



ANÁLISE ESTRUTURAL DE COBERTURA METÁLICA EM ARCO PARA ACRÉSCIMO DE SOBRECARGA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

¹Giovana Ribeiro Navarro; ² Eduardo Vedovetto Santos

¹*Discente do curso de Engenharia Civil, UNIPAR - Universidade Paranaense*

²*Docente da UNIPAR - Universidade Paranaense*

Resumo

O crescimento contínuo de fontes renováveis de energia aumentou a implantação de sistemas solares em todas as áreas, inclusive em edifícios existentes. Portanto, este trabalho tem como finalidade analisar o comportamento de uma cobertura metálica em arco de um estacionamento de supermercado, com o propósito de conhecer o comportamento da estrutura submetida a esforços de sobrepeso não previstos. A análise é realizada com auxílio de *softwares* brasileiros, Ciclone e AutoMETAL, sendo baseados nas NBR 6123:1988 e 8800:2008 para todas as cargas inseridas na estrutura, como permanentes, variáveis e de vento. Percebe-se que a estrutura apresenta capacidade para suportar os esforços provenientes da carga adicional do sistema fotovoltaico.

Palavra-Chave: Análise Estrutural; Estrutura em Aço; Sistema Fotovoltaico.

Abstract

The continued growth of renewable energy sources has increased the deployment of solar systems in all areas, including in existing buildings. The refore, this work aims to analyze the behavior of an arched metallic roof in a supermarket parking lot, in order to know the behavior of the structure subjected to unforeseen overweight stress. The analysis is carried out with the help of Brazilian software, Ciclone and AutoMETAL, which are based on NBR 6123:1988 and 8800:2008, presenting according to all loads inserted in the structure, such as permanent, variable and wind. It is noticed that the structure has the capacity to support the efforts arising from the additional load of the photovoltaic system.

O abstract deve conter palavras chave.

Keywords: Metallic structural analysis; Steel structure; Photovoltaic System.



1 Introdução

A busca pelo sistema fotovoltaico vem sendo muito grande nos últimos anos. Este sistema é uma fonte de energia limpa que é produzida a partir da luz emitida pelo sol. O sistema pode ser adquirido por qualquer pessoa que queira contribuir para a natureza gerando sua própria energia além disso economizar, conforme diz a Blue Sol (2021).

De acordo com a ABSOLAR (2021) a projeção para o ano de 2021 é de um aumento de 5,09 GW em potência instalada de energia solar fotovoltaica no Brasil, representando um aumento de 68% em relação ao acumulado até o fim do ano de 2020.

Essa busca pelo sistema gera uma preocupação em relação às estruturas de coberturas que irão receber esses painéis fotovoltaicos, pois essa estrutura deve ser dimensionada de modo que possa suportar os esforços que serão adicionados, podendo colocar em risco as pessoas que irão usufruir do sistema. As empresas que fornecem esse sistema na maioria das vezes não fazem uma análise da cobertura, podendo causar diversas patologias ou até mesmo chegar ao colapso da cobertura. (VILLALVA, 2019)

Segundo o CREA-PR (2019) é necessário ser feita uma análise da estrutura já existente, pois a mesma quando projetada pode ter sido dimensionada sem prever algum sobrepeso. Essa análise é feita por meio de projeto por um profissional habilitado podendo ser ele engenheiro civil ou mecânico, garantindo o sucesso do projeto e evitando problemas futuros.

Para ser feita a análise da estrutura metálica, o profissional pode utilizar diversos softwares para o auxílio do dimensionamento da estrutura, incluindo softwares brasileiros desenvolvidos dentro das normas nacionais e por profissionais da área como o AutoMETAL e o Ciclone.

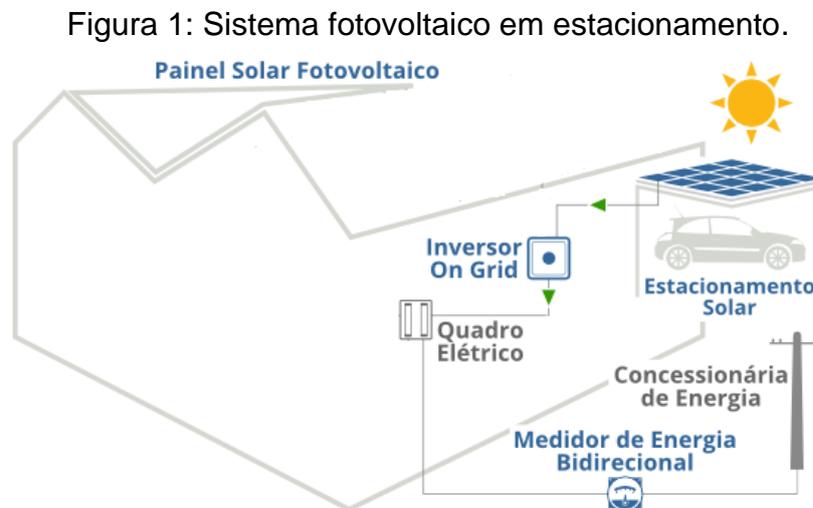
Este trabalho tem como objetivo fazer uma análise da estrutura metálica de cobertura de um estacionamento de supermercado na cidade de Guaíra/PR. Será verificado o comportamento da estrutura da cobertura da edificação para uma instalação futura do sistema fotovoltaico. Essa análise será com a utilização dos softwares AutoMETAL e Ciclone onde será verificado o comportamento da estrutura com os painéis fotovoltaicos, suas deformações, solicitações e esbeltez.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Composição do sistema fotovoltaico

O sistema é composto basicamente por painéis solares e inversores. Os painéis fotovoltaicos fazem a captação da luz solar e é gerada a energia de corrente contínua, essa corrente passa pelo inversor solar conectado à rede e é convertida em eletricidade de corrente alternada, para se converter no mesmo tipo de energia oferecida pela distribuidora, estando pronta para ser utilizada na residência, essa energia é monitorada e feita uma medição da quantidade de energia que foi gerada. A energia que é excedida e não utilizada é transferida para a rede elétrica sendo convertida em créditos, explica o Portal Solar (2021).

A Figura 1 é a representação de como é a montagem da estrutura completa em um estacionamento.

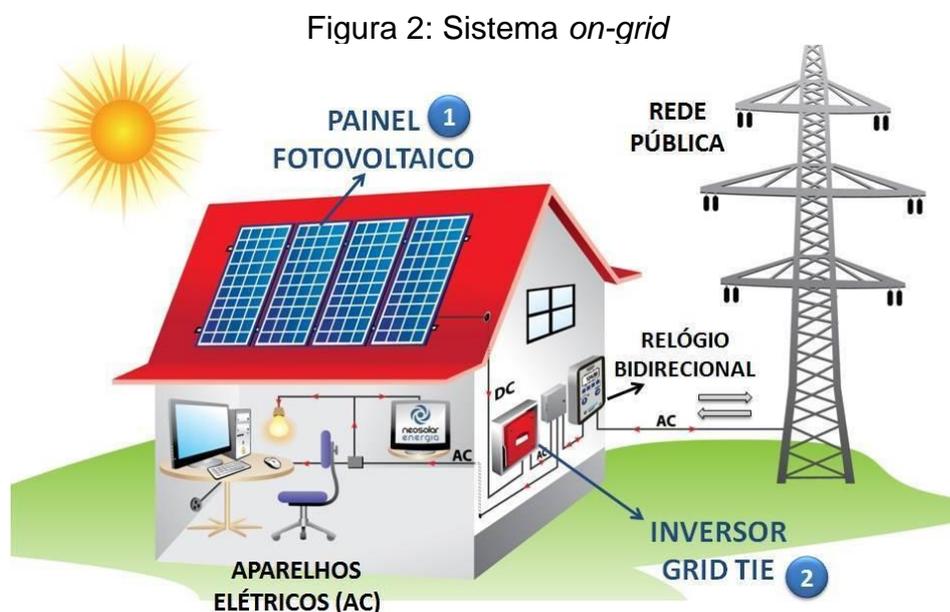


Fonte: Solar Energy (2021)

2.2 Sistema Fotovoltaico

Segundo o Portal Solar (2021), os sistemas fotovoltaicos são divididos em três tipos: *On-grid*, *off-grid* e híbrido. O sistema *on-grid* é composto por painéis e inversores, que podem converter a energia do sol em energia elétrica e colocá-la diretamente na rede, geralmente quem adquire esse tipo de sistema são residências que querem gerar uma boa parte ou toda a energia que consomem.

A Figura 2 abaixo é um exemplo do sistema fotovoltaico *on-grid*.



Fonte: NEOSOLAR (2021)

Já o sistema off-grid é um sistema autônomo e não é conectado na rede elétrica possuindo seu funcionamento por meio de baterias e controladores de carga, ele é utilizado em lugares remotos, sendo calculado o consumo necessário exato que será utilizado. A Figura 3 abaixo é um exemplo do sistema fotovoltaico off-grid (NEOSOLAR, 2021).

Figura 3: Sistema off grid



Fonte: NEOSOLAR (2021)

O sistema híbrido é uma combinação do on-grid e off-grid, ele é conectado à rede, mas também possui baterias para armazenamento de energia. (BLUE SOL, 2021)

2.3 Painéis fotovoltaicos

As placas solares são equipamentos responsáveis por absorver a luz solar e gerar a energia elétrica. Atualmente, diversos modelos podem ser encontrados no mercado, sendo o mais comum o silício monocristalino ou o silício policristalino. (BLUE SOL, 2021)

O Emap Solar (2019) apresenta outras opções existentes como o silício amorfo (a-Si), filme fino, telureto de cádmio (CdTe), seleneto de cobre, índio e gálio (CIS /CIGS), híbrido - HJT, entre outros. A escolha do tipo da placa solar vai depender do tipo da edificação e sua necessidade. A Figura 4 é um exemplo de placas solares silício monocristalino e policristalino.

Figura 4: Exemplo de painel fotovoltaico monocristalino e policristalino



Fonte: Portal Solar. (2021)

2.4 Inversor

No mercado existem vários tipos de inversores. A escolha do inversor vai depender do tipo de sistema, *on-grid*, *off-grid* ou híbrido de acordo com a necessidade e a escolha do utilizador do sistema (BLUE SOL, 2021).

Segundo Aldo Solar (2021), um inversor solar é um dispositivo utilizado para converter a energia gerada pelos painéis solares de corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), de forma que possa utilizar a energia elétrica gerada pela energia solar fotovoltaica, além disso, o inversor fotovoltaico também mede a energia gerada pelos painéis solares e garante a segurança do sistema. A Figura 5 pode ser visto um inversor *on-grid*.

Figura 5: Inversor solar on-grid



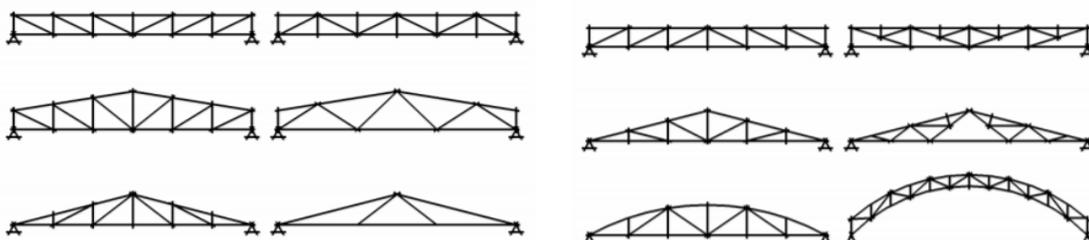
Fonte: Solvix (2021).

2.5 Estruturas metálica usuais em coberturas comerciais/industriais

Para Nogueira (2009), a principal função da cobertura das edificações é proteger contra a ação de intempéries sendo econômica, segura e bonita esteticamente. Além disso, ele diz que cada edificação recebe um tipo de cobertura de acordo com a sua necessidade arquitetônica, dependendo de fatores como o tipo de telha, inclinação e formato da cobertura. Existe uma variedade de treliças como mostra a Figura 6.

Estruturas em duas águas ou em arco são eficientes para alcançar grandes vãos, sendo fabricadas em metalúrgicas conforme o projeto. Logo após são levadas até o local para a montagem. As diagonais e montantes geralmente são posicionados de modo que as cargas transmitidas pelas terças e pelos dispositivos de apoio de equipamentos e utilidades estejam aplicadas apenas nos nós das treliças e que todas as peças sejam submetidas apenas a esforços normais (NOGUEIRA, 2009).

Figura 6: Vigas treliçadas de cobertura.



Fonte: Nogueira (2009).

2.6 Perfis e suportes

O material de fixação do painel fotovoltaico varia de acordo com o fabricante e o tipo de telha ao qual é fixado. De acordo com o catálogo do fabricante Romagnole (2020), empresa que produz e vende estruturas e equipamentos para energia solar, para os telhados de telha metálica, em geral é utilizado perfis de alumínio, clamps de alumínio, parafusos de aço inoxidável para os clamps e fechos de aço galvanizado com vedação de borracha nitrílica. Todos esses componentes são mostrados nas Figuras 7, 8 e 9, respectivamente.

Figura 7: Suportes Fixadores em perfil “L”; perfil “Z” e em rosca dupla.



Fonte: Catálogo Estruturas para painéis fotovoltaicos. Romagnole (2020).

Figura 8: Fixador central, final e parafuso auto brocante.



Fonte: Catálogo Estruturas para painéis fotovoltaicos. Romagnole (2020).

Figura 9: Perfis plano, vertical e “H”.



Fonte: Catálogo Estrutura solar para painéis fotovoltaicos. Romagnole (2020).

2.7 Aço

O CBCA - Centro Brasileiro da Construção em Aço (2021) define que o aço é uma liga metálica formada basicamente pelos elementos químicos, ferro (Fe) e carbono (C) que possui uma alta resistência sendo atualmente a mais importante liga metálica e um dos materiais mais utilizados na indústria mecânica, siderúrgica e na construção civil. A

quantidade de carbono na liga que determinará suas características, quanto maior a porcentagem de carbono maior vai ser a resistência mecânica, ductilidade, maleabilidade, elasticidade, durabilidade e entre outras características.

O aço é um bom material para ser implantado na obra pois além de grande versatilidade e durabilidade, possui também inúmeras vantagens e características evidentes, que são muito consistentes com o conceito de sustentabilidade ambiental (CBCA, 2021).

O objetivo principal de uma cobertura é proteger a edificação das intempéries e regular a temperatura dos ambientes. Segundo a Regional Telhas (2021), o uso do aço nas estruturas para telhado está se tornando muito comum. A sua estrutura deve ser capaz de suportar o peso de seus próprios componentes, revestimentos, materiais de isolamento, cargas de vento e outros elementos que forem adicionados.

Para a Regional Telhas (2021) a estrutura para telhado de aço possui muitas vantagens, tais como:

- Os perfis são mais leves que outros tipos de estrutura como madeira ou concreto, por exemplo: podemos contar com peças mais esbeltas e menos carregamento chegando na fundação.

- Menor prazo de execução e instalação se comparado com outros materiais.

- Os elementos das estruturas metálicas podem ser desmontados e substituídos com facilidade e permitindo também ser executado um reforço quando houver necessidade.

- A sua produção é industrial e a fábrica obedece a controles de qualidade, quase não há grandes problemas no produto final, permitindo o consumidor final uma garantia de qualidade.

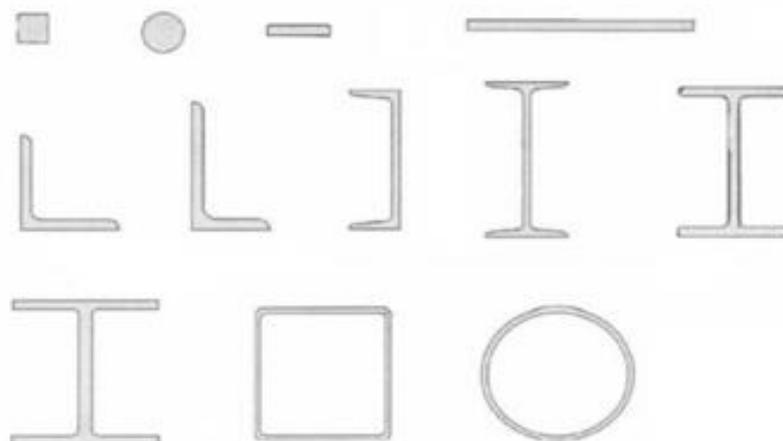
- O aço possui uma alta resistência às intempéries, que quando aplicadas ao telhado, sua vida útil pode ser bastante estendida.

- As peças são produzidas em fábricas e apenas montadas na obra, contribuindo para diminuir o desperdício de materiais.

- O aço é um material 100% reciclável, contribuindo para o meio ambiente.

Além de possuir muitas vantagens, encontra-se no mercado diversos tipos e formatos de perfis, chapas finas, chapas grossas e tubulares, como mostrado na Figura 10.

Figura 10: Variedade de formas de perfis metálicos.



Fonte: PFEIL e PFEIL, 2009.

2.7.1 Deformações no aço

A NBR 15575:2013 menciona que a patologia é uma anormalidade que se manifesta em algum produto, devido defeitos na fabricação, instalação, execução, montagem na utilização ou até mesmo na manutenção, sendo problemas não desenvolvidos pelo desgaste natural do produto.

Segundo Silva Neto (2006), as patologias das estruturas podem ser divididas em três categorias: adquiridas, transmitidas e atávicas.

- Adquiridas: são aquelas que ocorrem por ações externas, a mais ocorrente se dá pela ação de agentes agressivos, tais como as corrosões, muitas vezes encontradas nas ligações de solda.

- Transmitidas: ocorre pela falta de mão de obra especializada na montagem da estrutura ou de desconhecimento técnico de fabricação.

- Atávicas: originam-se da má concepção de projeto, que pode ser uma falha nos cálculos, falta de revisão até optar por aços com resistência não adequada para o projeto.

Alguns exemplos de como pode ocorrer patologias na estrutura são: Problemas de ajuste de furação; erro na montagem da estrutura; furos que não estão previstos no projeto, falta de parafusos em conexões, subdimensionamento de peças estruturais, falha na soldagem, erro de projeto, erro de projeto pela falta de interação na equipe multidisciplinar, erro de execução e montagem, falta ou ausência de manutenção etc. (SILVA NETO, 2006).

Para Chamberlain (1998), as principais patologias em estruturas de aço são: corrosão localizada, corrosão generalizada, deformações, flambagens e fraturas.

A corrosão localizada ocorre de forma pontual, permitindo a aglomeração de agentes agressivos e umidade, concebido pela carência de detalhes construtivos e de escoamento de águas pluviais, como na Figura 11.

Figura 11: Corrosão de porca e parafuso



Fonte: Canal Solar (2019).

A corrosão generalizada é a inexistência de proteção contra o processo de corrosão, como na Figura 12.

Figura 12: Corrosão de suporte fotovoltaico

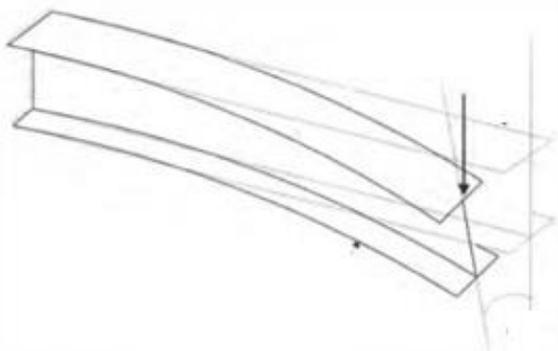


Fonte: Canal Solar (2019).

As deformações excessivas ocorrem quando existem sobrecargas ou carregamentos externos não previstos, exemplos: efeitos de temperaturas e recalques.

A flambagem global ou local acontecem com a utilização imprópria dos modelos estruturais para estabilidade das estruturas, ou efeitos de imperfeições geométricas que não foram consideradas no cálculo. Exemplos apresentados nas Figuras 13 e 14.

Figura 13: Flambagem lateral.



Fonte: PFEIL e PFEIL (2009)

Figura 14: Flambagem local.



Fonte: PFEIL e PFEIL (2009)

As fraturas são falhas que ocorrem pelas tensões concentradas, soldas com defeito e variações não previstas de tensões.

2.8 Norma de aço e ações

Para efeito da NBR 8800:2008, norma para projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, devem ser analisados os estados limites últimos (ELU), que está relacionado a segurança da estrutura com a combinação mais desfavorável. O ELU está relacionado ao estado em que a estrutura não pode mais ser utilizada devido ao esgotamento da capacidade de resistência, causando riscos à segurança e podendo chegar ao colapso.

Os estados limites de serviço (ELS), são parâmetros de segurança relacionados ao conforto do usuário, durabilidade estrutural, vibrações excessivas, para que haja uma aparência e conforto aos usuários não causando problemas à estrutura.

É indicado pela NBR 8800:2008 que o limite do índice de esbeltez dos elementos tracionados não deva ultrapassar o valor de 200, e para os comprimidos o valor de 300.

Ademais, a NBR 8681:2003 de Ações e segurança nas estruturas aponta a classificação das ações que devam ser consideradas:

- Ações permanentes: ocorrem com valores contínuos, podendo haver uma pequena variação em torno da sua média e em todo o ciclo de vida do edifício, podendo ser diretas ou indiretas.
- Ações variáveis: ocorrem com uma intensidade variada em torno de sua média, em todo ciclo de vida da construção. Elas são divididas em diretas, indiretas e dinâmicas.
- Ações excepcionais: ocorrem com pouca frequência e pouca duração, a probabilidade de ocorrer é baixa, mas é de extrema importância sua consideração em projetos específicos.

2.9 Ventos

A NBR 6123:2019 é a norma responsável por fornecer parâmetros e coeficientes fundamentais para o cálculo da força do vento nas edificações devido às ações estáticas e dinâmicas do vento. A ação variável do vento deve ser considerada no dimensionamento da estrutura de cobertura das edificações, ela varia de acordo com cada região.

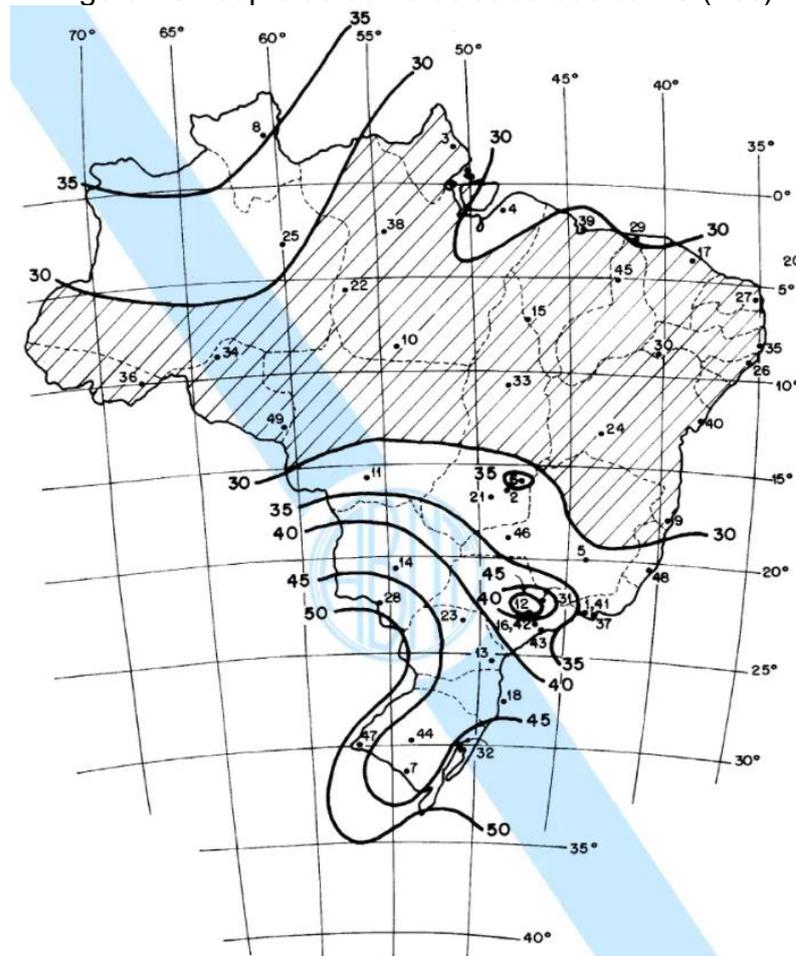
Para obter os dados do vento em cada região, o Instituto Nacional de Meteorologia INMET, implementou estações de medição espalhadas por todo o território nacional. É realizada coleta de dados de precipitação, ventos, umidade relativa do ar, pressão, etc. As informações apresentadas na estação da cidade de Marechal Cândido Rondon - PR, estação A820, é a que mais se aproxima da realidade de Guaíra – PR, pois as cidades ficam à uma distância de aproximadamente 70 km, realizando uma análise do vento dos últimos 10 anos para determinar a velocidade.

Para estabelecer as forças devidas ao vento é utilizada a NBR 6123:1988 que traz as cargas estáticas necessárias que são:

- Velocidade básica do vento (V_0) – é a velocidade de uma rajada de 3s, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10m acima do terreno, em campo aberto e plano.

A velocidade depende do local onde a estrutura é construída, a própria norma determina quais são essas velocidades como mostra a Figura 15.

Figura 15: Isopletas da velocidade básica V_0 (m/s).



Fonte: NBR 6123:1988

● Velocidade característica do vento (V_k) – multiplica-se a velocidade básica por alguns fatores S_1 , S_2 e S_3 definidos pela norma, essa velocidade é utilizada para a parte da edificação em consideração, conforme a fórmula abaixo:

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

S_1 é o fator topográfico que leva em consideração as variações do relevo do terreno e é determinado do seguinte modo:

- 1) Terreno plano ou fracamente acidentado: $S_1 = 1,0$
- 2) Taludes e morros: Varia de acordo com a localização da edificação.
- 3) Vales profundos, protegidos de ventos de quaisquer direções: $S_1 = 0,9$.

O fator S_2 é utilizado para determinar a combinação entre a rugosidade do terreno, as dimensões da edificação e a variação da velocidade do vento de acordo com a altura acima do terreno. Para isso, é preciso determinar a classe das edificações e a categoria do terreno conforme classificação estabelecida a seguir:

O Quadro 1 exibe as categorias que a NBR 6123:1988 classifica para os tipos de terrenos:

Quadro 1: Categoria do terreno

CATEGORIA	DESCRIÇÃO	EXEMPLO
I	Superfície de grande dimensão e maior que 5 km na mesma direção do vento.	Pântanos sem vegetação, mar calmo, lagos e rios.
II	Terrenos com poucos obstáculos e nivelados ou próximos do nível.	Zonas costeiras planas, pântanos com vegetação rala, pradarias, fazendas e campos de aviação.
III	Terrenos planos ou ondulados, com muros, árvores, poucos quebra ventos e construções baixas.	Granjas, fazendas com muros e subúrbio distante do centro.
IV	Terrenos com maior quantidade de obstáculos e próximos uns dos outros, normalmente em zona industrial, florestal e urbanizada.	Parques arborizados, cidades menores, grandes subúrbios, e áreas industriais plenas.
V	Terrenos com grandes quantidades de obstáculos, aglomerados, elevados, e com pouco espaçamento.	Florestas com grandes árvores, centros de grandes cidades e complexos industriais bem desenvolvidos.

Fonte: NBR 6123:1988

E as edificações variam de acordo com as classes apresentadas no Quadro 2:

Quadro 2: Classes de edificações

CLASSE DA EDIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO
CLASSE A	Inclui vedações, fixadores e estruturas sem vedação. Todas as edificações com dimensão menor que 20 metros
CLASSE B	Edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical esteja entre 20 e 30 metros.
CLASSE C	Edificações na qual a maior dimensão exceda 50 metros.

Fonte: NBR 6123:1988

Após obter a categoria e classe da edificação, a norma traz os parâmetros meteorológicos em que se obtém por meio dela os valores que serão utilizados na fórmula para cálculo de S2 apresentada no Quadro 3 abaixo:

Quadro 3: Parâmetros meteorológicos

Categoria	z _o (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
		Fr	1,00	0,98	0,95
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: NBR 6123:1988

De acordo com os parâmetros b, p e Fr conforme a tabela 4, é possível calcular o fator S2 utilizando a seguinte expressão:

$$S_2 = b \cdot Fr \cdot (z/10)^p \quad \text{(Equação 2)}$$

O fator S3 é baseado em conceitos estatísticos e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação. Seus valores mínimos são obtidos de acordo com a Tabela para valores mínimos do fator estatístico S3 da norma apresentada no Quadro 4 a seguir.

Quadro 4: Valores mínimos do 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: NBR 6123:1988



• Pressão dinâmica do vento (q) – elevando ao quadrado a velocidade característica do vento e multiplicando pelo fator 0,613 obtém-se a pressão dinâmica do vento, que é dado através da fórmula:

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

2.10 Softwares utilizados

Para as análises necessárias da estrutura da cobertura com as placas fotovoltaicas serão utilizados dois softwares, um para vento, sendo o Ciclone e outro para verificação da estrutura, o AutoMetal.

O Ciclone e o AutoMETAL, foram desenvolvidos no Brasil e seguem as normas técnicas vigentes no mesmo. Os usos dessas ferramentas são sempre de responsabilidade do utilizador.

2.11 Trabalhos Realizados

Com intuito de analisar uma estrutura de cobertura, Da Luz e Da Silva (2020) realizaram um trabalho na cidade de Umuarama/PR, onde fizeram uma análise estrutural da cobertura de uma edificação recreativa ao receber o esforço da instalação de painéis fotovoltaicos para a porcentagem de solicitação e esbeltez. Os resultados obtidos foram que a estrutura de cobertura da edificação ficou dentro do limite estabelecido pela NBR 8800:2008, com a maior esbeltez para os montantes com um índice de 199. O componente com maior solicitação foi o banzo superior com 59,69%, chegando ao resultado esperado, que a estrutura existente é capaz de suportar as cargas acrescidas. Além disso, observa-se que o valor aproximado de sobrecarga dos painéis é de 11,47 kg/m² e que se for instalado em grandes quantidades causará um esforço muito grande na estrutura, sendo necessário a análise de um profissional habilitado para fazer o acompanhamento e verificações.

Já Dos Santos (2019) realizou um trabalho sobre análise de problemas relacionados à construção civil decorrentes das instalações fotovoltaicas, na cidade de Garopaba/SC e abordou casos de patologias nas estruturas de suporte de telhados devido a sobrecargas.

O resultado das pesquisas na área em questão é de que ainda existem uma baixa preocupação com a estrutura que suportará a sobrecarga causada pela instalação fotovoltaica e com isso consequentemente vem ocorrendo casos de patologias e colapsos em estruturas devido à falta de uma análise estrutural e alertando as empresas que fazem esse tipo de instalação, para evitar problemas futuros e garantir a segurança dos usuários.

Além disso, Dos Santos (2019), observou que a edificação que ele analisou em específico, o cliente tinha conhecimento sobre a parte estrutural e se preparou previamente para a instalação, fazendo uma reforma geral na estrutura do telhado, trocando telhas danificadas e se prevenindo de possíveis incidentes.

3 Metodologia

3.1 Localização

Guaíra é um município brasileiro localizado no estado do Paraná, com uma população estimada em 30.704 habitantes e área territorial de 563,742 km². Segundo os dados do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2021). Está localizada na divisa entre Brasil e Paraguai e o estado de Mato Grosso do Sul, às margens do rio Paraná, fazendo fronteira com a cidade paraguaia Salto Del Guairá e Mundo Novo no estado de Mato Grosso do Sul. Sua economia é movimentada pelos setores da agropecuária, pesca, turismo e comércio. Seu clima é predominantemente temperado a quente.

A Figura 16 a seguir apresenta o mapa da cidade.

Figura 16: Mapa de Guaíra.

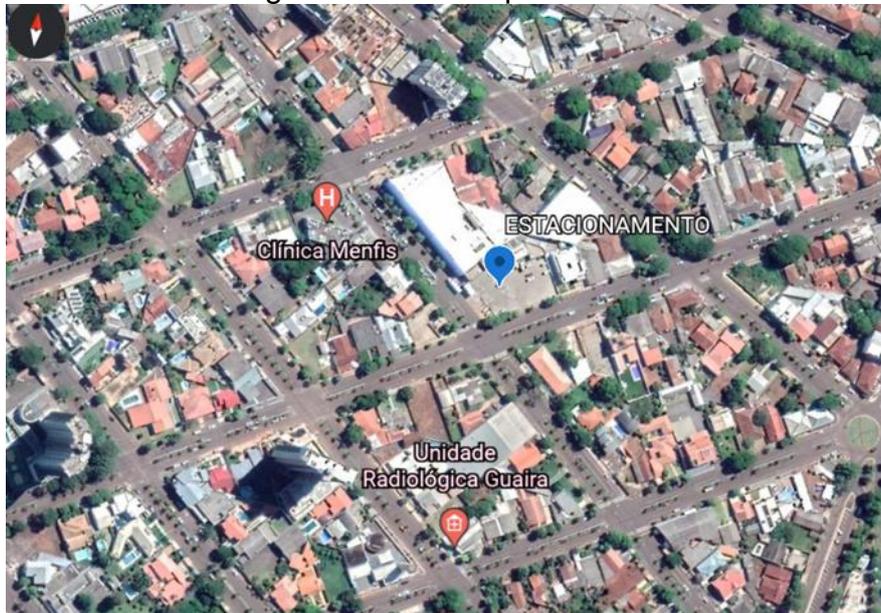


Fonte: Google Earth. (2021)

A edificação a ser analisada está localizada na Rua Monjoli, n° 759, centro, na cidade de Guaíra/PR, com coordenadas geográficas 24° 4' 48" S, 54° 15' 21" W.

O local é destinado como estacionamento de veículos de um supermercado, como mostra a Figura 17

Figura 17: Local aproximado.



Fonte: Google Earth. (2021)

3.2 Definição do sistema fotovoltaico

O orçamento do sistema fotovoltaico para o supermercado foi solicitado em uma empresa especializada, com referência no histórico de consumo de energia do supermercado, na Figura 18, fornecendo a quantidade e especificações dos módulos utilizados.

Figura 18: Histórico de consumo mensal

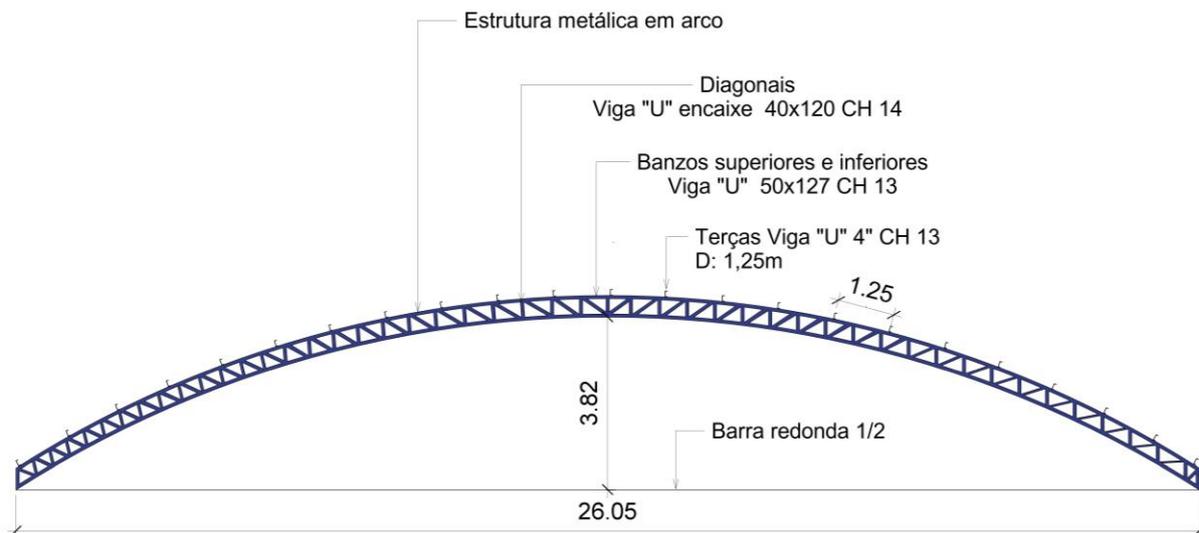
Mês/Ano	Valor da Fatura	Data de Vencimento	Data de Pagamento	Consumo Ponta	Consumo Fora Pta.	Demanda Ponta	Demanda Fora Pta.	Dem.Cont. Ponta	Dem.Cont. Fora Pta.	Dem.Tol. Ponta	Dem.Tol. Fora Pta.
03/2021	36.480,38	08/04/2021		371	62277	42.5	160.19	0	200	0	210
02/2021	41.295,88	08/03/2021	08/03/2021	0	72495	0	168.26	0	200	0	210
01/2021	46.741,88	08/02/2021	08/02/2021	0	72961	.19	167.08	0	200	0	210
12/2020	38.741,87	08/01/2021	08/01/2021	367	70017	141.69	176.33	0	200	0	210
11/2020	39.534,87	08/12/2020	08/12/2020	150	72379	155.07	182.82	0	200	0	210
10/2020	25.733,24	08/11/2020	06/11/2020	51	44464	23.61	151.33	0	200	0	210
09/2020	27.213,11	08/10/2020	08/10/2020	39	47556	11.21	148.38	0	200	0	210
08/2020	31.562,02	08/09/2020	08/09/2020	0	57172	.19	124.77	0	200	0	210
07/2020	31.752,07	08/08/2020	10/08/2020	0	55760	0	123.19	0	200	0	210
06/2020	32.917,78	08/07/2020	06/07/2020	0	56212	0	136.18	0	200	0	210
05/2020	34.490,45	08/06/2020	05/06/2020	0	58585	.19	173.77	0	200	0	210
04/2020	40.131,55	08/05/2020	08/05/2020	0	69114	.19	180.66	0	200	0	210

Fonte: Autora. (2021)

3.3 Definição da estrutura

A estrutura analisada tem 1.177,99 m² e altura até os apoios de 4,50 metros, com vãos de aproximadamente 26,05 metros de treliças em arcos. O detalhamento do arco treliçado é mostrado na Figura 19.

Figura 19: Detalhamento do arco.



Fonte: Autora. (2021)

As Figuras 20 e 21 apresentam a estrutura existente a ser analisada e sua isometria, respectivamente.

Figura 20: Estrutura da edificação estudada.



Fonte: Autora (2021)

Figura 21: Isométrico da edificação em estudo



Fonte: Autora. (2021)

Esses arcos são compostos por perfis metálicos de chapa dobrada, banzos superiores e inferiores de viga “U” com dimensões 127 x 50 com peso de 3,88 kg/m CH13 e diagonais em viga “U” de encaixe com dimensões 120 x 40 com peso de 2,89 kg/m CH14. As terças também possuem perfil em viga “U” com 4” x 3,08 kg/m CH13, conforme apresenta a Figura 22 extraída do catálogo da Bortolotto. As terças possuem um espaçamento de 1,25 metros.

Figura 22: Catálogo de produtos Bortolotto

Viga “U” Dobrada



DIMENSÕES EXTERNAS				ESPESSURA		PESO	
Polegadas	A	B	C	BWG	Milímetros	1 mt	6 mts
2"	25 mm	50 mm	25 mm	11	3,00 mm	2,10 kg	12,60 kg
				12	2,65 mm	1,87 kg	11,22 kg
				13	2,25 mm	1,62 kg	9,72 kg
				14	2,00 mm	1,45 kg	8,70 kg
3"	38 mm	75 mm	38 mm	3/16	4,75 mm	5,02 kg	30,10 kg
				11	3,00 mm	3,43 kg	20,56 kg
				12	2,65 mm	3,02 kg	18,11 kg
				13	2,25 mm	2,52 kg	15,12 kg
4"	40 mm	100 mm	40 mm	3/16	4,75 mm	6,12 kg	36,71 kg
				11	3,00 mm	4,12 kg	24,71 kg
				12	2,65 mm	3,62 kg	21,74 kg
				13	2,25 mm	3,08 kg	18,47 kg
				14	2,00 mm	2,75 kg	16,51 kg

Fonte: <http://www.bortolotto.com.br/arquivos/catalogodeprodutos.pdf>. (2021)

A cobertura é composta por telhas metálicas trapezoidais (TP 25) com espessura de 0,43mm, seguindo o formato em arco das treliças. Na Figura 23, são apresentadas as características das folhas de cobertura utilizadas na análise.

Figura 23: Características da telha trapezoidal TP 25.

Espessura Chapa [mm]	0,43	0,50	0,65	0,80
Peso Galvalume [kg/m]	3,87	4,50	5,85	7,20
Peso Galvalume [kg/m ²]	3,77	4,38	5,70	7,05
Momento de Inércia [cm ⁴ /m]	3,84	4,47	5,82	7,17
Modulo de Resistência [cm ³ /m]	2,51	2,91	3,77	4,62

Fonte: Regional Telhas (2021)

3.4 Procedimento do software Ciclone

Para obter os esforços do vento na edificação, são necessárias algumas informações, como as dimensões, características do terreno e velocidade. Sendo assim, além das dimensões da edificação já citadas no tópico 3.3, foi adicionada a distância entre pórticos “p”. Para a velocidade do vento, utilizou-se aproximadamente 10m/s, por ser a mais expressiva no período de 10 anos, como apresenta o Anexo 1. A NBR 6123:1988 não faz restrição de valores, portanto, foi utilizado a mais alta. Preenche-se os dados no Ciclone, de acordo com as informações da edificação em estudo e seus fatores característicos, como fator topográfico, rugosidade e estatístico. Indicando todos os fatores e a velocidade básica do vento, determina-se a velocidade característica, pressão dinâmica, combinações e os coeficientes internos e externos.

3.5 Procedimento do software AutoMETAL

Primeiramente, é preciso informar ao *software* se a geometria é composta por duas águas, banzos paralelos ou por arcos. Em seguida informa-se os dados da geometria da estrutura, dentre elas, a medida do vão, relação flecha/vão, o ângulo de arranque, distâncias entre banzos, distância máxima entre as terças também em metros e os ângulos máximos e mínimos, gerando o desenho 2D do arco treliçado.

É preciso indicar em quais nós encontram-se os apoios da estrutura e qual o tipo de apoio existente.

Na aba carregamentos, é possível fornecer os dados de diferentes tipos de carregamentos, sendo eles de cargas permanentes como: peso da telha, contraventamentos, terças e carga genérica, além de sobrecarga, carga de vento e distância entre as treliças. Ainda são apresentados os campos para preenchimentos referentes aos coeficientes de ventos, estes obtidos por meio das combinações do Ciclone.

O programa também disponibiliza uma aba para a listagem de combinações de esforços na estrutura, variando entre carga permanente, sobrecarga e esforços devidos ao vento. Ao inserir um grupo de combinação, é preciso fornecer os valores de coeficiente de segurança adotados para cada esforço, os utilizados neste trabalho foram de acordo com a NBR 8681:2004. Seguindo adiante, tem-se os campos para a escolha das barras



contraventadas, que é definida selecionando-as no desenho do arco treliçado apresentado.

Ainda é possível, na aba perfis, definir quais os tipos de perfis e dimensões de cada um deles para posteriormente na aba verificação apontar qual o grupo de perfis existente para cada componente da estrutura. Todas as informações que foram utilizadas neste procedimento podem ser consultadas no Apêndice 2.

4 Resultado e Discussão

4.1 Descrição do equipamento fotovoltaico

Na proposta de orçamento foi considerado 1.223 painéis fotovoltaicos do modelo “MONO-PERC RISEN 415W”, de dimensões 2178x996x40mm largura e comprimento respectivamente, seu peso é de aproximadamente 25kg cada módulo, valor este adotado para o lançamento das informações nos softwares para a análise. No total, a cobertura comporta apenas 540 painéis, totalizando uma sobrecarga de 13,53kg/m² e para a fixação, utilizaram-se perfis de alumínio e fixadores de meio e final.

4.2 Resultados do software Ciclone

O fator topográfico que mais se enquadra na edificação foi de terreno plano ou fracamente acidentado, determinando S1: 1,00; fator rugosidade é de categoria IV, com terrenos com maiores quantidades de obstáculos e próximos uns dos outros, como zonas industriais, urbanizadas ou florestais, adotando S2: 0,808. O grupo 3 de edificações com baixo fator de ocupação descreve o uso da edificação, determinando assim o fator estatístico S3: 0,95.

A velocidade característica (V_k) é obtida através da Equação 1, sendo seu valor de 7,674m/s.

A pressão dinâmica (q) é obtida através da Equação 3, apresentando valor de 0,036 KN/m².

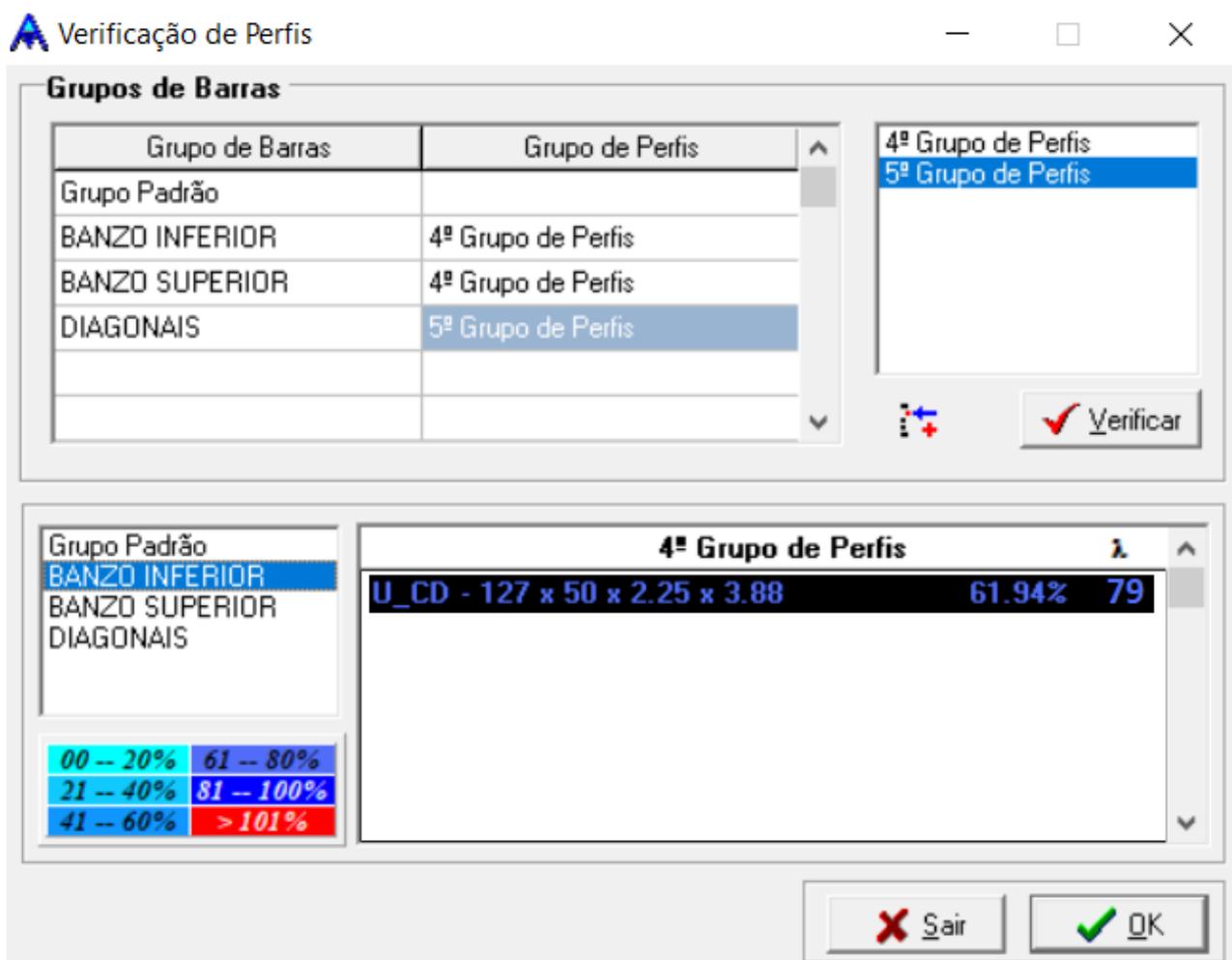
O *software* apresenta os resultados das combinações dos coeficientes de pressão externos e internos para as direções de vento 0° e vento 90°, que podem ser vistos nas Figuras 24 e 25.

Para o lançamento no AutoMETAL, o software Ciclone traz os resultados das combinações das pressões, como mostra a Figura 25, percebe-se que os resultados foram todos de sucção e a maior solicitação é vinda do vento 90° com coeficiente de pressão externo igual a -1,00. Tentou-se obter ventos de sobrepressão, mas pode ser que devido as características da edificação e suas aberturas esse tipo de vento não existiu nos resultados.

4.3 Resultados do software AutoMETAL

A Figura 26 apresenta a verificação do banzo inferior. Nota-se que o elemento é solicitado em 61,94%, ou seja, para a condição apresentada ele possui aproximadamente metade de sua capacidade de utilização sendo aproveitada. Observando-se a esbeltez, tem-se um valor de 79, atendendo aos limites indicados no tópico 2.3.

Figura 26: Verificação do Banzo inferior, taxa de solicitação e esbeltez.



Verificação de Perfis

Grupo de Barras	Grupo de Perfis
Grupo Padrão	
BANZO INFERIOR	4º Grupo de Perfis
BANZO SUPERIOR	4º Grupo de Perfis
DIAGONAIS	5º Grupo de Perfis

4º Grupo de Perfis

U_CD - 127 x 50 x 2.25 x 3.88	61.94%	79
-------------------------------	--------	----

00 -- 20% 61 -- 80%
 21 -- 40% 81 -- 100%
 41 -- 60% > 101%

Fonte: Autora (2021).

A Figura 27 mostra a verificação do banzo superior. O valor de solicitação é de 45,67% e para a esbeltez, o valor de 81 atende aos limites indicados no item 2.3.

Figura 27: Verificação do Banzo superior, taxa de solicitação e esbeltez.

Verificação de Perfis

Grupo de Barras	Grupo de Perfis
Grupo Padrão	
BANZO INFERIOR	4º Grupo de Perfis
BANZO SUPERIOR	4º Grupo de Perfis
DIAGONAIS	5º Grupo de Perfis

Grupo de Perfis	U_CD	Taxa de Solicitação (%)	Esbeltez
4º Grupo de Perfis	U_CD - 127 x 50 x 2.25 x 3.88	45.67%	81

Grupo de Barras
Grupo Padrão
BANZO INFERIOR
BANZO SUPERIOR
DIAGONAIS

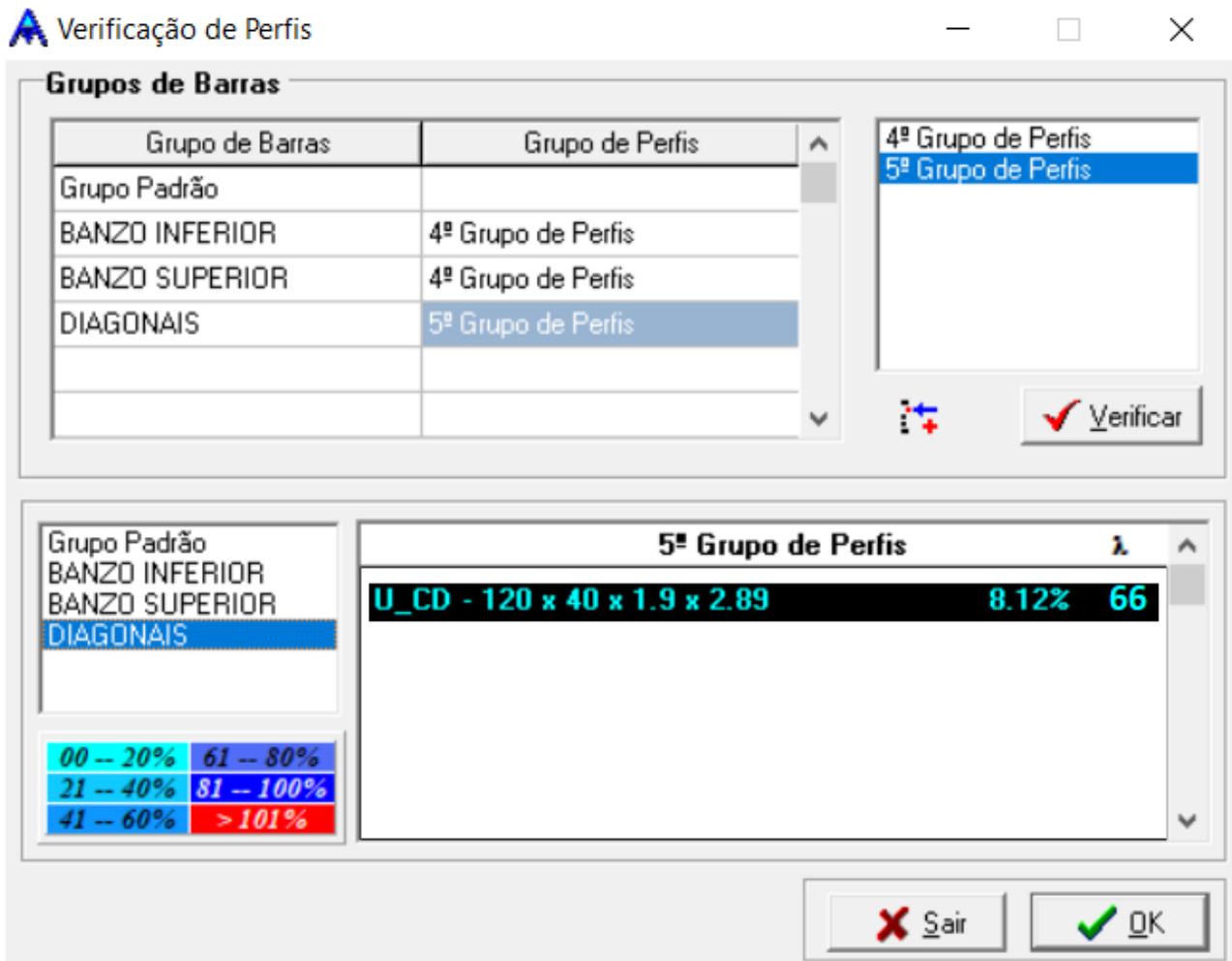
00 -- 20%	61 -- 80%
21 -- 40%	81 -- 100%
41 -- 60%	> 101%

Botões: Sair, OK

Fonte: Autora (2021).

A Figura 28 apresenta a verificação dos elementos diagonais. Observa-se que o elemento é solicitado em apenas 8,12%, sendo o elemento menos solicitado. Com um valor de 66 para a esbeltez, atendendo aos limites indicados no item 2.3.

Figura 28: Verificação das diagonais, taxa de solicitação e esbeltez.



Fonte: Autora (2021).

5 Conclusão

Com os resultados apresentados neste trabalho, conclui-se que a estrutura de cobertura da edificação em estudo atingiu a maior esbeltez para os banzos superiores, com um índice de 81, estando dentro do limite admitido pela norma NBR 8800:2008. Além disso, o componente com a maior solicitação foi o banzo inferior com 61,94%, sendo possível notar que a estrutura existente é capaz de suportar um acréscimo de sobrecarga.

Ainda, observando-se o valor de sobrecarga dos painéis, de 13,53 kg/m², nota-se que uma instalação de energia solar com grandes quantidades de módulos pode causar um esforço muito grande na estrutura da edificação, e é imprescindível o acompanhamento de um profissional habilitado para a realização das devidas verificações e acompanhamento da instalação.



6 Referências

ABSOLAR. **Energia solar vai gerar mais de 147 mil empregos no Brasil em 2021, projeta ABSOLAR.** Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-vai-gerar-mais-de-147-mil-empregos-no-brasil-em-2021-projeta-absolar/>. Acesso em: 06 de abr. 2021.

ALDO SOLAR. **Produtos/ Inversor solar.** Disponível em: <https://www.aldo.com.br/categoria/energia-solar/produtos/inversor-solar>. Acesso em: 22 mai. 2021.

AUTOMETAL. **Automação de Projetos de Estruturas Metálicas Planas.** Fac. de Eng. Civil da UNICAMP. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~autmetal/>. Acesso em: 14 de abr. de 2021.

BLUE SOL. **O guia mais absurdamente completo da energia solar fotovoltaica: Entenda tudo!** Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-fotovoltaica-guia-supremo/>. Acesso em: 07 de abr. 2021

CANAL SOLAR. **Corrosão em estruturas metálicas.** Disponível em: <https://canalsolar.com.br/index.php/artigos/artigos-tecnicos/item/212-corrosao-estruturas-metalicas>. Acesso em: 4 de jun. de 2021.

ROMAGNOLE - **Catálogo de Estrutura Solar.** p 4, 2020. Disponível em: <https://www.romagnole.com.br/uploads/filemanager/produtos/1531853034294/download/b/Cat%C3%A1logo%20de%20Estrutura%20Solares.pdf>. Acesso em: 30 de abr. de 2021.

BORTOLOTTI. **Catálogo de produtos.** p 9, 2021. Disponível em: <https://http://www.bortolotto.com.br/arquivos/catalogodeprodutos.pdf>. Acesso em: 03 de out. de 2021.

CENTRO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Construção em aço/ Vantagens e Sustentabilidade.** Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/vantagens-e-sustentabilidade/> Acesso em: 02 de jun. de 2021.

CENTRO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Construção em Aço e Sustentabilidade.** Disponível em: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/acos-estruturais/>. Acesso em: 08 jun. 2021.

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DO PARANÁ - CREA-PR. **Placas solares podem causar sobrecarga no telhado, alerta Crea.** Disponível em: <https://www.crea-pr.org.br/ws/arquivos/clipping-institucional/umuarama-news-maringa-24102019>. Acesso em: 04 de abr. de 2021.

DA LUZ, Aline Coutinho; DA SILVA, Dandrya Mateus Caetano. **Análise estrutural de cobertura metálica para edificação recreativa com sobrecarga de sistema fotovoltaico.** 2020. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil) - Universidade Paranaense, Umuarama PR, 2020.



DOS SANTOS, Erick. **Análise de problemas relacionados à construção civil decorrentes das instalações fotovoltaicas.** 2019. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Civil, Universidade do Sul de Santa Catarina. Palhoça. 2019.

Disponível em:

<https://www.riuni.unisul.br/bitstream/handle/12345/8706/TCC2_Erick%2028-11-2019%20RIUNI-assinaturas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 17 jun. 2021.

EMAP SOLAR. **Tipos de Painel Solar: leia antes de escolher o melhor para você.**

Disponível em: <https://emapsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-leia-antes-de-escolher-o-melhor-para-voce>. Acesso em: 07 de abr. de 2021.

ETOOLS. **Ferramentas Computacionais para o ensino de estruturas.** Disponível em:

http://www.etoools.upf.br/index.php?option=com_content&task=view&id=2&Itemid=4.

Acesso em: 09 de abr. de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Cidades.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/guaira/panorama>. Acesso em: 15 de mai. de 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123:1988** - Forças devido ao vento em edificações. Rio de Janeiro, p 4. 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681:2003** – Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro, p 2. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800:2008** – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, p 14. 2008.

NEOSOLAR. **Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes.** Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes/> Acesso em: 02 de abr. de 2021.

NOGUEIRA, Gilcimar Saraiva. **Avaliação de soluções estruturais para galpões compostos por perfis de aço formados a frio.** 2009. 179 f. Dissertação (Engenharia Civil) - Escola de Minas / UFOP, Ouro Preto, 2009. Disponível em:

https://www.propec.ufop.br/uploads/propec_2016/teses/arquivos/tese159.pdf. Acesso em: 15 abr. 2021.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de aço: Dimensionamento Prático de Acordo com a NBR 8800:2008.** 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

PORTAL SOLAR. **Como funciona a energia solar.** Disponível em:

<https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-energia-solar.html#ancora1.2>. Acesso em: 07 de abr. de 2021.

PORTAL SOLAR. **Tipos de sistemas fotovoltaicos.** Disponível em:

<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-sistemas-fotovoltaicos>. Acesso em: 07 de abr. de 2021.



PORTAL SOLAR. **Sistema solar conectado a rede on grid.** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/sistema-solar-conectado-a-rede-on-grid>. Acesso em: 07 de abr. 2021.

Regional Telhas. **Informativo Técnico - Telha Trapezoidal RT25/1020.** Disponível em: <https://www.regionaltelhas.com.br/uploads/produtos/arquivos/5784517032018204044.pdf>. Acesso em: 14 de jun. 2021.

REGIONAL TELHAS. **Estrutura para telhado: Aço ou madeira, qual escolher?** Disponível em: <https://blog.regionaltelhas.com.br/estrutura-para-telhado-aco-ou-madeira-qual-escolher>. Acesso em: 23 de mar. 2021.

SILVA NETO, Pedro Roberto. **Avaliação de patologias e recuperação de construções mistas em concreto e aço;** Pós-graduação: Mestrado na Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp, 2006. Disponível em:

<https://www.abcem.org.br/construmetal/2006/arquivos/Patologia%20em%20Construcoes%20Mistas%20Concreto%20e%20Aco.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2021.

SOLVIX. **Produto/Inversor solar fronius primo 3.** Disponível em: <https://www.solvix.com.br/produto/inversor-solar-fronius-primo-3/>. Acesso em: 24 abr. 2021.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Avaliação prévia dos telhados antes da instalação dos sistemas fotovoltaicos.** Canal Solar. 2019. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/index.php/artigos/item/13-avaliacaoprevia-dostelhados?fbclid=IwAR3LHCdg5TvkBsb1iaU9MRRrSeEcW3Wbq0wJHpXAgrDJJ7TYCcRS%20nfpnv6g>. Acesso em: 12 ago. 2021.

ANEXOS E APÊNDICES

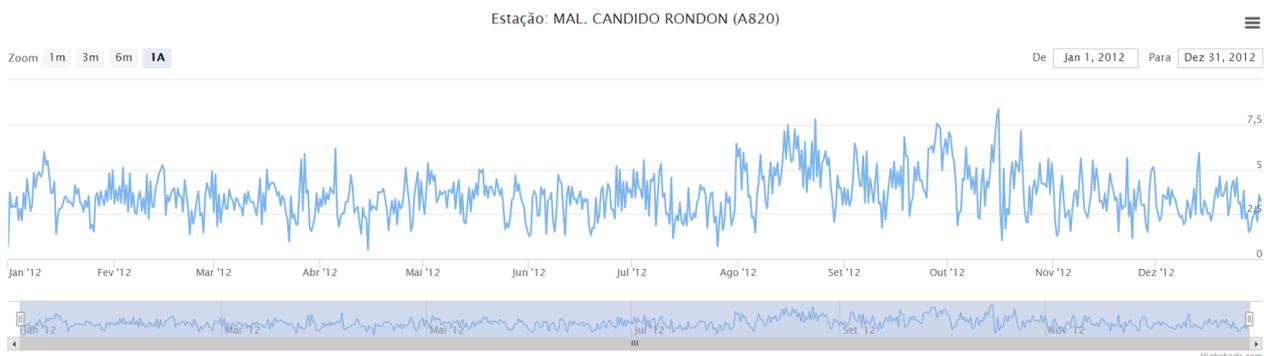
Anexo 1 - Relatório anual emitido pela estação A820, cidade de Marechal Cândido Rondon - PR, para a velocidade do vento dos últimos dez anos.

Gráfico Estação A820 - Marechal Cândido Rondon - PR - Velocidade do vento para o ano de 2011.



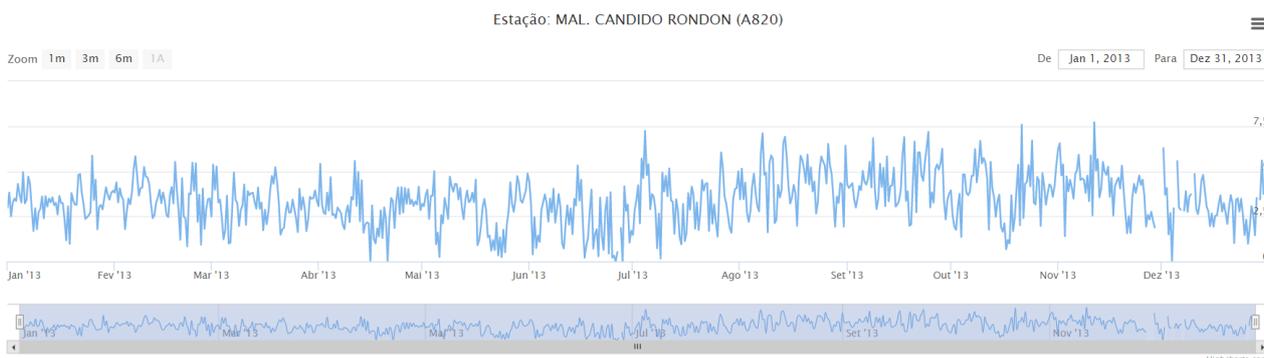
Fonte INMET. (2021)

Gráfico Estação A820 - Marechal Cândido Rondon - PR - Velocidade do vento para o ano de 2012.



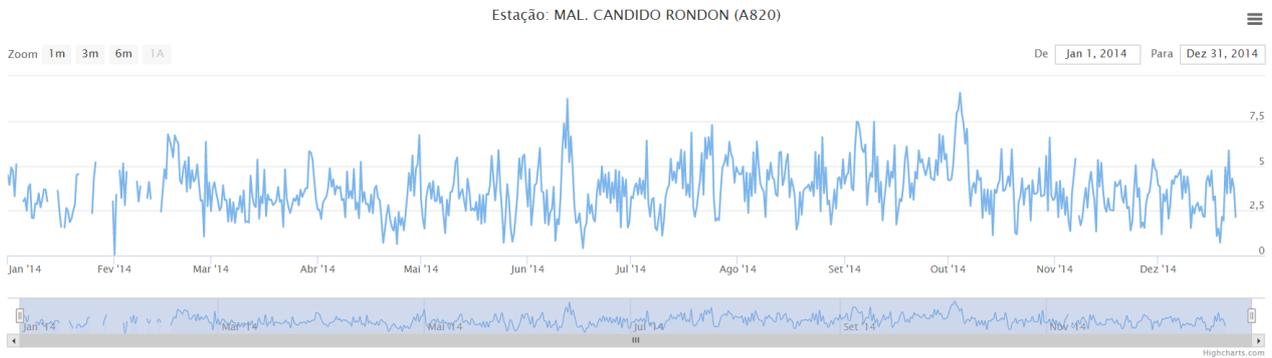
Fonte INMET. (2021)

Gráfico Estação A820 - Marechal Cândido Rondon - PR - Velocidade do vento para o ano de 2013.



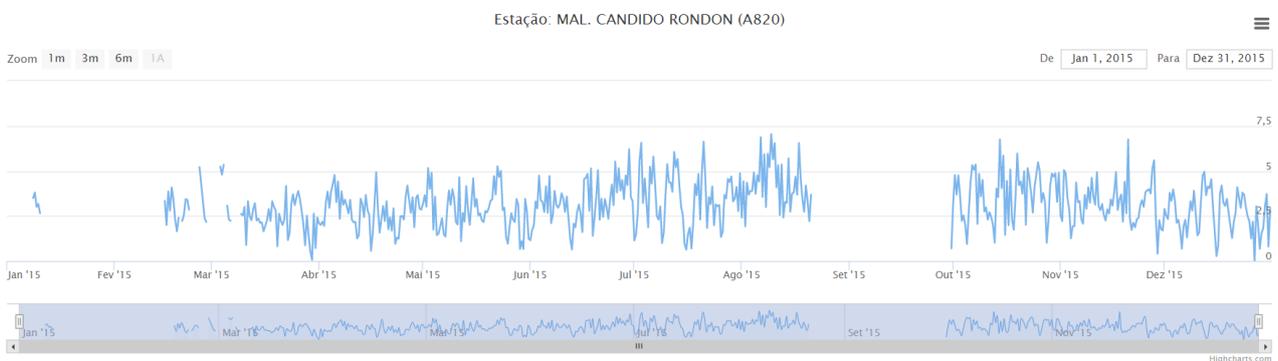
Fonte INMET. (2021)

Gráfico Estação A820 - Marechal Cândido Rondon - PR - Velocidade do vento para o ano de 2014.



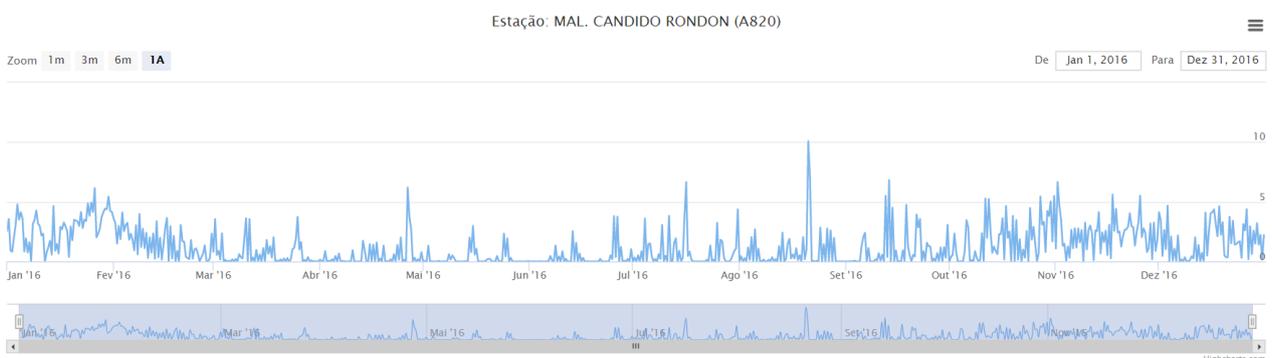
Fonte INMET. (2021)

Gráfico Estação A820 - Marechal Cândido Rondon - PR - Velocidade do vento para o ano de 2015.



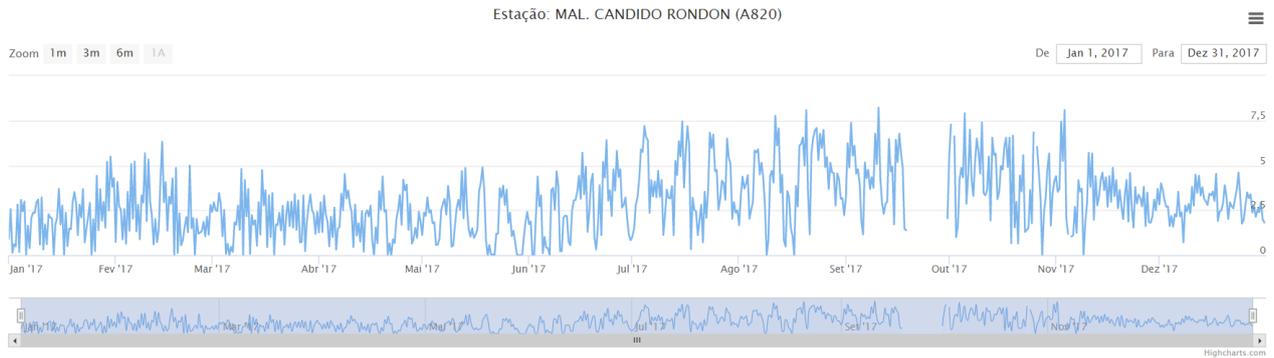
Fonte INMET. (2021)

Gráfico Estação A820 - Marechal Cândido Rondon - PR - Velocidade do vento para o ano de 2016.



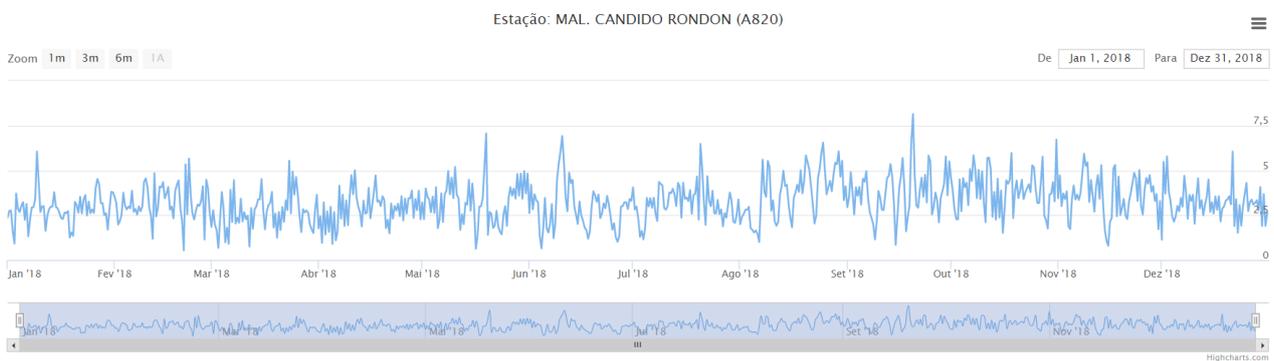
Fonte INMET. (2021)

Gráfico Estação A820 - Marechal Cândido Rondon - PR - Velocidade do vento para o ano de 2017.



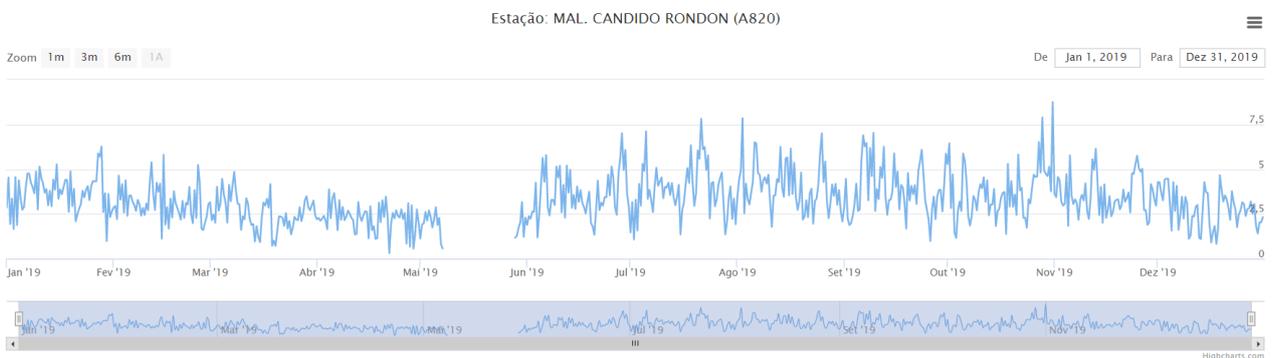
Fonte INMET. (2021)

Gráfico Estação A820 - Marechal Cândido Rondon - PR - Velocidade do vento para o ano de 2018.



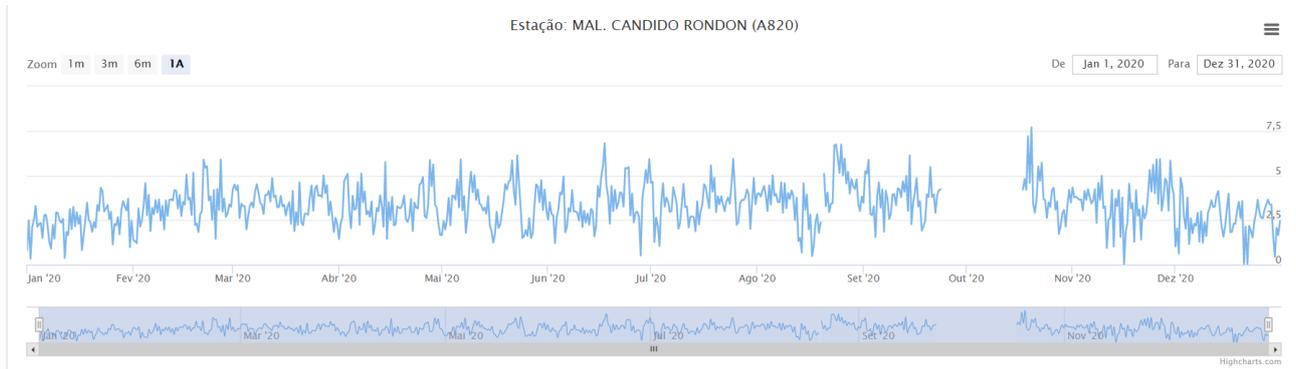
Fonte INMET. (2021)

Gráfico Estação A820 - Marechal Cândido Rondon - PR - Velocidade do vento para o ano de 2019.



Fonte INMET. (2021)

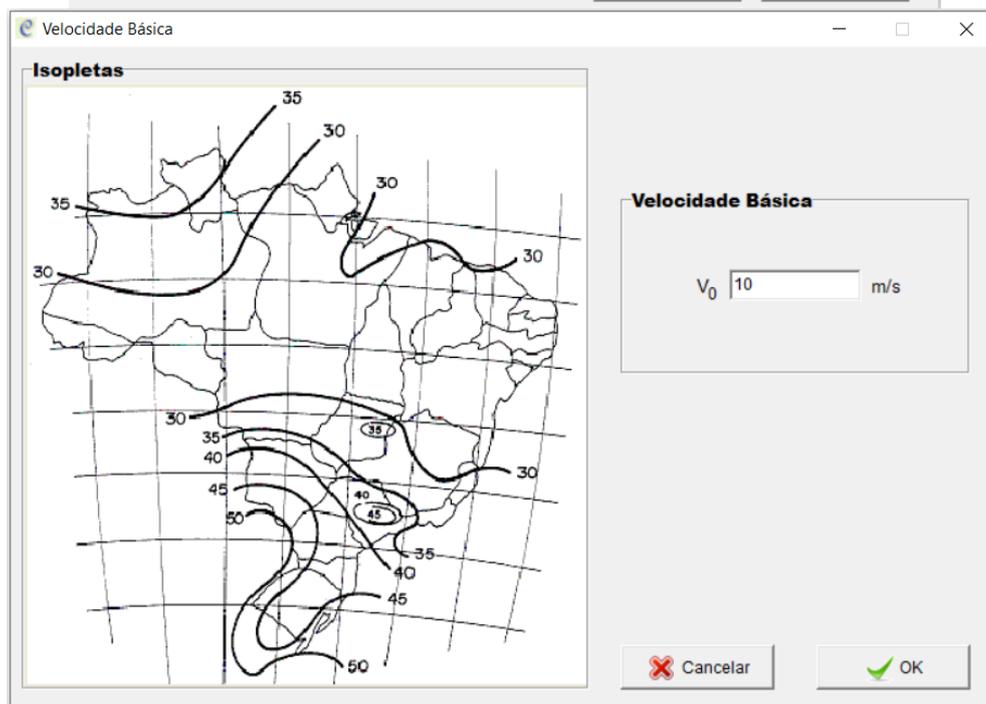
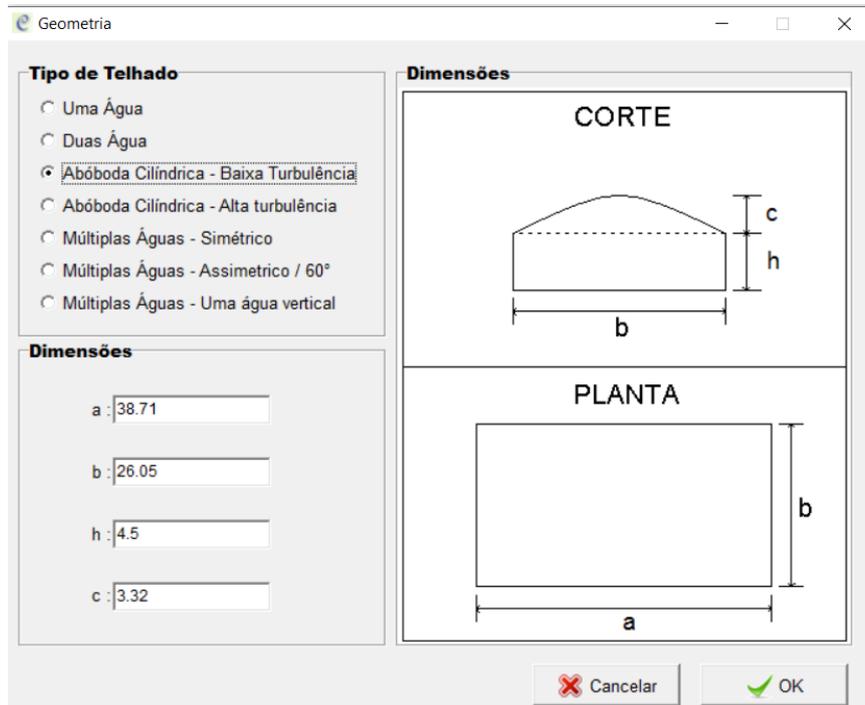
Gráfico Estação A820 - Marechal Cândido Rondon - PR - Velocidade do vento para o ano de 2020.



Fonte INMET. (2021)

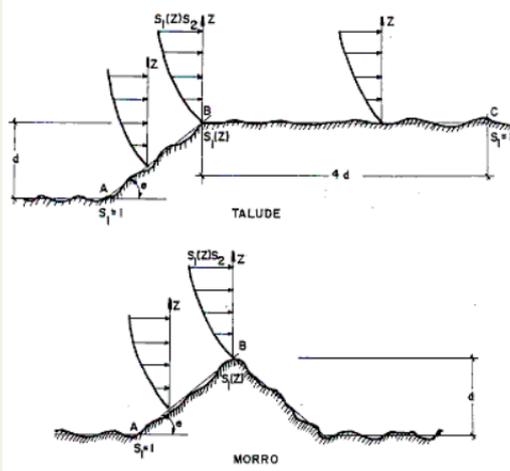
Nota-se que nos últimos 10 anos a média de velocidade do vento não chegou a 8,5m/s, porém para fins de cálculos será necessário adotar o valor mais expressivo no período estudado.

Apêndice 1 - Relatório Ciclone



Fator S1

Taludes e Morros



S₁

Fator Topográfico

Terrenos Planos com poucas ondulações

Vales protegidos do vento em todas as direções

Taludes e Morros

θ :

z : Calcular

d :

Categoria do Terreno

Categoria do terreno

I Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente. Exemplos: mar calmo; lagos e rios; pântanos sem vegetação.

II Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas. A cota média do topo dos obstáculos é considerada inferior ou igual a 1m. Exemplos: zonas costeiras planas; pântanos com vegetação rala; campos de aviação; pradarias e charnecas; fazendas sem sebes ou muros.

III Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 3m. Exemplos: granjas e casas de campo, com exceção das partes com matos, fazendas com sebes e/ou muros, subúrbios a considerável distância do centro, com casas baixas e esparsas.

IV Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados em zona florestal, industrial ou urbanizada. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 10m. Exemplos: zonas de parques e bosques com muitas árvores; cidades pequenas e seus arredores; subúrbios densamente construídos de grandes cidades; áreas industriais plena ou parcialmente desenvolvidas.

V Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual ou superior a 25m. Exemplos: florestas com árvores altas de copas isoladas; centros de grandes cidade; complexo industriais bem desenvolvidos.

Classe das Edificações

A (3 segundos) Todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas sem vedação. Toda edificação ou parte da edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal não exceda 20 metros.

B (5 segundos) Toda edificação ou parte da edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 25 e 50 metros.

C (10 segundos) Toda a edificação ou parte da edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 50 metros.

Direção do Vento

Direção do Vento 0° Direção do Vento 90°

Diagramas de edificação com setas indicando a direção do vento (D.V.) e a dimensão vertical (D.V.).

Dimensões para Direção do Vento 0°:

- Dimensão Vertical: 7.820 m
- Dimensão Horizontal: 26.050 m
- Maior dimensão: 26.050 m

Dimensões para Direção do Vento 90°:

- Dimensão Vertical: 7.820 m
- Dimensão Horizontal: 38.710 m
- Maior Dimensão: 38.710 m

Classe: A (3 segundos) B (5 segundos) C (10 segundos)

Classe: A (3 segundos) B (5 segundos) C (10 segundos)

Cancelar OK

Fator S2

Para se obter o Fator S2, tem que definir a Categoria do Terreno e a Classe da Edificação.

Fator de Rugosidade do Terreno e Dimensões da Edificação

CATEGORIA DO TERRENO CLASSE DA EDIFICAÇÃO

Categoria do terreno: IV

Vento 0° Vento 90°

Classe da Edificação: B Classe da Edificação: B

Calcular

S_2 0.808 S_2 0.808

Cancelar OK

Fator S3

Fator Estatístico

Grupo	Descrição
<input type="radio"/> 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, centrais de comunicação, etc)
<input type="radio"/> 2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e industria com alto fator de ocupação
<input checked="" type="radio"/> 3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc)
<input type="radio"/> 4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc)
<input type="radio"/> 5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a fase de construção

S₃

Velocidade Característica e Pressão de Obstrução

Velocidade Característica

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3$$

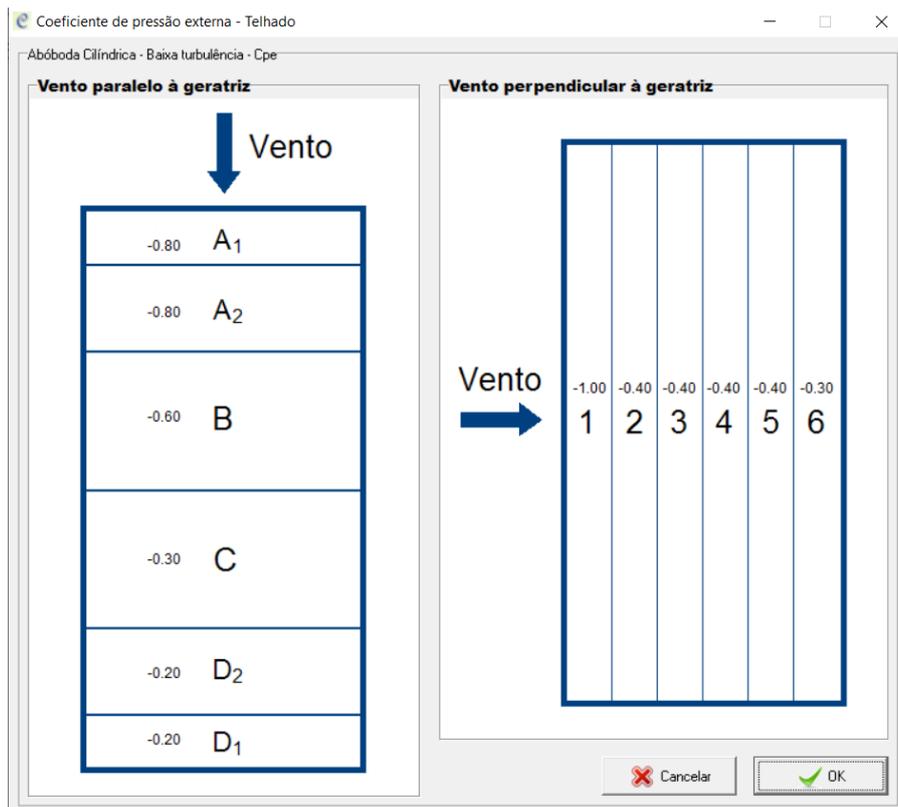
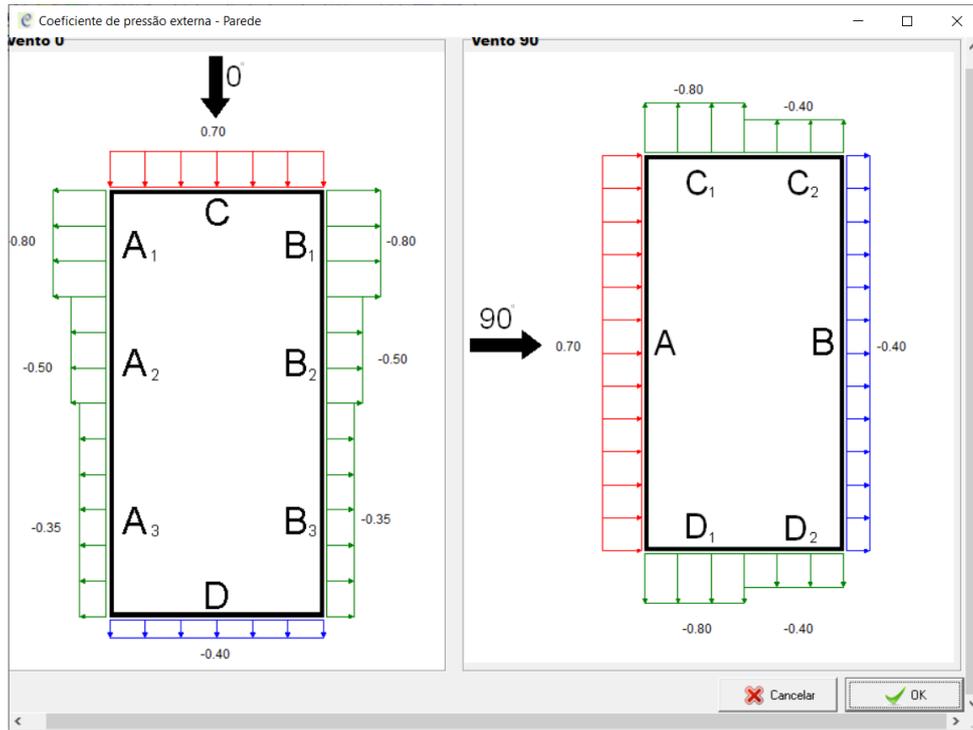
V₀ m/s Vento 0° S₂
 S₁ Vento 90° S₂
 S₃

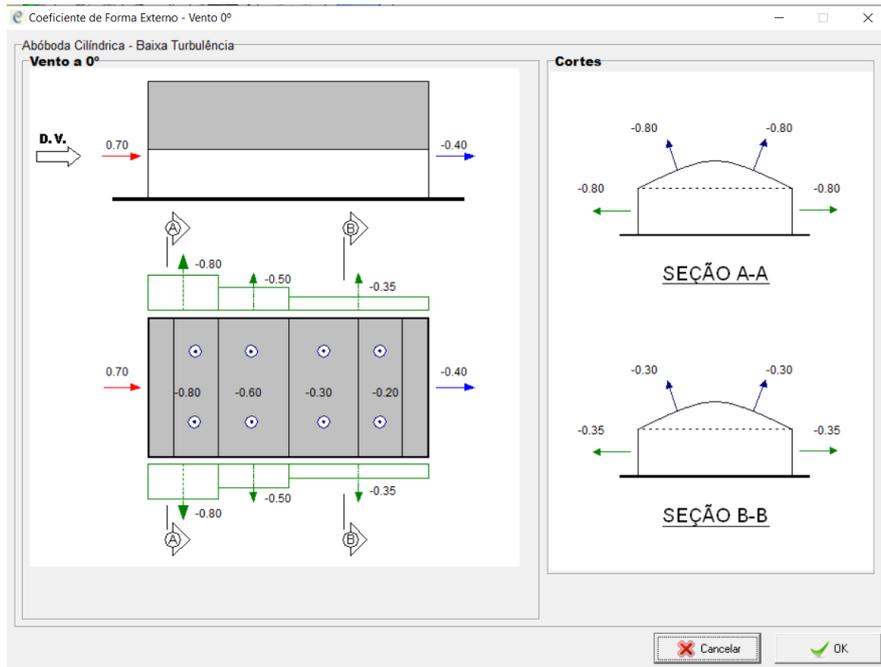
Vento 0° Vento 90°
 V_k m/s V_k m/s

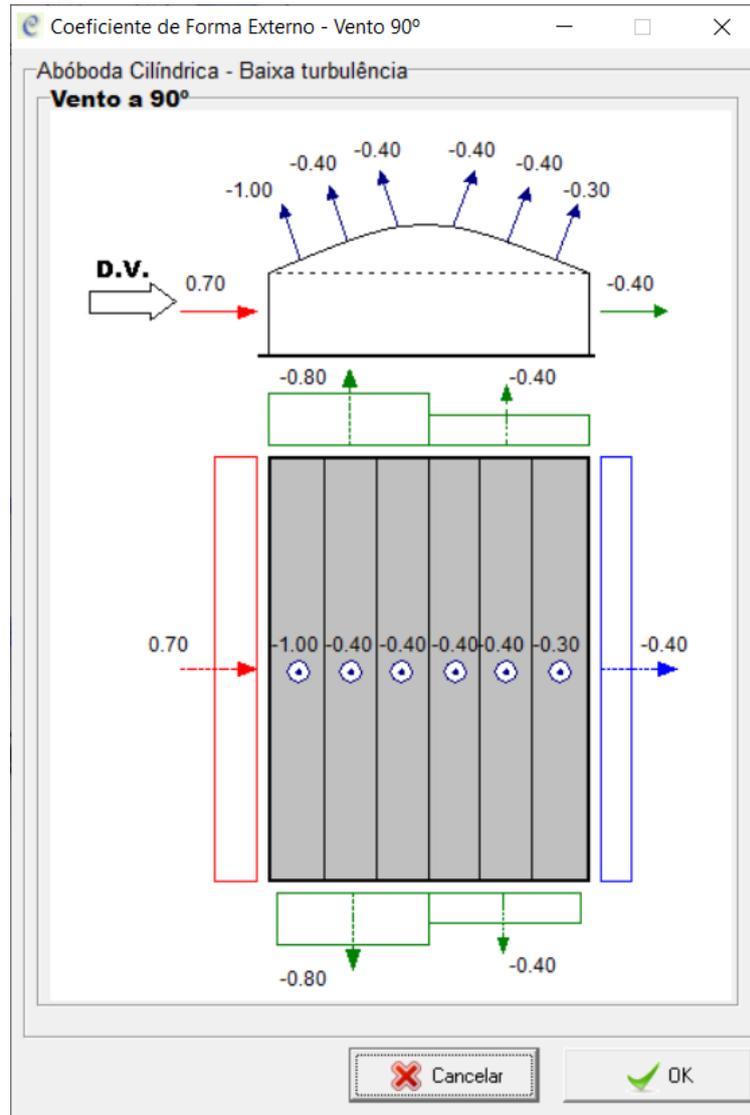
Pressão de Obstrução

$$q = 0,613 \times V_k^2$$

Vento 0° q N/m² → q kN/m²
 Vento 90° q N/m² → q kN/m²







Apêndice 3 - Relatório AutoMETAL

Dados da geometria da estrutura

Geração Automática de Geometrias

Opção

Duas Águas

Banzos Paralelos

Arco Circular

Arco Parabólico

Arco Inércia Var.

Vão (m): 26.05 Ângulo de Arranque: 90

Relação Flecha / Vão: 0.146 Distância entre Banzos (m): 0.5

Máxima Distância entre terças (m): 1.25 Ângulo Mínimo: 35

Número de Divisões (iguais): 0 Ângulo Máximo: 60

Especificar Telha (Metálica)

Distância entre Terças	1.247m
Barra do Banzo Superior	1.247m
Coefficiente de Utilização	0.998
Menor Ângulo	38.72°
Maior Ângulo	38.72°
Altura Máxima	4.303m
Telha Adotada	

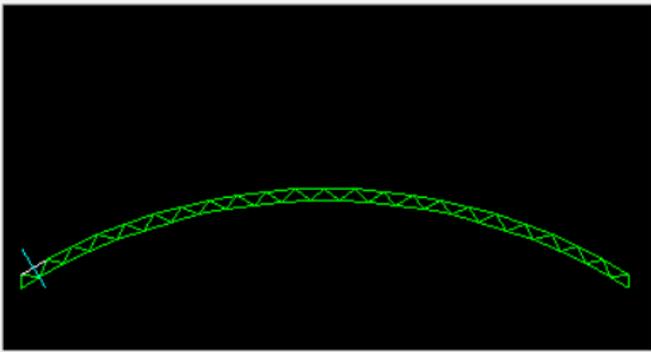
OK Continuar

Definição de carregamentos e indicação de ventos nos nós.

Dados dos Diferentes Carregamentos

Terças & Coeficientes de Forma para Ventos

Nó 1	Nó 2	Vento1	Vento2	Vento3	Vento4
2	4	-0.8	-0.2	-0.88	-0.88
4	6	-0.8	-0.2	-0.88	-0.88
6	8	-0.8	-0.2	-0.88	-0.88
8	10	-0.8	-0.2	-0.88	-0.88
10	12	-0.8	-0.2	-0.48	-0.48
12	14	-0.8	-0.2	-0.48	-0.48
14	16	-0.8	-0.2	-0.48	-0.48
16	18	-0.8	-0.2	-0.48	-0.48
18	20	-0.8	-0.2	-0.56	-0.56
20	22	-0.8	-0.2	-0.56	-0.56
22	24	-0.8	-0.2	-0.56	-0.56
24	26	-0.8	-0.2	-0.56	-0.56
26	28	-0.8	-0.2	-0.56	-0.56
28	30	-0.8	-0.2	-0.56	-0.56
30	32	-0.8	-0.2	-0.56	-0.56
32	34	-0.8	-0.2	-0.43	-0.43



Cargas Permanentes

Peso da Telha** : 3.77 Carga Genérica** : 2

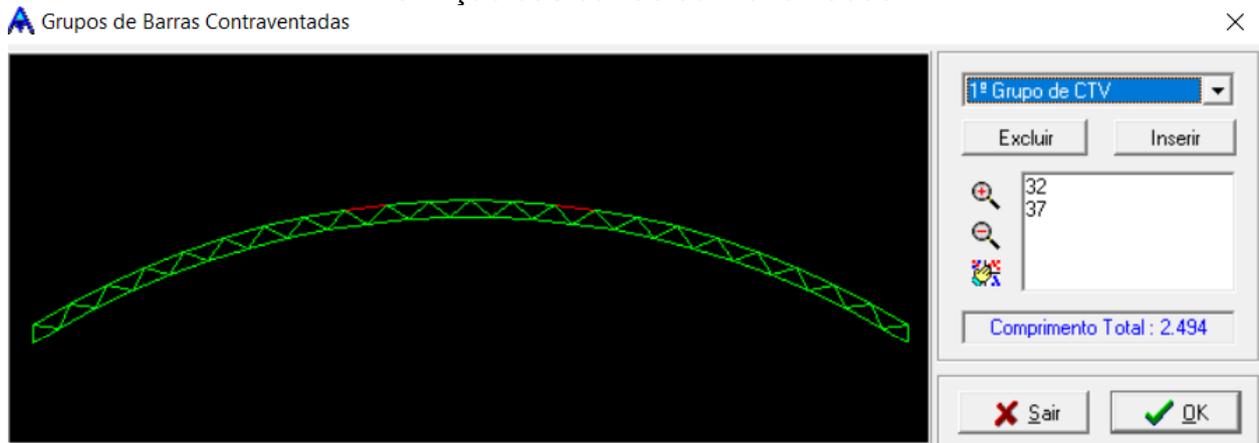
Contraventamento** : 1 Sobrecarga** : 13.53

Terças (kg/m) : 3.08 Carga de Vento** : 3.70

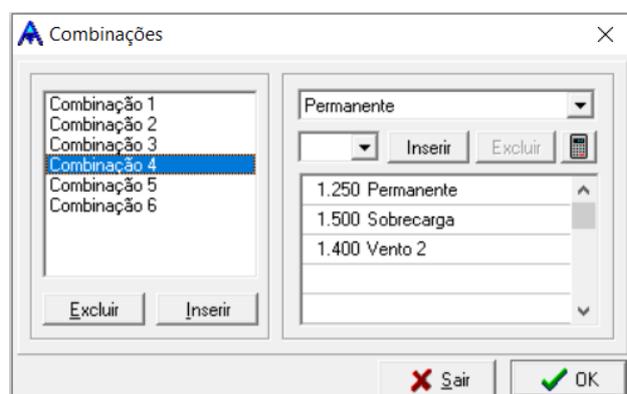
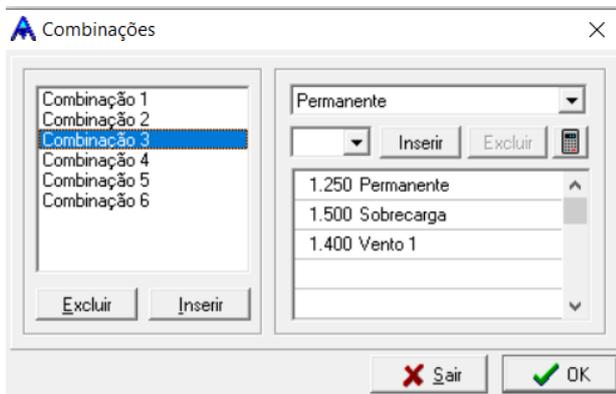
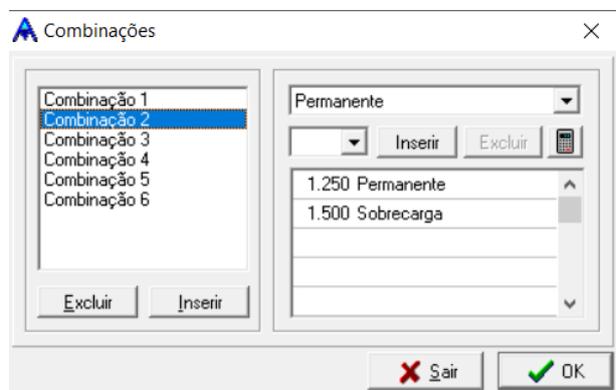
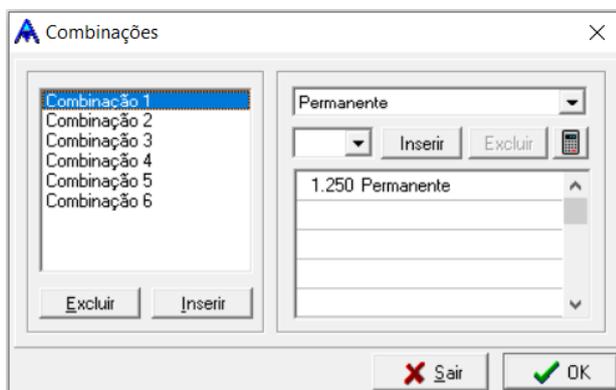
** (kg/m²) Dist. entre Treliças (m) : 4.91

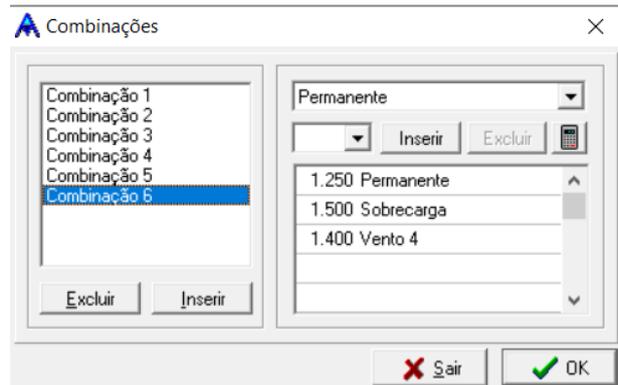
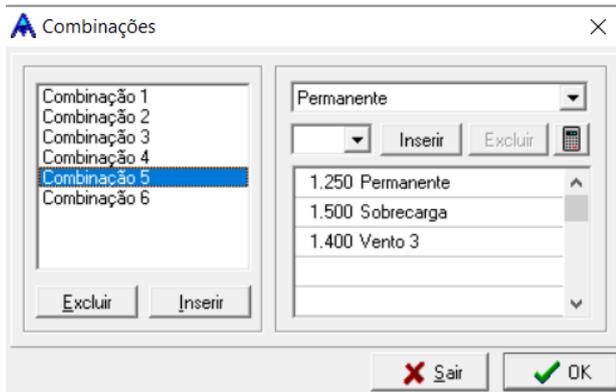
Coeficientes de Vento Sair OK

Definição das barras contraventadas.

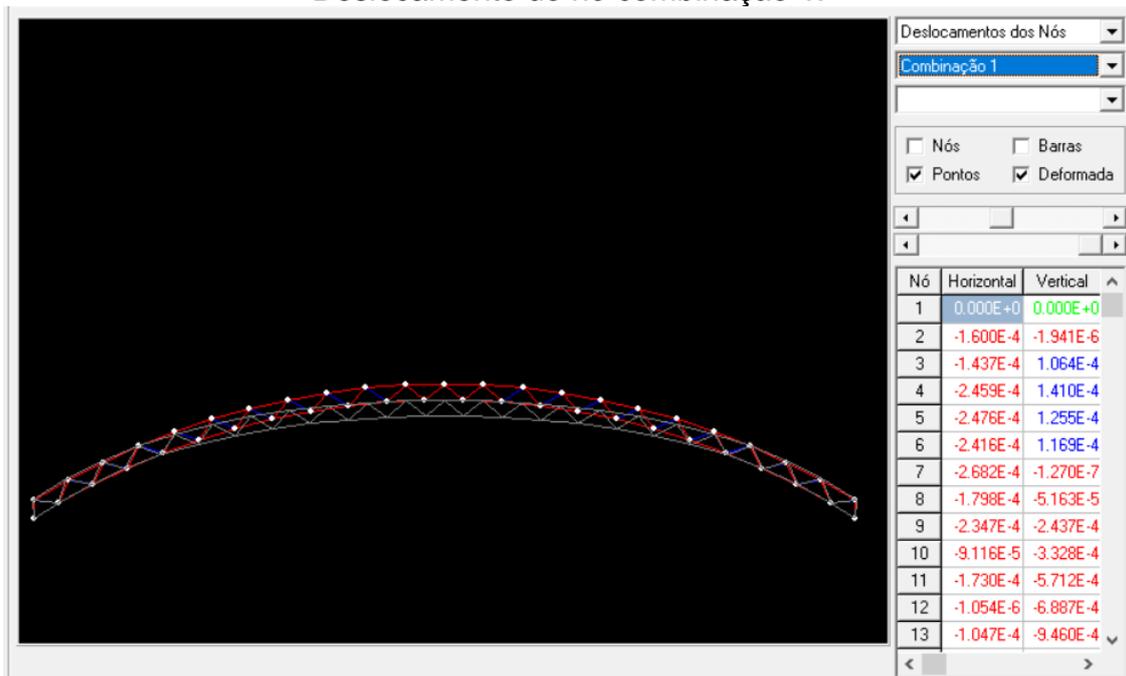


Combinações e coeficientes de segurança a serem utilizados.

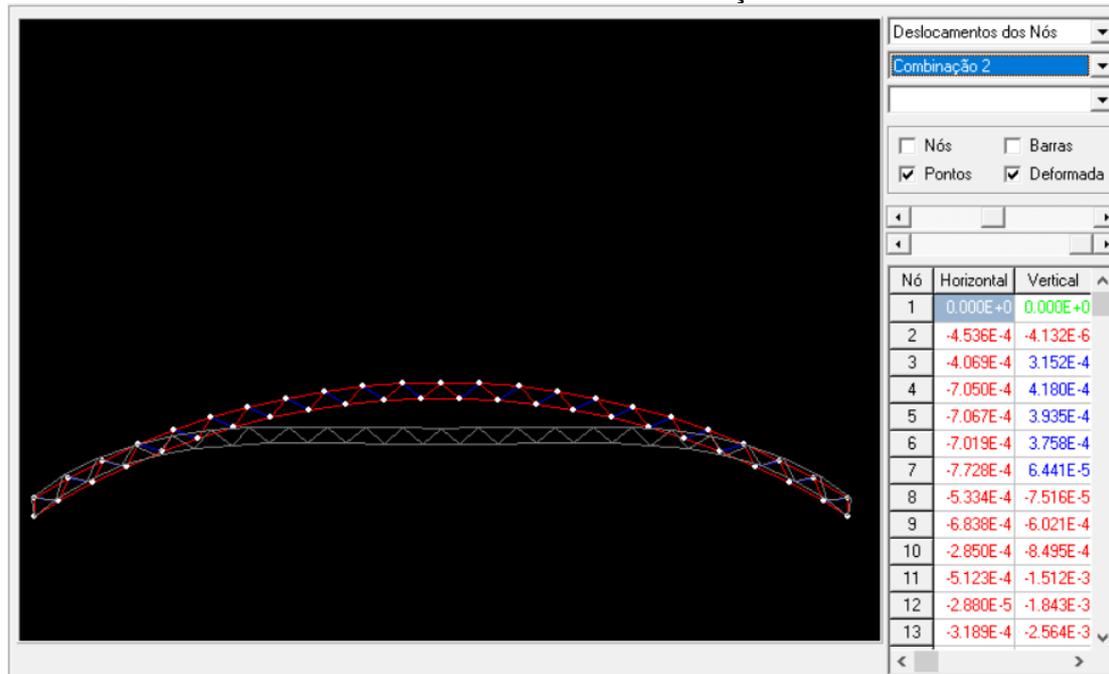




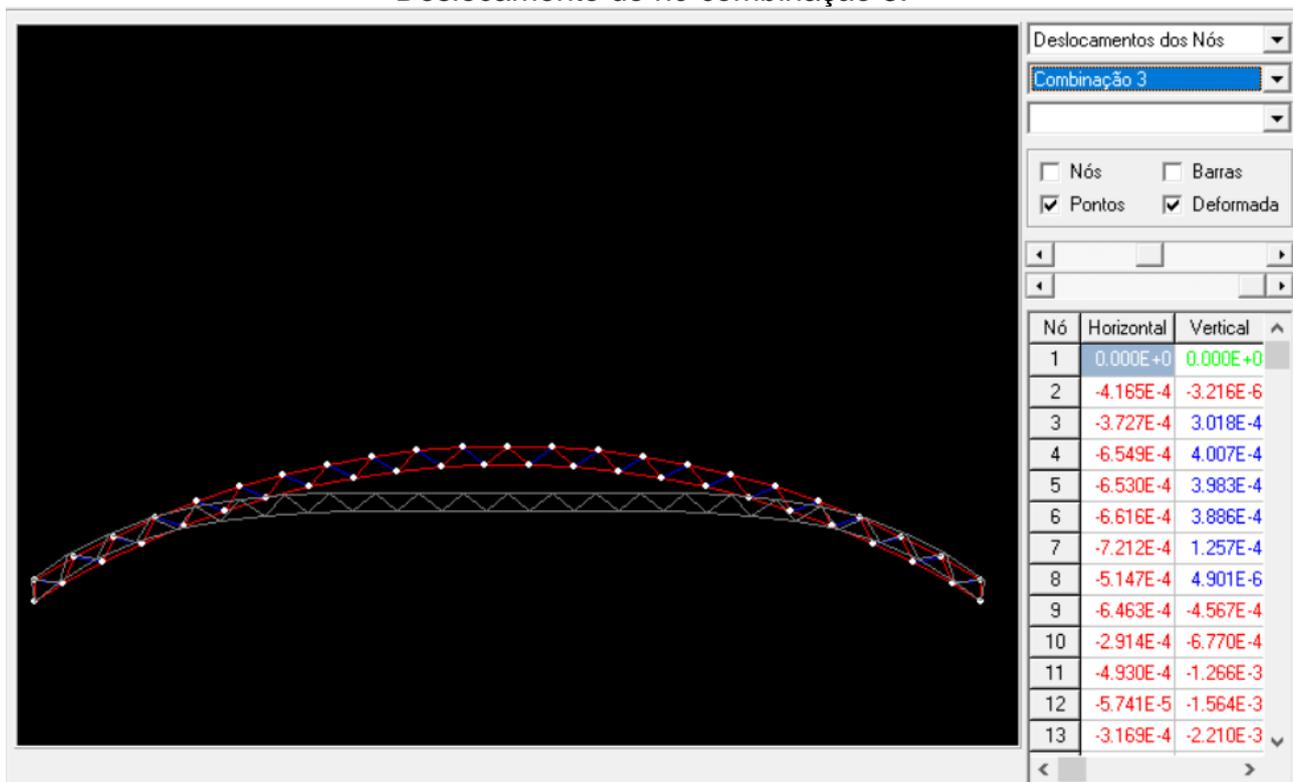
Deslocamento do nó combinação 1.



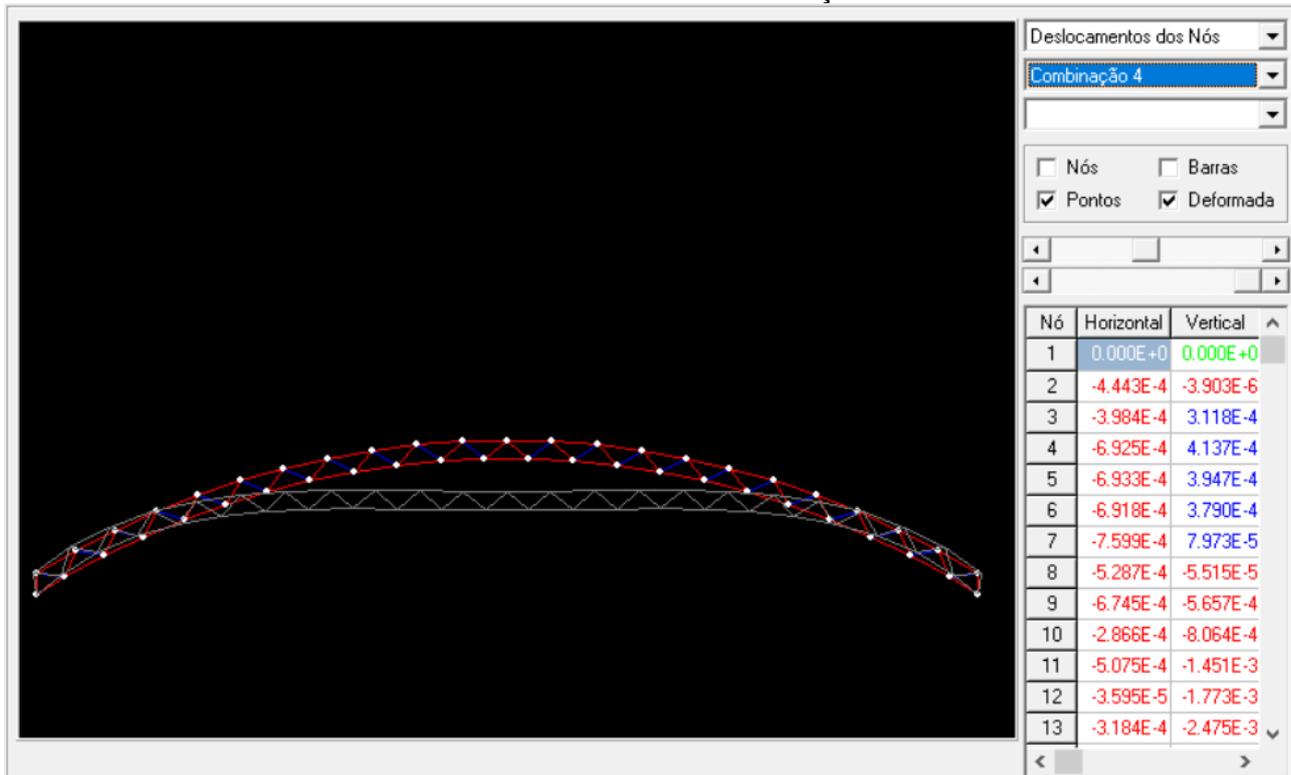
Deslocamento do nó combinação 2.



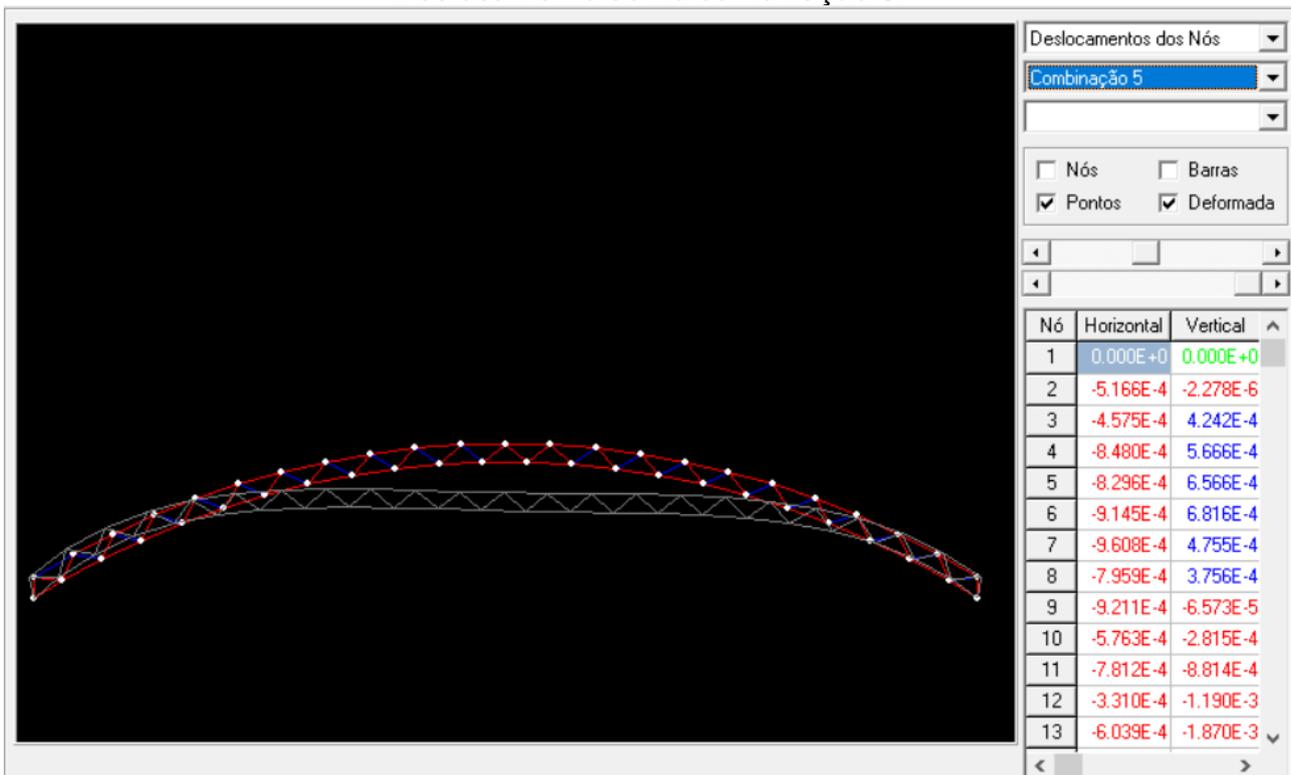
Deslocamento do nó combinação 3.



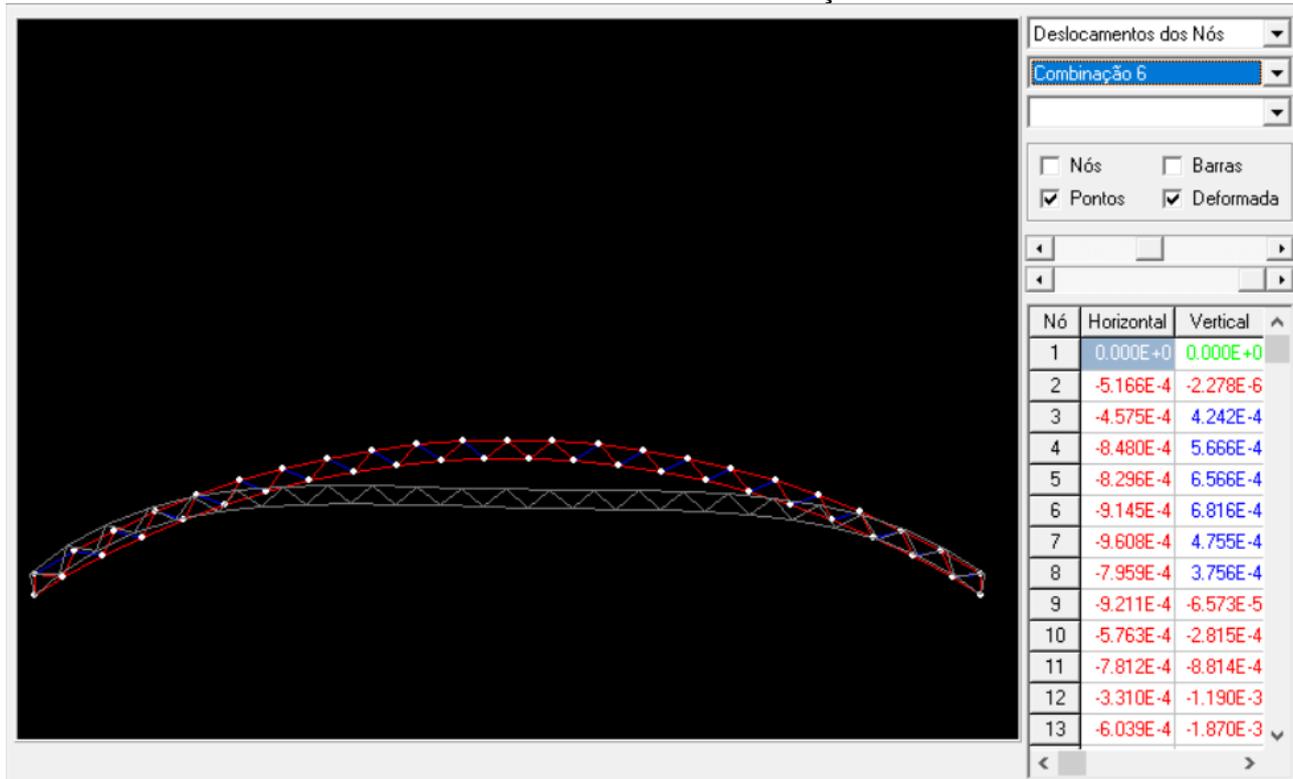
Deslocamento do nó combinação 4.



Deslocamento do nó combinação 5.

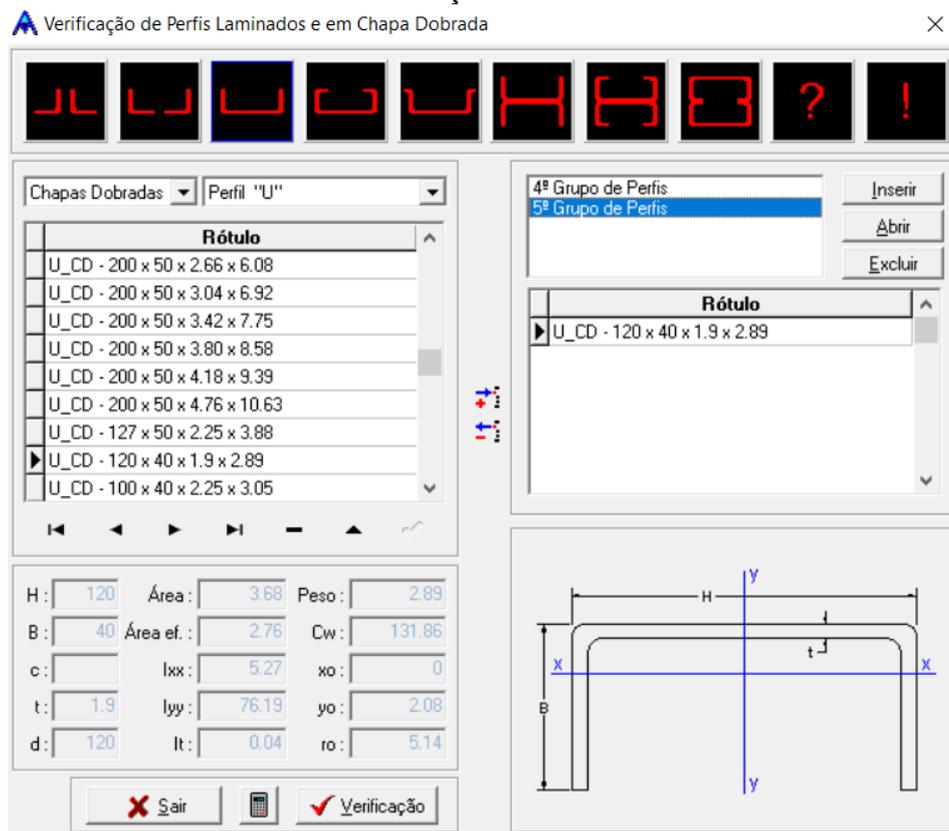


Deslocamento do nó combinação 6.



Verificação de Perfis

Verificação de Perfis Laminados e em Chapa Dobrada



Chapas Dobradas | Perfil "U"

Rótulo

- U_CD - 200 x 50 x 2.66 x 6.08
- U_CD - 200 x 50 x 3.04 x 6.92
- U_CD - 200 x 50 x 3.42 x 7.75
- U_CD - 200 x 50 x 3.80 x 8.58
- U_CD - 200 x 50 x 4.18 x 9.39
- U_CD - 200 x 50 x 4.76 x 10.63
- U_CD - 127 x 50 x 2.25 x 3.88
- U_CD - 120 x 40 x 1.9 x 2.89
- U_CD - 100 x 40 x 2.25 x 3.05

4º Grupo de Perfis
5º Grupo de Perfis

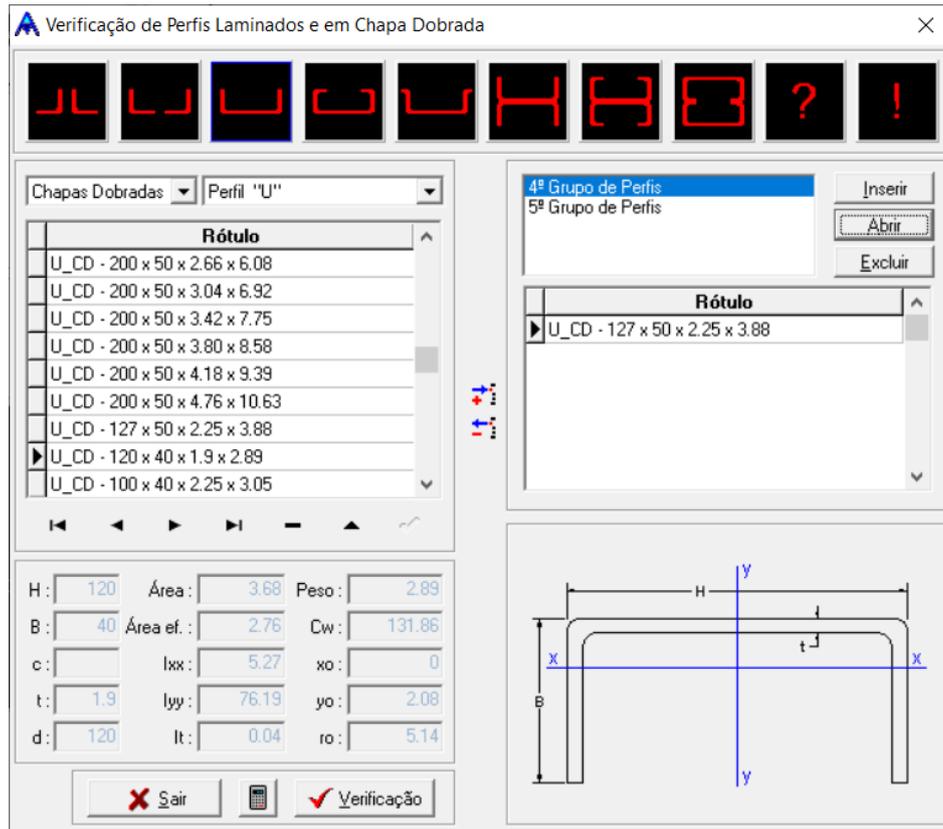
Rótulo

- U_CD - 120 x 40 x 1.9 x 2.89

H: 120 Área: 3.68 Peso: 2.89
B: 40 Área ef.: 2.76 Cw: 131.86
c: lxx: 5.27 xo: 0
t: 1.9 lyy: 76.19 yo: 2.08
d: 120 lt: 0.04 ro: 5.14

Sair Verificação

Verificação de Perfis Laminados e em Chapa Dobrada



Chapas Dobradas: Perfil "U"

Rótulo
U_CD - 200 x 50 x 2.66 x 6.08
U_CD - 200 x 50 x 3.04 x 6.92
U_CD - 200 x 50 x 3.42 x 7.75
U_CD - 200 x 50 x 3.80 x 8.58
U_CD - 200 x 50 x 4.18 x 9.39
U_CD - 200 x 50 x 4.76 x 10.63
U_CD - 127 x 50 x 2.25 x 3.88
U_CD - 120 x 40 x 1.9 x 2.89
U_CD - 100 x 40 x 2.25 x 3.05

4º Grupo de Perfis
5º Grupo de Perfis

Inserir
Abrir
Excluir

Rótulo
U_CD - 127 x 50 x 2.25 x 3.88

H: 120 Área: 3.68 Peso: 2.89
 B: 40 Área ef.: 2.76 Cw: 131.86
 c: Ixx: 5.27 xo: 0
 t: 1.9 Iyy: 76.19 yo: 2.08
 d: 120 It: 0.04 ro: 5.14

Sair Verificação

Solicitação dos perfis

Verificação de Perfis

Grupos de Barras

Grupo de Barras	Grupo de Perfis
Grupo Padrão	
BANZO INFERIOR	4º Grupo de Perfis
BANZO SUPERIOR	4º Grupo de Perfis
DIAGONAIS	5º Grupo de Perfis

4º Grupo de Perfis
5º Grupo de Perfis

Verificar

Grupo Padrão	4º Grupo de Perfis
BANZO INFERIOR	U_CD - 127 x 50 x 2.25 x 3.88 61.94% 79
BANZO SUPERIOR	
DIAGONAIS	

00 -- 20% 61 -- 80%
 21 -- 40% 81 -- 100%
 41 -- 60% > 101%

Sair OK

Verificação de Perfis

Grupos de Barras

Grupo de Barras	Grupo de Perfis
Grupo Padrão	
BANZO INFERIOR	4º Grupo de Perfis
BANZO SUPERIOR	4º Grupo de Perfis
DIAGONAIS	5º Grupo de Perfis

4º Grupo de Perfis
5º Grupo de Perfis

Verificar

Grupo Padrão
BANZO INFERIOR
BANZO SUPERIOR
DIAGONAIS

4º Grupo de Perfis

U_CD - 127 x 50 x 2.25 x 3.88	45.67%	81
-------------------------------	--------	----

00 -- 20% 61 -- 80%
 21 -- 40% 81 -- 100%
 41 -- 60% > 101%

Sair OK

Verificação de Perfis

Grupos de Barras

Grupo de Barras	Grupo de Perfis
Grupo Padrão	
BANZO INFERIOR	4º Grupo de Perfis
BANZO SUPERIOR	4º Grupo de Perfis
DIAGONAIS	5º Grupo de Perfis

4º Grupo de Perfis
5º Grupo de Perfis

Verificar

Grupo Padrão
BANZO INFERIOR
BANZO SUPERIOR
DIAGONAIS

5º Grupo de Perfis

U_CD - 120 x 40 x 1.9 x 2.89	8.12%	66
------------------------------	-------	----

00 -- 20% 61 -- 80%
 21 -- 40% 81 -- 100%
 41 -- 60% > 101%

Sair OK