



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MARCUS TÚLIO GOMES QUEIROZ

**EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO DE UM GALPÃO INDUSTRIAL COM
ESTRUTURA EM AÇO**

Recife
2022

MARCUS TÚLIO GOMES QUEIROZ

**EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO DE UM GALPÃO INDUSTRIAL COM
ESTRUTURA EM AÇO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da
Universidade Federal de Pernambuco, Centro
Tecnologia e Geociências, para obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. José Jéferson Rêgo Silva

Recife

2022

Catalogação na fonte:
Bibliotecário Rosineide Mesquita G Luz, CRB-4 / 1361

Q3e Queiroz, Marcus Túlio Gomes.
Exemplo de dimensionamento de um galpão industrial com estrutura em aço /
Marcus Túlio Gomes Queiroz. – 2022.
55 f.: il., figs., tabs., abrev. e sigl.

Orientador: Prof. Dr. José Jéferson Rêgo Silva.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Departamento
Engenharia Civil, Recife, 2022.
Inclui referências e anexos.

1. Engenharia civil. 2. Estruturas metálicas. 3. Galpão industrial. 4. Cype 3D. 5.
Dimensionamento estrutural. I. Silva, José Jéferson Rêgo (Orientador). II. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2022-278

MARCUS TÚLIO GOMES QUEIROZ

**EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO DE UM GALPÃO INDUSTRIAL COM
ESTRUTURA EM AÇO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da
Universidade Federal de Pernambuco, Centro
de Tecnologia e Geociências, como requisito
parcial para obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Civil.

Aprovado em: 13/06/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Jéferson Rêgo Silva (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Paulo de Araújo Regis (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Eng. Civil Geraldo Dimas Roma Lino (Examinador Externo)
Universidade de Taubaté - UNITAU

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus que me concede muita luz, força e determinação para trabalhar em cima dos meus objetivos e conquista-los, sejam pessoais, acadêmicos ou profissionais. A todos da minha família que sempre foram minha base para conseguir alcançar meus sonhos, eis aqui mais um sendo realizado que sem eles, tudo seria mais difícil. Entrar em uma universidade pública federal, estudar muito e se formar depois de uma trajetória de 5 anos é um privilégio que todos deveriam saber o quanto é bom e vale a pena a caminhada. O sentimento de gratidão é enorme, sem citar nomes, sou grato a todos aqueles que fazem parte do meu círculo de convivência, aos professores onde consegui tirar exemplos e lições que levarei para a vida, grandes nomes reconhecidos no país e no mundo, do mais calmo que apresenta uma didática diferenciada ao mais carrasco que cobra e exige um esforço fora da curva, agradeço a Deus por ter vocês na minha história como docente onde levarei marcado na memória. Um time forte nos fortalece, nós somos a média daqueles que nos cercam, por isso me considero privilegiado por ter passado 5 anos junto de uma turma boa, que soma o esforço a inteligência e que estar determinada a almejar grandes desafios pela frente, da área II ao CTG, sempre fui bem assistido por uma excelente equipe e tenho certeza que na próxima fase, o mercado de trabalho, a reciprocidade será sempre a mesma. Deus, família, professores, amigos, aqui vai meu muito obrigado a todos vocês!

RESUMO

Este estudo foi um exemplo de dimensionamento de uma estrutura metálica de um galpão industrial utilizando o Cype3D muito comum no ramo das estruturas em aço. Teve como objetivo apresentar a metodologia do dimensionamento, vantagens e desvantagens deste método construtivo. Pela sua praticidade, rapidez e o aspecto arquitetônico, o uso de estrutura metálica passa a ser adotado no mercado de trabalho cada dia mais principalmente em galpões de pequeno, médio e grande porte. O trabalho a seguir contribuiu muito no lado acadêmico, técnico e profissional não apenas para meu aprendizado como também para aquelas pessoas que procuram um material didático de como realizar um dimensionamento no Cype3D. O que mais me motivou a escolher e escrever sobre este tema foi a falta de conteúdo didático a respeito da modelagem e dimensionamento quanto a estrutura em questão. Como já havia trabalhado em escritório de projeto, auxiliado técnicos e engenheiros inclusive no Cype3D, percebi que precisava deixar registrado minha experiência e contribuição para aqueles que desejam estudar e/ou elaborar uma estrutura semelhante, pois o procedimento é o mesmo. Um outro fator importante, é que apesar de ter auxiliado no cálculo elaborado neste programa, a estrutura foi concreto armado. Portanto, nossa literatura carece de um exemplo dimensionamento de um galpão feito no Cype3D já que é uma estrutura não tão difícil de encontrar no mercado e por se tratar de um programa de fácil manuseio.

Palavras-chave: estruturas metálicas; galpão industrial; Cype3D; dimensionamento estrutural.

ABSTRACT

This study was an example of the dimensioning of a steel structure for an industrial shed using Cype3D, which is very common in the steel structures industry. It aimed to present the dimensioning methodology, advantages and disadvantages of this constructive method. Because of its practicality, speed and architectural aspect, the use of steel structure is being adopted in the labor market every day, especially in small, medium and large warehouses. The following work contributed a lot on the academic, technical and professional side, not only for my learning but also for those people who are looking for didactic material on how to perform a dimensioning in Cype3D. What motivated me the most to choose and write about this topic was the lack of didactic content regarding modeling and dimensioning regarding the structure in question. As I had already worked in a design office, helped technicians and engineers including Cype3D, I realized that I needed to record my experience and contribution for those who wish to study and/or develop a similar structure, as the procedure is the same. Another important factor is that despite having helped in the calculation elaborated in this program, the structure was reinforced concrete. Therefore, our literature lacks an example of dimensioning a shed made in Cype3D since it is a structure not so difficult to find in the market and because it is an easy-to-use program.

Keywords: steel structures; industrial sheds; Cype3D; structural dimensioning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Pórticos de perfis com alma cheia	19
Figura 2 –	Pórticos treliçados	19
Figura 3 –	Pórtico treliçado trapezoidal	22
Figura 4 –	Inserindo categoria de uso	25
Figura 5 –	Inserindo seleção de normas	25
Figura 6 –	Hipóteses adicionais (peso próprio, cargas permanentes, sobrecarga e vento)	26
Figura 7 –	Cargas permanentes	26
Figura 8 –	Sobrecarga	26
Figura 9 –	Inserindo atuações do vento	27
Figura 10 –	Criações de níveis	27
Figura 11 –	Definição de grelha no programa (locação dos eixos)	28
Figura 12 –	Modelagem do pórtico	28
Figura 13 –	Definição do perfil utilizado	29
Figura 14 –	Janela para escolha da vinculação interna dos nós	30
Figura 15 –	Janela para escolha da vinculação externa dos nós	30
Figura 16 –	Modelagem final do pórtico com perfis definidos	31
Figura 17 –	Modelagem da estrutura em 3D	31
Figura 18 –	Lançamento das terças lateral e de cobertura	32
Figura 19 –	Lançamento dos tirantes	33
Figura 20 –	Contraventamento horizontal e vertical da estrutura	33
Figura 21 –	Carregamento do telhado metálico (carga permanente)	34
Figura 22 –	Carga normativa	35
Figura 23 –	Velocidade básica	35
Figura 24 –	Dimensões de edificação	36
Figura 25 –	Fator S1	36
Figura 26 –	Classe da edificação B	37
Figura 27 –	Classe do terreno IV	37
Figura 28 –	Fator S2 a 0° e 90°	38
Figura 29 –	Fator S3 (Grupo 2)	38

Figura 30 –	Velocidade característica e pressão de obstrução	39
Figura 31 –	Coeficiente de pressão externa nas paredes	39
Figura 32 –	Coeficiente de forma externo	40
Figura 33 –	Coeficiente de pressão externa no telhado	40
Figura 34 –	Coeficiente de forma externo (Vento a 0°)	41
Figura 35 –	Coeficiente de forma externo (Vento a 90°)	41
Figura 36 –	Sobrepressão no telhado (Vento a 0°)	42
Figura 37 –	Sobrepressão no telhado (Vento a 90°)	42
Figura 38 –	Inserindo vento a 0° no Cype3D.....	43
Figura 39 –	Inserindo vento a 90° da direita para esquerda no Cype3D.....	44
Figura 40 –	Inserindo vento a 90° da esquerda para direita no Cype3D.....	44
Figura 41 –	Carregamento total devido a ação do vento na estrutura.....	45
Figura 42 –	Verificações de dimensionamento	46
Figura 43 –	Ligações dos pilares (28 ao todo)	47
Figura 44 –	Detalhamento da placa base	47
Figura 45 –	Placa base em 3D	48
Figura 46 –	Vista 3D da estrutura	48
Figura 47 –	Vista 3D da estrutura (terças laterais e terças da cobertura)	49
Figura 48 –	Vista 3D da estrutura (travamentos e contraventamentos)	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Perfis usuais	21
Tabela 2 –	Quadro resumo	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
ELS	Estado Limite de Serviço
ELU	Estado Limite Último
FLA	Flambagem Local de Alma
FLM	Flambagem Local de Mesa
FLT	Flambagem Local de Torção
NBR	Norma Brasileira

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO	13
1.2	OBJETIVOS	14
1.2.1	Objetivo Geral	14
1.2.2	Objetivos Específicos	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA ESTRUTURAL	15
2.2	VANTAGENS DA ESTRUTURA EM AÇO	16
2.3	DESVANTAGENS DA ESTRUTURA EM AÇO	17
2.4	PROPRIEDADES DO AÇO	17
2.5	PROPRIEDADES MECÂNICAS GERAIS	18
2.6	CLASSIFICAÇÃO DO AÇO	18
2.6.1	Pórticos Transversais	18
2.7	DEFINIÇÃO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS	20
2.7.1	Terças	20
2.7.2	Tirantes	20
2.7.3	Contraventamentos	20
2.8	PERFIS USUAIS	20
2.9	PÓRTICOS TRELIÇADOS TRAPEZOIDAL	22
3	MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	23
3.2	LOCAÇÃO DOS PILARES	23
3.3	ESTRUTURA	23
3.4	ESFORÇOS ATUANTES	24
3.5	DIMENSIONAMENTO NO CYPE3D	24
3.5.1	Modelagem dos pórticos	27
3.5.2	Lançamento das terças e tirantes	32
3.5.3	Contraventamento	33
3.5.4	Cargas atuantes no galpão	34
3.5.4.1	Software Ciclone (ação do vento)	35
3.5.4.2	Inserindo dados do Ciclone no CYPE3D	43

3.5.5	Verificações	45
3.6	ELEMENTOS DE LIGAÇÃO	46
4	TABELA RESUMO	50
5	CONCLUSÃO	51
	REFERÊNCIAS	52
	ANEXO A – PLANTA DE COBERTA	54
	ANEXO B – PLANTA DOS PILARES	55

1 INTRODUÇÃO

A construção civil hoje apresenta um mercado de alta competitividade no mundo inteiro. No Brasil, a engenharia tem como objetivo, em linha com práticas internacionais, a inovação no que tange a respeito do desenvolvimento atrelado a três importantes fatores: redução de custos, diminuição do período das obras e aumento da eficiência das mesmas. Em busca de alternativas capaz de conciliar os fatores mencionados, a engenharia conduz o cenário da construção civil para utilização de métodos baseados na utilização do aço em suas atividades.

Nas metrópoles, onde encontra-se em escassez as grandes áreas livres, o uso de estruturas metálicas torna-se uma saída inteligente pois as seções da estrutura, comparado com o concreto armado, são de fato menores, portanto, implica em um melhor aproveitamento e arranjo dos espaços disponíveis aumentando a área útil (NOGUEIRA; GRUPO HARD, 2019).

O uso deste tipo de estrutura é composto por perfis metálicos, principalmente o aço, podendo ser aplicado nos mais variados tipos de projetos como galpões, edifícios, shoppings, estádios, possuindo como a principal vantagem a rapidez. Como todas as peças são produzidas em fábrica e chegam ao canteiro de obras prontas para montagem, faz-se necessário um projeto extremamente detalhado e bem dimensionado já que não permite improvisações (NOGUEIRA; GRUPO HARD, 2019).

Diante do exposto, este trabalho apresenta um exemplo de dimensionamento estrutural de um galpão industrial abordando os aspectos que influenciam no dimensionamento cujo o objetivo primordial foi melhorar as habilidades no Cype3D trabalhando em novas ferramentas e disponibilizar diante deste trabalho uma experiência para que outros profissionais possam utilizar. Primeiramente, definindo-se os critérios para escolha do perfil, faz-se o dimensionamento verificando se atende a NBR (Norma Brasileira) 8800:2008 tendo que redimensionar em caso negativo.

1.1 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

Diante dos avanços tecnológicos na construção civil, os profissionais vêm cada vez mais inovando nos métodos executivos e buscando fatores que favoreçam o planejamento da obra, como por exemplo, o tempo de execução, versatilidade, flexibilidade, sustentabilidade, etc. No Brasil, ainda é predominante nas construções a utilização do concreto armado, porém, como a

utilização de estruturas metálicas é a realidade nos países europeus, o mercado sinaliza que esse tipo de estrutura será tendência ao longo do tempo.

Considerando-se uma estrutura pouco utilizada e com uma enorme ausência de literatura quanto ao uso do Cype3D nas bibliotecas, publicações e mecanismos de pesquisa no geral, faz-se necessário um estudo de como elaborar um dimensionamento sobre estruturas metálicas em edificações utilizando o software de modo que sirva de fonte e experiência para aqueles que desejarem o estudo ou uso profissional.

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo geral um dimensionamento estrutural utilizando um software conforme mencionado e para isto se faz necessário uma série de metas que são os objetivos específicos.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi elaborar um exemplo de dimensionamento de um galpão em estrutura metálica de acordo com a norma de aço NBR 8800:2008, utilizando o software Cype3D de modo que facilite o cálculo de uma estrutura de pequeno e médio porte.

1.2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos podemos listar:

- Elaborar planta com a locação dos pilares metálicos de acordo com a arquitetura.
- Definir a estrutura de modo que não ocorra incompatibilidade com o projeto arquitetônico.
- Modelar toda a estrutura no Cype3D.
- Inserir no software os esforços atuantes considerados.
- Calcular a estrutura conforme esforços solicitantes.
- Fazer as verificações de dimensionamento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para o aprofundamento bibliográfico, a presente pesquisa envolverá características do sistema estrutural, vantagens e desvantagens da estrutura em aço, propriedades do aço, propriedades mecânicas gerais, classificação do aço, definição dos elementos estruturais e pórticos (usuais e treliçados trapezoidal).

2.1 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA ESTRUTURAL

Antes mesmo de qualquer definição sobre o método construtivo a ser utilizado, deve-se estudar quais são as necessidades da obra para avaliar qual procedimento é o mais adequado para atender todos os requisitos desejados. Pinho e Penna (2008, p. 19) mencionam diversas características de obra que influenciam na decisão do sistema estrutural a ser escolhido:

- Tipo de fundação
- Tempo de construção
- Tipo de ocupação
- Disponibilidade e custo dos materiais
- Recursos da construtora
- Local da obra e acessos
- Possibilidade de adaptações
- Compatibilidade c/ sist. Complementares
- Manutenção e reparos
- Vãos livres
- Espaço livre para a estrutura
- Espaço livre para utilidades
- Altura da edificação

- Proteção contra a corrosão
- Proteção contrafogo
- Estética
- Desperdício materiais/mão-de-obra
- Segurança do trabalhador
- Custos financeiros
- Adequação ambiental
- Qualidade e durabilidade
- Desempenho
- Incômodo de áreas próximas

Nos tempos de hoje, as empresas e construtoras buscam redução no tempo de obra para obtenção de um lucro maior pois o tempo é diretamente ligado ao valor gasto em uma construção. Neste sentido, as estruturas metálicas possuem um preço maior comparado a outras estruturas de concreto armado por exemplo, porém, ao se considerar o tempo estimado de execução, passa a ser uma excelente opção.

2.2 VANTAGENS DA ESTRUTURA EM AÇO

Segundo Bellei (2003), as principais vantagens da utilização da estrutura em aço são as seguintes:

- a) Alta resistência do material quanto a tração, compressão, flexão;
- b) Os elementos em aço oferecem uma grande margem de segurança no trabalho;
- c) São fabricados em oficinas;
- d) Tem-se a possibilidade de desmontar as estruturas e posteriormente montá-las em outro local;
- e) Também podem ser reaproveitados os materiais que ficarem em estoque, ou mesmo as sobras de obra.

Outra vantagem que se pode mencionar é quanto ao peso da estrutura metálica pois estas pesam de seis a dez vezes menos do que as estruturas de concreto armado possibilitando uma redução nas cargas e custos da fundação.

2.3 DESVANTAGENS DA ESTRUTURA EM AÇO

Segundo Bellei (2003), o que faz a estrutura de aço ser a grande vilã são os seus elementos, aço carbono, ser suscetível a corrosão, o que requer que eles sejam tratados com uma camada de proteção (tinta, zarcão, etc.). Outra desvantagem da estrutura em aço refere-se a exposição ao fogo, devido a perda das propriedades de resistência. Por esse motivo, considera-se como uma das grandes desvantagens.

2.4 PROPRIEDADES DO AÇO

Segundo Pfeil e Pfeil (2009, p.16), as características físicas que podem ser adotadas em todos os tipos de aços estruturais que estejam na faixa normal de temperatura atmosférica são:

- a) Ductibilidade: é a capacidade que o material tem de se deformar quando da existência de ações de cargas e vai até o material atingir a sua ruptura.
- b) Fragilidade: é exatamente o oposto do material dúctil, o material se torna frágil quando expostos a diversos agentes como baixas temperaturas.
- c) Resilência e Tenacidade: essas propriedades são diretamente relacionadas à capacidade que o material tem em absorver energia mecânica.
- d) Dureza: é a resistência ao risco (ou abrasão).
- e) Fadiga: processo progressivo e localizado de modificações estruturais permanentes ocorridas em um material submetido a condições que produzam tensões e deformações cíclicas que pode culminar em trincas ou fratura após um certo número de ciclos.
- f) Elasticidade: é a capacidade de voltar à forma original em ciclo de carregamento e descarregamento.

2.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS GERAIS

De acordo com a NBR 8800:2008, para efeito de cálculo, os aços possuem os seguintes valores de propriedades mecânicas:

- a) Módulo de elasticidade, $E=E_a=200\text{ MPa}$;
- b) Coeficiente de Poisson, $\nu_a = 0,3$;
- c) Módulo de elasticidade transversal, $G=77000\text{ MPa}$;
- d) Coeficiente de dilatação térmica, $\beta = 12 \times 10^{-6}$ por $^{\circ}\text{C}$;
- e) Massa específica, $\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$.

2.6 CLASSIFICAÇÃO DO AÇO

Os aços são classificados em três tipos: aço carbono, aço de baixa liga sem tratamento térmico e aço de baixa liga com tratamento térmico. Os aços são especificados em normas brasileiras e internacionais ou em normas elaboradas pelas próprias siderúrgicas. Os aços-carbono são os mais utilizados na construção civil, são aqueles que não contêm elementos de liga, sendo divididos em: baixo, médio e alto carbono (PINHO; PENNA, 2008).

2.6.1 Pórticos Transversais

São diversos os sistemas estruturais que podem compor uma estrutura de um galpão industrial. O sistema de pórticos planos transversais é estabilizado longitudinalmente por contraventamentos. De um modo geral, são estruturas simples, sem interferências, rápido de executar e econômicas. Estas características favorecem o uso desses sistemas para galpões de um só pavimento (KRIPKA, 2020).

Existem dois tipos básicos de pórticos planos utilizados nos galpões de um só pavimento:

1- Pórticos de perfis de alma cheia (Figura 1), que utilizam perfis laminados ou perfis soldados.

2- Pórticos treliçados, que empregam perfis leves (Figura 2).

Figura 1 - Pórticos de perfis com alma cheia



Fonte: MF Magazine (2021).

Figura 2 - Pórticos treliçados



Fonte: Ferraz (2017).

2.7 DEFINIÇÃO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Ainda sobre os pórticos planos, faz-se necessário conhecer alguns conceitos que envolvam os elementos estruturais, esses serão descritos a seguir: terças; tirantes e contraventamentos.

2.7.1 Terças

As terças têm como função principal servir de apoio as telhas da cobertura e estabilizar as peças onde se encontram apoiadas. As terças apoiam-se transversalmente nas tesouras e reduzem o comprimento de flambagem das mesmas, são elas que fazem a transmissão da sobrecarga da cobertura e as ações do vento para os pórticos transversais. A ligação das terças nas tesouras pode ser feita com parafusos ou solda (RIBEIRO NETO; PERES, 2015).

2.7.2 Tirantes

Os tirantes são elementos onde possui como função reduzir os vãos entre as terças, sendo assim, possibilita uma melhor rigidez a tração (TELAPORT, 2004).

2.7.3 Contraventamentos

Trata-se de um sistema de ligação entre os elementos de uma estrutura onde possui como finalidade estabilizar a estrutura na longitudinal, aumentando a rigidez da construção e assim, suportando efeitos do vento e de outras cargas horizontais. Estes esforços são transmitidos para a fundação. Os contraventamentos são executados em barras de aço, normalmente em forma de X (RIBEIRO NETO; PERES, 2015).

2.8 PERFIS USUAIS

Resumo dos principais elementos estruturais com os tipos de solicitação e materiais mais empregados (Tabela 1).

Tabela 1- Perfis usuais

Elementos Estruturais	Solicitações						Tipos de Materiais Empregados	
	Tração	Compressão	Flexão		Cisalhamento	Fadiga		
			S	D				
Terças			x	x		x	    	
Escoras do Beiral		x	x	x		x	   	
Tirantes	x						 Barra Redonda	
Cumeira			x	x		x	 	
Vigas de Tapamento				x		x	   	
Colunas de Tapamento	x	x	x			x	   	
Contrav. Horizontais	x	x					    	
Contrav. Verticais	x	x					    	
Placas de Base		x	x				Chapas	
Chumbadores	x				x		 Ø	
Tesouras	x	x				x	     	
Vigas do Pórtico	x	x			x	x	  	
Vigas Int. do Pórtico			x		x	x	 	
Colunas	x	x	x	x		x	    	
Vigas de Rolamento	x	x	x	x	x	x	   	
Juntas Soldadas	x	x	x	x	x	x	 	
Juntas Parafusadas	x	x			x	x	 	

Fonte: Bellei (2003, p.127).

2.9 PÓRTICOS TRELIÇADOS TRAPEZOIDAL

Trata-se de um pórtico muito utilizado por apresentar um bom desempenho estrutural (Figura 3). Como a extremidade do pórtico é diretamente ligada com o pilar, ocorre uma rigidez maior entre a viga e a coluna (CHAVES, 2007).

Figura 3 – Pórtico treliçado trapezoidal



Fonte: Cobertec Construções metálicas (2018).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para esta seção metodológica serão apontados os seguintes aspectos: considerações iniciais; locação dos pilares; estrutura; esforços atuantes; dimensionamento no Cype3D e elementos de ligação.

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O objetivo deste trabalho é dimensionar um galpão industrial no software Cype3D, que tem por finalidade um depósito de materiais. Trata-se de uma edificação sendo considerada em um terreno plano. De modo geral, neste trabalho utiliza-se um modelo estrutural comum.

3.2 LOCAÇÃO DOS PILARES

Foi adotado uma estrutura com 20m de frente por 30m de comprimento composta por 7 pórticos distanciados a cada 5m conforme especificações do projeto arquitetônico criado nos anexos A e B conforme modelo padrão de galpão utilizado no mercado. Todos os pilares foram locados nas limitações externas na lateral da edificação.

3.3 ESTRUTURA

Para a edificação, foi escolhido o uso de pilares treliçados que compõem os pórticos seguindo as dimensões máxima sugerida em projeto para os pilares que é de 50cm. Pilar este que configura uma estética adequada do ponto de vista de arquitetura e um curto prazo de execução, portanto foi válido o custo benefício. A locação dos pilares também foi dada conforme locação da arquitetura. Para as terças, de maneira análoga ao pilar, foi adotado o perfil U por possuir boa resistência e rápida execução, por isso é normalmente empregado este perfil entre as treliças servindo de apoio as telhas. Os tirantes e contraventamentos foram barras de aço com seção circular. Todos adotados conforme padrão de estrutura utilizado no mercado e perfis comerciais.

As treliças são moduladas de acordo com a necessidade da coberta. A altura no eixo foi calculada conforme inclinação definida pela especificação da telha que no nosso caso é 10%. Já os espaçamentos internos dos pilares das terças, também foram locados conforme necessidade de apoio das telhas. Mais adiante será detalhado cada segmento da estrutura.

3.4 ESFORÇOS ATUANTES

Existem três tipos de ações que geram efeitos significativos na estrutura, levando-se em conta os estados limites últimos e de serviço: ações permanentes, variáveis e excepcionais.

As permanentes são as que possuem ações fixas durante a vida útil da edificação, sendo ações definidas como ações diretas o peso próprio da estrutura e elementos construtivos fixos. Em nosso caso, o peso próprio é levado em conta e calculado pelo próprio Cype3D durante o dimensionamento e os elementos construtivos fixos são o carregamento do telhado metálico.

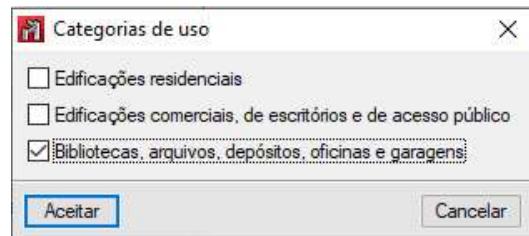
As ações variáveis são aquelas que apresentam variações significativas durante a vida útil da construção. A sobrecarga em pisos e coberturas, equipamentos, divisórias, móveis, ação do vento e variação de temperatura. Segundo a NBR 8800:2008, a sobrecarga normativa mínima é de 0.25kN/m, ou seja, 25kg/m. Mais adiante, no item 3.5.4, veremos o cálculo necessário para inserir no Cype3D.

Segundo a NBR 8800:2008, as ações excepcionais são aquelas onde a duração é extremamente curta e probabilidade muito baixa de ocorrência durante a vida da construção, como explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes e sismos excepcionais.

3.5 DIMENSIONAMENTO NO CYPE3D

Ao iniciar o dimensionamento no programa, foi inserido a terceira categoria de uso pois é a que se adequa o galpão e logo em seguida, selecionado as normas em questão de concreto, aço, madeira e alumínio conforme as figuras 4 e 5.

Figura 4 - Inserindo categoria de uso



Fonte: O autor (2021).

Figura 5 - Inserindo seleção de normas.



Fonte: O autor (2021)

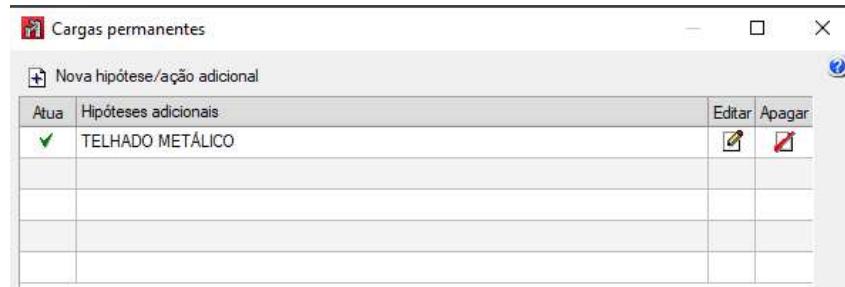
O próximo passo definido são as hipóteses adicionais onde foi considerado o peso próprio, as cargas permanentes, sobrecarga e ação dos ventos (Figuras 6, 7, 8 e 9).

Figura 6 - Hipóteses adicionais (peso próprio, cargas permanentes, sobrecarga e vento)



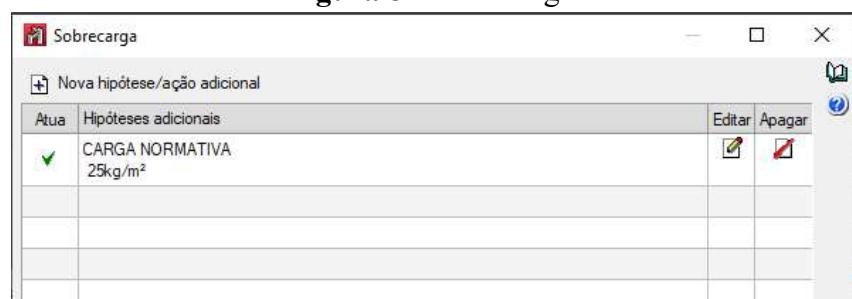
Fonte: O autor (2021)

Figura 7 - Cargas permanentes



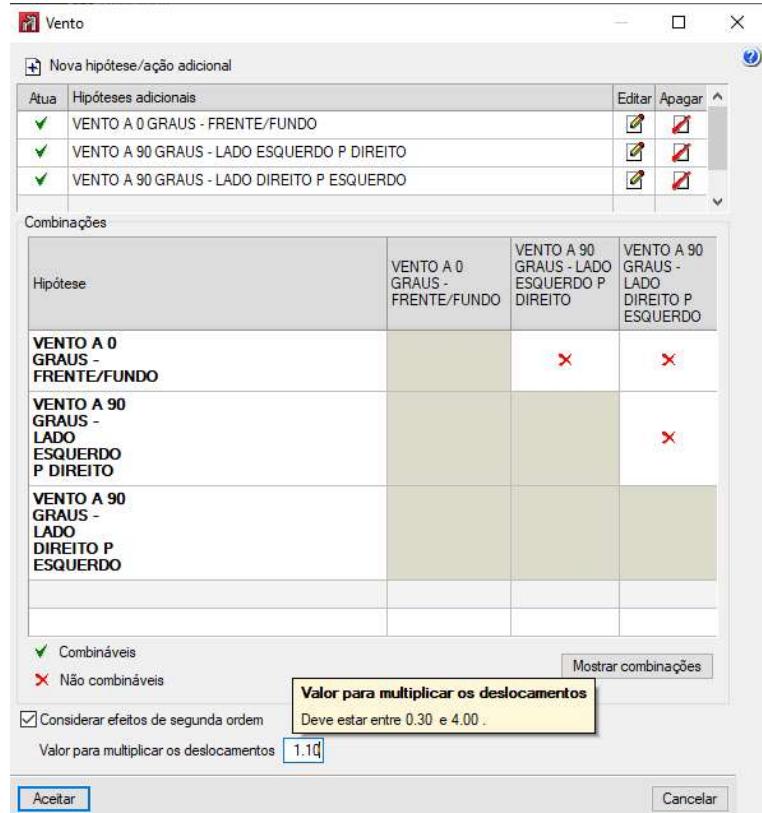
Fonte: O autor (2021)

Figura 8 - Sobrecarga.



Fonte: O autor (2021)

Figura 9 - Inserindo atuações do vento

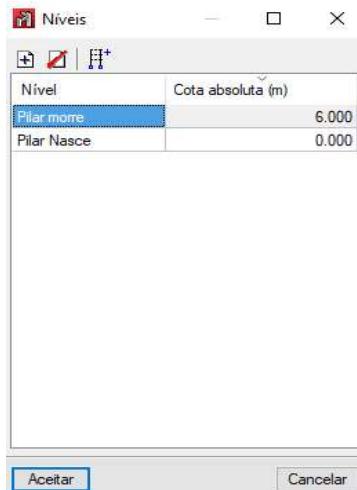


Fonte: O autor (2021)

3.5.1 MODELAGEM DOS PÓRTICOS

Na modelagem dos pórticos, primeiro passo para o dimensionamento do galpão, inicia-se criando os níveis dos pilares onde é considerado sua altura desde a fundação, 6m na estrutura em questão (Figura 10).

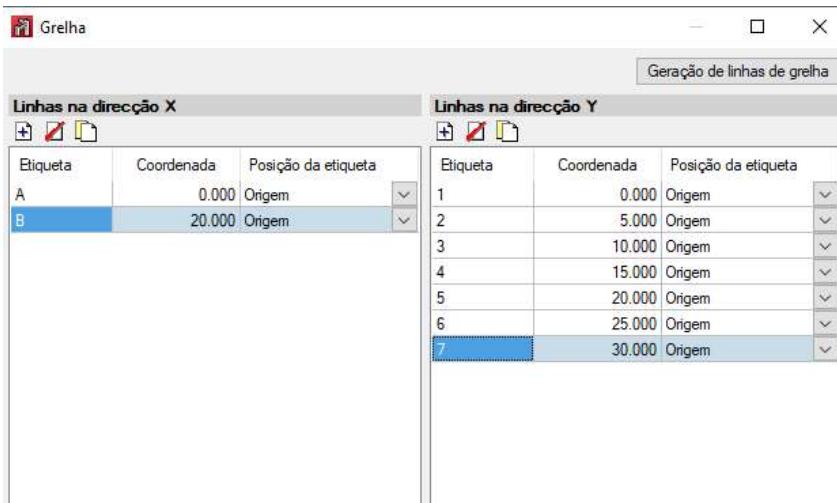
Figura 10 – Criação dos níveis



Fonte: O autor (2021)

Dando sequência a modelagem do pórtico, no plano XY define-se a grelha com coordenadas A e B na direção X e de 1 a 7 na direção Y formando o galpão 20m x 30m. O CYPE3D possui esta janela denominada “Grelha” para inserir os eixos referenciais de locação, onde no nosso caso trata-se da locação de cada um dos pórticos (Figura 11).

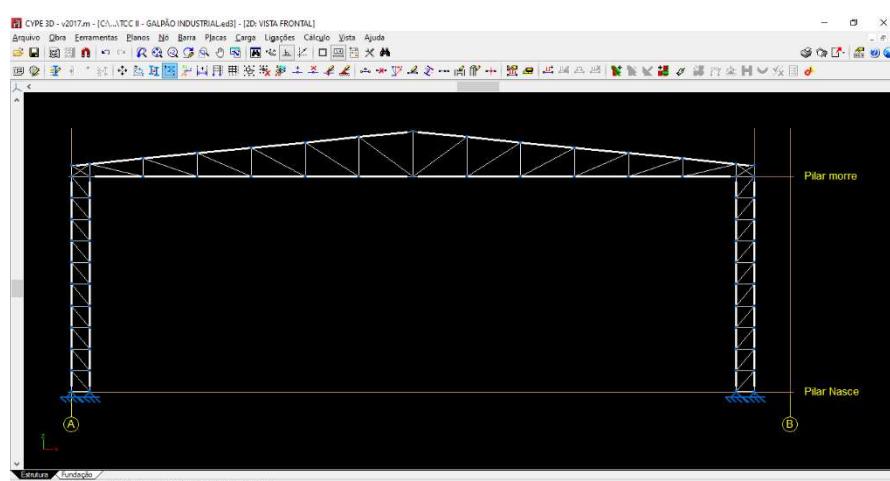
Figura 11 - Definição da grelha no programa (locação dos eixos)



Fonte: O autor (2021)

Foi definido conforme arquitetura que os pilares do pórtico possuem uma largura de 50cm e altura de 6m. A inclinação do telhado será de 10% e a distância entre as telhas de 1,60m. Para o cálculo das terças, como o eixo do pórtico possui 10m e o pilar foi definido com 50cm, então teremos 9,50m livre para ser dividido entre as terças a cada 1,60m, o que dá uma divisão de 6 seguimentos por eixo da tesoura. Quanto ao treliçamento dos pilares, foi definido uma divisão em 10 partes sendo 60cm para cada trecho (Figura 12).

Figura 12 - Modelagem do pórtico.

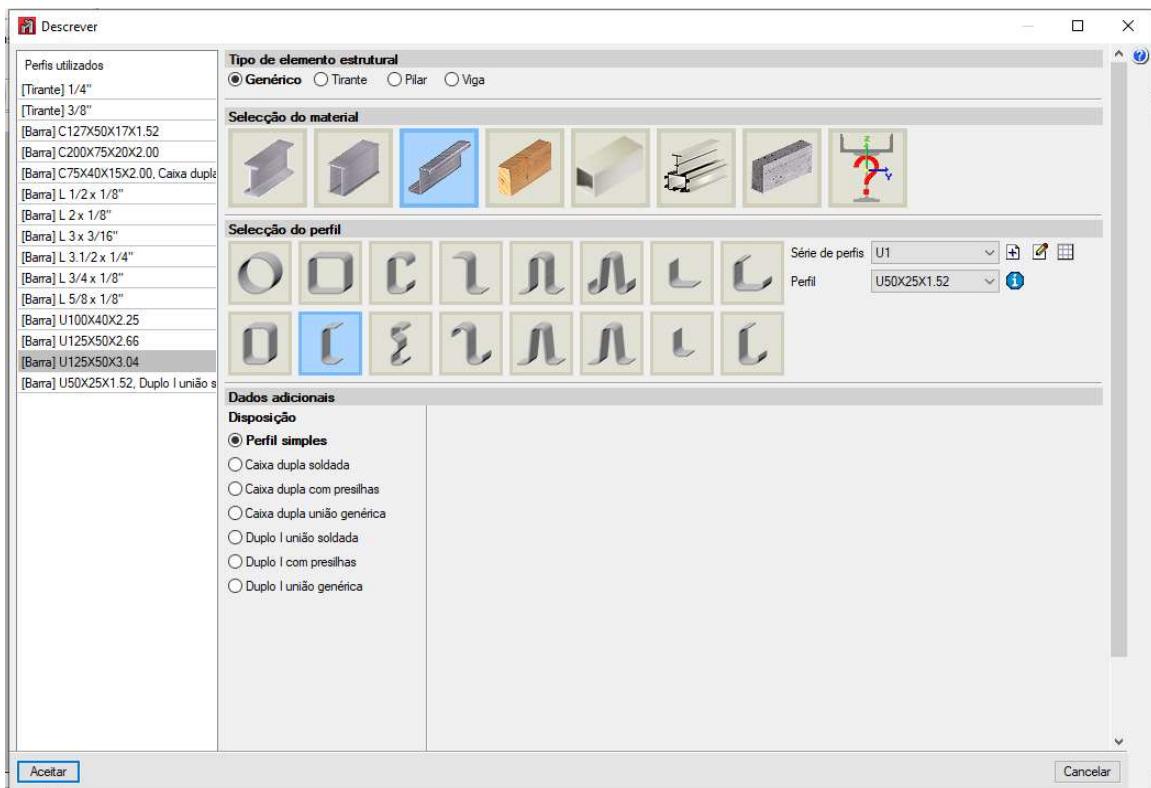


Fonte: O autor (2021).

Na definição do perfil, foi adotado aço dobrado: U dobrado simples. Conforme verificações e pesquisa no mercado, o programa não consegue acompanhar a disponibilidade comercial em todas as regiões, portanto foi importado tabelas da ArcelorMittal, Gerdau e TecnoMetal para ser utilizado no dimensionamento. O CYPE3D permite esta função de importar tabelas comerciais onde geralmente é suficiente para o dimensionamento de estruturas no geral. Em alguns casos especiais, o programa permite ainda editar e criar alguns perfis com tamanho e espessuras desejadas, então, definindo a seção almejada, o software consegue calcular a resistência mecânica daquele determinado perfil (Figura 13).

De início, foi definido o perfil U50x25x1,52.

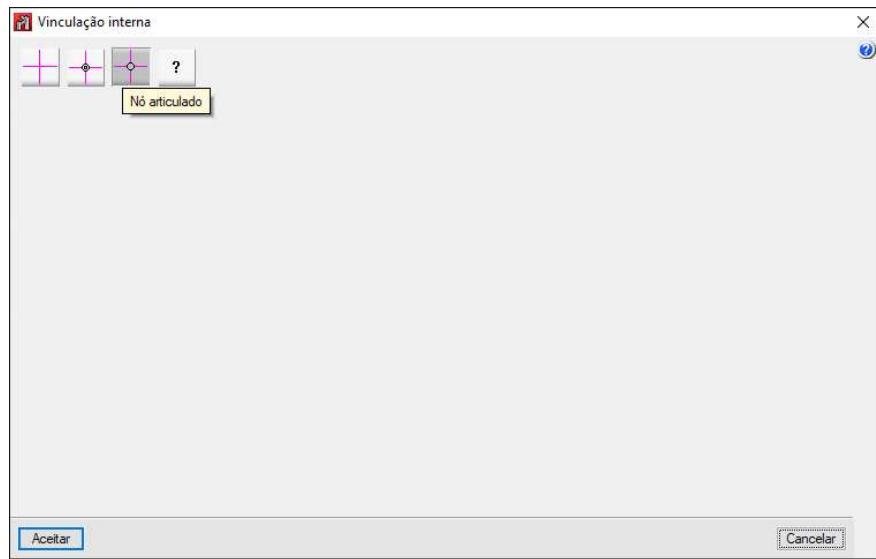
Figura 13 - Definição do perfil utilizado.



Fonte: O autor (2021).

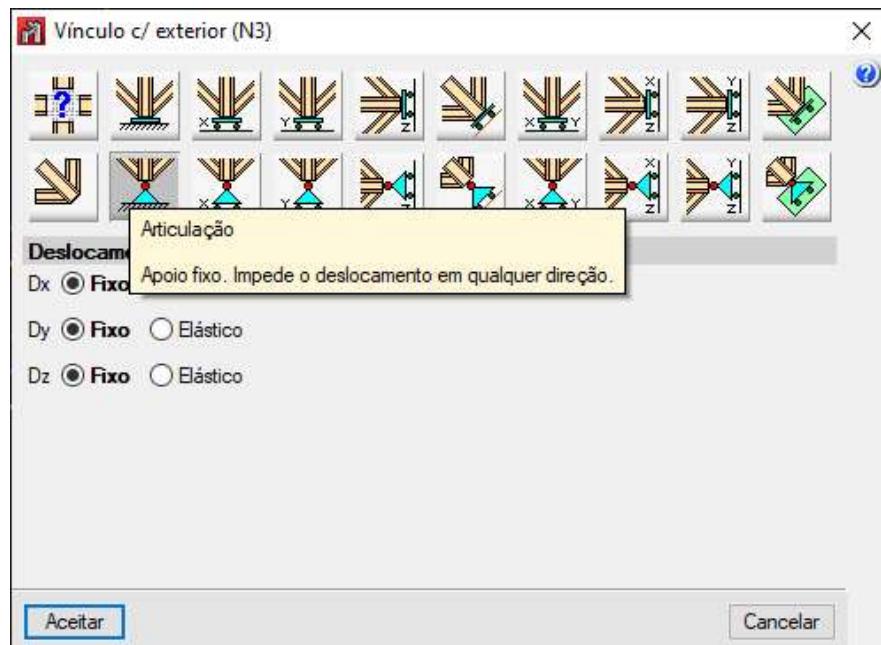
A treliça em questão foi considerada como nós articulados, de forma que os perfis trabalharão somente a esforços axiais (tração e compressão). Os nós da vinculação externa também não irão trabalhar transmitindo momentos a fundação, portanto consideramos como nós articulados (Figuras 14, 15 e 16).

Figura 14 – Janela para escolha da vinculação interna dos nós.



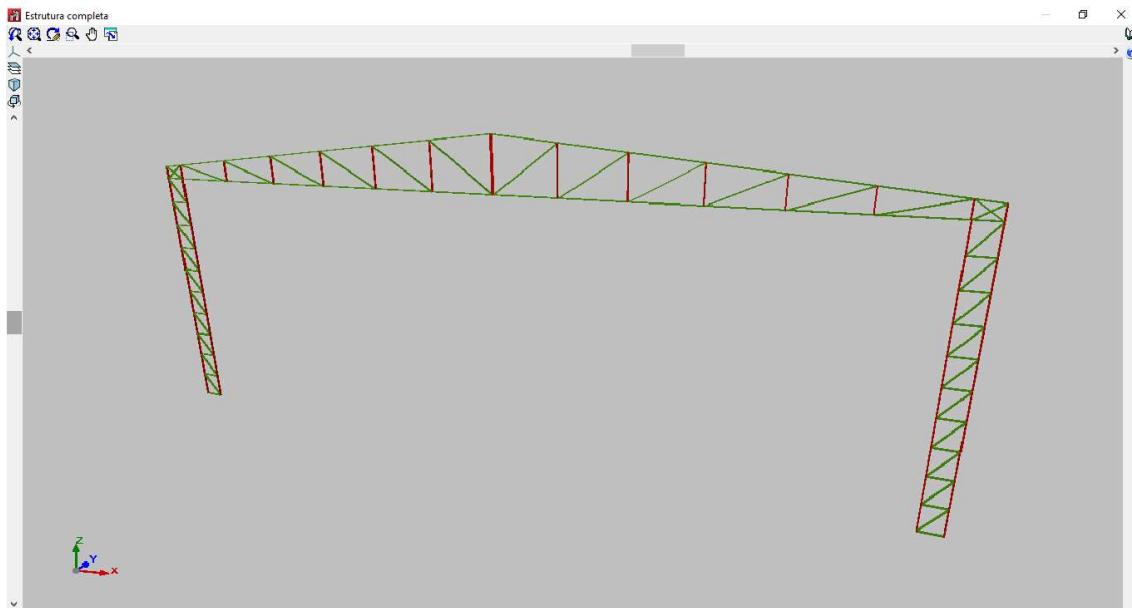
Fonte: O autor (2021).

Figura 15 - Janela para escolha da vinculação externa dos nós.



Fonte: O autor (2021).

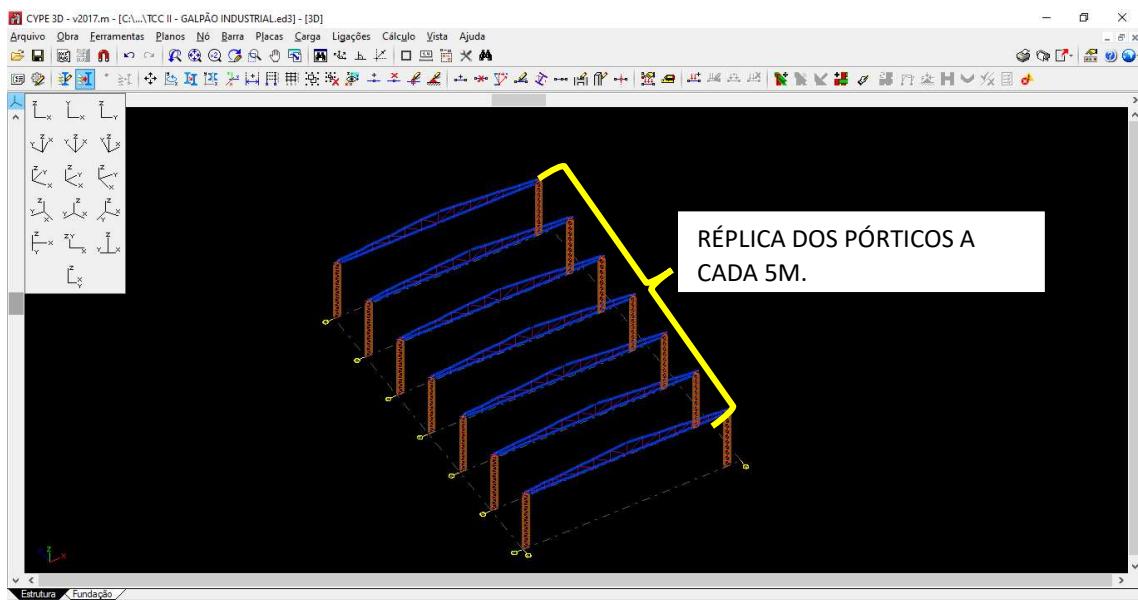
Figura 16 – Modelagem final do pórtico com os perfis definidos.



Fonte: O autor (2021).

Após todas as verificações com o pórtico, dimensionamento, modelagem, perfis usuais, articulação e layers, replicamos em 7 vezes, ou seja, um a cada 5m totalizando os 30m de comprimento do galpão (Figura 17). Desta forma, possuímos uma estrutura de 20m x 30m conforme estabelecido pela arquitetura inicial (ANEXOS A e B).

Figura 17 - Modelagem da estrutura em 3D.

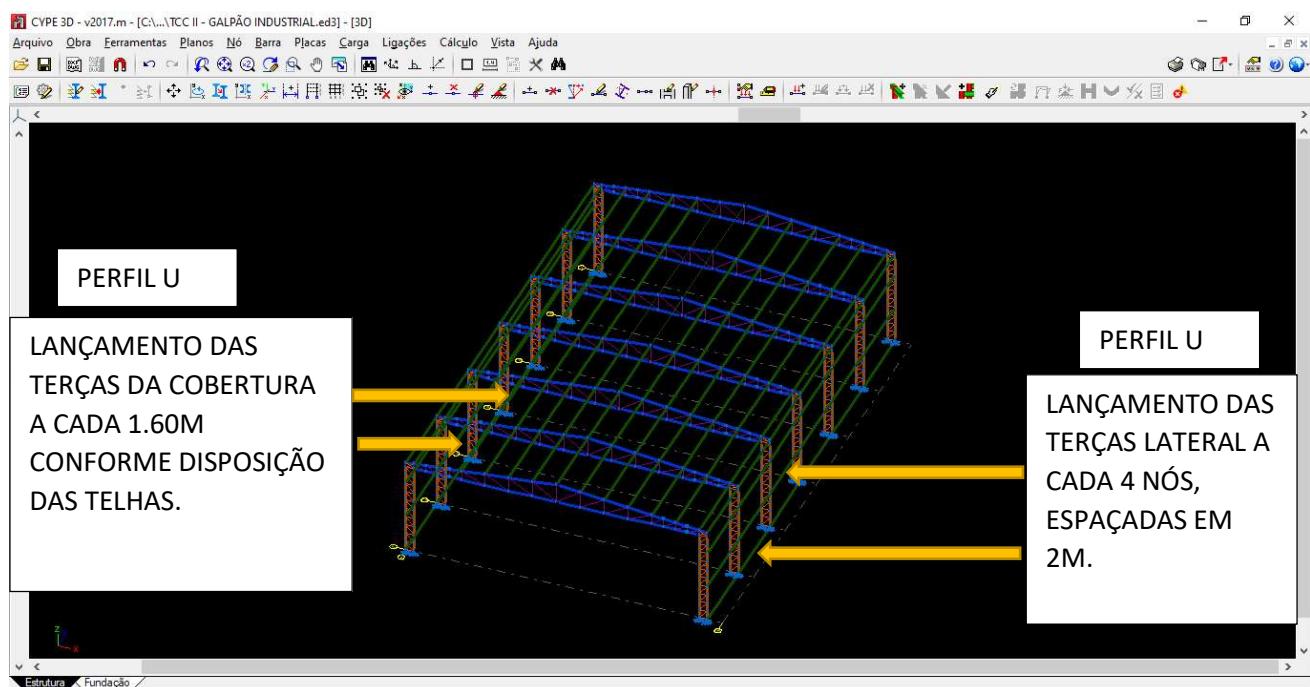


Fonte: O autor (2021).

3.5.2 Lançamento das terças e tirantes

Conforme estabelecido anteriormente, as telhas estão espaçadas a cada 1,60m, portanto, os nós da tesoura e as terças da cobertura acompanham este espaçamento. Os nós da lateral dos pilares possuem espaçamento de 50cm, portanto, definiu-se que as terças na lateral serão a cada 4 nós, ou seja, 2m (Figura 18).

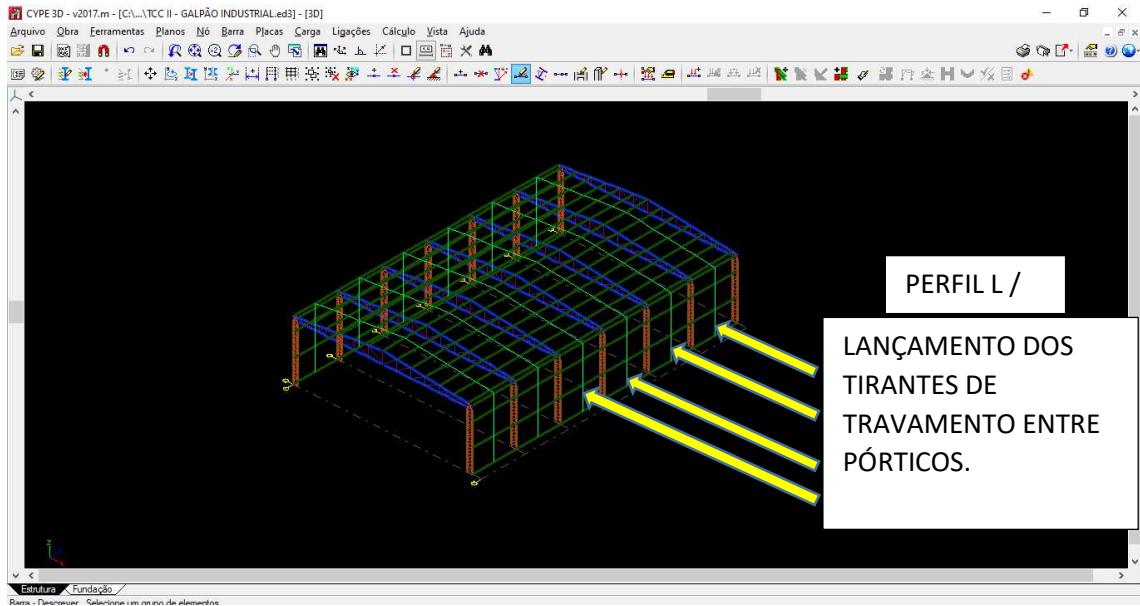
Figura 18 - Lançamento das terças lateral e de cobertura.



Fonte: O autor (2021).

Com a finalidade de travamento, reduzindo o comprimento de flambagem lateral das terças, foi feito o lançamento de tirantes. Estes não transmitem momentos para a estrutura (Figura 19).

Figura 19 - Lançamento dos tirantes.

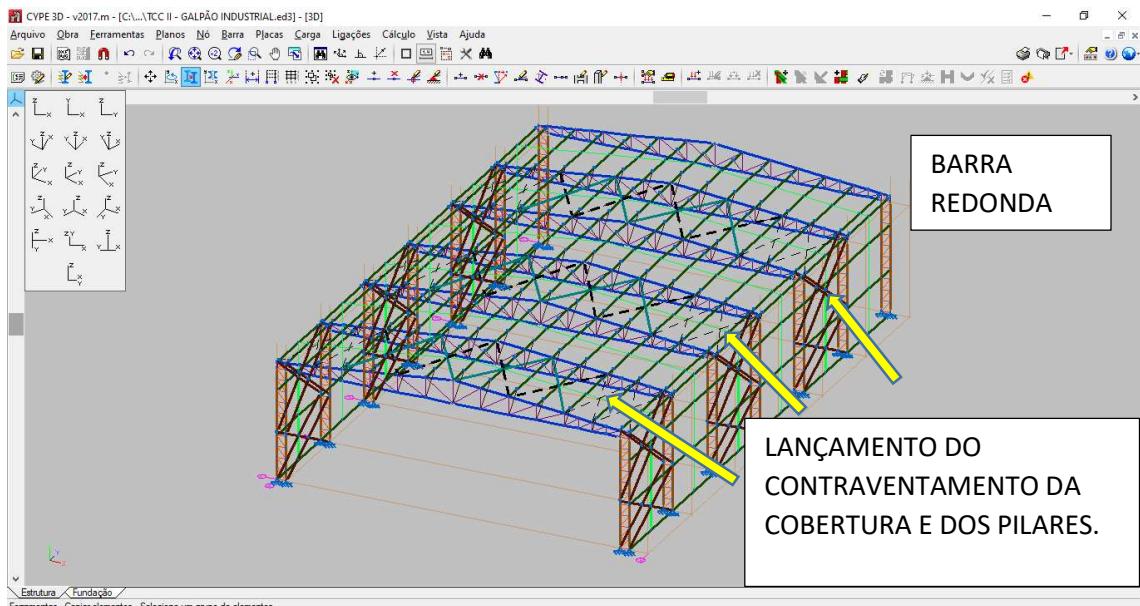


Fonte: O autor (2021)

3.5.3 Contraventamento

A fim de impedir a movimentação e deslocamento horizontal e vertical da estrutura gerando uma maior estabilidade contra a ação do vento, foi realizado o contraventamento em 3 partes da cobertura e nos pilares. Nestes, o travamento foi realizado no lado interno e externo conforme figura 20.

Figura 20 - Contraventamento horizontal e vertical da estrutura.



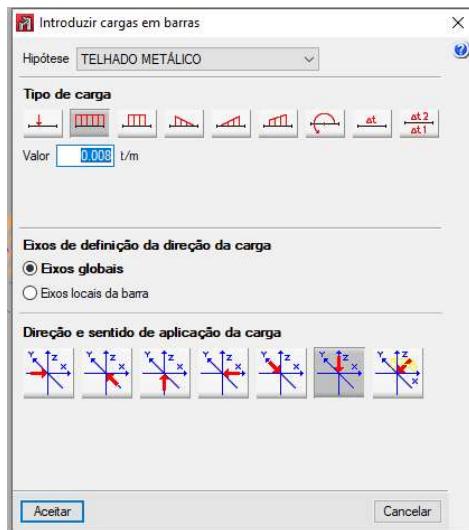
Fonte: O autor (2021).

3.5.4 Cargas atuantes no galpão

Conforme norma 8800, a sobrecarga mínima para cobertura simples conforme a estrutura em questão é de 0.25KN/m, equivalente a 25kg/m (Sobrecarga normativa da cobertura).

Carga do telhado = Distância das terças (1,6m) x Peso específico do material do telhado (5kg) = 8kg/m = 0,008t/m (figura 21).

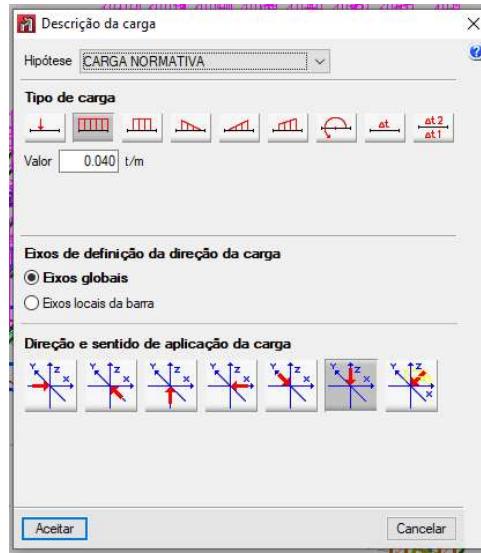
Figura 21 - Carregamento do telhado metálico (carga permanente).



Fonte: O autor (2021).

Carga Normativa = Distância das terças (1,6m) X 25kg/m = 40kg/m = 0,04t/m (Figura 22).

Figura 22 - Carga normativa.

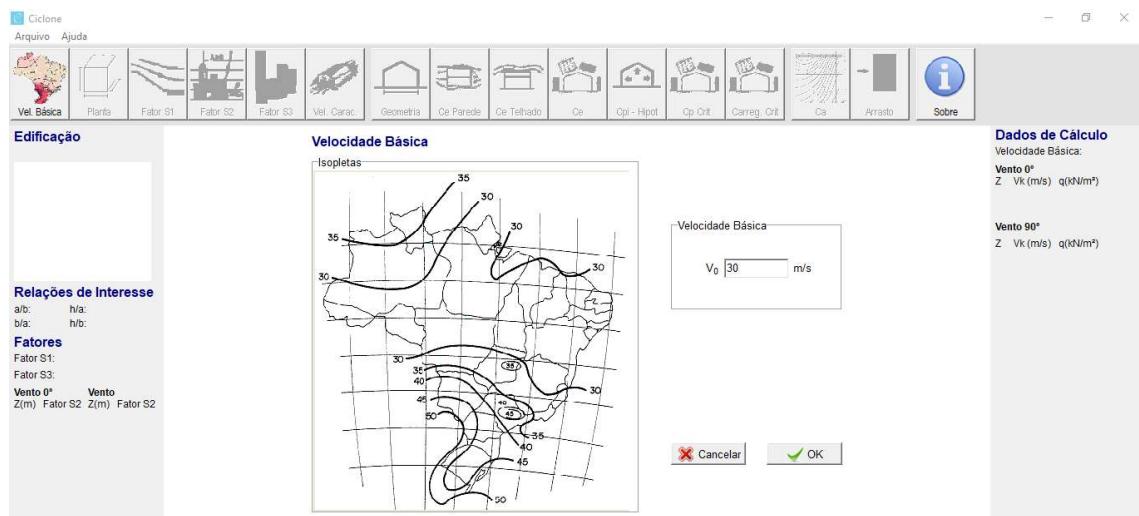


Fonte: O autor (2021).

3.5.4.1 Software ciclone (ação do vento)

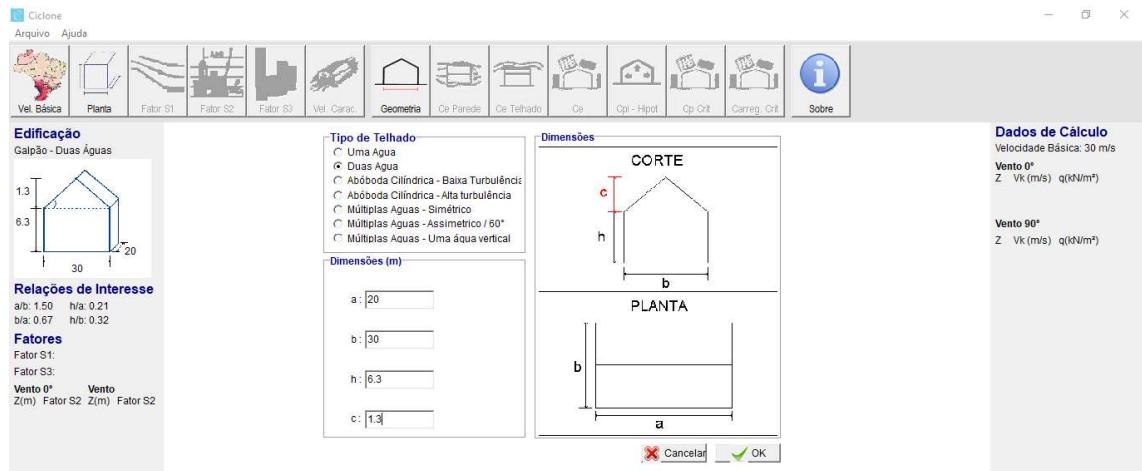
Para calcular o carregamento devido a ação do vento, foi utilizado o programa Ciclone. Inicialmente inserindo a velocidade de acordo com a localização, 30m/s, conforme mapa local, admitindo que o galpão se localiza no estado de Pernambuco (Figuras 23 a 37).

Figura 23 - Velocidade básica.



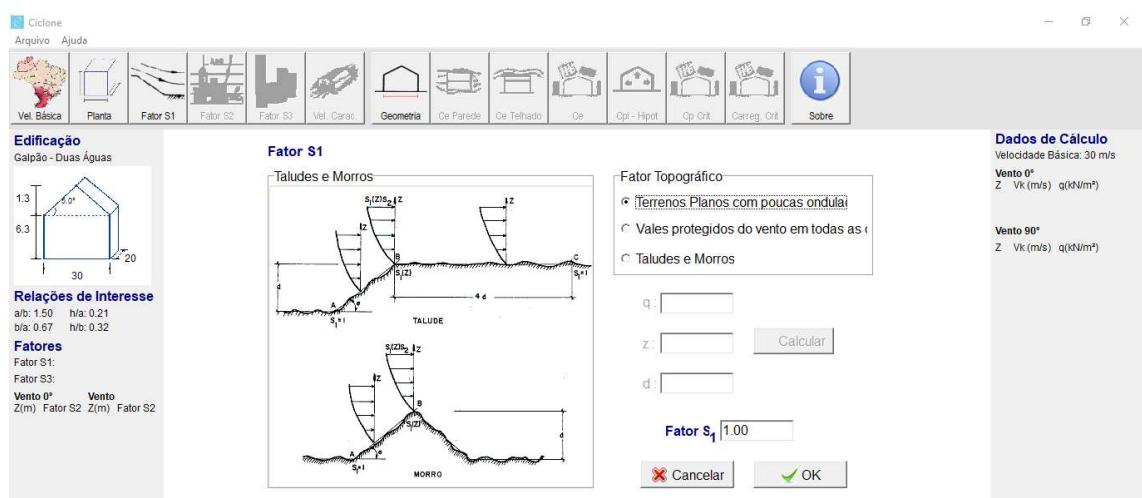
Fonte: O autor (2021).

Figura 24 - Dimensões da edificação.



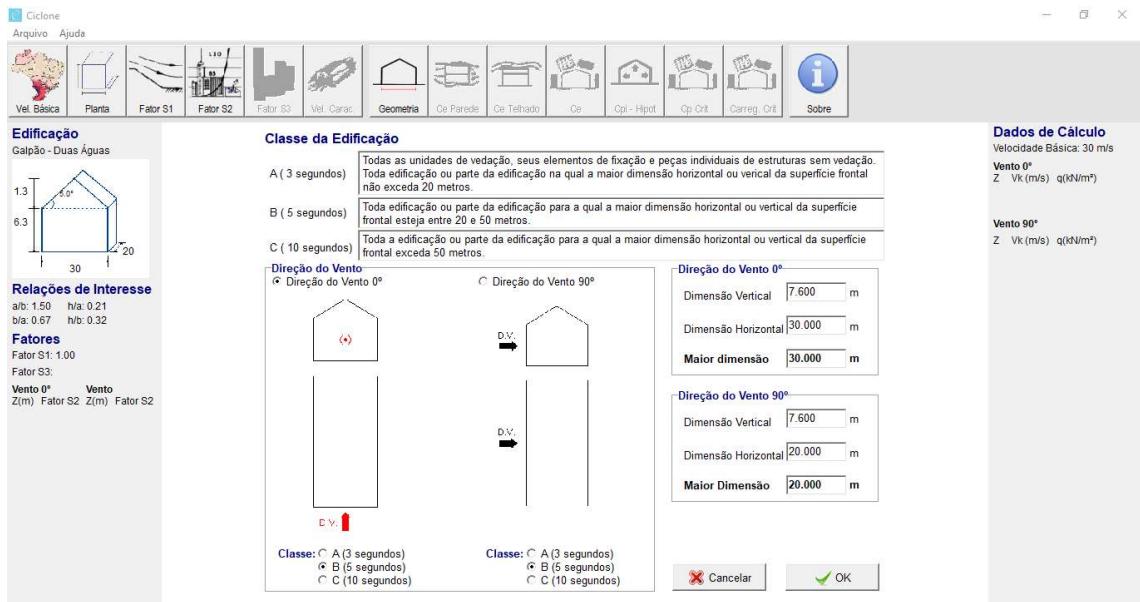
Fonte: O autor (2021).

Figura 25 - Fator S1.



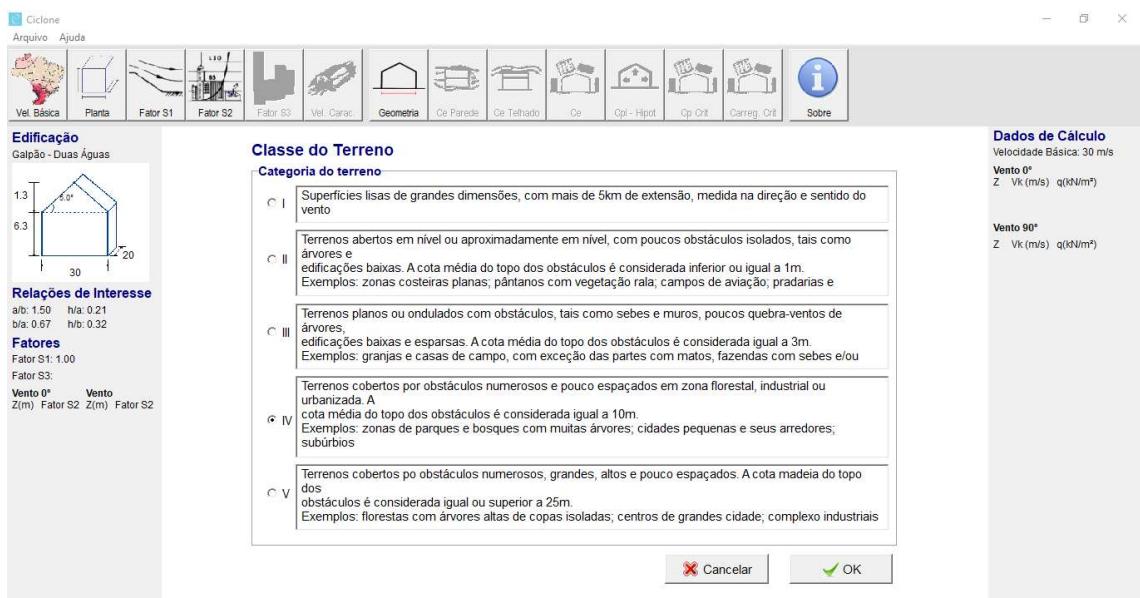
Fonte: O autor (2021).

Figura 26 - Classe da edificação B.



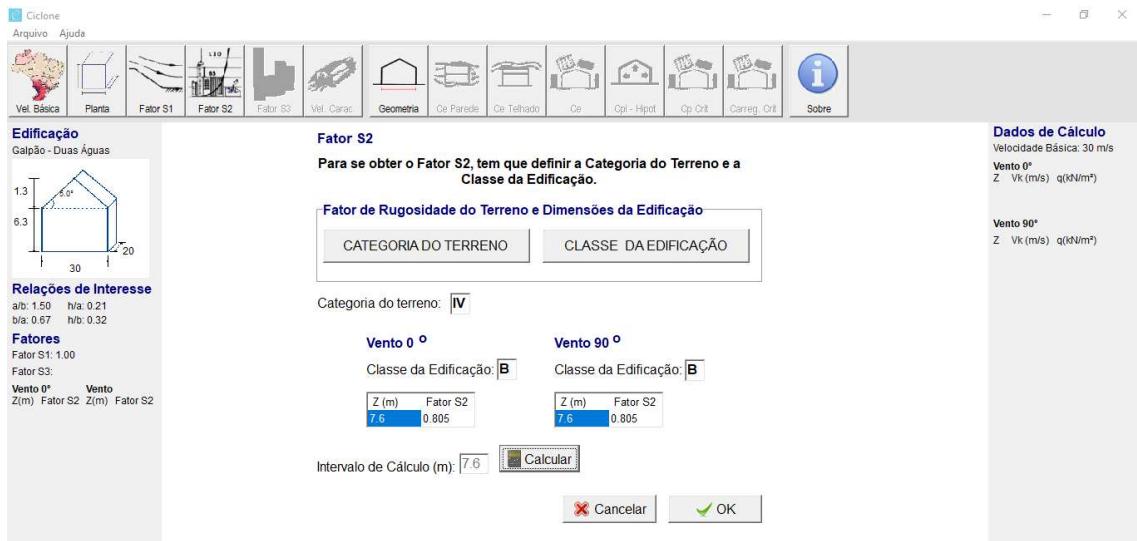
Fonte: O autor (2021).

Figura 27 - Classe do terreno IV.



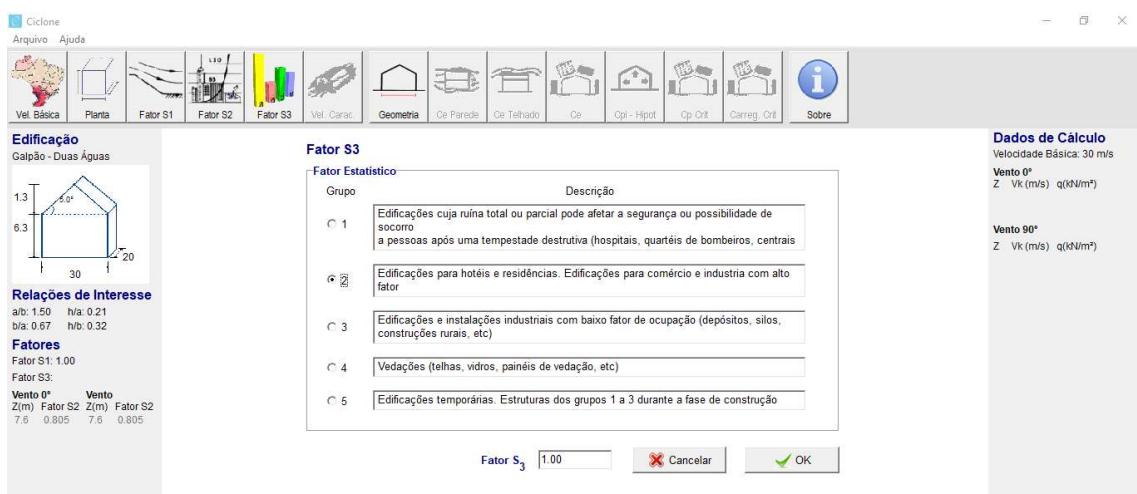
Fonte: O autor (2021).

Figura 28 - Fator S2 a 0° e 90°.



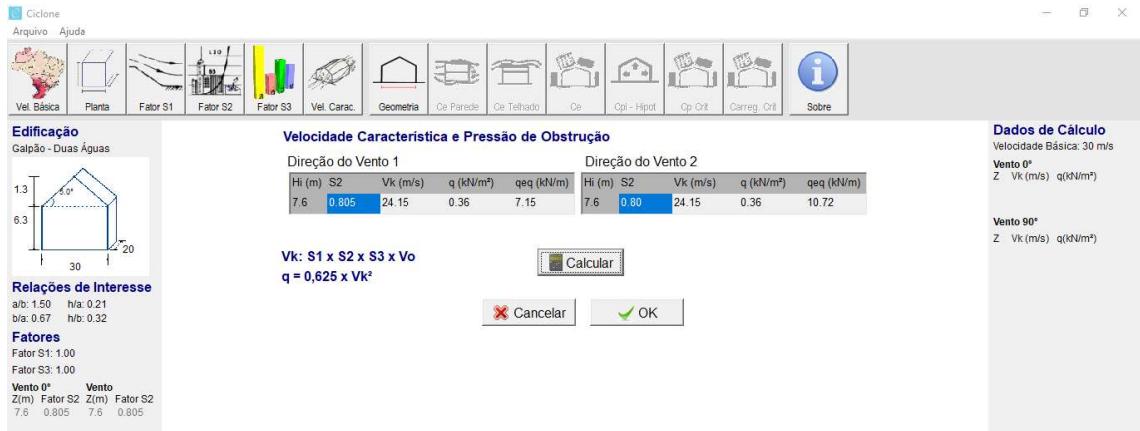
Fonte: O autor (2021).

Figura 29 - Fator S3 (Grupo 2).



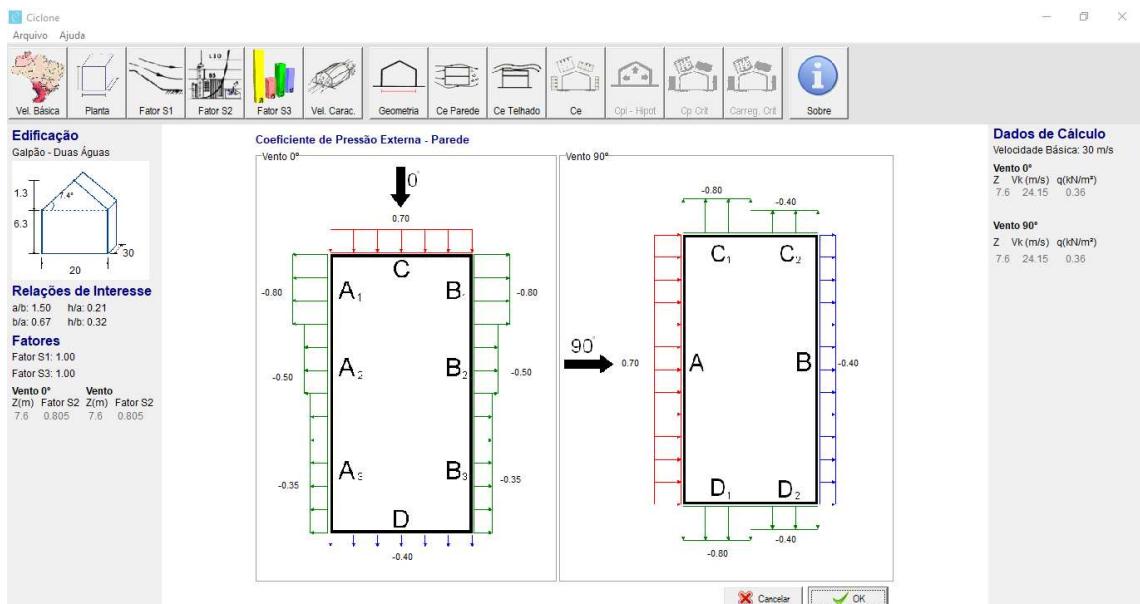
Fonte: O autor (2021).

Figura 30 - Velocidade característica e Pressão de obstrução.



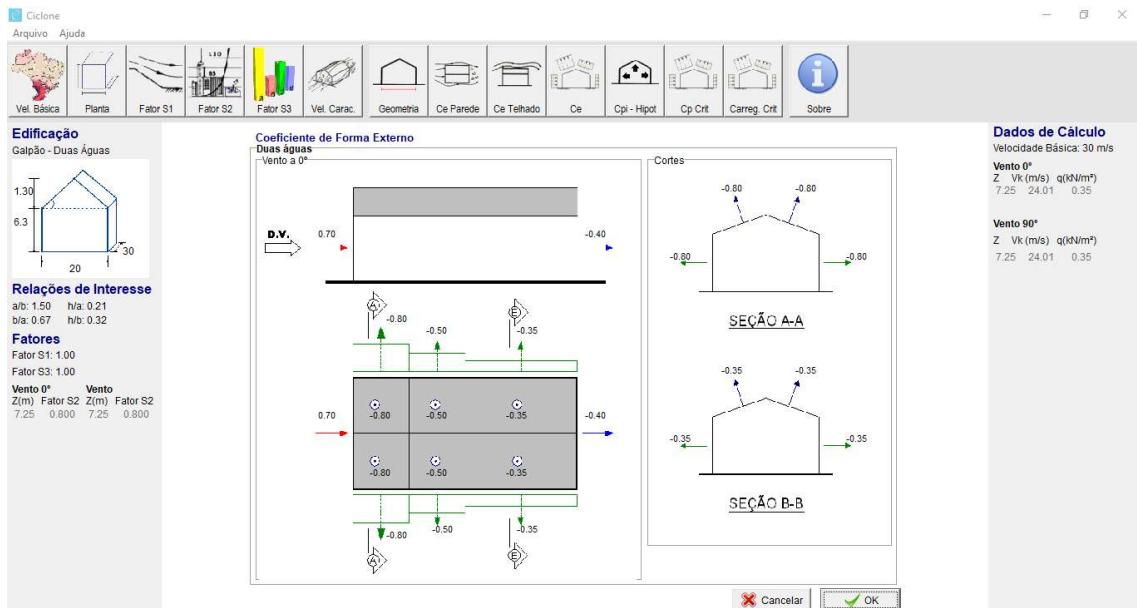
Fonte: O autor (2021).

Figura 31 - Coeficiente de Pressão Externa nas paredes.



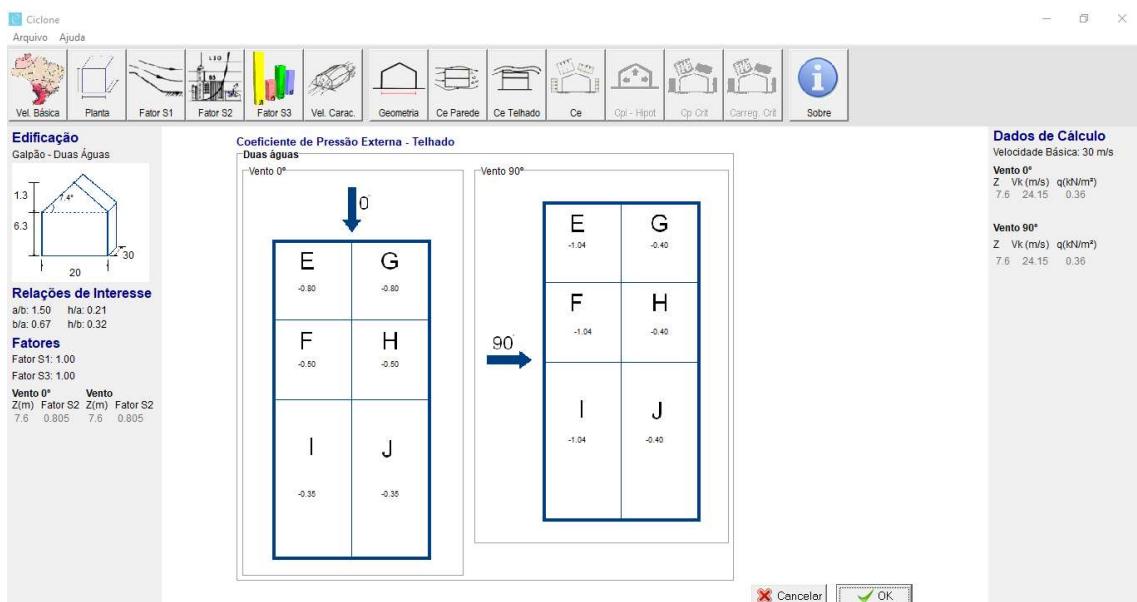
Fonte: O autor (2021).

Figura 32 - Coeficiente de forma externo.



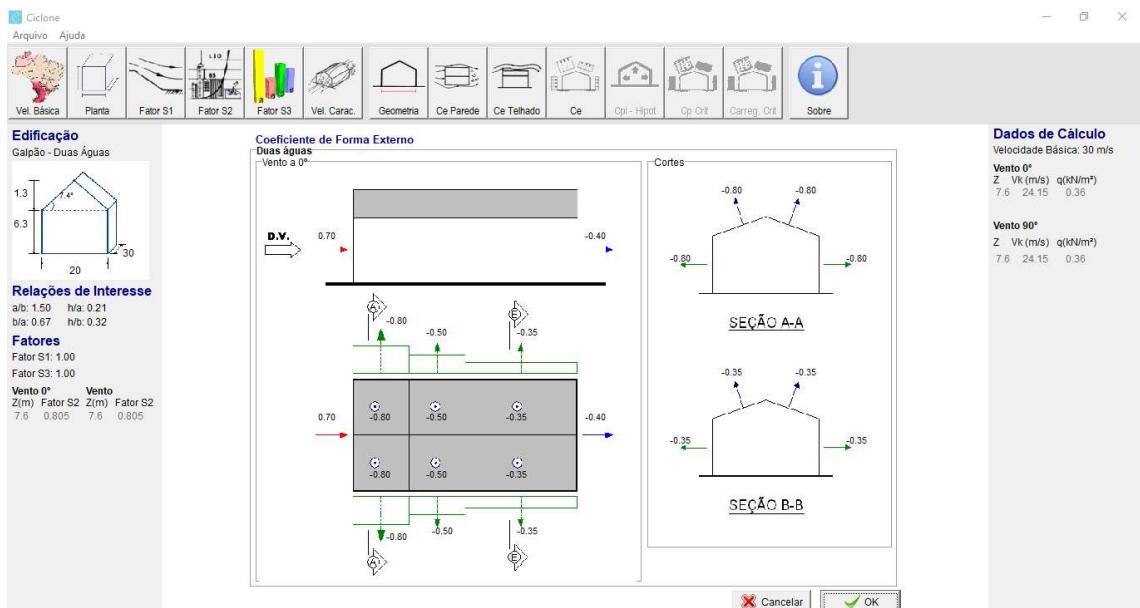
Fonte: O autor (2021).

Figura 33 - Coeficiente de pressão externa no telhado.



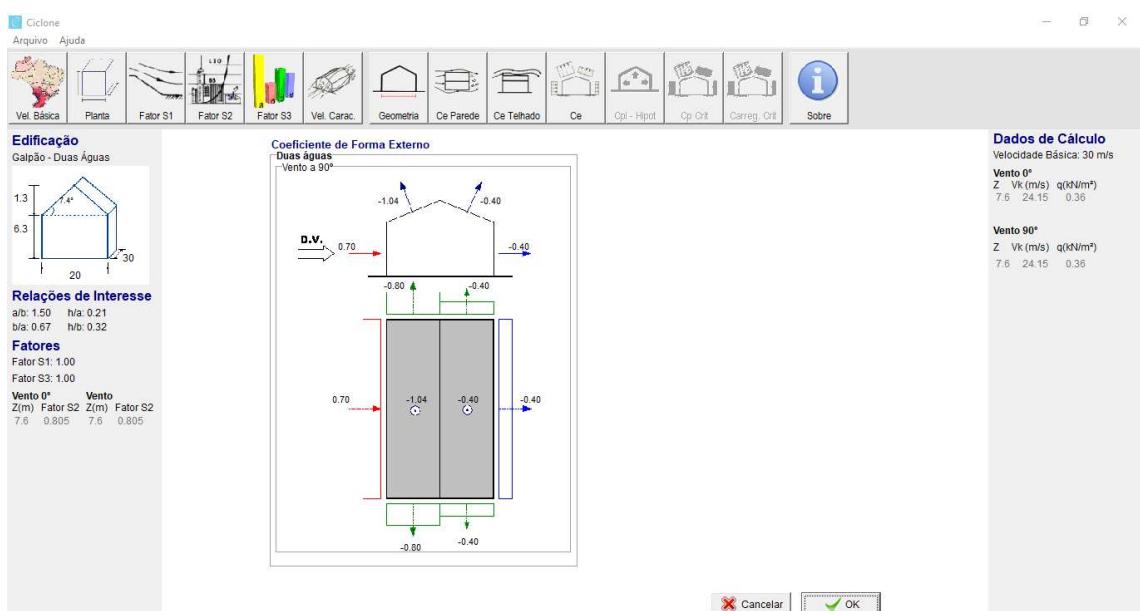
Fonte: O autor (2021).

Figura 34 - Coeficiente de forma externo (Vento a 0°).



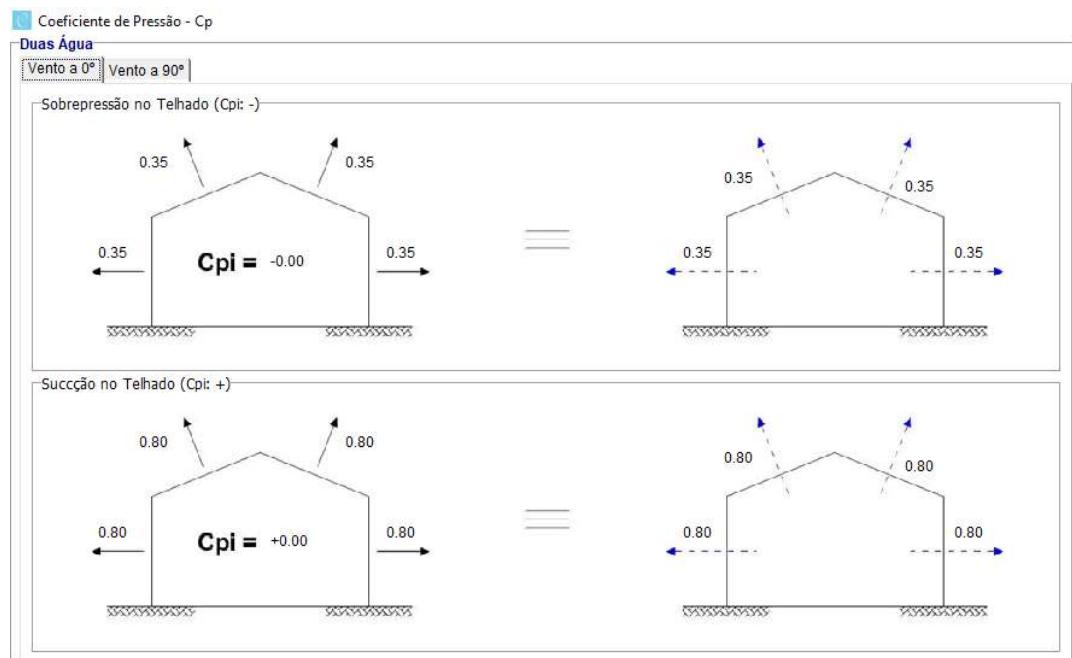
Fonte: O autor (2021).

Figura 35 - Coeficiente de forma externo (Vento a 90°).



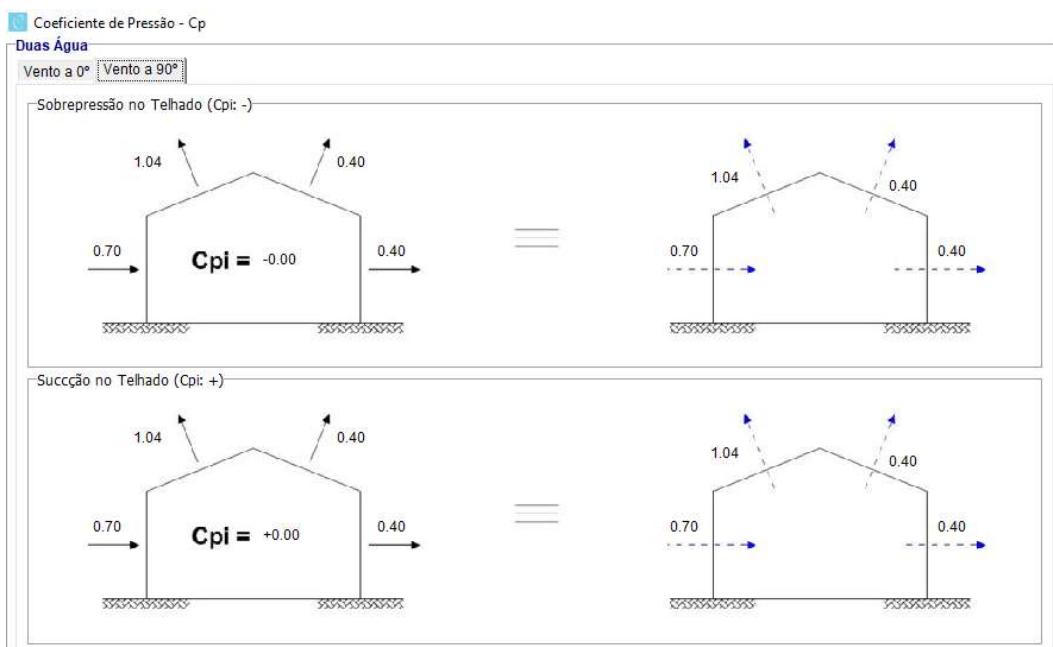
Fonte: O autor (2021).

Figura 36 - Sobrepressão no telhado (Vento a 0°).



Fonte: O autor (2021).

Figura 37 - Sobrepressão no telhado (Vento a 90°).

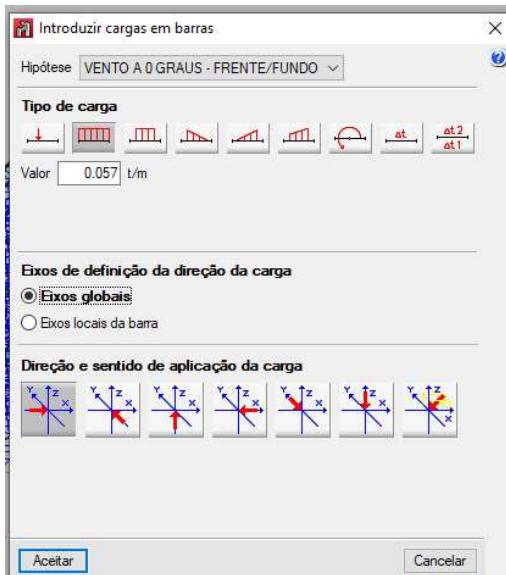


Fonte: O autor (2021).

3.5.4.2 Inserindo dados do ciclone no CYPE3D

Dando sequência aos resultados obtidos pelo Ciclone, foi realizado o cálculo das cargas de vento sobre a cobertura adicionadas sobre as terças no Cype3D sendo: Coeficiente de pressão externa X pressão dinâmica X distância entre as terças. Desta forma, na lateral, as terças foram espaçadas a cada 2m, a pressão dinâmica conforme o Ciclone foi 36kg/m² e o coeficiente foi de 0,8. Então temos: $2 \times 36 \times 0,8 = 57,6\text{kg/m}$ ou $0,0576\text{t/m}$ (Figura 38).

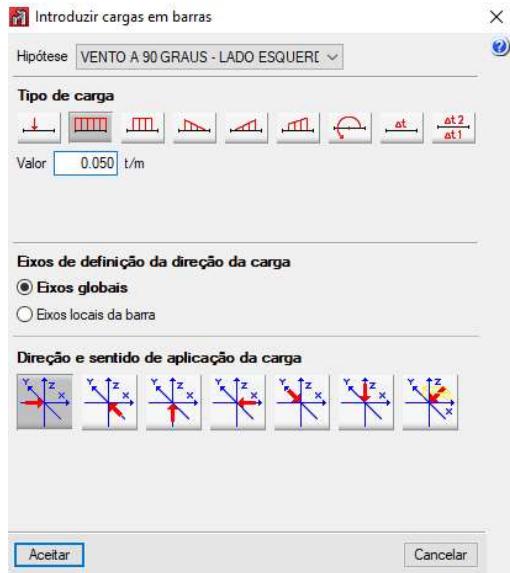
Figura 38 - Inserindo vento a 0° no Cype3D.



Fonte: O autor (2021).

Já no vento a 90° da direita para esquerda, o coeficiente foi de 0,7. Então foi obtido: $2 \times 36 \times 0,7 = 50,4\text{kg/m}$ ou $0,0504\text{t/m}$ (Figura 39).

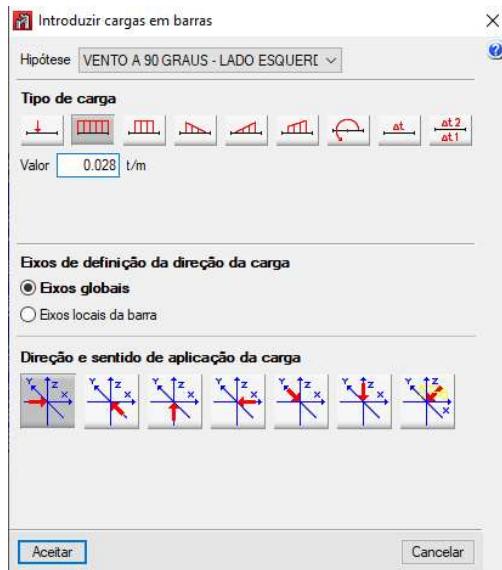
Figura 39 - Inserindo vento a 90° da direita para esquerda no Cype3D.



Fonte: O autor (2021).

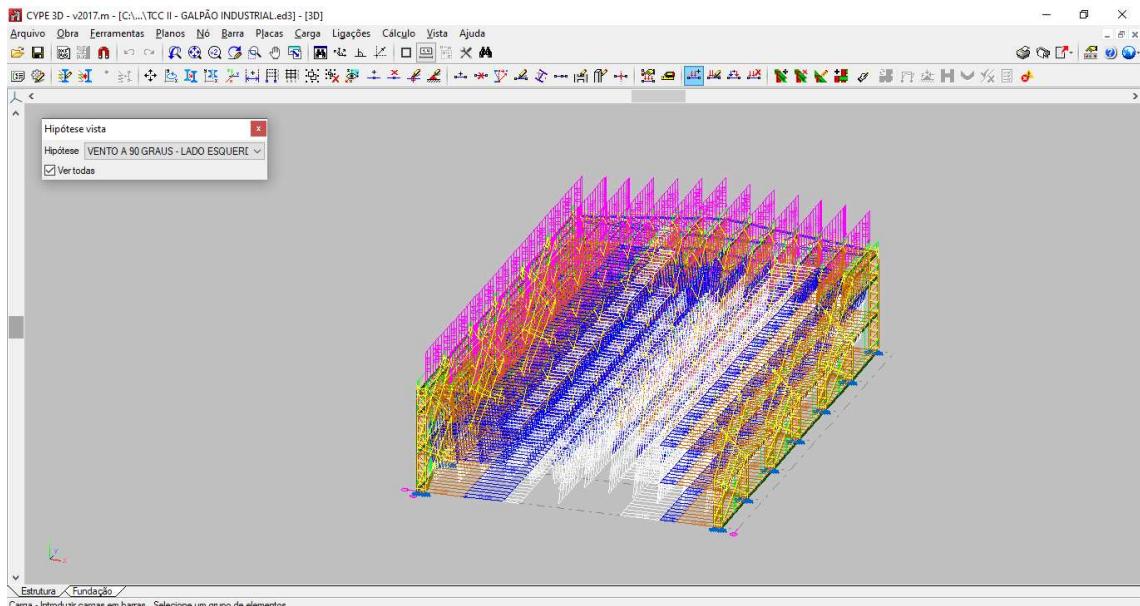
Já no vento a 90° da esquerda para direita, o coeficiente foi de 0,4. Então obtivemos: $2 \times 36 \times 0,4 = 28,8\text{kg/m}$ ou $0,0288\text{t/m}$ (Figuras 40 e 41).

Figura 40 - Inserindo vento a 90° da esquerda para direita no Cype3D.



Fonte: O autor (2021).

Figura 41 - Carregamento total devido a ação do vento na estrutura.



Fonte: O autor (2021).

3.5.5 Verificações

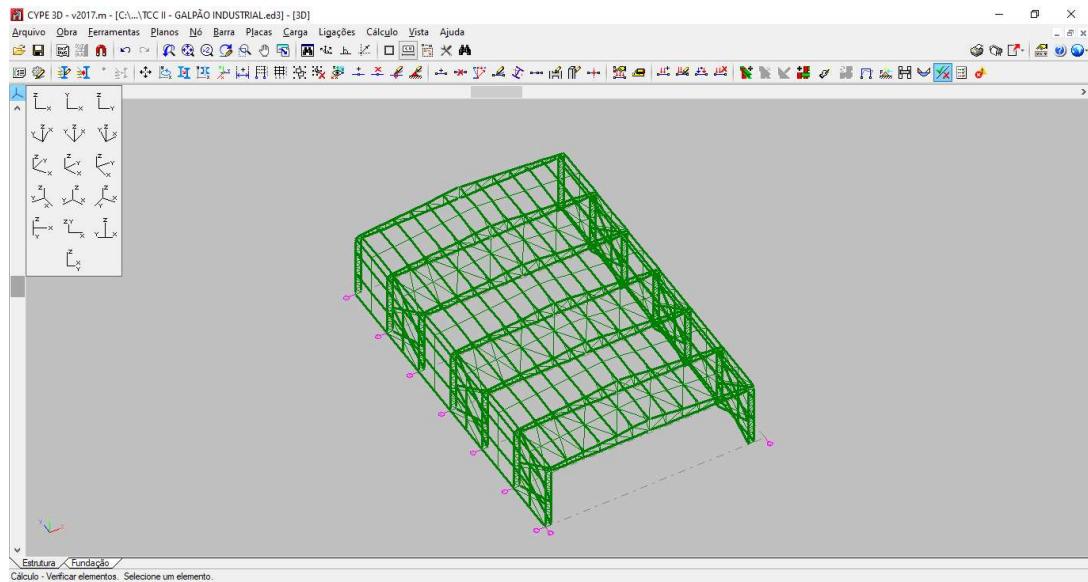
Ao rodar a estrutura no programa, pequenos ajustes tiveram que ser feitos nas dimensões de alguns perfis de forma que seja aprovado em todas as verificações do Cype3D. Este é um fator comum em qualquer dimensionamento em software, portanto, como foram poucos perfis, significa que a estrutura foi calculada utilizando perfis usuais de mercado com dimensões muito próximo a realidade para uma estrutura deste porte. Conforme a figura 42, a cor verde simboliza que o perfil está de acordo, portanto, todos os elementos passaram nas verificações de dimensionamento.

As verificações consideradas pelo Cype3D são:

- Valores máximos da relação comprimento-espessura
- Limitação do índice de esbeltez
- Resistência à tração
- Resistência à compressão
- Resistência à flexão
- Resistência ao esforço cortante
- Resistência ao esforço axial e flexão combinados
- Resistência à torção

- Resistência ao momento de torção, força axial, momento fletor e cortante
- Resistência a interações de esforços e momento de torção
- Verificações em placas de ancoragem
- Verificações da fundação

Figura 42 - Verificações de dimensionamento.

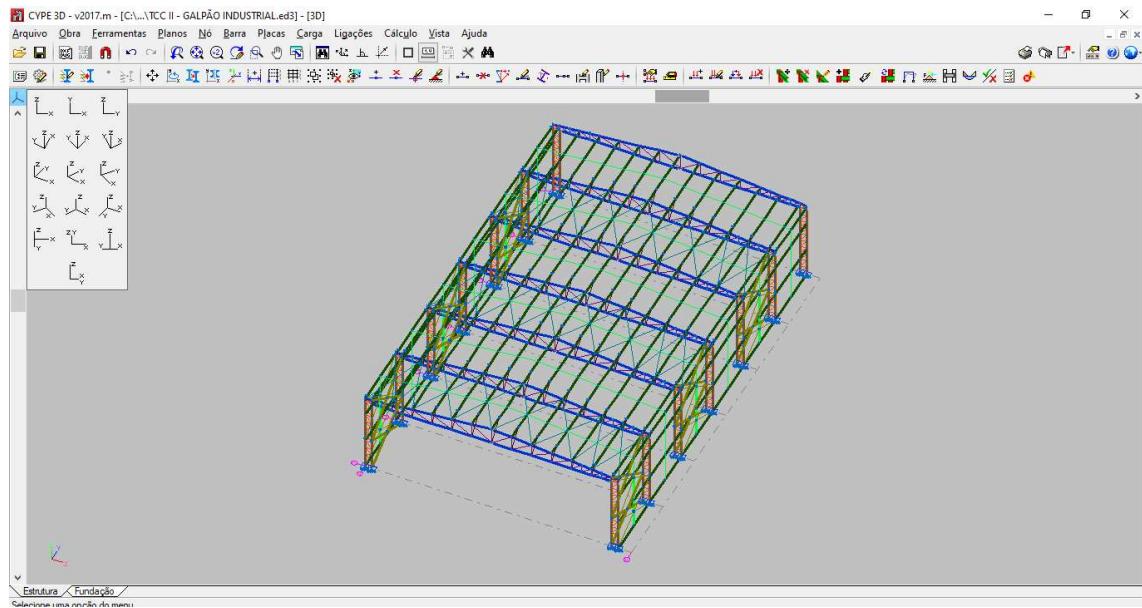


Fonte: O autor (2021).

3.6 ELEMENTOS DE LIGAÇÃO

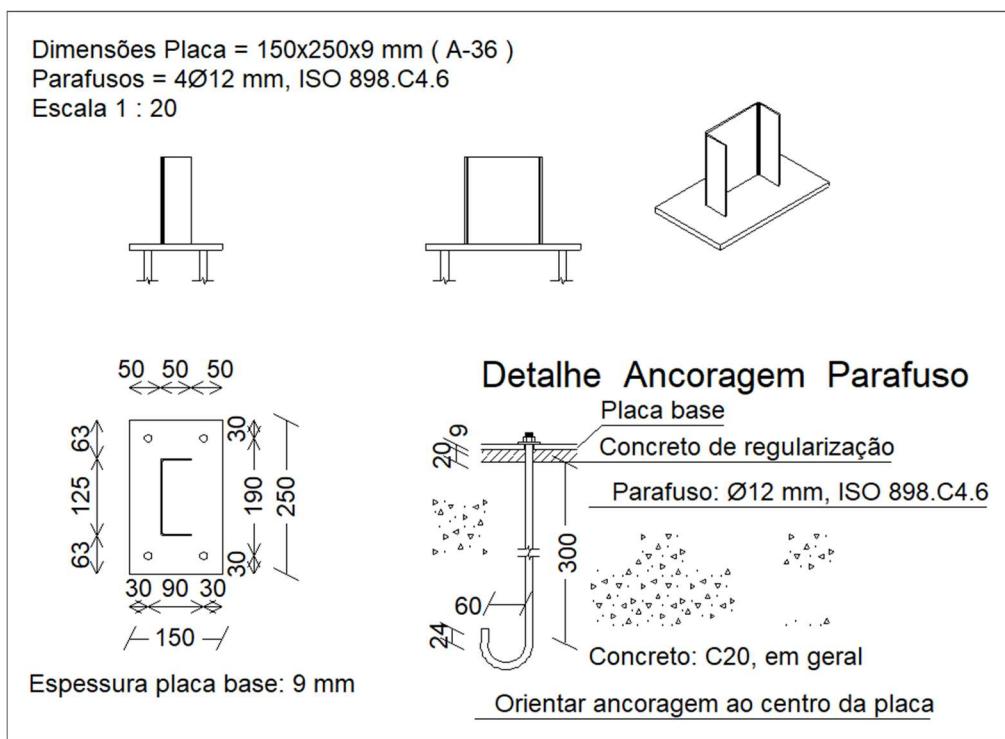
Ao todo são 28 ligações: 2 banzos em cada pilar e 14 pilares. O programa agrupa as duas ligações por pilar (Figuras 43 a 45).

Figura 43 - Ligações dos pilares (28 ao todo).



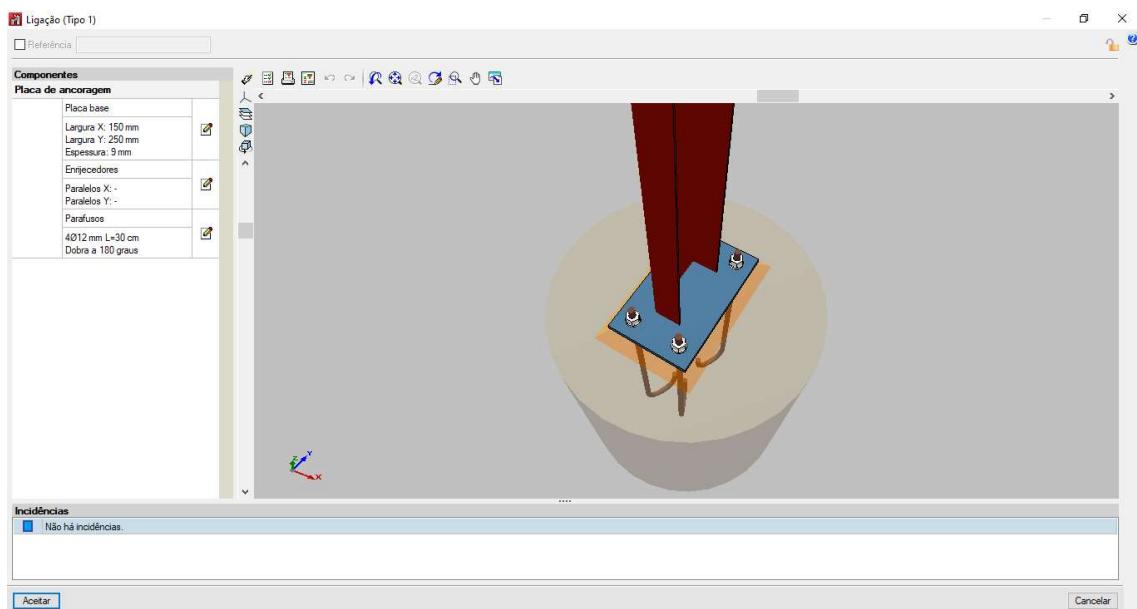
Fonte: O autor (2021).

Figura 44- Detalhamento da placa base.



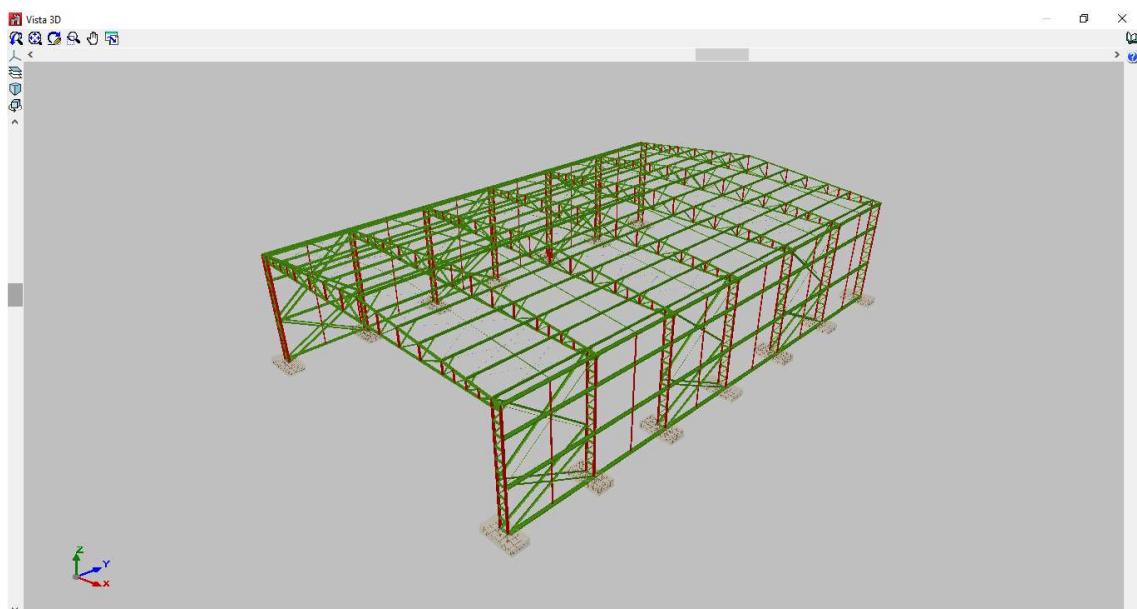
Fonte: O autor (2021).

Figura 45- Placa base em 3D.



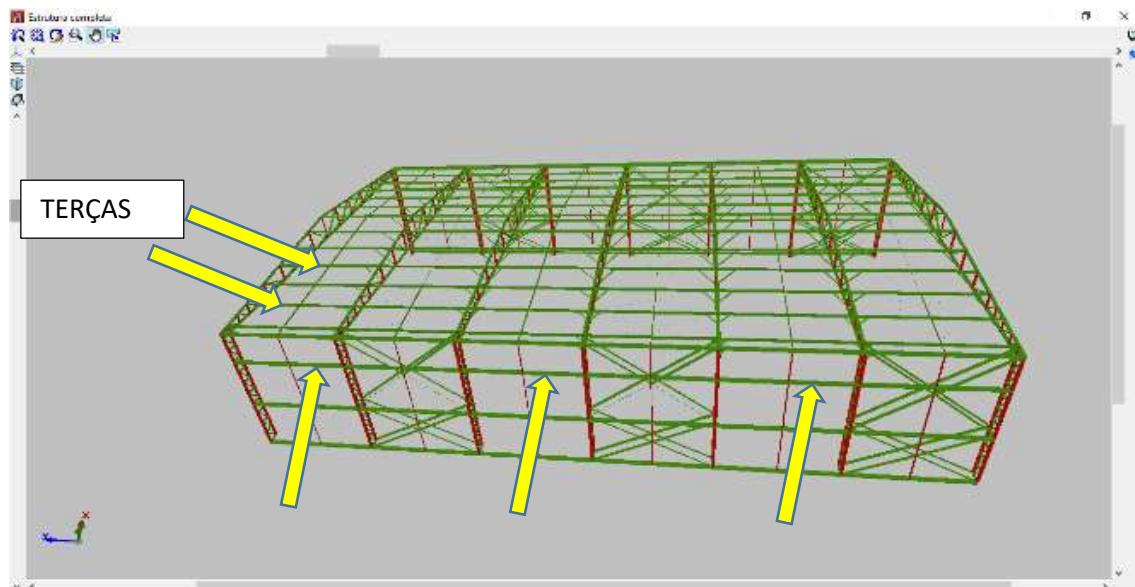
Fonte: O autor (2021).

Figura 46 - Vista 3D da estrutura.



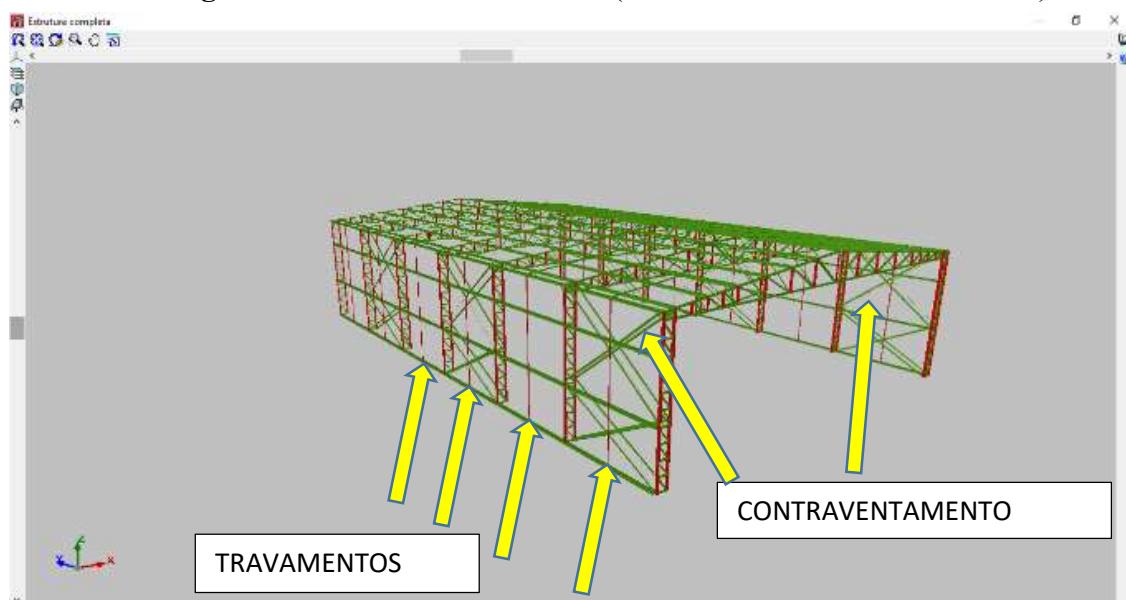
Fonte: O autor (2021).

Figura 47 - Vista 3D da estrutura (terças laterais e terças da cobertura).



Fonte: O autor (2021).

Figura 48 - Vista 3D da estrutura (travamentos e contraventamento).



Fonte: O autor (2021).

4. TABELA RESUMO

O resultado do dimensionamento do galpão construído por meio do Software CYPE3D foi exposto na tabela 2.

Tabela 2 – Quadro resumo.

Tabela resumo												
Material		Série	Perfil	Comprimento			Volume			Peso		
_tipo	Designação			Perfil (m)	Série (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Série (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Série (kg)	Material (kg)
Aço laminado	A-572 345MPa	Cantoneira	L 2 x 1/8"	332.835			0.103			809.95		
			L 3.1/2 x 1/4"	167.595			0.183			1434.02		
			L 1/2 x 1/8"	67.490			0.005			37.09		
			L 5/8 x 1/8"	9.255			0.001			6.54		
			L 3 x 3/16"	67.295			0.047			371.37		
		Barra redonda	L 3/4 x 1/8"	9.495	653.966		0.001	0.340		8.27	2667.25	
			1/4"	267.461			0.008			66.49		66.49
		U1	Barra redonda			267.461		0.008				2733.74
						921.427		0.348				
Aço dobrado	A-36	U1	U125X50X2.66	168.000			0.097			758.34		
			U125X50X3.04	259.661			0.170			1331.72		
			U100X40X2.25	429.007			0.167			1307.35		
			U50X25X1.52, Duplo I união soldada	8.738	865.405		0.003			19.80		
			C200X75X20X2.00	240.000			0.181			1419.51		
		C	C127X50X17X1.52	360.000			0.137			1077.81		
			C75X40X15X2.00, Caixa dupla união genérica	30.000	630.000		0.021	0.339		161.77	2659.09	
						1495.405			0.774			6076.31

Fonte: O autor (2021)

5. CONCLUSÃO

O galpão em questão possui coberta em duas águas com elementos estruturais em aço A-36, escolhido por possuir boas propriedades mecânicas e de grande utilização, tem $f_y = 250$ MPa (resistência ao escoamento) e $f_u = 400$ MPa (resistência à ruptura). Com dimensão de 20 metros de largura por 30 metros de comprimento e um pé direito de 6 metros de altura. A cobertura em telha de aço em chapa trapezoidal TP-40 com espessura de 0,5 milímetros e inclinação de 10% sustentadas por um sistema de terças, treliças, pórticos e contraventamentos. Toda a modelagem foi realizada no software Cype3D conforme ideia arquitetônica descrita anteriormente e então dimensionada conforme NBR8800:2008. No decorrer do dimensionamento, alguns perfis não atenderam os critérios de verificação e tiveram que ser trocados por um de espessura maior ou dimensões maiores, fator muito decorrente em todo e qualquer dimensionamento no Cype3D. Após reajustes, a estrutura foi verificada e passou em todos os critérios de verificações do programa.

Portanto, posso dizer que o objetivo principal deste trabalho foi concluído com êxito visto que, em primeiro lugar, serviu de aprendizado e experiência o dimensionamento da estrutura com o uso de novas ferramentas em função da estrutura em questão. Conforme visto nas verificações anteriores, foi aprovado pelo próprio software o dimensionamento de forma que atendemos todas as exigências solicitadas. Para a leitura didática de quem lê este trabalho, fica aqui detalhado todo o processo para utilizar o Cype3D desde a entrada de dados, passando pela modelagem da estrutura metálica, verificação dos critérios e pôr fim a aceitação. O trabalho teve um caráter acadêmico e o uso dos softwares mencionados e suas conclusões é de responsabilidade de cada usuário.

REFERÊNCIAS

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

BELLEI, I. H. **Edifícios Industriais em aço**: Projeto e cálculo.4^a ed. São Paulo: PINI, 2003.

BERNARDINO, K. **Galpão**: confira como escolher o modelo ideal. MF Magazine, 2021. Disponível em: <https://blog.mfrural.com.br/galpao-modelos/>. Acesso em: 27/06/2021.

CHAVES, M. R. **Avaliação do desempenho de soluções estruturais para galpões industriais leves**. Ouro Preto, 2007.125 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto. Pós Graduação em Engenharia Civil.

COBERTEC CONSTRUÇÕES METÁLICAS. **Coberturas metálicas**, 2018. Disponível em: <https://www.cobertecengenharia.com.br/11/servico/coberturas-metalicas>. Acesso em: 18/12/2021.

FERRAZ, D. **Estrutura de aço**: Galpão simples #0003. Engenheiro do aço, 2017. Disponível em: <https://www.ingenheirodoaco.com.br/2017/07/07/galpao-simples>. Acesso em: 18/12/2021.

KRIPKA, M. **Análise estrutural para engenharia civil e arquitetura**: estruturas isostáticas. 3^a ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

NOGUEIRA, G.; GRUPO HARD. **Conheça 9 benefícios das estruturas metálicas na construção civil**, 2019. Disponível em: <https://blog.hard.com.br/conheca-9-beneficios-das-estruturas-metalicas-na-construcao-civil/>. Acesso em: 25/07/ 2021.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de aço**: Dimensionamento Prático de Acordo com NBR 8800:2008. 8^a ed. Rio de Janeiro: LCT, 2009.

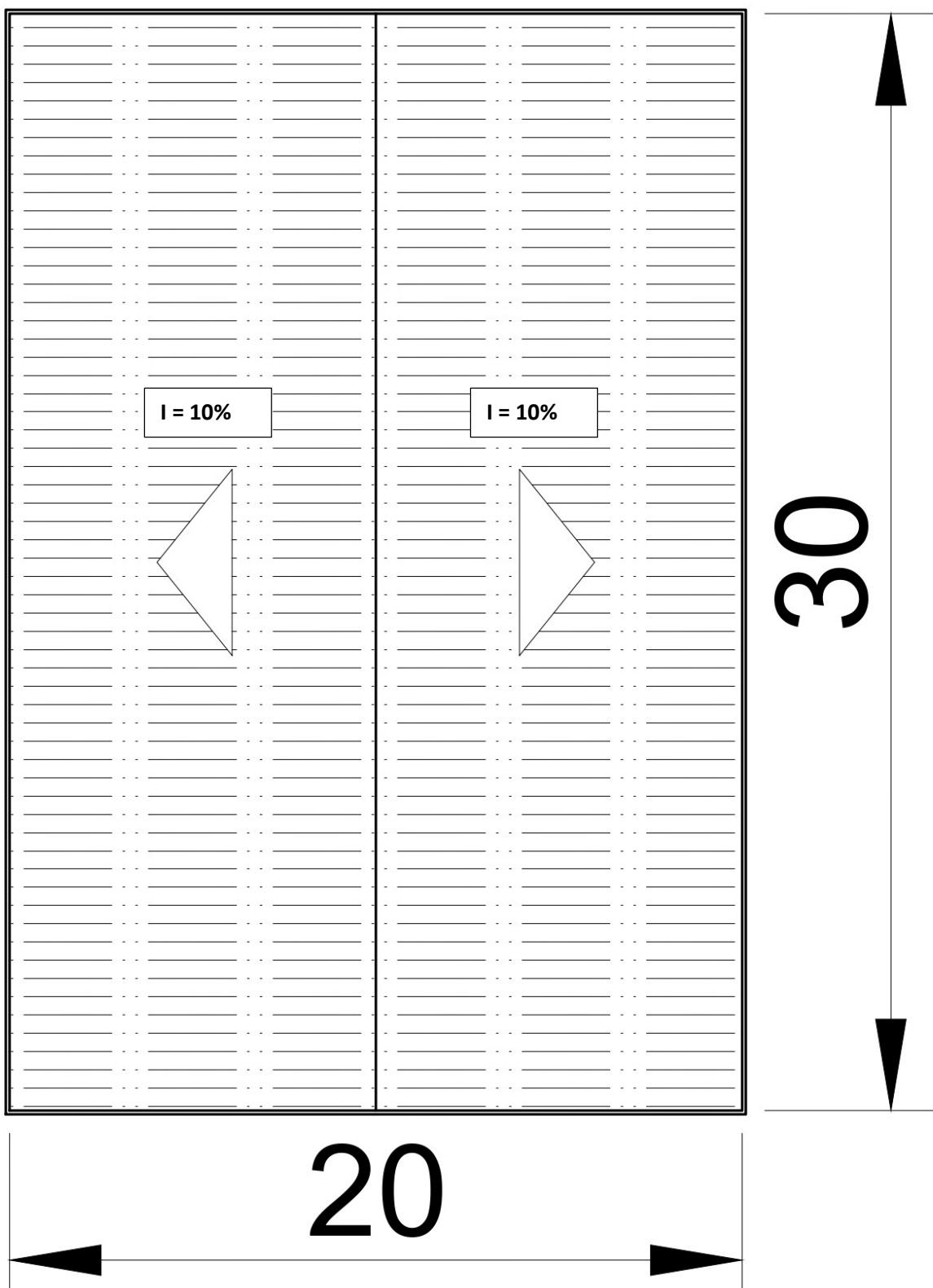
PINHO, F. O.; PENNA, F. **Viabilidade econômica**. Rio de Janeiro: IBS / CBCA, 2008.

RIBEIRO NETO, J.G.; PERES, R.C.S. **Laboratório de estruturas metálicas.** Apostila: Laboratório de estruturas PUC – GO. 2015. Disponível em: <http://professor.pucgoias.edu.br/sitedocente/admin/arquivosUpload/17448/material/ESTRUTURAS%20MET%C3%81LICAS%20-%20APOSTILA%20LABORATORIO%20PUC%20GO.pdf>. Acesso em: 20/12/2021.

SOUZA, I. **Vantagens e desvantagens do aço da construção civil.** IBDA, 2021. Disponível em: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=19&Cod=1938>. Acesso em: 25/08/2021.

TELAPORT. **Tirantes e contraventamentos,** 2004. Disponível em: <http://www.telaport.com.br/tirantes.php>. Acesso em: 20/12/ 2021.

ANEXO A – PLANTA DE COBERTA



ANEXO B – PLANTA DOS PILARES

