suporte dos painéis de LED;
5º. Instalação elétrica e programação dos painéis de LED.

Para melhor compreensão dos trabalhos que se pretendem realizar, uma demonstração da operação de instalação de uma estrutura de suporte de painéis de LED em uma torre já existente, é demonstrada na Figura 10 na sequência.

Figura 10 – Instalação de estrutura para painéis de LED em coluna existente.

Fonte: https://www.visual.com.br

Já com a definição do trabalho a ser realizado, prosseguiu para a contratação de uma empresa especializada nesta área de atuação.

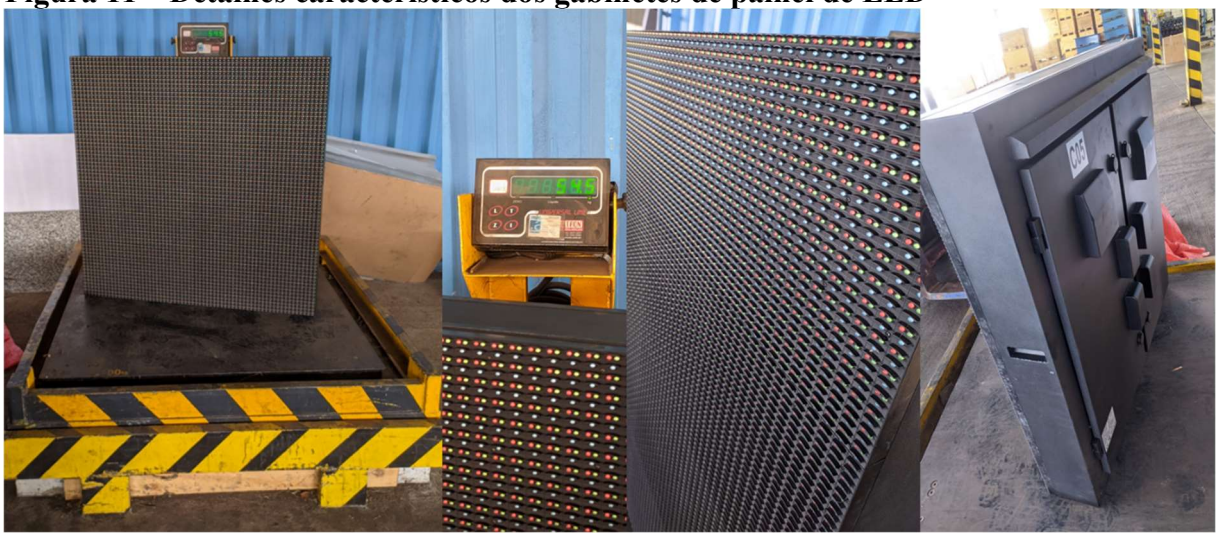
4.2 Estrutura em Análise

Como etapa inicial no processo de substituição do totem, o grupo SADA fez uma pesquisa de mercado a fim de encontrar empresas especializadas no ramo de totens digitais. Foi então, iniciada as negociações com a empresa Flashled, unidade de Belo Horizonte/MG; que definiu, em comum acordo com a SADA; as dimensões do novo totem e forneceu os 15 gabinetes de painéis de LED necessários para sua montagem.

Os gabinetes são constituídos em uma estrutura quadricular de dimensões 1024x1024x215 mm, sendo que dos 215 mm totais de profundidade, apenas os primeiros 160 mm são referentes ao corpo principal, e os 55 mm restante são referentes aos detalhes

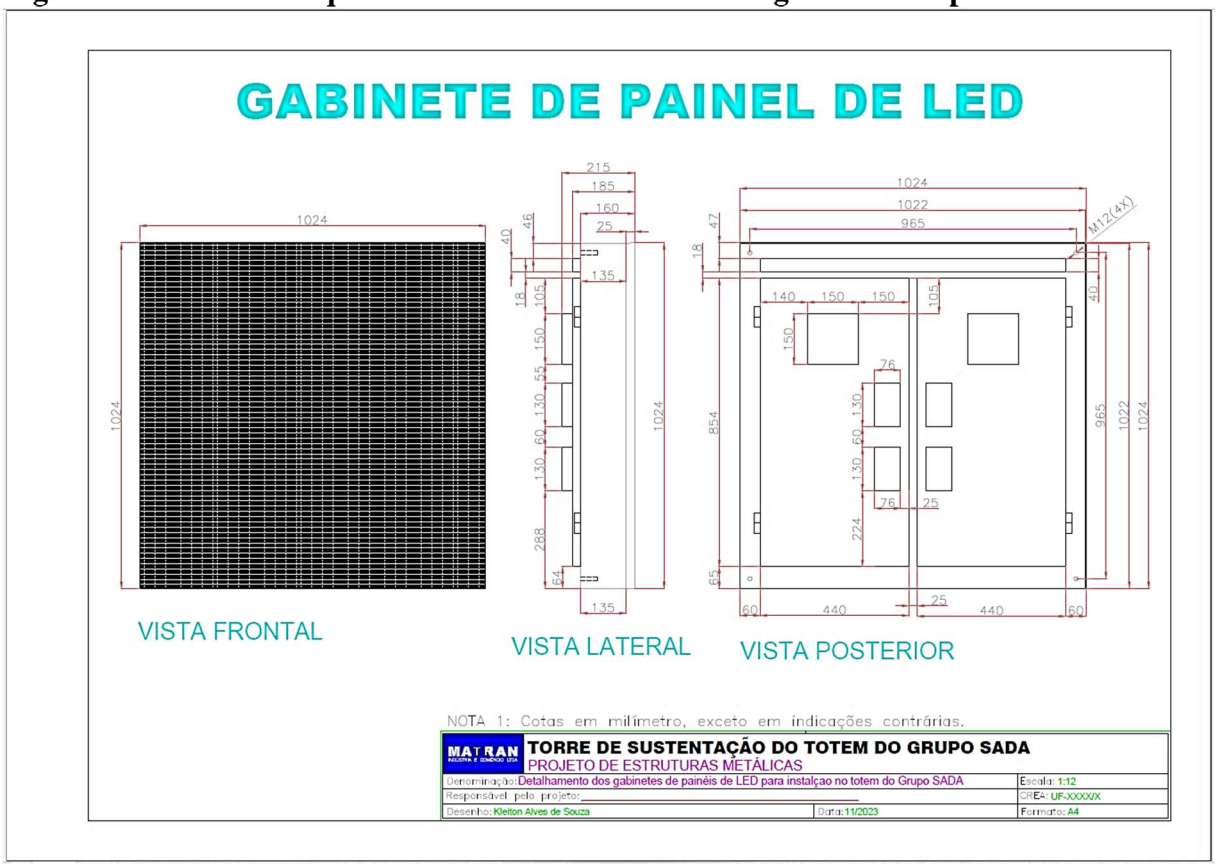
posteriores do gabinete. A face frontal dos gabinetes é coberta por inúmeros LED's de cores vermelha, verde e azul. Seu peso unitário total é de 54,5kg. Suas características, peso e dimensões, podem ser observadas nas Figuras 11 e 12 a seguir.

Figura 11 – Detalhes característicos dos gabinetes de painel de LED



Fonte: Os autores, 2023.

Figura 12 – Desenho esquemático com as dimensões dos gabinetes de painel de LED



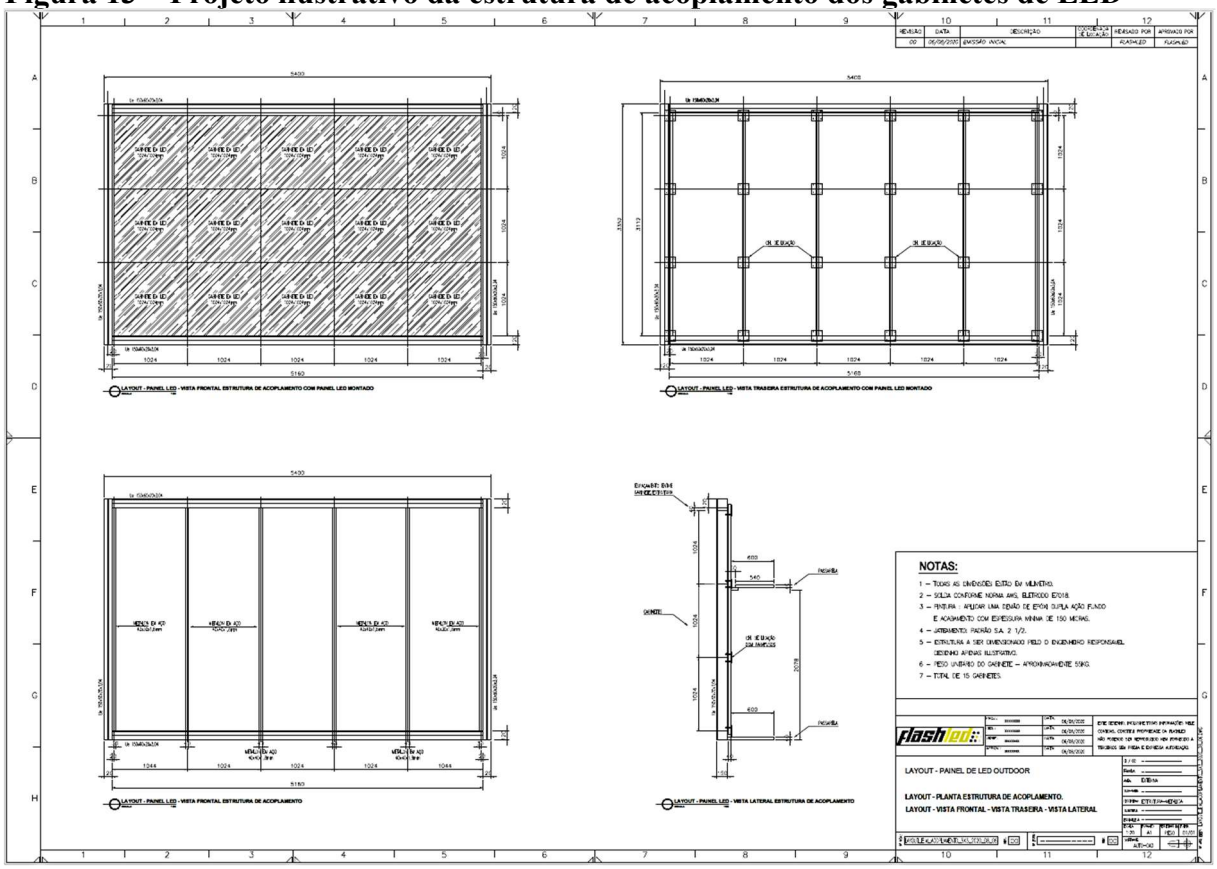
Fonte: Os autores, 2023.

Também foi fornecido um projeto ilustrativo inicial da estrutura de acoplamento dos gabinetes, projeto que deverá ser verificado estruturalmente pelo engenheiro responsável pelos trabalhos, para garantir a estabilidade e segurança necessárias para a estrutura suportar as ações

solicitantes atuantes provocadas pelos carregamentos variáveis e, também; o peso dos 15 gabinetes de painéis de LED.

Neste projeto ilustrativo inicial, a Flashled indicou o uso perfil U enrijecido 150x60x20x3,04 mm duplicado, formando um perfil soldado conhecido como caixote, com seção transversal externa de150x120 mm; para o quadro principal da estrutura. Para as quatro colunas internas de fixação dos gabinetes, foi recomendado a adoção do tubo quadrado 40x40x1,9 mm; enquanto para as duas colunas externas, o tubo quadrado 40x30x1,9 mm. Nas colunas de fixação dos gabinetes, foi indicado a inserção de chapas de ligação para os parafusos de fixação, porém não foi indicada nenhuma dimensão e/ou espessura para tais chapas. Todos os materiais listados no projeto, foram indicados em aço carbono, o projeto ilustrativo inicial, fornecido pela Flashled é apresentado na Figura 13 abaixo.

Figura 13 – Projeto ilustrativo da estrutura de acoplamento dos gabinetes de LED



Fonte: Os autores, 2023.

Com as dimensões do totem e a quantidade de gabinetes, necessários para sua montagem, definidas no projeto inicial sugestivo da estrutura metálica de acoplamento, seguiu-se para a análise da estrutura da torre de sustentação existente, com o intuito de pré-definir uma segunda estrutura metálica, responsável pela ligação do quadro de acoplamento dos gabinetes em LED à torre de sustentação.

A torre de sustentação do totem foi instalada sobre uma fundação profunda, formada por uma estaca com bloco de coroamento, sobre a crista de um talude. Conforme Cunha e Moura (2018), "...blocos de coroamento sobre estacas são elementos de concreto que têm como propósito transferir os esforços dos pilares para as estacas."

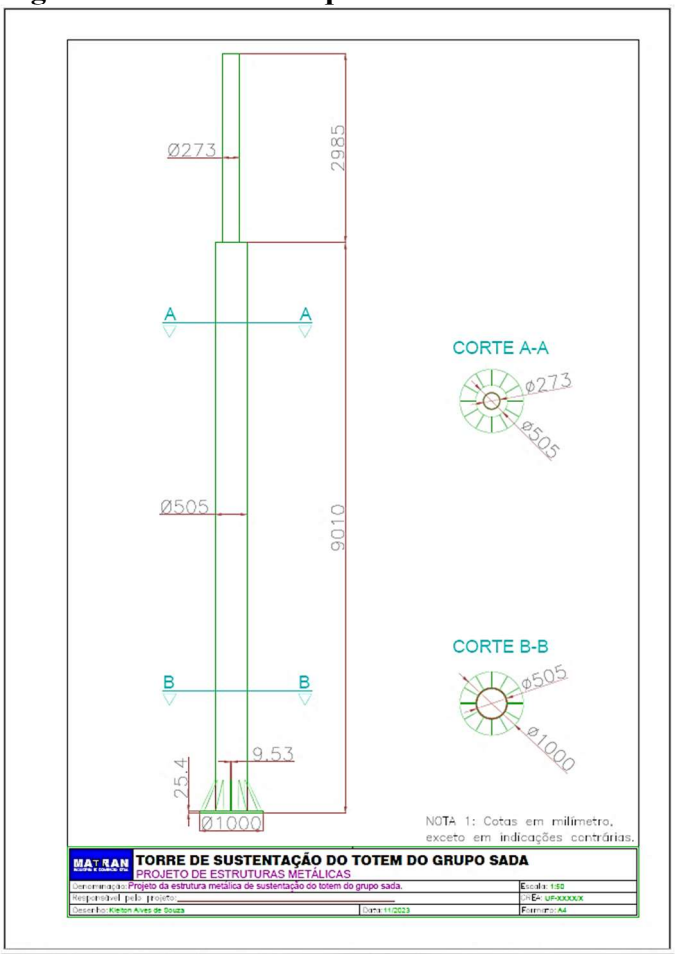
A torre é constituída por uma coluna de tubo circular, fixada por um flange nos chumbadores do bloco de coroamento; possui um diâmetro maior de Ø505mm por um comprimento de 9.010 mm e um diâmetro menor de Ø273 mm por um comprimento de 2.985

mm. Em seu corpo foi instalada uma escada tipo marinheiro, que dá acesso a uma pequena plataforma, tipo duplo cesto, localizada no final do comprimento do diâmetro maior. Estes detalhes e informações podem ser visualizados nas Figuras 14 e 15 apresentadas a seguir, onde apresentamos imagens da torre de sustentação existente e um croqui com suas dimensões.

Figura 14 – Torre de sustentação do totem do Grupo SADA

Fonte: Os autores, 2023.

Figura 15 – Desenho esquemático com as dimensões da torre de sustentação do totem



Fonte: Os autores, 2023.

Com o projeto inicial sugestivo para a quadro de acoplamento dos gabinetes de painéis de LED, e as principais dimensões da torre de sustentação do totem existente, prosseguiu-se com os trabalhos de desenvolvimento de uma segunda estrutura metálica, responsável pela ligação e fixação do quadro de acoplamento na torre de sustentação.

4.3 Projeto da Estrutura de Ligação e Fixação

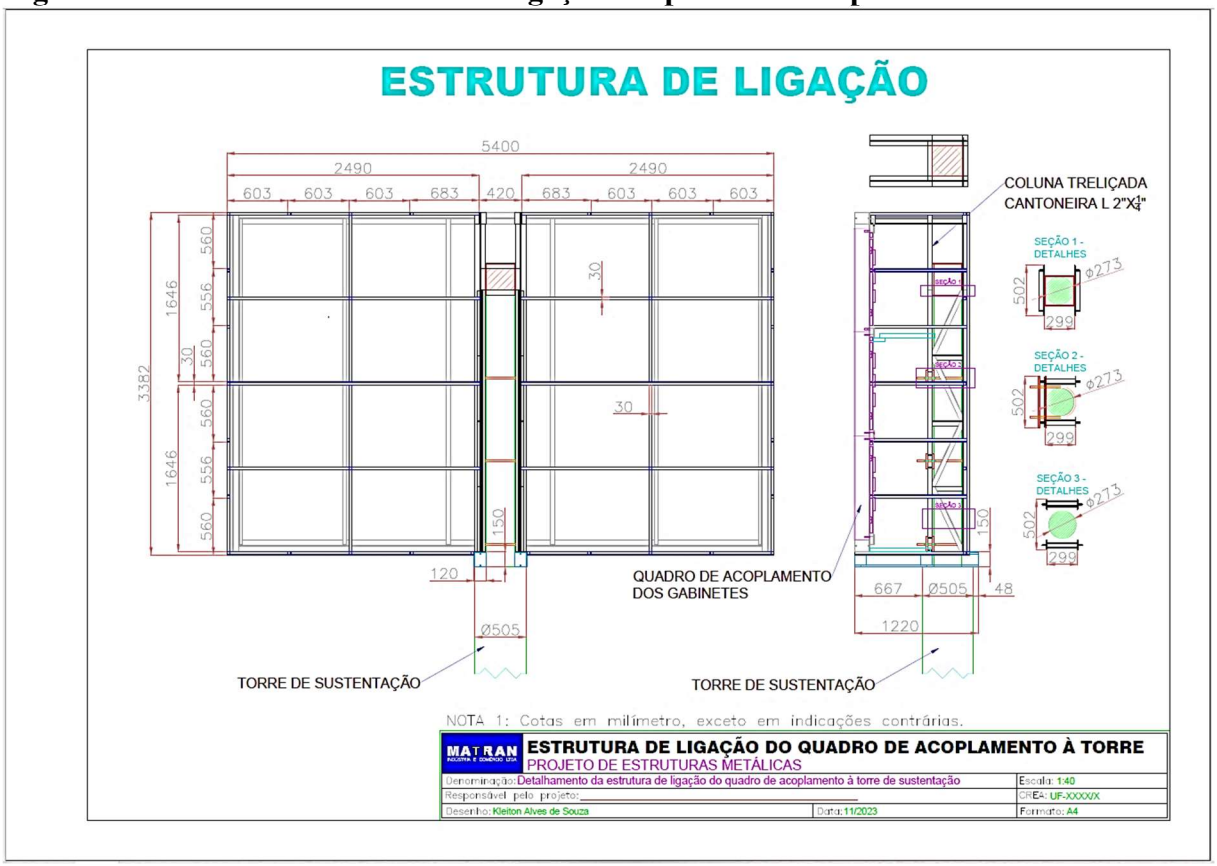
Após a retirada da estrutura elíptica do totem atual, será necessário a fabricação de uma nova estrutura para instalação na torre de sustentação e fixação do quadro de acoplamento dos gabinetes de LED. Essa nova estrutura deverá ser capaz de suportar o peso total do quadro de acoplamento, com todos os 15 gabinetes fixados; além das ações variáveis causadas pelas ações dos ventos, temperatura, precipitações, entre outras. Também deve ser considerado uma plataforma para manutenção dos gabinetes de LED, deixando um espaço suficiente para a abertura das portas traseiras dos gabinetes e circulação de um mantenedor entre a parte posterior do quadro de acoplamento e a coluna de menor diâmetro da torre de sustentação; gerando um avanço da estrutura do quadro de acoplamento dos gabinetes em relação à coluna da torre de sustentação.

Como a estrutura será fixada em uma coluna circular de diâmetro de Ø273mm e 2.985 mm de comprimento, ela deverá conter dispositivos que permitam o apoio sobre a seção transversal desta torre e que trave a estrutura em pontos distintos do comprimento; de forma que resista ao momento gerado pelo peso do quadro de acoplamento, com os 15 gabinetes instalados, na estrutura em avanço. Também deve ser considero meios de impedir o giro da estrutura sobre o eixo da torre de sustentação, que pode ser provocado pela ação das forças devido ao vento.

Para fabricação da estrutura de ligação foi considerado materiais comuns ao quadro de acoplamento dos gabinetes de painéis de LED, de forma a ter um melhor aproveitamento dos perfis metálicos comerciais a serem adquiridos. O intuito consiste em empregar os perfis U enrijecidos 150x60x20x3,0 mm duplicados na produção de vigas de apoio, que ficaria posicionadas sobre a seção com Ø505 mm da torre, enquanto envolve a seção de menor diâmetro (Ø273 mm). Sobre as vigas de apoio, e circundando todo o comprimento de 2.985 mm da seção de menor diâmetro, projeta-se o uso de uma estrutura treliçada formada por cantoneiras de abas iguais com dimensões de 2”x1/4” (polegadas), formando uma coluna com três lados fechados, enquanto o lado posterior permanece aberto para possibilitar a entrada da estrutura em volta da torre. No topo desta estrutura treliçada, será montado uma espécie de luva quadrada com chapas metálicas, que envolverá a torre em todos os quatro lados e permitirá o apoio da estrutura sobre a seção transversal de menor diâmetro da torre. Ao longo do comprimento da estrutura treliçada, serão fixados três conjuntos de abraçadeiras em barra de aço de diâmetro de 3/8” (Ø19,05 mm), totalizando, com a luva quadrada; quatro pontos de fixação.

Por fim, pretende-se utilizar o tubo quadrado 30x30x2,0 mm das colunas de fixação dos gabinetes na construção de uma estrutura de fechamento posterior, que também reforçaria a ligação com a estrutura do quadro de acoplamento dos gabinetes, fixando está à coluna treliçada da estrutura de ligação. Todos estes detalhes construtivos, podem ser melhor entendidos observando a Figura 16 a seguir.

Figura 16 – Desenho da estrutura de ligação do quadro de acoplamento à torre



Fonte: Os autores, 2023.

Com a predefinição da estrutura geral, tanto do quadro de acoplamento dos gabinetes de LED quanto da estrutura de ligação à torre de sustentação; deve-se prosseguir para as etapas de cálculo dos esforços solicitantes na estrutura e verificações dimensionais. O que será feito considerando as ações atuantes e suas possíveis combinações.

4.4 Ações na Estrutura

A ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios; ainda ressalta que, o processo de análise estrutural começa com o levantamento das ações que atuam na estrutura. Neste trabalho, serão consideradas apenas as ações referentes às cargas permanentes e variáveis atuantes na estrutura.

4.4.1 Ações permanentes

As cargas permanentes são o peso da própria estrutura e dos elementos associados a ela. Para efeitos de cálculos, ABNT NBR 6120:2019 - Ações para o cálculo de estruturas de edificações, traz valores tabelados a serem utilizados para cada elemento construtivo, a fim de estimar o peso próprio de cada um deles.

Entretanto, para um levantamento mais preciso, foi utilizado os dados de peso próprio fornecidos pelo fabricante dos materiais, dispensando a necessidade de estipular o peso de cada elemento através da norma. Assim se obtém resultados mais realistas para o tipo de aço e perfis considerados para a fabricação da estrutura. A lista dos materiais, com suas respectivas informações de materiais, dimensões e peso; é detalhada na Tabela 6 a seguir.

Tabela 6 – Relação dos materiais utilizados e seus respectivos pesos

ÍTEM	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	COMP. (mm)	ÁREA (mm²)	QTD.	COMP. TOTAL (m)	ÁREA TOTAL (m²)	PESO PADRÃO	PESO TOTAL (kg)
1	PERFIL U ENRIJECIDO AÇO CARB. SAE 1008/1012 - 150X60X20X#3,0mm	280	-	4	1,12	-	6,83 kg / m	7,6496
2		1220	-	4	4,88	-		33,3304
3		3352	-	4	13,408	-		91,5766
4		5160	-	4	20,64	-		140,9712
5	CANTONEIRA ABAS IGUAIS AÇO CARB. ASTM A-36 - 2"X3/16"	110	-	8	0,88	-	3,63 kg / m	3,1944
6		388	-	10	3,88	-		14,0844
7		707	-	8	5,656	-		20,5313
8		970	-	8	7,76	-		28,1688
9		3232	-	8	25,856	-		93,8573
10	TUBO QUADRADO DE AÇO CARBONO 40X40X#1,9mm	1300	-	2	2,6	-	2,291 kg / m	5,9566
11		3212	-	4	12,848	-		29,4348
12	TUBO QUADRADO DE AÇO CARBONO 40X30X#1,9mm	3212	-	2	6,424	-	1,994 kg/m	12,8095
13	TUBO QUADRADO DE AÇO CARBONO 30X30X#2,0mm	955	-	10	9,55	-	1,781 kg / m	17,0086
14		985	-	8	7,88	-		14,0343
15		1135	-	10	11,35	-		20,2144
16		1646	-	4	6,584	-		11,7261
17		2410	-	6	14,46	-		25,7533
18		2490	-	6	14,94	-		26,6081
19		3322	-	2	6,644	-		11,833
20	BARRA REDONDA AÇO CARB. ASTM A-36 - Ø3/4" (19,05mm)X1.060mm	1060	-	3	3,18	-	2,24 kg/m	7,1232
21	CHAPA EXPANDIDA MALHA 40X100MM - #6,30X580X5.400mm	-	3132000	2	-	6,264	16,2 kg/m²	101,4768
22	CHAPA AÇO ASTM A-36 Nº.14 CORTADA - #2,0X150X120mm	-	18.000	6	-	0,108	21,20 kg/m²	2,2896
23	CHAPA AÇO ASTM A-36 CORTADA - #1/8" (3,175mm)X100X100mm	-	10.000	24	-	0,24	25,0 kg/m²	6,00
24	CHAPA AÇO ASTM A-36 CORTADA - #3/8" (9,525mm)X280X300mm	-	84.000	2	-	0,168	74,5 kg/m²	12,516
25	CHAPA AÇO ASTM A-36 CORTADA - #3/8" (9,525mm)X300X300mm	-	90.000	3	-	0,27		20,115
26	CHAPA AÇO ASTM A-36 CORTADA - #1/2" (12,7mm)X150X502mm	-	75.300	3	-	0,2259	98,0 kg/m²	22,1382
27	CHAPA AÇO ASTM A-36 CORTADA - #5/8" (15,875mm)X150X502mm	-	75.300	3	-	0,2259	125,44 kg/m²	28,3369
28	PARAFUSO SEXTAVADO UNC 1/2" X 2.1/2" GRAU 2 AÇO CARBONO	-	-	96	-	-	0,082 kg/pç	7,8720
29	GABINETE DE PAINEL DE LED 1.024X1.024X160mm	-	-	15	-	-	54,5 kg/pç	817,50
				PESO TOTAL DA ESTRUTURA MONTADA				1634,11

Fonte: Os autores, 2023.

Convertendo o peso da estrutura montada (com o quadro de acoplamento, mais os 15 gabinetes e a estrutura de ligação à torre de sustentação), obtém o valor da ação permanente de peso próprio de 16,03 kN. Considerando apenas a estrutura do quadro de acoplamento e dos 15 gabinetes nele acoplado, temos que as quatro colunas internas de fixação do gabinete do painel de LED são os componentes submetidos à maior ação permanente de peso próprio – no quadro de acoplamento; tendo uma carga axial distribuída equivalente à 0,5256 kN*m, atingindo o valor de 1,6988 kN no final dos 3,232 metros de comprimento da coluna.

Com as cargas devidas às ações permanentes calculadas, segue-se para análise das cargas devidas às ações variáveis, onde serão identificadas e determinado seus efeitos sobre a estrutura.

4.4.2 Ações variáveis

Nas análises das cargas, consideradas dentro da classificação de ações variáveis; atuando na estrutura, foi levado em conta a função principal e o local de instalação da estrutura. Sendo identificados três tipos de cargas, sendo elas: cargas referentes ao uso das passarelas de manutenção; cargas devido à variação de temperatura na estrutura e as cargas devido a ações do vento incidente na estrutura.

4.4.2.1 Ações devidas à passarela de manutenção

A norma ABNT NBR 7188:2013 – Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas; traz no seu item 6.1 (Carga móvel) o valor de p = 5,0 kN/m² referente a uma carga uniformemente distribuída aplicada sobre o pavimento da passarela, na sua posição mais desfavorável e sem considerar coeficientes de impacto vertical.

Esta carga é prevista para compensar os pesos decorrentes da circulação de pessoas sobre a passarela. Como na nossa estrutura serão duas passarelas utilizadas para serviços de

manutenção, consideraremos como a situação mais desfavorável o uso simultâneo de ambas as passarelas, ou seja; um mantenedor em cada uma, ao mesmo tempo. Considerando as dimensões de 580X5.400 mm de cada passarela, encontramos uma área de 6,264 m² para ambas, multiplicando pelo valor da carga de 5,0 kN/m², encontramos o valor da carga variável devia às passarelas de 31,32kN.

4.4.2.2 Ações devidas à variação da temperatura

A transferência de calor, conforme Aurich (2008), ocorre devido a uma diferença de temperatura e manifesta-se por condução, convecção e radiação térmica. A condução ocorre em meios estacionários, como sólidos ou fluidos, quando há um gradiente térmico. A convecção, por sua vez, acontece entre uma superfície e um fluido em movimento, quando há variação de temperatura. A radiação térmica surge quando superfícies a uma temperatura finita emitem energia como ondas eletromagnéticas.

A distribuição de temperaturas em um corpo é influenciada por condução e convecção, sendo difícil isolar um processo do outro. No entanto, para análise simplificada, é comum separar esses processos, sem causar erros significativos (AURICH, 2008).

Thomaz (1989) destaca o sol como fonte comum de calor nas edificações. A variação da temperatura de um componente exposto à radiação solar depende da intensidade da radiação, da absorbância da superfície, da condutância térmica superficial e das propriedades térmicas do material.

Segundo a ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, os esforços devido à variação de temperatura na estrutura são causados por mudanças na temperatura atmosférica e exposição solar direta. Recomenda-se adotar um valor para a variação da temperatura atmosférica, correspondente a 60% da diferença entre as temperaturas médias máxima e mínima no local, com um mínimo de 10 °C. Para a exposição direta ao sol, é necessário um estudo específico.

Conforme as diretrizes estipuladas na norma ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios; para estruturas expostas diretamente a radiação da luz solar, deve ser feito um estudo específico para determinar suas cargas térmicas.

Os primeiros estudos sobre a influência da temperatura em estruturas expostas ao clima abordaram a estimativa da temperatura superficial do pavimento em pontes de seção mista (aço e concreto). Foram consideradas as variáveis como temperatura do ar, velocidade do vento, variação da umidade, intensidade da radiação solar e o material da estrutura. A radiação solar, varia ao longo do ano de acordo com a duração do dia, localização e inclinação da terra, presença de nuvens (de difícil mensuração de espessura e densidade) e outros agentes que interferem na intensidade da radiação solar (MOREIRA ET AL., 2023).

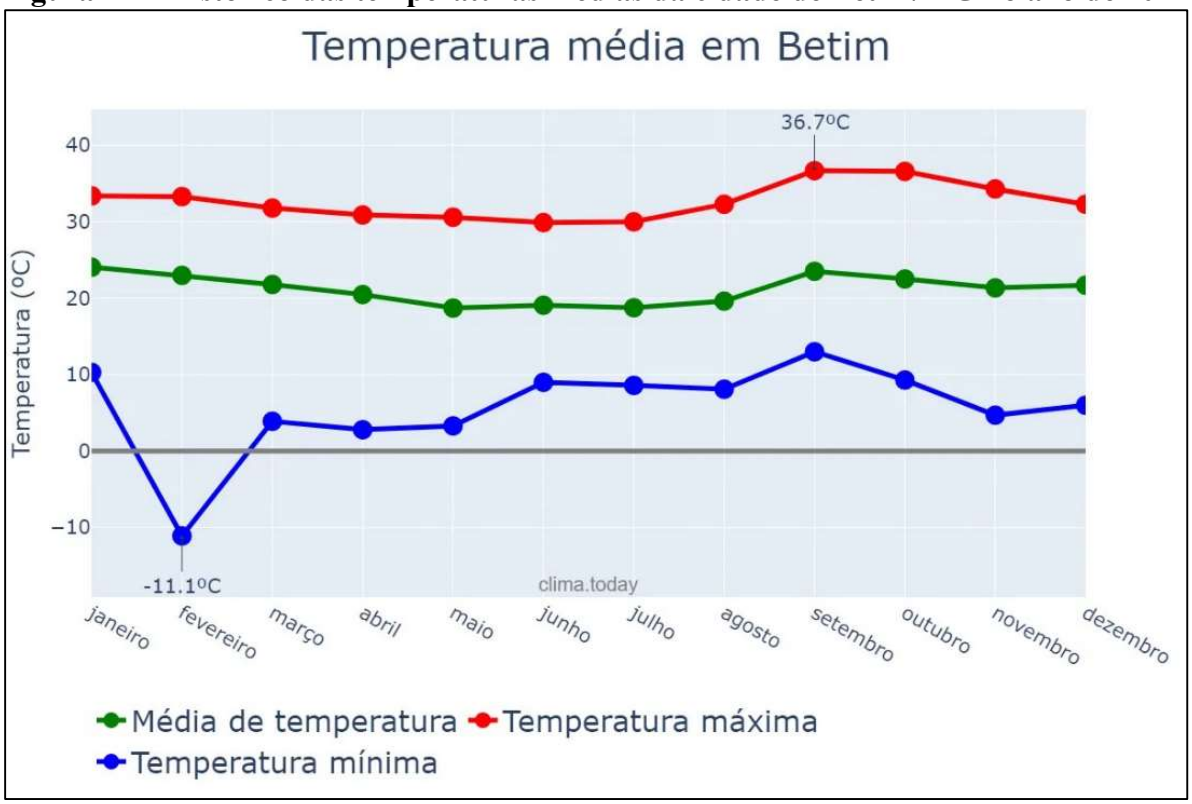
De acordo com Moreira et al. (2023), diante da complexidade na avaliação do comportamento de cada elemento da estrutura sob a ação da radiação solar, estudos têm utilizado a variação térmica do ambiente como referência. Para simular o comportamento de uma estrutura metálica de um totem digital, é crucial determinar os fatores de correlação entre a temperatura ambiente, referida à sombra, e o valor efetivo na estrutura. Esses parâmetros de correlação são definidos por normas, como a Eurocode 1: *Actions on structures - Part 1-5: General actions - Thermal actions* (CEN, 2003), que apresenta critérios para a correção das temperaturas ao ar (Tmáx; Tmín) em relação à temperatura efetiva na estrutura metálica (Te,máx; Te,mín), como pode ser visto nas Equações 7 e 8 apresentadas abaixo.

$$T_{e,max} = T_{max} + 16° \text{ C} \quad (7)$$

$$T_{e,min} = T_{min} - 3° \text{ C} \quad (8)$$

Dessa forma, para determinação das temperaturas efetivas da estrutura, consulta-se o histórico de temperaturas da cidade de Betim – MG, onde são consideradas as temperaturas de -11,1ºC e 36,7ºC conforme demonstrado na Figura 17 a seguir.

Figura 17 – Histórico das temperaturas médias da cidade de Betim/MG no ano de 2022

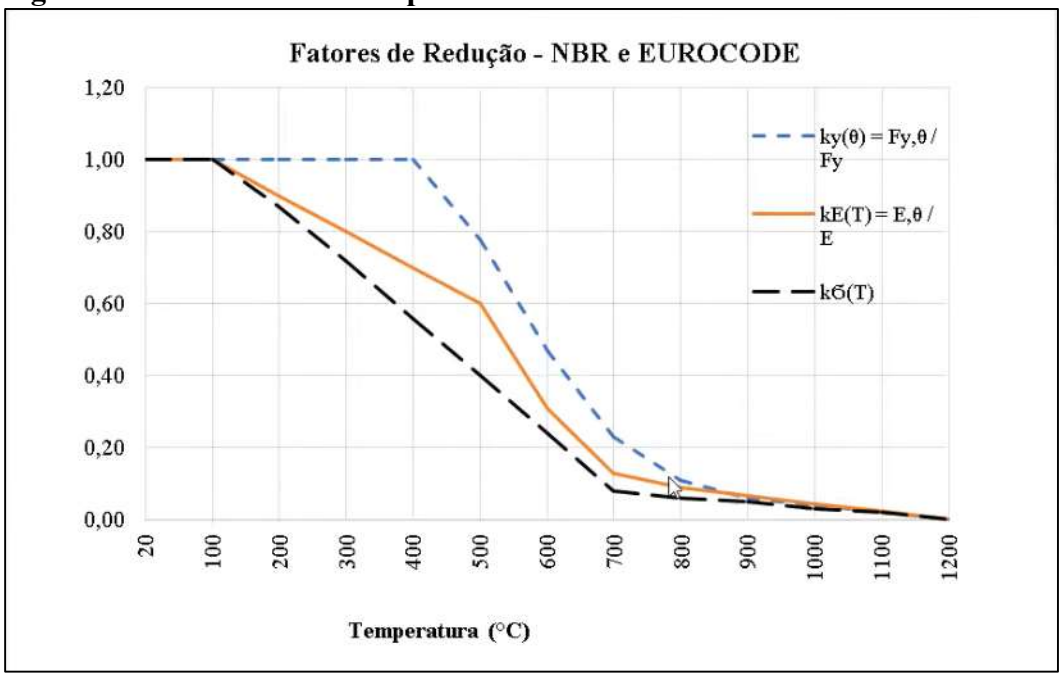


Fonte: Clima Today, 2023.

Segundo Neto, 2015; a uma elevada temperatura, as propriedades do aço se deterioram. Para calcular essa deterioração, são empregados fatores de redução, os quais representam a relação entre o valor da propriedade em alta temperatura e o valor à temperatura ambiente.

A norma brasileira ABNT NBR 14323:2013 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio; atualmente sugere a utilização de três fatores: kE,θ (redução do módulo de elasticidade do aço em altas temperaturas em relação ao valor à temperatura ambiente); kσ,θ (redução da resistência ao escoamento do aço em seções sujeitas à flambagem local em altas temperaturas em relação à temperatura ambiente); e ky,θ (redução da resistência ao escoamento do aço do perfil em altas temperaturas em relação ao valor à temperatura ambiente). O fator kσ,θ é definido para uma deformação residual de 0,2%, enquanto ky,θ é definido para uma deformação total de 2%. (NETO, 2015). A variação desses fatores em relação ao aumento de temperatura do aço pode ser visualizada na Figura 18 abaixo.

Figura 18 – Histórico das temperaturas médias da cidade de Betim/MG no ano de 2022



Fonte: Adaptado de Neto, 2015, p. 02.

Desenvolvendo as Equações 7 e 8, encontramos os seguintes valores para $T_{e,max}$ = 52,7°C e $T_{e,min}$ = -14,1°C. O valor da temperatura efetiva máxima é muito baixo para interferir nas propriedades do aço, que apresenta alterações significativas acima dos 100 °C, considerando o ponto de corte por volta dos 180°C, conforme apresentado por Neto (2015). Desta forma, para efeito de simplificação dos cálculos, as ações das cargas devidas à temperatura na estrutura serão desconsideradas, já que teriam valores praticamente nulos e/ou inexistentes. Sendo assim, e prossegue-se para a determinação das cargas devidas à terceira ação variável, cargas devidas às forças de ventos.

4.4.2.3 Ações devidas à força dos ventos

Segundo Moritani et al. (2016), é amplamente reconhecido que a carga de vento representa uma ação desfavorável para a integridade estrutural de um totem digital com uma seção em forma de placa retangular; portanto, é crucial determinar a influência do vento sobre a estrutura. Conforme estabelecido pela norma ABNT NBR 6123:1998 - forças devidas ao vento em edificações, a avaliação da força devida ao vento requer a consideração da velocidade básica do vento, Vo, especifica para o local de construção da estrutura. Essa velocidade é definida pela norma como a velocidade de uma rajada de vento durante 3 (três) segundos, que é excedida em média uma vez a cada 50 anos, a uma altura de 10 metros acima do terreno, em um ambiente aberto e plano.

Na determinação das forças do vento, a etapa inicial consistiu em estimar a velocidade básica, conforme representado no mapa de isopletas da Figura 4, para a área onde a estrutura seria instalada. Considerando que Betim está situada entre as faixas de 30 m/s e 35 m/s no mapa, adotamos o maior valore para a velocidade básica, ou seja, 35m/s.

Como regra geral, é admitido que o vento básico pode soprar de qualquer direção horizontal, e conforme o item 8.1.2 da norma ABNT NBR 6123:1998 - forças devidas ao vento em edificações; para uma estrutura com forma de placa retangular como o totem em questão, a incidência mais desfavorável do vento é a oblíqua, formando um ângulo de aproximadamente 50°. Considerando esse aspecto, para determinação da velocidade característica do vento, Vk,

foi analisado os fatores topográficos (S1), rugosidade, altura e dimensões das edificações do terreno (S2) numa linha imaginaria à 50º da face frontal do totem digital, como pode ser observado nas Figuras 19, 20 e 21 a seguir.

Figura 19 – Topografia do relevo à 50º da face frontal do totem

Fonte: Google Earth, 2023.

Figura 20 – Vista do terreno a 50º da face frontal do totem

Fonte: Google Maps, 2023.

Figura 21 – Altura e inclinação do talude abaixo da torre do totem

Fonte: Adaptado de Google Maps, 2023.

Como a torre de sustentação está instalada na crista de um talude, deve-se determinar o valor do fator S_1 conforme descrito no item 5.2 da norma ABNT NBR 6123:1988 - forças devidas ao vento em edificações, utilizando as informações obtidas durante a avaliação do relevo ao redor do local de instalação do token digital, e das suas dimensões projetadas.

$$S_1 = 1{,}0 + \left(2{,}5 - \frac{z}{d}\right) * \tan(\theta - 3°) \geq 1{,}0 \rightarrow S_1 = 1{,}0 + \left(2{,}5 - \frac{10{,}82}{5}\right) * \tan(17° - 3°) \geq 1{,}0$$

$$S_1 = 1{,}0 + (2{,}5 - 2{,}164) * \tan(14°) \geq 1{,}0 \rightarrow S_1 = 1{,}0 + (2{,}5 - 2{,}2) * \tan(14°) \geq 1{,}0$$

$$S_1 = 1{,}0 + 0{,}336 * 0{,}2493 \geq 1{,}0 \rightarrow S_1 = 1{,}084 \geq 1{,}0 \rightarrow OK!$$

$$\boldsymbol{S_1 = 1{,}084}$$

Para o fator S2, a categoria do terreno considerada foi a categoria IV, segundo o item 5.3.1 da norma da NBR 6123:1988 - Forças devidas ao vento em edificações; e de classe A (edificação com maior dimensão menor ou igual a 20m), conforme item 5.3.2.

$$S_2 = b * F_r * \left(\frac{z}{10}\right)^p \rightarrow S_2 = 0{,}86 * 1{,}0 * \left(\frac{12{,}632}{10}\right)^{0{,}12} \rightarrow S_2 = 0{,}86 * 1{,}0 * (1{,}2632)^{0{,}12}$$

$$S_2 = 0{,}86 * 1{,}0 * 1{,}0284 \rightarrow \boldsymbol{S_2 = 0{,}88}$$

Para o fator estatístico S_3, foi considerado o grupo 3 que se refere a edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação, conforme item 5.4 da ABNT NBR 6123:1988 - forças devidas ao vento em edificações. Desta forma, tem-se o fator S3 com o valor de 0,95. Com o valor da velocidade básica do vento (V0) e dos fatores S1, S2 e S3 determinados, utiliza-se a Equação 1 para calcular o valor referente a velocidade característica do vento (Vk).

$$V_k = V_0 * S_1 * S_2 * S_3 \rightarrow V_k = 35\,\frac{m}{s} * 1{,}084 * 0{,}88 * 0{,}95 \rightarrow \boldsymbol{V_k = 38{,}776\,\frac{m}{s}}$$

Em sequência, utiliza-se a Equação 3 para determinar a pressão dinâmica exercida pelo vento de velocidade característica de 38,776 m/s.

$$q = 0{,}613 * {V_k}^2 \rightarrow q = 0{,}613 * 38{,}776^{\,2} \rightarrow q = 921{,}7\ Pa$$

$$\boldsymbol{q = 0,9217\ kPa}$$

Como o totem digital tem uma forma de placa retangular, a força do vento sobre a estrutura será influenciada pelo coeficiente de força (Cf), que se refere a soma de todas as forças vetoriais causadas pela ação do vento sobre a estrutura. Desta forma, utiliza-se a Equação 5 e a Tabela 5, para determinação da força de vento atuante sobre a superfície da estrutura.

$$F = C_f * q * A \rightarrow\ F = 1{,}6 * 0{,}9217\ kPa * (5{,}4\ m * 3{,}352\ m)$$
$$F = 1{,}6 * 0{,}9217\ \left(\frac{kN}{m^2}\right) * 18{,}1008(m^2) \rightarrow \boldsymbol{F = 26,6936\ kN}$$

Após determinar o valor das forças devidas às ações atuante na estrutura do totem digital, prossegue-se para a análise das possíveis combinações de ações, de forma a encontrar a situação mais crítica para a estabilidade e segurança da estrutura.

4.5 Combinação de Ações

De acordo com a ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios; as combinações das ações devem ser feitas de modo que possam ser consideradas as situações mais críticas, ou seja, os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura; e que tenham probabilidade de atuarem simultaneamente num determinado período de tempo. Os coeficientes de ponderação e os fatores de combinação relacionados às ações permanentes e variáveis levam em conta a variabilidade dessas ações, a simultaneidade de sua atuação, e as potenciais falhas na avaliação dos efeitos gerados por essas ações.

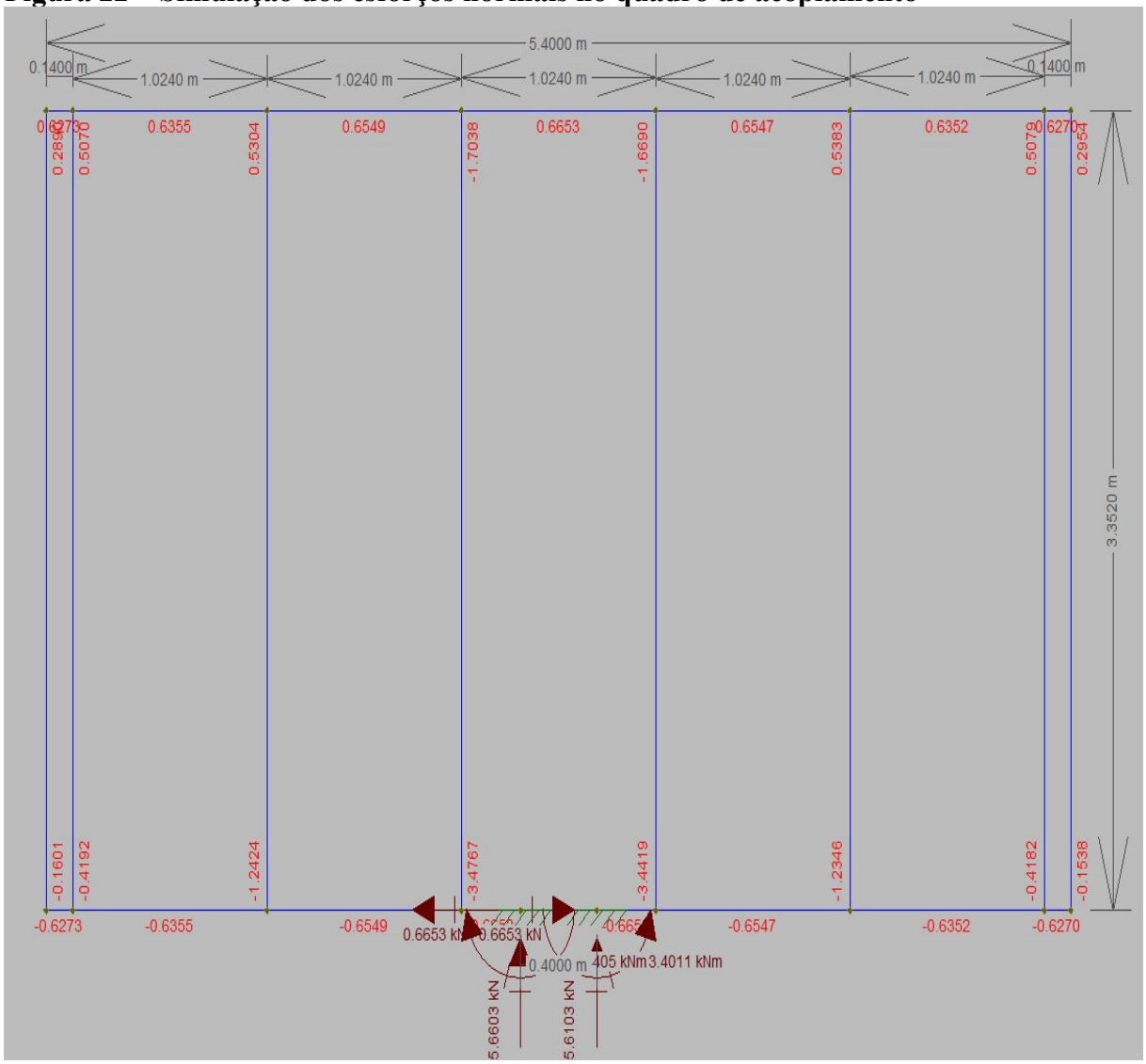
"Em cada combinação devem estar incluídas as ações permanentes e a ação variável principal, com seus valores característicos e as demais ações variáveis, consideradas secundárias, com seus valores reduzidos de combinação" (ABNT, 2008, p.19).

Como informado anteriormente, o projeto do quadro de acoplamento dos gabinetes em LED foi fornecido pela empresa que forneceu os gabinetes de painéis de LED, trazendo uma nota que informava que o projeto deve ser verificado e aprovado pelo engenheiro responsável pelo serviço de fabricação e instalação. Desta forma, a análise das ações atuantes na estrutura, e suas possíveis combinações, será dividida em duas partes. No primeiro momento avaliaremos o quadro de acoplamento dos gabinetes em LED isoladamente; em sequência, faremos as verificações da estrutura de ligação do quadro à torre de sustentação.

4.5.1 Combinação das ações no quadro de acoplamento dos gabinetes de LED

Com base nas Figuras 12 e 15, que demonstram o projeto da estrutura do quadro de acoplamento dos gabinetes em LED; foi elaborado o Diagrama de Corpo Livre (DCL) da estrutura no software Ftool, de modo a analisar qual o elemento mais solicitado no arranjo. O resultado da simulação para os esforços normais é apresentado na Figura 22 abaixo.

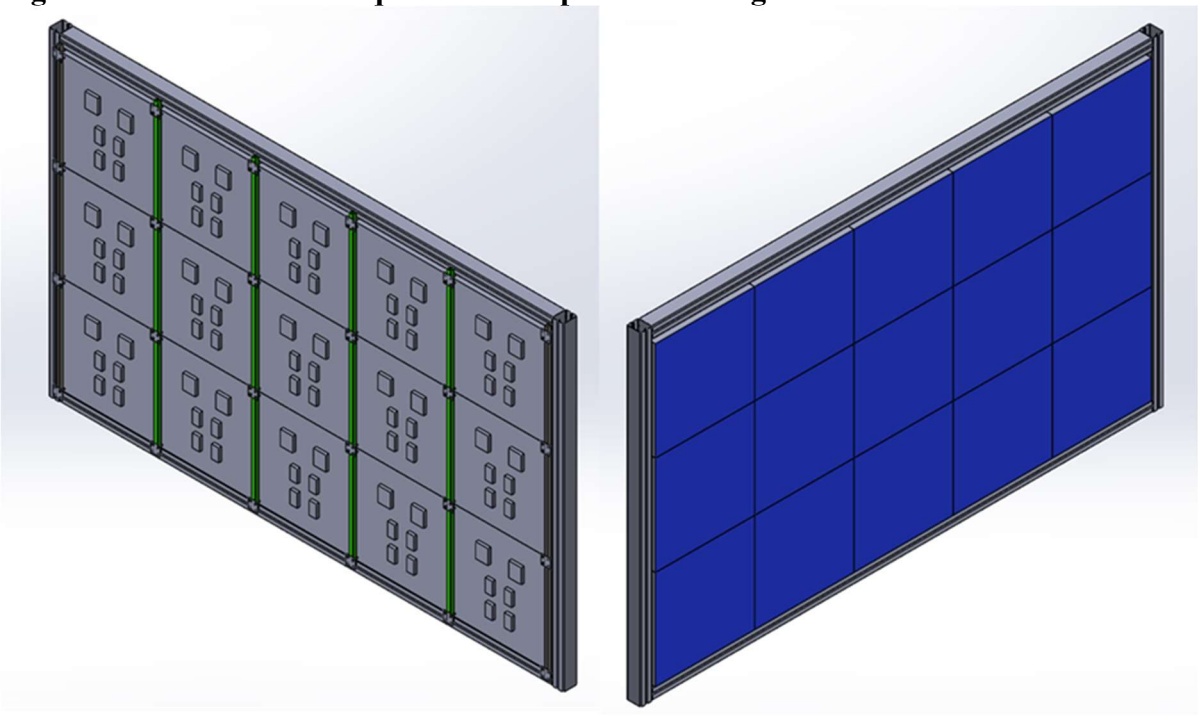
Figura 22 – Simulação dos esforços normais no quadro de acoplamento



Fonte: Os autores, 2023.

Analisando a Figura 22 acima, é possível observar que os elementos mais solicitados são as quatros colunas internas de fixação do gabinete, mais especificamente as duas centrais. Tendo que suportar, além do seu peso próprio, a metade do peso de 6 gabinetes nelas acoplados e os elementos para fixação, o que resulta na carga permanente de peso próprio do conjunto de 0,5289 kN*m distribuída axialmente nos 3,212 metros de comprimento da barra das colunas, totalizando uma carga total de 1,6988 kN. Esta carga inflige uma ação de compressão nas barras, sendo mais notável nas colunas centrais devido à proximidade dos pontos de apoios e, consequentemente; suas reações. Na Figura 23 a seguir, é apresentada a montagem dos componentes na estrutura do quadro de acoplamento em modelo 3D no *software SolidWorks*, destacando as 4 colunas internas de fixação.

Figura 23 – Modelo 3D do quadro de acoplamento dos gabinetes de LED



Fonte: Os autores, 2023.

Nas cargas variáveis devidas à passarela de manutenção, apenas uma passarela está transmitindo cargas para as colunas internas de fixação dos gabinetes, dividindo-as com outros elementos da estrutura. A plataforma inferior está montada na viga inferior de perfil U enrijecido duplicado do quadro, sendo assim seus esforços não são transmitidos para as colunas de fixação, que são os elementos mais solicitados nesta análise.

Como a passarela superior está fixada em 12 pontos de apoio distintos, sendo 6 destes pontos de apoios as colunas internas de fixação dos gabinetes, a área efetiva da passarela suportada por apenas uma das quatros colunas internas de fixação, será a metade da área da passarela compreendida entre duas colunas de fixação).

$$A_{ef} = \frac{1{,}024\ m * 0{,}58\ m}{2} \rightarrow\ A_{ef} = 0{,}297\ m^2$$

Desta forma, a carga variável devida à passarela atuando sobre a coluna de fixação dos gabinetes de LED será:

$$CP = 0{,}297\ \cancel{m^2} * 5{,}0\ \frac{kN}{\cancel{m^2}} \rightarrow\ CP = 1{,}485\ kN$$

A segunda carga variável atuante no quadro de acoplamento é devida à força dos ventos. Focando a análise, novamente, sobre o elemento mais solicitado do arranjo, para determinar o valor da carga de vento atuante, deve-se identificar a porção de área correspondente a uma única coluna. Está área é equivalente a área ocupada pela metade de 6 gabinetes de LED, quantidade de gabinetes fixados em uma única coluna.

$$A_{ef} = \frac{1{,}024\ m * 1{,}024\ m}{2} * 6 \rightarrow\ A_{ef} = 3{,}1457\ m^2$$

Relacionando essa área com a pressão dinâmica exercida pelo vento e o coeficiente de força (Cf), obtém-se o valor da carga variável devida ao vento, que pode ser considerada de vento de sobrepressão como de vento de sucção:

$$F = 1{,}6 * 0{,}9217 \left(\frac{kN}{\cancel{m^2}}\right) * 3{,}1457\cancel{m^2} \rightarrow F = 4{,}64kN$$

Com as cargas determinadas e utilizando a Equação 6 e coeficientes de ações para estruturas metálicas informados nos Quadros 1, 2 e 3, foram montadas as seguintes combinações:

1) Combinação 01 → F_{d1} = 1,25 * (P.P.)
   F_{d1} = 1,25 * 1,6988 → F_{d1} = 2,1235 kN

2) Combinação 02 → F_{d2} = 1.25 * (P.P.) + 1.3 * (S.C.) + 1.4 * 0,6 * (V. $_{sob.}$)
   F_{d2} = 1,25 * 1,6988 + 1.3 * 1,485 + 1.4 * 0,6 * 4,64 → F_{d2} = 7,9516 kN

3) Combinação 03 → F_{d3} = 1.25 * (P.P.) + 1.3 * (S.C.) - 1.4 * 0,6 * (V. $_{suc.}$)
   F_{d3} = 1,25 * 1,6988 + 1.3 * 1,485 + 1.4 * 0,6 * (- 4,64) → F_{d3} = 0,1564 kN

4) Combinação 04 → F_{d4} = 1.25 * (P.P.) + 1.4 * (V. $_{sob.}$) + 1.3 * 0,6 * (S.C.)
   F_{d4} = 1.25 * 1,6988 + 1.4 * 4,64 + 1.3 * 0,6 * 1,485 → F_{d4} = 9,7778 kN.

5) Combinação 05 → F_{d5} = 1.25 * (P.P.) - 1.4 * (V. $_{suc.}$) + 1.3 * 0,6 * (S.C.)
   F_{d5} = 1.25 * 1,6988 - 1.4 * 4,64 + 1.3 * 0,6 * 1,485 → F_{d5} = - 3,2142 kN.

Onde:

- PP = Peso próprio (coluna de fixação + gabinetes de LED + parafusos e chapa);
- SC = Sobrecarga (passarela de manutenção);
- V. $_{sob.}$ = Vento de sobrepressão (na face frontal dos gabinetes de LED).
- V. $_{suc.}$ = Vento de sucção (na face frontal dos gabinetes de LED).

Nesta análise foram realizadas cinco combinações, como descrito a seguir:

1º. Combinação: somente dos coeficientes para as ações permanentes, ação de peso próprio.
2º. Combinação: considerou-se, além do peso próprio, as ações variáveis de sobrecarga e do vento de sobrepressão; sendo a sobrecarga a ação variável principal.
3º. Combinação: prossegue-se como na segunda combinação, porém considerando o vento de sucção na carga da ação variável secundária.
4º. Combinação: considerou-se, além do peso próprio, as ações variáveis do vento de sobrepressão e a sobrecarga como ação variável secundária.
5º. Combinação: prossegue-se como na quarta combinação, porém considerando o vento de sucção na carga da ação variável principal.

4.5.2 Critério da análise estrutural do quadro de acoplamento à torre de sustentação

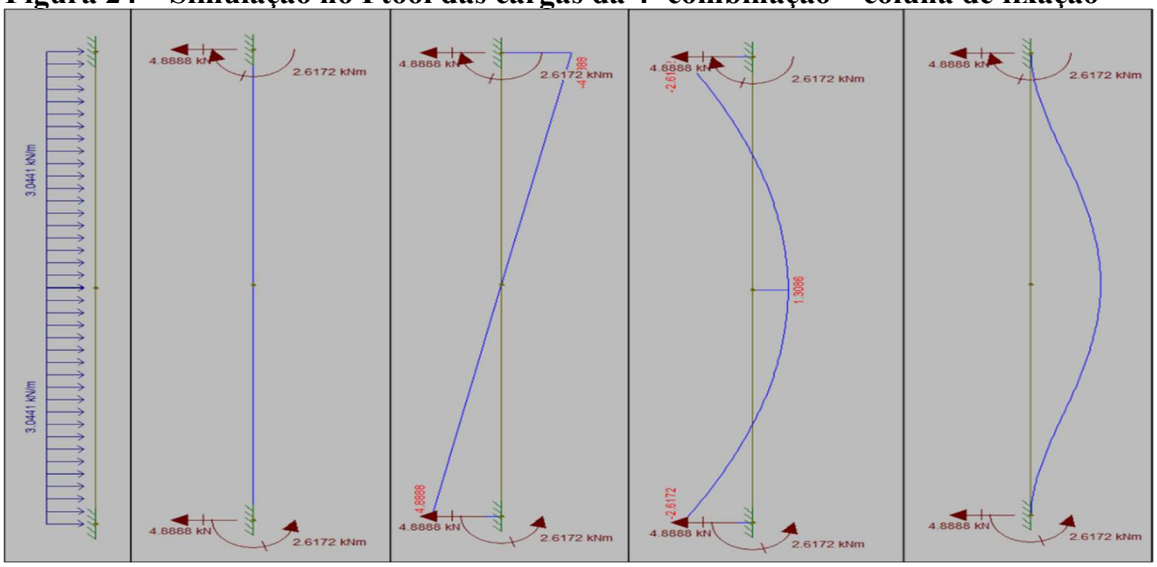
Segundo a norma ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, a finalidade da análise estrutural consiste na determinação dos efeitos provocados pelas ações atuantes na estrutura, com o propósito de realizar verificações baseadas nos critérios de Estado Limite Último (ELU), onde é fundamental que os esforços resistentes sejam superiores ou, no mínimo, equivalentes aos esforços solicitantes. Além disso, é necessário atentar para o escopo do critério de Estado-Limite de Serviço (ELS),

o qual se concentra na prevenção de deslocamentos excessivos da estrutura, de forma a não ultrapassar os valores máximos admissíveis de deslocamentos verticais e horizontais.

Para determinar quais são os esforços solicitantes atuantes na estrutura, seus valores e natureza; deve-se utilizar a combinação de ações mais desfavorável prevista em toda a vida útil da estrutura. Nas combinações de ações realizadas separadamente para o quadro de acoplamento dos painéis de LED, a quarta combinação foi a que apresentou a situação mais desfavorável para a estrutura, com uma carga de 9,778 kN aplicada sobre as barras das colunas internas de fixação dos gabinetes.

Desta forma, deve-se aplicar a carga encontrada sobre a estrutura e determinar os esforços solicitantes provocados nos elementos da estrutura. Os resultados das simulações são apresentados nas Figuras 24 e 25 a seguir.

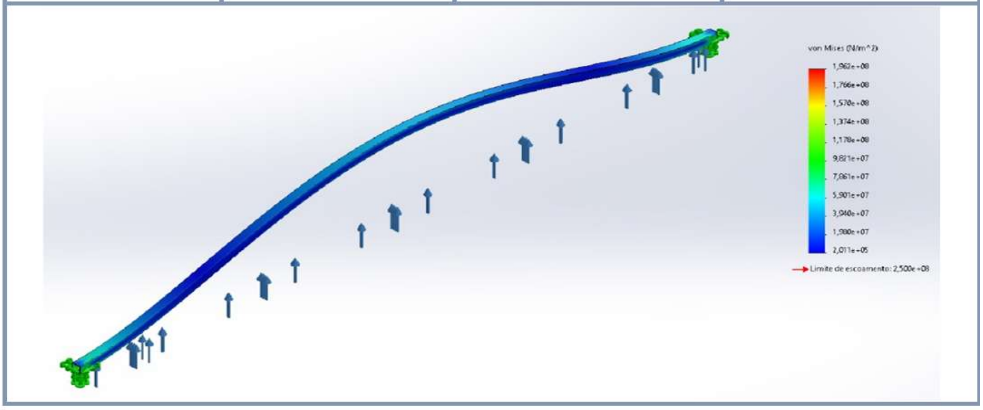
Figura 24 – Simulação no Ftool das cargas da 4ª combinação – coluna de fixação



Legenda: Aplicação da carga; Esforços normais, Esforços cortantes, Momento fletor e Deslocamento.
Fonte: Os autores, 2023.

Figura 25 – Simulação no SolidWorks das cargas da 4ª combinação – coluna de fixação

Nome	Tipo	Mín.	Máx.
Stress	VON: tensão de von Mises	2,011e+05N/m^2 Nó: 15790	1,962e+08N/m^2 Nó: 19989



Nome	Tipo	Mín.	Máx.
Displacement	URES: Deslocamento resultante	0,000e+00mm Nó: 1	6,881e+00mm Nó: 1840

Fonte: Os autores, 2023.

A análise estrutural se divide em dois estados fundamentais: o Estado Limite Último (ELU) e o Estado Limite de Serviço (ELS). O ELU visa assegurar que os esforços resistentes na estrutura sejam iguais ou superiores aos esforços atuantes.

Já o ELS concentra-se na prevenção de deslocamentos excessivos, que possam comprometer sua estabilidade e integridade da estrutura ao longo do tempo (ABNT, 2008, p.115). Os valores dos esforços solicitantes e dos deslocamentos para a coluna interna de fixação dos gabinetes de painéis de LED, são confrontados com os esforços resistentes na Tabela 7 a seguir.

Tabela 7 – Comparação entre os esforços solicitantes e esforços resistentes da coluna

COLUNA DE FIXAÇÃO DOS GABINETES				
	Força Normal (kN)	**Força Cortante (kN)**	**Momento Fletor (kN.m)**	**Deslocamento (mm)**
Sd	0	2,6172	2,6172	6,881
Rd	0	10,36	22500	26,7667
Sd/Rd	0%	25%	0%	26%
ELU - Rd ≥ Sd				**ELS - L/120**

Fonte: Os autores, 2023.

Analisando os valores das cargas da Tabela 7, conclui-se que o arranjo estrutural do quadro de acoplamento, cujo elemento mais desfavoravelmente solicitado é a coluna interna de fixação dos gabinetes de painéis de LED, atende perfeitamente os critérios dos Estado Limite Último (ELU) e Estado Limite de Serviço (ELS) requeridos pela norma ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios; estando, desta forma; a estrutura aprovada conforme o requisitos dimensionais de projeto.

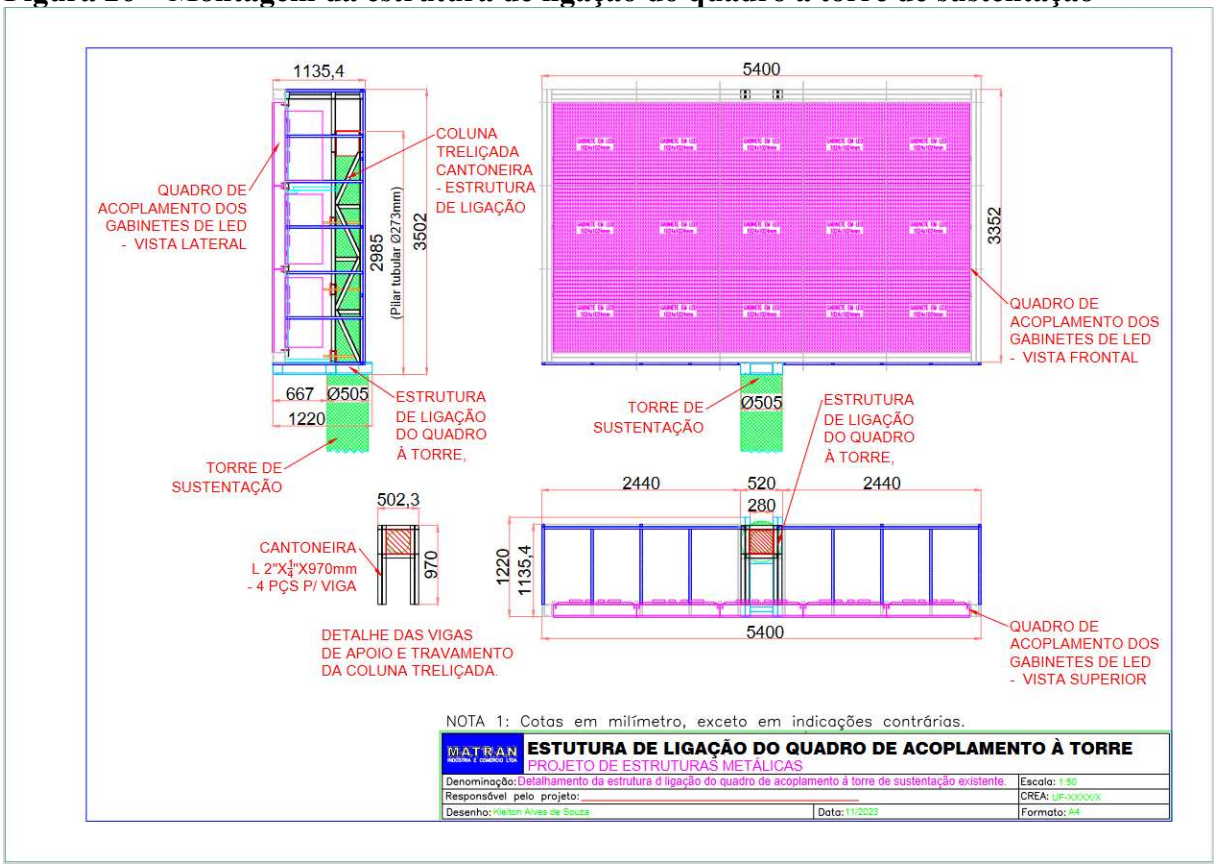
4.5.3 Combinação das ações na estrutura de ligação do quadro de acoplamento à torre

Como a estrutura de ligação está montada na parte posterior do quadro de acoplamento, entre o quadro e a torre de sustentação; toda a carga de vento atuando na montagem do quadro de acoplamento com os 15 gabinetes de LED, será transmitida para a estrutura de ligação.

Nesta análise, iremos desconsiderar todo o arranjo estrutural do quadro de acoplamento montado, substituindo-o por uma carga pontual equivalente ao peso próprio total desta estrutura. Esta carga será posiciona na extremidade do par de vigas de perfil U enrijecido duplicadas, que funciona como apoio para o quadro de acoplamento enquanto se apoia sobre a seção de maior diâmetro da torre de sustentação.

Já as cargas de peso próprio da estrutura de ligação e a carga proveniente da passarela de manutenção, seguem para o par de vigas de perfil U enrijecido duplicadas através da coluna treliçada de cantoneiras duplicadas que envolve a torre de sustentação, como demonstrado na Figura 26 a seguir.

Figura 26 – Montagem da estrutura de ligação do quadro à torre de sustentação



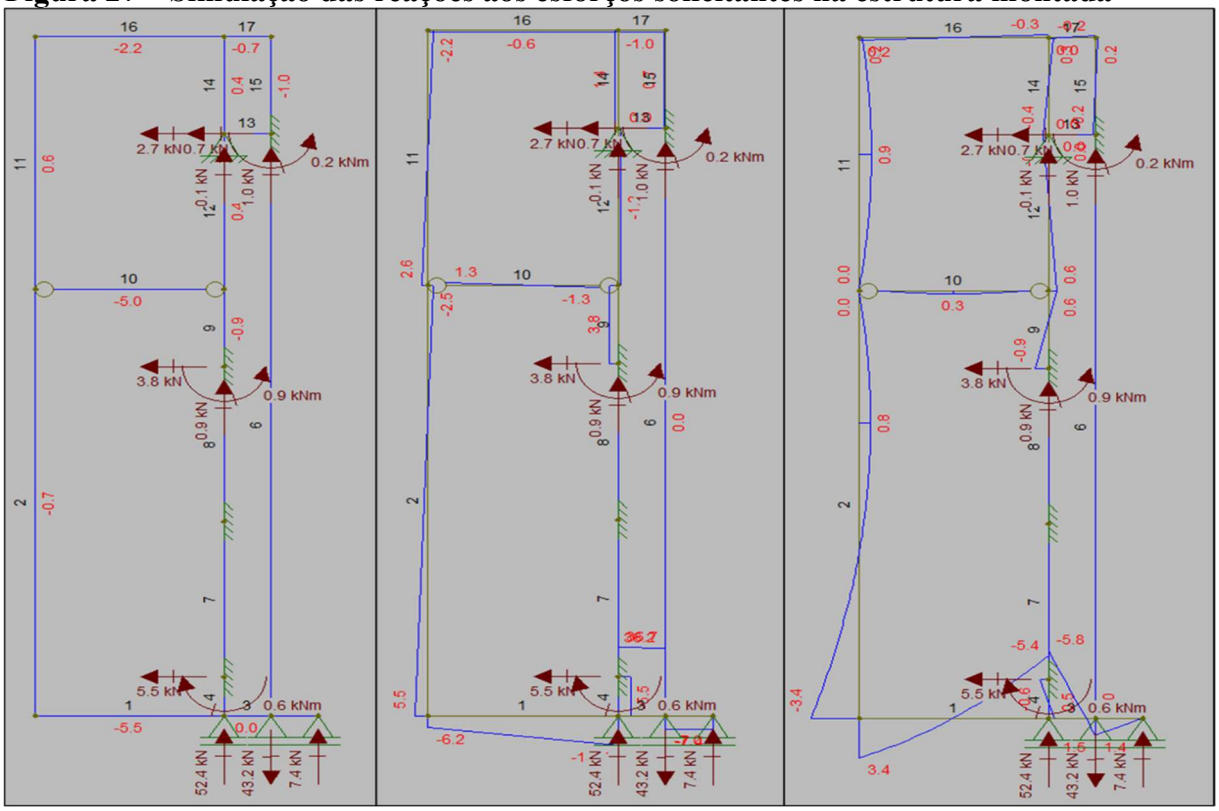
Fonte: Os autores, 2023.

Observando a Figura 26 acima, nota-se que a parte posterior do quadro de acoplamento encontra-se encapsulada por uma estrutura semelhante a uma gaiola, formada por tubos quadrados de dimensões 30X30X2,0mm e destacada na cor azul escuro. Essa estrutura não foi projetada com função estrutural de apoio e/ou fixação da estrutura do quadro de acoplamento; sua funcionalidade se assemelha ao de uma estrutura de guarda-corpos, reduzindo o risco de queda dos trabalhadores que acessarão as plataformas para serviços de manutenção nos gabinetes de LED.

O mesmo entendimento se aplica às barras para instalação da passarela de manutenção, que deve ter uma análise estrutural realizada a parte, porém as cargas provenientes do seu uso devem ser consideradas na avaliação da estrutura de ligação. Desta forma, estes elementos, gaiola e passarela; não serão considerados na análise dos componentes mais desfavoravelmente solicitados.

Como seria imprudente estipular qual dos elementos está mais solicitado sem realizar nenhum cálculo, e de modo a simplificar o processo, foi montado o Diagrama de Corpo Livre (DCL) da estrutura montada completa no software *Ftool,* onde foi simulado os esforços atuantes na estrutura com o intuito de determinar qual o elemento mais solicitado no arranjo, da mesma forma que realizado para o quadro de acoplamento. O resultado da simulação para os esforços solicitantes é apresentado na Figura 27 a seguir.

Figura 27 – Simulação das reações aos esforços solicitantes na estrutura montada



Legenda: Esforços normais; Esforços cortantes e Momento fletor, respectivamente.
Fonte: Os autores, 2023.

Analisando a Figura 27, podemos observar que os elementos mais solicitados, no arranjo estrutural; são os itens 1, 10 e 16, que se referem, respectivamente; aos elementos: 1 - par de vigas de perfil U enrijecido duplicadas, 10 – barra de apoio da passarela superior, e 16 – par de vigas de cantoneiras quadruplicadas do apoio e fixação na coluna treliçada. Como a barra de apoio da passarela não exerce função estrutural para a montagem da estrutura na torre de sustentação, iremos desconsiderar este elemento e prosseguir com a avaliação dos outros dois.

Na simulação realizada, o par de vigas de cantoneiras quadruplicadas do apoio e fixação na coluna treliçada apresenta um resultado impreciso, em virtude das restrições inerentes aos perfis e seções disponíveis na biblioteca do software *Ftool*.

Essa viga será formada por quatro cantoneiras formando um arranjo cruzado, porém não é possível representar esta concepção no *Ftool*, desta forma foi adota o arranjo mais semelhante, cantoneiras duplicadas que apresentam apenas 2 barras e, consequentemente, a metade da resistência. Desta forma, também desconsideraremos este elemento e focaremos nossa análise sobre o par de vigas de perfil U enrijecido duplicadas.

Tratando isoladamente o peso total da estrutura do quadro de acoplamento com os 15 gabinetes de LED montados, este será aplicada na extremidade do par de vigas duplicadas. Simplificando o valor das cargas para uma única viga, terremos em sua extremidade uma carga permanente concentrada igual a Q_1=5,4624 kN.

Utilizando o mesmo tratamento para o peso da estrutura de ligação, com exceção do elemento em análise; teremos uma segunda carga permanente concentrada posiciona a 71 cm do início da viga, com um valor de Q_2=2,3518kN.

Finalizando o levantamento das cargas permanentes no elemento em estudo, temos o valor referente ao peso próprio da viga de perfil U enrijecido duplicada de PP=0,201 kN, distribuído pelo comprimento de 1,22 metros (PP=0,16475 kN/m).

Nas cargas variáveis devidas ao uso da passarela de manutenção, sobre uma única viga de perfil U enrijecido; será aplicada uma carga variável distribuída equivalente a G_1=24,66 kN/m em um comprimento de 0,635 metro (G_1=15,66 kN), localizado entre os pontos de aplicação de Q_1 e Q_2.

A segunda carga variável atuante na estrutura é devida à força dos ventos. Da mesma forma que foi realizado na análise do quadro de acoplamento, para determinar o valor da carga de vento atuante, devemos identificar a porção de área correspondente a uma única viga. Como temos um par de vigas para suportar toda a estrutura do quadro de acoplamento, a área de influência de uma viga será a metade da área total do quadro.

$$A_{ef} = \frac{5{,}4\ m * 3{,}352\ m}{2} \rightarrow\ A_{ef} = 9{,}0504\ m^2$$

Relacionando essa área com a pressão dinâmica exercida pelo vento e o coeficiente de força (Cf), obtém-se o valor da carga variável devida ao vento:

$$F = 1{,}6 * 0{,}9217\ \left(\frac{kN}{\cancel{m^2}}\right) * 9{,}0504\ \cancel{m^2} \rightarrow F = 13{,}3468kN$$

Com os valores das cargas permanentes e variáveis, e utilizando a Equação 6 e os coeficientes de ações para estruturas metálicas informados nos Quadros 1, 2 e 3, segue-se para as combinações das cargas atuantes na estrutura.

1) F_{d1} = 1,5 * (Q_1) + 1,25 * (Q_2) + 1,25 * (P.P.)
   F_{d1} = 1,5 * 5,4624 + 1,25 * 2,3518 + 1,25 * 0,201 → F_{d1} = 11,3846 kN

2) F_{d2} = 1,5 * (Q_1) + 1,25 * (Q_2) + 1,25 * (P.P.) + 1,3 * (G_1) + 1.4 * 0,6 *(V. $_{sob.}$)
   F_{d2} = 1,5 * 5,4624 + 1,25 * 2,3518 + 1,25 * 0,201 + 1,3 * 15,66 + 1.4 * 0,6 * 13,3468
   F_{d2} = 42,954 kN

3) F_{d3} = 1,5 * (Q_1) + 1,25 * (Q_2) + 1,25 * (P.P.) + 1,3 * (G_1) - 1.4 * 0,6 *(V. $_{suc.}$)
   F_{d3} = 1,5 * 5,4624 + 1,25 * 2,3518 + 1,25 * 0,201 + 1,3 * 15,66 - 1.4 * 0,6 * 13,3468
   F_{d3} = 20,5313 kN

4) F_{d4} = 1,5 * (Q_1) + 1,25 * (Q_2) + 1,25 * (P.P.) + 1.4 *(V. $_{sob.}$) + 1,3 * 0,6 * (G_1)
   F_{d4} = 1,5 * 5,4624 + 1,25 * 2,3518 + 1,25 * 0,201 + 1,4 * 13,3468 + 1,3 * 0,6 * 15,66
   F_{d4} = 42,285 kN

5) F_{d5} = 1,5 * (Q_1) + 1,25 * (Q_2) + 1,25 * (P.P.) - 1.4 *(V. $_{suc.}$) + 1,3 * 0,6 * (G_1)
   F_{d5} = 1,5 * 5,4624 + 1,25 * 2,3518 + 1,25 * 0,201 - 1,4 * 13,3468 + 1,3 * 0,6 * 15,66
   F_{d5} = 4,9138 kN

Onde:

- Q_1 = Peso próprio de equipamentos (quadro de acoplamento com os gabinetes de LED);
- Q_2 = Peso próprio (estrutura de ligação sem a viga de perfil U enrijecido duplicada);
- PP = Peso próprio (viga de perfil U enrijecido duplicada);
- G_1 = Sobrecarga (passarela de manutenção);
- V. $_{sob.}$ = Vento de sobrepressão;
- V. $_{suc.}$ = Vento de sucção.

Nesta análise foram realizadas cinco combinações, como descrito a seguir:

1º. Combinação: somente dos coeficientes para as ações permanentes, ação de peso próprio.
2º. Combinação: considerou-se, além do peso próprio, as ações variáveis de sobrecarga e do vento de sobrepressão; sendo a sobrecarga a ação variável principal.
3º. Combinação: prossegue-se como na segunda combinação, porém considerando o vento de sucção na carga da ação variável secundária.
4º. Combinação: considerou-se, além do peso próprio, as ações variáveis do vento de sobrepressão e a sobrecarga como ação variável secundária.
5º. Combinação: prossegue-se como na quarta combinação, porém considerando o vento de sucção na carga da ação variável principal.

Com as combinações mais críticas de ambas as estruturas determinadas, prosseguimos para a verificação dos elementos estruturais conforme diretrizes da ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.

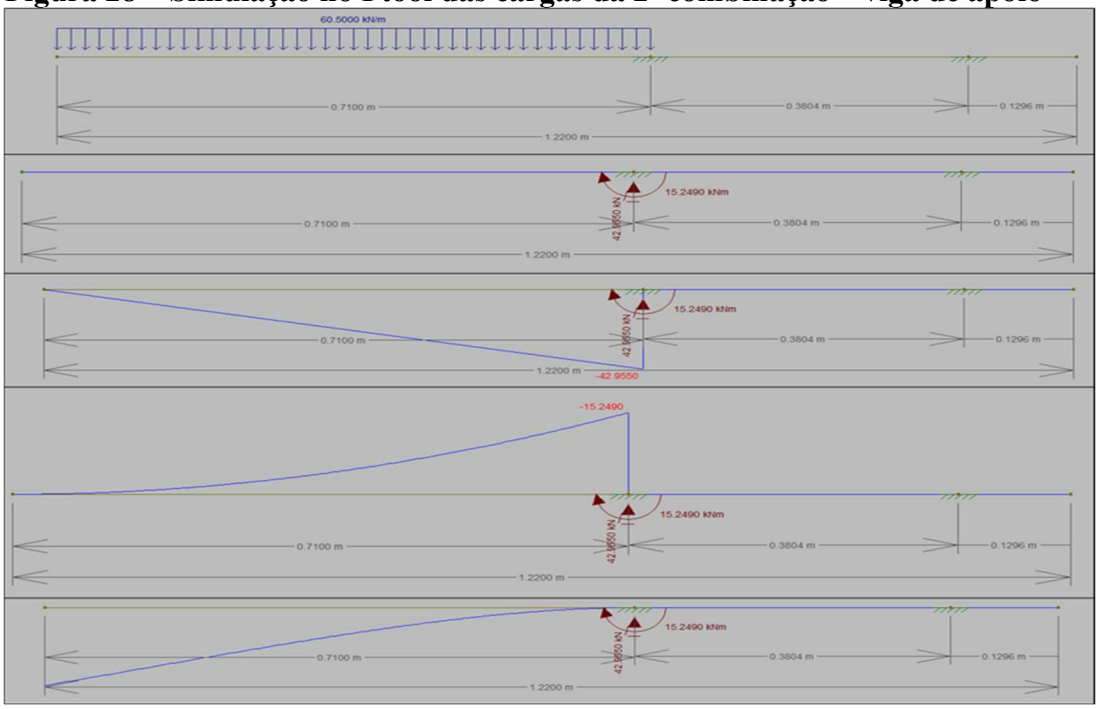
4.5.4 Critério da análise estrutural da estrutura de ligação do quadro à torre

Com o propósito de realizar verificações baseadas nos critérios de Estado Limite Último (ELU) e do Estado-Limite de Serviço (ELS), conforme diretrizes da norma ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, repete-se os procedimentos da seção 4.5.2, para determinar quais são os esforços solicitantes atuantes na estrutura de ligação do quadro de acoplamento à torre de sustentação.

Conforme análise anterior, para a estrutura de ligação, o elemento estrutural das vigas de perfil U enrijecido duplicada, é o que está submetido ao maior valor de esforço solicitante, sendo assim; foi determinada a segunda combinação como sendo a condição mais desfavorável para o elemento, onde foi encontrada uma carga de 42,954kN.

Assim, prossegue-se para a aplicação dessa carga no diagrama de corpo livre da viga, para determinar os esforços solicitantes na estrutura. Os resultados das simulações para o elemento estrutural são apresentados nas Figuras 28 e 29 a seguir.

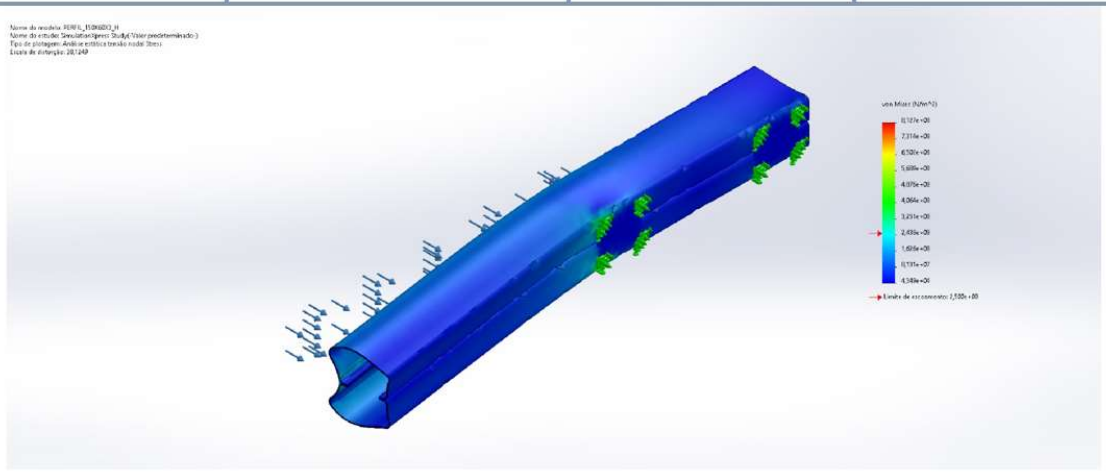
Figura 28 – Simulação no Ftool das cargas da 2ª combinação – viga de apoio



Legenda: Aplicação da carga; Esforços normais, Esforços cortantes, Momento fletor e Deslocamento.
Fonte: Os autores, 2023.

Figura 29 – Simulação no SolidWorks das cargas da 2ª combinação – viga de apoio

Nome	Tipo	Mín.	Máx.
Stress	VON: tensão de von Mises	4,349e+04N/m^2 Nó: 14639	8,127e+08N/m^2 Nó: 27914



PERFIL_150X60X3_H-SimulationXpress Study-Tensão-Stress

Nome	Tipo	Mín.	Máx.
Displacement	URES: Deslocamento resultante	0,000e+00mm Nó: 127	3,223e+00mm Nó: 24480

Fonte: Os autores, 2023.

Seguindo novamente o mesmo procedimento da seção 4.5.2, realiza-se as verificações dos resultados obtidos quanto ao atendimento dos Estado Limite Último (ELU) e o Estado Limite de Serviço (ELS), conforme preconiza a norma ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.

Os valores dos esforços solicitantes e dos deslocamentos para a viga de apoio do quadro de acoplamento, são confrontados com os esforços resistentes na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8 – Comparação entre os esforços solicitantes e esforços resistentes da viga

VIGA DE PERFIL U ENRIJECIDO DUPLICADO				
	Força Normal (kN)	**Força Cortante (kN)**	**Momento Fletor (kN.m)**	**Deslocamento (mm)**
Sd	0	42,955	15,249	3,223
Rd	0	61,363	297729	10,1667
Sd/Rd	0%	70%	0%	32%
ELU - Rd ≥ Sd				**ELS - Sser ≤ Slim**

Fonte: Os autores, 2023.

Analisando os valores das cargas da Tabela 8, conclui-se que o arranjo estrutural da estrutura de ligação à torre, cujo elemento mais desfavoravelmente solicitado é a viga de apoio do quadro de acoplamento, atende perfeitamente os critérios dos Estado Limite Último (ELU) e Estado Limite de Serviço (ELS) requeridos pela norma ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios; estando, desta forma; a estrutura aprovada conforme o requisitos dimensionais de projeto.

CONCLUSÕES

Este artigo apresenta um estudo numérico, auxiliado pelos softwares de análise estrutural, que simulam os esforços solicitantes provocados pelas ações atuantes ne uma estrutura metálica para suportar totens de identificação eletrônicos instalado em meio urbano. Com destaque a importância de um projeto estrutural meticuloso, considerando as propriedades do aço, as cargas de vento e as normas técnicas aplicáveis.

Abordou as ações do vento, destacando a importância da velocidade do vento e fornecendo equações específicas para cálculo. A análise das forças do vento, considerando os fatores topográficos, de rugosidade e estatísticos, é crucial para a segurança estrutural. A pesquisa enfatiza a importância das combinações de ações na análise estrutural, conforme estabelecido pela NBR 8800:2008. A ponderação das ações baseada na probabilidade e severidade é crucial para determinar os carregamentos em uma estrutura.

O objetivo é demonstrar a distribuição de esforços solicitantes nas barras da estrutura e verificar se o arranjo estrutural está devidamente dimensionado para resistir aos efeitos das ações atuantes, principalmente; a devida às forças dos ventos da cidade de Betim – MG.

Quanto à análise estrutural específica realizada no estudo de caso, apresentou-se uma metodologia do uso combinado dos softwares SolidWorks e Ftool. A pesquisa proporcionou uma avaliação detalhada do quadro de acoplamento dos gabinetes em LED e da estrutura de ligação à torre de sustentação.

A comparação dos resultados obtidos através dos softwares e das prescrições normativas das normas ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, e da ABNT NBR 6123:1988 - forças devidas ao vento em edificações; mostrou que os resultados são similares, com pequenas variações inferiores a 3%. No entanto, os softwares fornecem informações mais detalhadas sobre a distribuição de esforços na estrutura, o que pode ser útil para a tomada de decisões durante o projeto.

Nas avaliações quanto ao Estado Limite Último, os esforços solicitantes na coluna de fixação dos gabinetes atingiram apenas 25% do valor dos esforços resistentes para força cortante, os esforços solicitantes de força normal e momento fletor foram tão baixos, que não atingiram nem 1% do valor dos esforços resistentes para estas respectivas ações. Já para a análise do Estado Limite de Serviço, o deslocamento atuante atingiu 26% do valor máximo permitido.

Para a viga de apoio do quadro, nas avaliações quanto ao Estado Limite Último, os esforços solicitantes atingiram 70% do valor dos esforços resistentes para força cortante, enquanto os esforços solicitantes de força normal e momento fletor não atingiram nem 1% do valor dos esforços resistentes para estas respectivas ações. O deslocamento atuante na estrutura atingiu 32% do valor máximo permitido, conforme estipulado pelo Estado Limite de Serviço.

A pesquisa concluiu que ambas as estruturas metálicas são capazes de suportar as ações atuantes na estrutura com segurança, sem que ocorram falhas estruturais. Os deslocamentos calculados para a estrutura estão dentro dos limites aceitáveis da norma ABNT NBR 8800:2008 - projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.

Apesar de a estrutura ter atendido aos requisitos de projeto, é recomendado que sejam realizadas simulações computacionais mais detalhadas, considerando as condições específicas de instalação e uso da estrutura. Isso pode ajudar a identificar possíveis problemas que não foram observados nas análises realizadas neste trabalho. Além disso, é importante que a estrutura seja monitorada periodicamente para detectar possíveis danos ou deterioração dos materiais.

As conclusões principais reforçam a viabilidade das estruturas metálicas para sustentar painéis de LED em ambientes urbanos, mas ressaltam a necessidade de um projeto estrutural cuidadoso, considerando as ações do vento como um dos principais fatores de carga.

Os resultados da pesquisa contribuem para o conhecimento sobre o projeto de estruturas metálicas, e podem ser úteis para engenheiros e projetistas que trabalham com este tipo de estrutura.

Engenheiros e profissionais envolvidos em projetos de estruturas metálicas devem seguir rigorosamente as normas técnicas aplicáveis para garantir a segurança das estruturas. Também devem considerar os efeitos climáticos locais ao definir o arranjo estrutural, adaptando o projeto para resistir eficazmente às condições específicas da região.

Em resumo, o artigo oferece uma contribuição valiosa para a compreensão e implementação de estruturas metálicas para suporte de painéis de LED em ambientes urbanos. O foco na segurança, eficiência e conformidade com normas técnicas é destacado, com recomendações específicas para profissionais envolvidos nesse campo. A pesquisa pode servir como guia abrangente para futuros projetos nessa área, promovendo o desenvolvimento sustentável e seguro de infraestruturas urbanas com elementos de LED.

Como recomendações para trabalhos futuros, a pesquisa poderia ser aprimorada com a inclusão de algumas informações adicionais, tais como:

- Uma discussão mais detalhada sobre as limitações das simulações computacionais utilizadas na pesquisa;
- Uma análise mais detalhada dos resultados das simulações, considerando as condições específicas de instalação e uso da estrutura.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a orientadora Profª Sheila Loureiro do Centro Universitário UNA de Sete Lagoas por toda paciência e empenho durante o acompanhamento deste estudo, ao Coordenador Geral de Obras do Grupo SADA, Lindolfo Nunes Filho pela colaboração e disponibilidade em fornecer todos os dados e informações necessária para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APPOLINÁRIO, Fabio. **Metodologia da ciência: filosofia e prática da pesquisa** - 2. ed. - São Paulo: Cengage Learning, 2012.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123:** forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7188:**Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14323**: projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

AURICH, M. **Simulação computacional do comportamento do concreto nas primeiras idades.** Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

BAUERMANN, M. **Investigação sobre o processo de projeto em edifícios de andares múltiplos de aço**. 2002. Dissertação (Mestrado em Construção Metálica) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2002. 269 p

BRANCHIER, Henrique Scalcon. **Contribuições dos softwares na aprendizagem de análise e cálculo de elementos estruturais**. 2017. Trabalho de Conclusão decurso - UNIVATES - Universidade do Vale do Taquari, Lajeado/RS.

BUDYNAS, R. G. **Elementos de Máquinas de Shigley**. 8.Ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

CALORI, Chris; VANDEN-EYNDEN, David. Signage and Wayfinding Design: **A Complete Guide to Creating Environmental Graphic Design Systems**. 2ª ed. Wiley, 2015. ISBN: 978-1118692991.

CARVALHO, Loyane Nunes Martins. **Análise de galpão em estrutura metálica: Avaliação das ações do vento típicas para as diversas regiões brasileiras.** Brasília, 2017. Disponível em: https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/prefix/13246/1/21455204.pdf. Acesso em: 03 out.2023.

CASTRO, Eduardo Mariano Cavalcante de. **Patologia dos edifícios em estrutura metálica.** 1999. 202 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1999.

CLIMA TODAY. Betim, MG. Disponível em:https://www.clima.today/BR/MG/Betim/. Acessado em: 17/11/2023.

COSTA, F. S. et al. **Simulação virtual na engenharia civil: estudo de caso emprojeto de andaime**. Revista UNIABEU, Belford Roxo, v. 7, n. 17, p. 175-186,2017.

CUNHA, Márcio Roberto da; MOURA, Everton Rodrigo de. **Análise da classificação dos blocos de coroamento sobre estacas quanto à sua rigidez, à luz do CEB-70 e da NBR 6118/2014.** In: 10º Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, 9-11 de maio de 2018, Rio de Janeiro, RJ.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Eurocode 1: **Actions on structures - Part 1-5: General actions - Thermal actions**. Brussels: CEN, 2003.

FLEURY, T.; WERLANG, S.R. C. **Pesquisa aplicada: conceitos e abordagens**. GV Pesquisa – Anuário de Pesquisa 2016-2017, São Paulo, n. 5, p. 10-15, 2017.

FTOOL - **Two-dimensional Frame Analysis** Tool. Rio de Janeiro, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.tecgraf.puc-rio.br/ftool/. Acesso em: 10 de setembro de 2023

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa** - 4. ed. - São Paulo: Atlas, 2002.

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

GUINZELLI, Adriano José. **Projeto estrutural de uma edificação residencial com estrutura metálica.** Pato Branco, 2017. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/15182/1/PB_DAMEC_2017_1_01.pdf. Acesso em: 03 out.2023.

LEÃO, M.; ARAGÃO, M. **Forças devido ao vento em edificações**, Apostila do curso de estruturas metálicas do Instituto Militar de Engenharia. 2013.

MARTINS, Gilberto de Andrade. **Estudo de caso: uma estratégia de pesquisa** – 2. ed. – 2. reimpr. – São Paulo: Atlas, 2008.

MBCEM, - **Manual Brasileiro para Cálculo de Estruturas Metálicas**. Volume I. Brasília. Graphilivros Editores Ltda. 1989. 416p.

MENDONÇA, A. W.; MOELLWALD, M. C. E.; MAGO, D. D. **Metodologia para estudo de caso: livro didático** – Palhoça: UnisulVirtual, 2014.

MOREIRA, Amacin Rodrigues; CATAI, Rodrigo Eduardo; MAZER, Wellington. **Monitoramento de temperatura em pontes usando termografia: estudo de caso.** In: Revista Espacios, Vol. 44 (04), 2023, Art. 3. ISSN-L: 0798-1015. eISSN: 2739-0071 (Online). DOI: 10.48082/espacios-a23v44n04p03. Recibido/Received: 26/02/2023. Aprobado/Approved: 28/03/2023. Publicado/Published: 15/04/2023.

MORITANI, F.Y. ROMERA, G.S.F. VANALLI, L. FOGIGO, C. Análise numérica da distribuição de esforços em estruturas reticuladas de outdoors. **Revista interdisciplinar de pesquisa em engenharia: Cilamce 2016.** Brasília, DF, Brasil. nov. 2016. Disponível em: https://periodicos.unb.br/index.php/ripe/article/view/21015/19353. Acesso em: 03 out.2023.

NETO, Armando Aguiar de Souza Cruz. **Estudo do Fator de Redução da Resistência ao Escoamento do Aço de Perfis U Enrijecido em Situação de Incêndio.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, 2015.

NETO, Osmar Amaro da Rocha. **Estudo de caso: Análise estrutural da cobertura metálica de uma oficina situada em Rio Verde – GO.** Fev. 2020. Disponível em: https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/900. Acesso em: 03 out. 2023.

OLIVEIRA, Sílvio Luiz de. **Tratado de metodologia científica: projetos de pesquisas, TGI, TCC, monografias, dissertações e teses.** 4. ed. São Paulo: Pioneira, 2006**.**

PALOMO, G. P. M. JÚNIOR, S. S. F. **Projeto estrutural de um galpão industrial de estrutura metálica com mezanino**. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Rio de janeiro, 2016.

PEREIRA, L. M. **Aplicação de software CAD/CAE no dimensionamento e análise estrutural de andaimes**. Revista Científica do IFSC, São Carlos, v. 7, n.2, p. 39-52, 2020.

PFEIL, W., PFEIL M. **Estruturas de Aço – Dimensionamento Prático**. 8ºed. Rio de Janeiro, 2010.

PINHEIRO, Antonio Calors da Fonseca Bragança. **Estruturas Metálicas: cálculos, detalhes, exercícios e projetos.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

PRAVIA, Zacarias Martin Chamberlain; FICANHA, Ricardo Argenton; FABEANE, Ricardo. **Projeto e Cálculo de Estruturas de Aço: edifício industrial detalhado**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

SANTOS, L. C. M. **Utilização de software CAD/CAE no dimensionamento deandaimes:** estudo de caso em uma empresa de engenharia civil. 2021.

SP OUTDOOR. **Estruturas metálicas para publicidade**. Blog SP Outdoor, 2022. Disponível em: https://www.spoutdoor.com.br/blog/construcao-de-paineis/estruturas-metalicas-para-publicidade. Acesso em: 06/12/2023.

SOUZA, Antônio Carlos de; SPECK, Henderson José; GÓMEZ, Luis Alberto; ROHLEDER, Edison. **Solidworks 2003 - Modelagem Sólida**. Florianópolis: Editora Visual Books, 2003. p.218.

SOLIDWORKS - **Guia Prático para Modelagem Sólida. Florianópolis:** Visual Books, 2001. v. 1. 218 p. SOLIDWORKS BRASIL. Sobre SolidWorks, 2017. Disponível em: <http://www.solidworksbrasil.com.br/sw/6453_PTB_HTML.htm> Acesso em: 10 de outubro de 2023.

SPECK, Henderson José. **Avaliação comparativa das metodologias utilizadas em programas de modelagem sólida.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) PPGEP/UFSC. Florianópolis/SC, 2001.

STARLING, C. M. D. **Estrutura e propriedades mecânicas durante e após incêndios da solda de aços resistentes ao fogo para a construção civil**. 2000. Tese de Doutorado. Departamento de engenharia metalúrgica, Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2000.

TAVARES, J. M. FONSECA, R. S. OLIVEIRA, J. **Introdução ao Solidworks (X)**: Análisede Tensões de Peças - SimulationXpress, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2014.

TEIXEIRA, R.B. **Análise da gestão do processo de projeto estrutural de construções metálicas.** 2007. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2007. 248 p.

THOMAZ, E. **Trincas em Edifícios** – Causas, prevenção e recuperação. Pini, 1989.

VERGARA, Sylvia Constant. **Métodos de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas,1997.