

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA, MECÂNICA E COMPUTAÇÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

GALPÃO INDUSTRIAL EM ESTRUTURA METÁLICA: COMPARAÇÃO ENTRE
PÓRTICO CONTRAVENTADO E NÃO CONTRAVENTADO COM UTILIZAÇÃO DE
PROGRAMA COMPUTACIONAL.

ARY TEODORO DE SOUZA NETO

GOIÂNIA - GO

2026



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA, MECÂNICA E DE COMPUTAÇÃO

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio do Repositório Institucional (RI/UFG), regulamentado pela Resolução CEPEC no 1240/2014, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei no 9.610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo dos Trabalhos de Conclusão dos Cursos de Graduação disponibilizado no RI/UFG é de responsabilidade exclusiva dos autores. Ao encaminhar(em) o produto final, o(s) autor(a)(es)(as) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (TCCG)

Nome(s) completo(s) do(a)(s) autor(a)(es)(as): Ary Teodoro de Souza Neto

Título do trabalho: GALPÃO INDUSTRIAL EM ESTRUTURA METÁLICA: COMPARAÇÃO ENTRE PÓRTICO CONTRAVENTADO E NÃO CONTRAVENTADO COM UTILIZAÇÃO DE PROGRAMA COMPUTACIONAL

2. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador) Concorda com a liberação total do documento [X] SIM [] NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante: a) consulta ao(à)(s) autor(a)(es)(as) e ao(à) orientador(a); b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo do TCCG. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro.

Obs.: Este termo deve ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Ary Teodoro De Souza Neto, Discente**, em 08/07/2026, às 15:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ariovaldo Fernandes De Almeida, Professor do Magistério Superior**, em 08/07/2026, às 19:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6322951** e o código CRC **43F4BC89**.

Referência: Processo nº 23070.013105/2026-48

SEI nº 6322951

ARY TEODORO DE SOUZA NETO

GALPÃO INDUSTRIAL EM ESTRUTURA METÁLICA: COMPARAÇÃO ENTRE
PÓRTICO CONTRAVENTADO E NÃO CONTRAVENTADO COM UTILIZAÇÃO DE
PROGRAMA COMPUTACIONAL.

Projeto final de Curso submetido à banca examinadora do Programa de Graduação da Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e Computação (EMC) da Universidade Federal de Goiás (UFG), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Ariovaldo Fernandes de Almeida.

GOIÂNIA – GO

2026

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Souza Neto, Ary Teodoro de

Galpão Industrial em Estrutura Metálica [manuscrito]: Comparação Entre Pórtico Contraventado e não Contraventado com a Utilização de Programa Computacional. / Ary Teodoro de Souza Neto. - 2026.

LIII, 53 f.: il. 2026

Orientador: Prof. Dr. Ariovaldo Fernandes de Almeida

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação (EMC), Engenharia Mecânica, Goiânia, 2026.

Ilustrações.

Bibliografia.

Inclui: siglas, mapas, símbolos, tabelas, gráfico, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Estruturas Metálicas. 2. Contraventamento. 3. Galpão Metálico. 4. Ação do Vento. 5. Cype 3d. I. Almeida, Ariovaldo Fernandes de, orient. II. Título.

CDU 621



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA, MECÂNICA E DE COMPUTAÇÃO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos vinte e três dias do mês de junho de dois mil e vinte e seis, iniciou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado GALPÃO INDUSTRIAL EM ESTRUTURA METÁLICA: COMPARAÇÃO ENTRE PÓRTICO CONTRAVENTADO E NÃO CONTRAVENTADO COM UTILIZAÇÃO DE PROGRAMA COMPUTACIONAL, de autoria do estudante Ary Teodoro de Souza Neto, do curso de Engenharia Mecânica, da Escola de Engenharia Mecânica e de Computação da UFG. Os trabalhos foram instalados pelo Prof. Dr. Ariovaldo Fernandes de Almeida (orientador) - EECA/UFG com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Prof. Dr. Ademyr Gonçalves de Oliveira - EMC/UFG e Prof. Dr. Gino Bertolucci Colherinhas - EMC/UFG. Após a apresentação, a banca examinadora realizou a arguição do estudante. Posteriormente, de forma reservada, a Banca Examinadora atribuiu a nota final de 9,6 (nove vírgula seis), tendo sido o TCC considerado Aprovado.

Proclamados os resultados, os trabalhos foram encerrados e, para constar, lavrou-se a presente ata que segue assinada pelos Membros da Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Ademyr Goncalves De Oliveira, Professor do Magistério Superior**, em 08/07/2026, às 13:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Gino Bertolucci Colherinhas, Professor do Magistério Superior**, em 08/07/2026, às 14:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ariovaldo Fernandes De Almeida, Professor do Magistério Superior**, em 08/07/2026, às 19:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6322928** e o código CRC **DF230F8D**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por me conceder saúde, força, sabedoria e perseverança ao longo desta caminhada, permitindo que eu superasse os desafios encontrados durante a graduação e chegasse até este momento tão importante.

Aos meus pais, agradeço profundamente pelo amor incondicional, apoio, incentivo e paciência durante toda essa trajetória acadêmica. Sem vocês, esta conquista não seria possível.

Ao meu orientador, Professor Ariovaldo, expresso minha sincera gratidão pela honra da orientação, pela confiança depositada em meu trabalho, pelos ensinamentos compartilhados e pela oportunidade concedida ao longo do desenvolvimento deste projeto.

Ao meu supervisor de estágio, Yuri, deixo meu agradecimento pelos conhecimentos transmitidos, contribuindo significativamente para minha formação profissional e para o desenvolvimento da visão técnica necessária ao exercício da profissão de engenheiro, em especial na atuação como projetista estrutural.

Ao Professor Leonardo de Queiroz, registro meu agradecimento especial pelos inúmeros conselhos, ensinamentos e auxílio prestado ao longo da graduação, sendo uma importante referência acadêmica e profissional durante essa jornada.

À Professora Amanda, manifesto minha gratidão pela disponibilidade, paciência e apoio prestado, especialmente no auxílio às questões burocráticas relacionadas ao Projeto Final de Curso, sempre contribuindo de forma essencial.

Por fim, agradeço a todos os professores, colegas e amigos que, de alguma forma, contribuíram para minha formação acadêmica, profissional e pessoal ao longo destes anos.

RESUMO

A utilização de sistemas de contraventamento em estruturas metálicas desempenha papel fundamental na estabilidade global e na otimização do consumo de aço, sendo frequentemente empregada como estratégia para aumento da rigidez e redução de custos. Nesse contexto, este trabalho apresenta uma análise comparativa entre um galpão metálico contraventado e um galpão não contraventado, utilizando o software CYPE 3D como ferramenta de modelagem e dimensionamento estrutural. O estudo partiu da elaboração de um galpão metálico de alma cheia, com 42 metros de comprimento e 20 metros de vão livre, submetido às ações permanentes, variáveis e, principalmente, à ação do vento, determinada conforme os critérios normativos aplicáveis. A metodologia consistiu na modelagem de duas concepções estruturais geometricamente idênticas, diferenciando-se apenas pela presença do sistema de contraventamento, possibilitando uma análise comparativa direta entre os modelos. Os resultados evidenciaram diferenças significativas quanto ao comportamento estrutural, sendo observados maiores deslocamentos horizontais e maior consumo de aço no modelo não contraventado, demonstrando a influência do sistema de contraventamento sobre a estabilidade global e a eficiência estrutural do galpão. Dessa forma, conclui-se que a adoção do sistema de contraventamento contribui significativamente para o desempenho estrutural e para a otimização do consumo de aço em edificações metálicas.

Palavras-chave: Estruturas metálicas; Contraventamento; Galpão metálico; Ação do vento; CYPE 3D.

ABSTRACT

The use of bracing systems in steel structures plays a fundamental role in global stability and the optimization of steel consumption, being frequently employed as a strategy to increase structural stiffness and reduce construction costs. In this context, this study presents a comparative analysis between a braced steel industrial building and an unbraced steel industrial building, using the CYPE 3D software as a tool for structural modeling and design. The study was based on the development of a steel building composed of built-up welded sections, with a length of 42 meters and a 20-meter clear span, subjected to permanent and variable loads, with special emphasis on wind loads determined according to the applicable design standards. The methodology consisted of modeling two geometrically identical structural configurations, differing only in the presence of the bracing system, thus enabling a direct comparative analysis between the two models. The results revealed significant differences in structural behavior, with the unbraced model presenting greater horizontal displacements and higher steel consumption, demonstrating the influence of the bracing system on the global stability and structural efficiency of the building. Therefore, it can be concluded that the adoption of a bracing system significantly contributes to structural performance and to the optimization of steel consumption in steel buildings.

Keywords: Steel structures; Bracing system; Steel building; Wind loads; CYPE 3D.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplos de aplicações de elementos estruturais.	13
Figura 2 - Curva de tensão de 3 corpos de prova de aço estrutural.	15
Figura 3 - Galpão de duas águas com cobertura de tesouras e colunas em perfil I.	16
Figura 4 - Galpão de duas águas com perfis I laminados ou soldados.	17
Figura 5 - Pórtico de alma cheia com colunas e pilares de mesma seção.	18
Figura 6 - Pórtico de alma cheia com inércia variável.	18
Figura 7 - Contraventamento em X.	19
Figura 8 - Estrutura metálica desaba em Brusque-SC.	20
Figura 9 - Velocidade do vento v_0 (m/s) por região.	21
Figura 10 - Planta de locação dos pilares.	26
Figura 11 - Elevação do eixo 1.	27
Figura 12 - Elevação do eixo E.	27
Figura 13 - Pilares principais, frontais e posteriores.	29
Figura 14 - Terças de cobertura e laterais e vigas principais.	30
Figura 15 - Correntes rígidas e flexíveis	31
Figura 16 - Contraventamentos laterais e de cobertura.	32
Figura 17 - Catálogo de produtos Isoeste.	33
Figura 18 - Fatores, Velocidade característica e pressão dinâmica do vento.	35
Figura 19 - CPE - V_0 e V_{180}	36
Figura 20 - CPE - V_{90} e V_{270}	37
Figura 21 - Aberturas dominantes para V_0	38
Figura 22 - Aberturas dominantes para V_{90}	39
Figura 23 - Aberturas dominantes para V_{180}	40
Figura 24 - Aberturas dominantes para V_{270}	41
Figura 25 - Galpão não contraventado.	42
Figura 26 - F_v - Galpão contraventado.	44
Figura 27 - F_v - Galpão não contraventado.	45
Figura 28 - Deslocamento dos pilares.	47
Figura 29 - Deslocamentos das vigas.	48
Figura 30 - Taxa de consumo de aço.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Perfis e materiais.	28
Tabela 2 - Carregamentos considerados no modelo estrutural.	33
Tabela 3 - Fatores, velocidade característica e pressão dinâmica do vento.	34
Tabela 4 - Deslocamentos do galpão contraventado.	43
Tabela 5 - Deslocamentos do galpão não contraventado.	43
Tabela 6 - Consumo de aço - Galpão contraventado.	45
Tabela 7 - Consumo de aço - Galpão não contraventado.	46

SIGLAS E ABREVIATURAS

CYPE 3D – CYPE Ingenieros

ASTM – American Society for Testing and Materials

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

DIN – Deutsches Institut für Normung

ELS – Estado Limite de Serviço

ELU – Estado Limite Último

CBCA – Centro Brasileiro da Construção em Aço

V₀ – Velocidade básica do vento

MEF – Método de elementos finitos

SAE – Society of Automotive Engineers

S1 – Fator topográfico

S2 – Fator de rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura

S3 – Fator estatístico

V_k – Velocidade característica

Q – Pressão dinâmica do vento

CPE – Coeficiente de Pressão Externo

CPI – Coeficiente de Pressão Interno

V0° – Velocidade a 0°

V90° – Velocidade a 90°

V180° – Velocidade a 180°

V270° – Velocidade a 270°

DX – Deslocamento em x

DY – Deslocamento em y

F_v – Relação entre fatores de majoração

SUMÁRIO_Toc232006241

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1	Estruturas metálicas.....	13
2.2	Evolução histórica da utilização do aço na construção civil.....	14
2.2.1	Vantagens do uso do aço em projetos estruturais.....	14
2.2.2	Tipos de aços utilizados em elementos estruturais.....	15
2.2.3	Principais aplicações em edifícios industriais.....	16
2.3	Pórtico de alma cheia.....	17
2.4	Contraventamento.....	18
2.5	Definição dos carregamentos.....	19
2.5.1	Ações permanentes.....	19
2.5.2	Ações variáveis.....	20
2.5.3	Ação do vento em edificações.....	20
2.6	Consumo de aço.....	21
2.7	Deslocamentos horizontais.....	22
3	METODOLOGIA.....	24
3.1	Caracterização da pesquisa.....	24
3.2	Concepção estrutural.....	24
3.3	Modelagem estrutural no CYPE 3D.....	27
3.3.1	Definição de perfis e materiais.....	28
3.3.2	Inserção da geometria estrutural do galpão com contraventamentos.....	29
3.3.3	Definição dos carregamentos.....	32
3.3.3.1	Ação variável devido ao vento.....	33
3.3.4	Inserção da geometria estrutural do galpão não contraventado.....	41
4	RESULTADOS.....	43
4.1	Apresentação dos resultados.....	43
4.1.1	Deslocamentos máximos.....	43
4.1.2	Estabilidade global da estrutura.....	44
4.1.3	Consumo de aço.....	45
4.2	Análise dos resultados.....	46
4.2.1	Análise dos deslocamentos.....	46
4.2.2	Análise da estabilidade global.....	48
4.2.3	Análise do consumo de aço.....	49

5	CONCLUSÃO.....	51
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	52
	REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

As estruturas metálicas estão sendo cada vez mais utilizadas na construção civil, principalmente em edificações industriais, devido às vantagens como rapidez de execução, elevada resistência mecânica e possibilidade de vencer grandes vãos. Entre os diversos elementos que compõem esse sistema estrutural, o contraventamento desempenha um papel importante na estabilidade global da estrutura, sendo responsável por absorver esforços horizontais e limitar os deslocamentos provocados por ações como o vento.

Além de contribuir para a segurança estrutural, a utilização adequada do sistema de contraventamento pode influenciar diretamente no dimensionamento dos elementos principais da estrutura, refletindo no consumo de aço e no deslocamento horizontal da estrutura. Dessa forma, a análise do comportamento estrutural de galpões metálicos com e sem contraventamento torna-se relevante para avaliar os benefícios proporcionados por esse sistema.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma comparação entre um galpão metálico contraventado e um galpão metálico não contraventado, por meio da modelagem e do dimensionamento estrutural no *software* CYPE 3D. Para isso, foram desenvolvidos dois modelos idênticos, diferenciando-se apenas pela presença do sistema de contraventamento, permitindo uma análise direta e objetiva da influência desse elemento sobre o comportamento da estrutura.

A comparação entre os modelos foi realizada considerando parâmetros relacionados aos deslocamentos horizontais, à estabilidade global e ao consumo de aço, com o intuito de verificar os impactos da adoção do sistema de contraventamento no desempenho estrutural e na eficiência do projeto. Espera-se, com este estudo, contribuir para uma melhor compreensão da importância do contraventamento em galpões metálicos e proporcionar uma melhor tomada de decisões durante a concepção e o dimensionamento desse tipo de estrutura.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ESTRUTURAS METÁLICAS

O uso de estruturas metálicas tem crescido significativamente devido à demanda por construções mais rápidas e eficientes. Com o avanço tecnológico na fabricação e no controle de qualidade do aço, é possível projetar pórticos com seções mais otimizadas, garantindo segurança, versatilidade e economia de material.

Os elementos estruturais de aço são aplicados normalmente na composição de treliças, pilares e vigas, contraventamentos e como barras de pórtico. Esses elementos são submetidos a tensões normais de tração e compressão, já que o aço se comporta muito bem sob essas duas tensões, com uma ressalva para os elementos submetidos a compressão, os quais podem apresentar problemas de instabilidade (FAKURY; CASTRO E SILVA; CALDAS, 2016). A Figura 1 ilustra alguns exemplos de aplicação desses elementos em estruturas metálicas.

Figura 1- Exemplos de aplicações de elementos estruturais.



Fonte: Fakury, Castro e Silva e Caldas (2016).

2.2 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA UTILIZAÇÃO DO AÇO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A utilização de materiais siderúrgicos na construção civil passou por uma significativa evolução ao longo dos séculos. Inicialmente, o ferro fundido foi amplamente empregado na construção de pontes e outras obras estruturais, sendo posteriormente substituído pelo ferro forjado devido à sua maior segurança e melhor desempenho estrutural. Com o avanço dos processos industriais de fabricação, especialmente após o desenvolvimento do processo de Bessemer em 1856 e dos fornos Martin, o aço tornou-se economicamente viável e passou a substituir rapidamente os materiais anteriormente utilizados. A partir da segunda metade do século XX, o desenvolvimento de aços de maior resistência e de baixa liga ampliou ainda mais as possibilidades de aplicação das estruturas metálicas, permitindo a execução de obras cada vez mais esbeltas, resistentes e de grandes vãos. No Brasil, a consolidação da indústria siderúrgica ocorreu após a Segunda Guerra Mundial, impulsionando a utilização do aço em edificações e obras de infraestrutura (PFEIL; PFEIL, 2009).

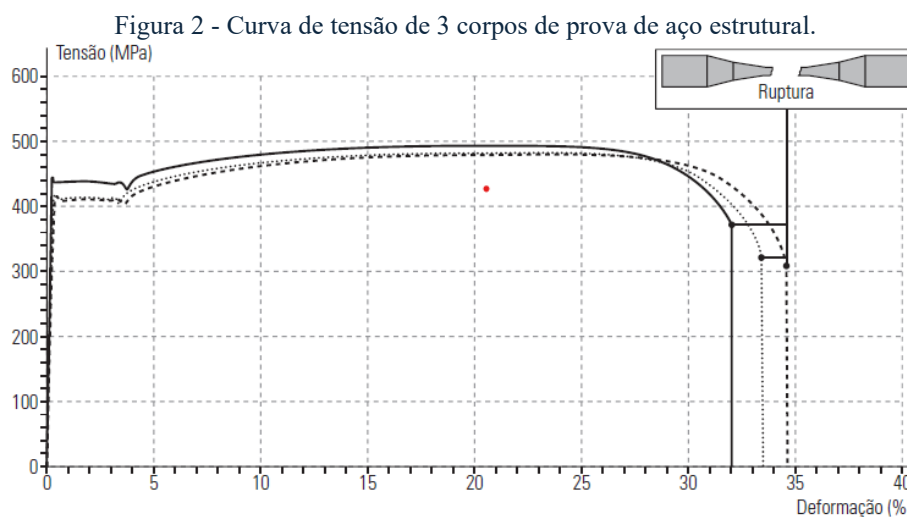
Atualmente, o aço é considerado um dos materiais mais versáteis e importantes utilizados pela engenharia estrutural. Sua ampla aplicação decorre da combinação de resistência mecânica, ductilidade e facilidade de fabricação. Segundo Silva e Pannoni (2010), a produção mundial de aço ultrapassou 1,2 bilhão de toneladas em 2006, sendo o Brasil um dos principais produtores mundiais. Os autores destacam ainda que o aço consiste essencialmente em uma liga de ferro e carbono, podendo conter outros elementos químicos adicionados para conferir propriedades específicas. O avanço dos processos siderúrgicos e o desenvolvimento de diferentes especificações permitiram a produção de milhares de tipos de aço, adequados às mais diversas aplicações estruturais e industriais (SILVA; PANNONI, 2010).

2.2.1 Vantagens do uso do aço em projetos estruturais

As estruturas metálicas apresentam diversas vantagens que justificam sua ampla utilização na construção civil. Entre elas, destacam-se a elevada precisão de fabricação, permitindo maior controle de qualidade, a garantia das dimensões e propriedades dos materiais, a alta resistência a vibrações e impactos, a rapidez e limpeza na execução das obras e a possibilidade de desmontagem e remontagem das estruturas em outros locais. Além disso, o aço possui elevada resistência estrutural, possibilitando a construção de estruturas leves e de grandes vãos, bem como o reaproveitamento de materiais e sobras de fabricação, contribuindo para a sustentabilidade do sistema construtivo. Entretanto, esse tipo de estrutura também

apresenta algumas limitações, como a necessidade de tratamentos superficiais para proteção contra a corrosão, o emprego de mão de obra e equipamentos especializados para fabricação e montagem, restrições relacionadas ao transporte de grandes componentes estruturais e limitações de fornecimento de determinados perfis estruturais (PINHEIRO, 2005).

O aço destaca-se ainda por suas excelentes propriedades mecânicas. Trata-se de um material homogêneo e isotrópico, características que proporcionam maior previsibilidade e confiabilidade ao seu comportamento estrutural. Além disso, apresenta elevada ductilidade, permitindo que o material sofra deformações significativas antes da ruptura, com alongamentos variando entre 15% e 40%, o que contribui para a segurança e o desempenho das estruturas metálicas (FAKURY; CASTRO E SILVA; CALDAS, 2016). A Figura 2 apresenta o gráfico tensão-deformação obtido a partir de três corpos de prova de aço estrutural.



2.2.2 Tipos de aços utilizados em elementos estruturais

O aço estrutural é composto predominantemente por ferro (cerca de 98%), contendo pequenas quantidades de outros elementos que conferem propriedades específicas ao material. O teor de carbono, limitado a aproximadamente 0,45% nos aços estruturais, garante um equilíbrio entre resistência mecânica elevada e boa ductilidade. De acordo com sua composição química, os aços podem ser classificados principalmente em aços-carbono e aços de baixa liga (BELLEI, 2023).

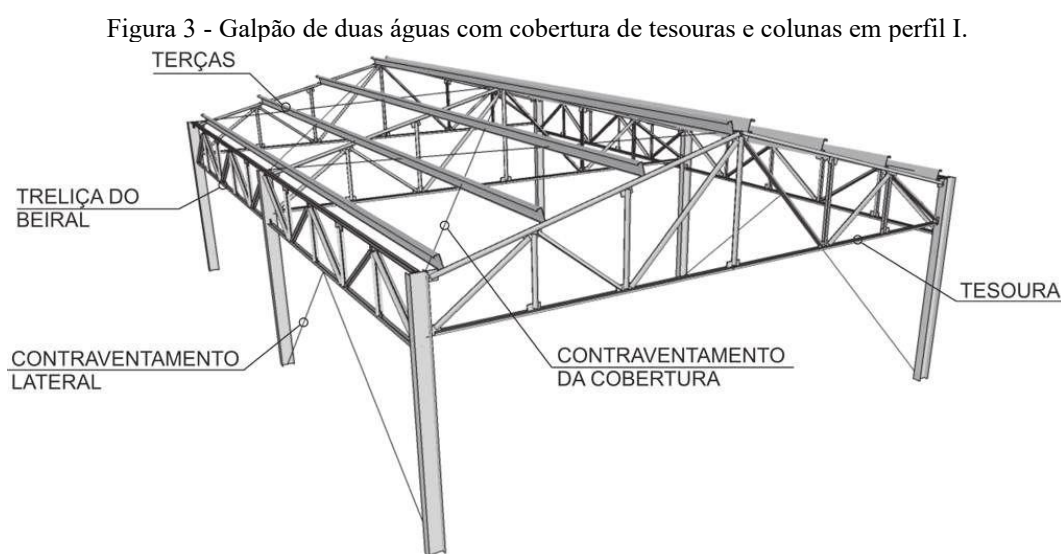
Os aços-carbono são os mais empregados em estruturas metálicas, tendo suas propriedades mecânicas influenciadas principalmente pelo teor de carbono e, em menor escala, pela presença de elementos como manganês e silício. Em função da quantidade de carbono

presente, esses aços podem ser classificados em baixo, médio e alto carbono. O aumento desse teor proporciona maior resistência mecânica, porém reduz a ductilidade do material e dificulta os processos de soldagem, razão pela qual os aços de baixo carbono são os mais utilizados em aplicações estruturais (PFEIL; PFEIL, 2009).

Os aços de baixa liga são obtidos pela adição controlada de elementos químicos, como cromo, cobre, manganês, níquel e molibdênio, que promovem melhorias nas propriedades mecânicas e na resistência à corrosão atmosférica. A presença desses elementos possibilita a obtenção de materiais com elevada resistência e boa soldabilidade, características que justificam sua ampla utilização em estruturas metálicas de médio e grande porte (PFEIL; PFEIL, 2009).

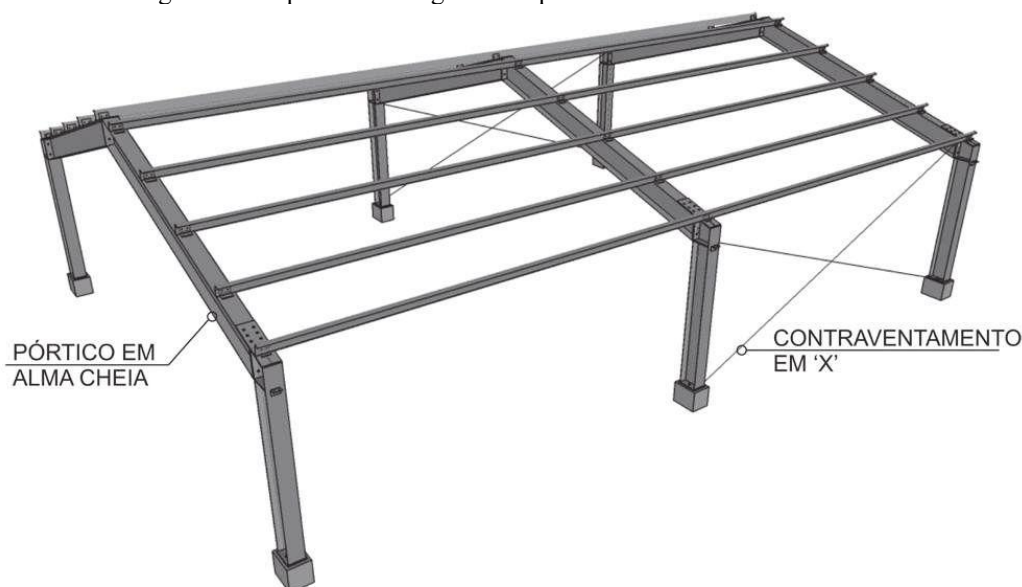
2.2.3 Principais aplicações em edifícios industriais

O aço estrutural está presente em diversos tipos e conceitos de estruturas metálicas, possibilitando uma ampla variedade de aplicações em galpões. Esses galpões podem ser projetados com diferentes formas de vigas, treliças, pilares e sistemas de contraventamento. A seguir, serão apresentadas algumas imagens de galpões montados com distintas configurações e elementos estruturais, conforme descrito no Manual de Construção em Aço: Galpões para Usos Gerais (CBCA, 2018). As Figura 3 e 4 apresentam galpões treliçados e de alma cheia, respectivamente.



Fonte: CBCA (2018).

Figura 4 - Galpão de duas águas com perfis I laminados ou soldados.



Fonte: CBCA (2018).

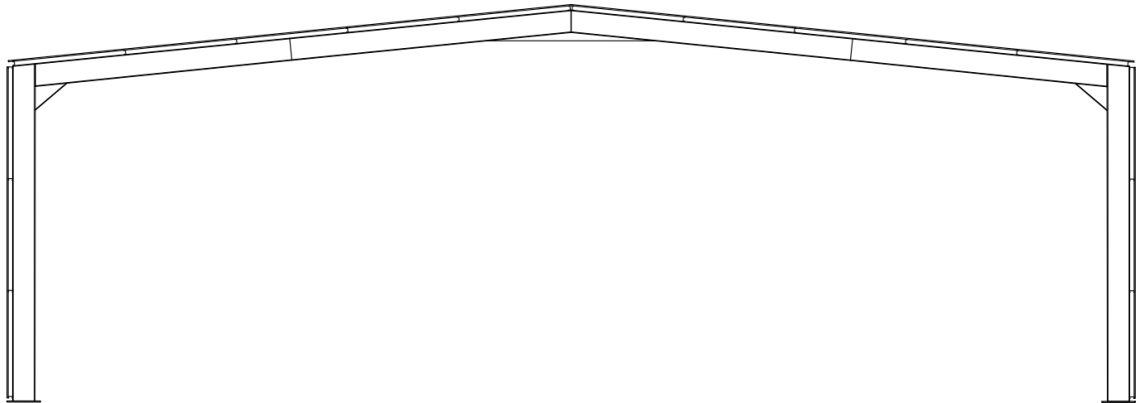
2.3 PÓRTICO DE ALMA CHEIA

Segundo Nogueira (2009), um pórtico de alma cheia é formado por vigas de cobertura e colunas. Esse tipo de pórtico possibilita um pequeno número de peças de travamento, baixo custo de limpeza e pintura, facilidade de fabricação e transporte e maior rigidez no processo de montagem quando comparado às soluções treliçadas.

Os pórticos de alma cheia possibilitam ser executados com bases rotuladas (necessitam de fundações mais simples), ou com bases engastadas (necessitam de fundações mais caras). Além disso, a distância entre os pórticos deve ser analisada, já que reflete bastante no preço da estrutura de cobertura e de suporte, sendo essa distância estimada com base no tamanho do vão (BELLEI, 2023).

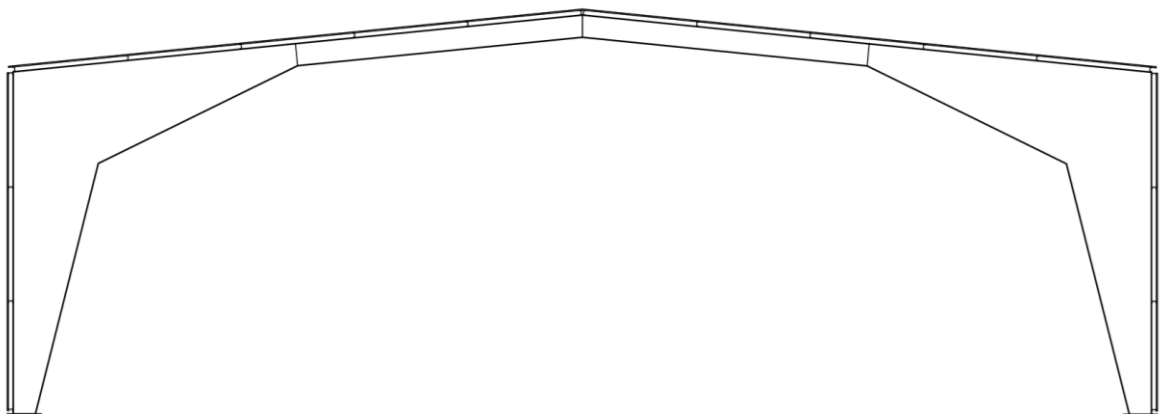
O pórtico mais simples possui vigas e colunas de mesma seção em perfis laminados, sendo esse tipo usado mais para tamanhos de pequeno (até 15 m) e médio porte (de 16 m a 35 m). Para um pórtico de médio porte é comum usar mísulas nos beirais e cumeeiras (BELLEI, 2023). A Figura 5 apresenta uma imagem ilustrativa de um pórtico de alma cheia com pilares e vigas de mesma seção. Para pórticos de médio e grande porte (de 36 m a 45 m) é comum adotar perfil de diferentes seções para vigas e colunas, e para pórticos bem grandes (acima de 46 m), esses perfis podem ser compostos ou ter inércia variável para suprir o esforço estrutural. A Figura 6 ilustra um pórtico com perfil de inércia variável.

Figura 5 - Pórtico de alma cheia com colunas e pilares de mesma seção.



Fonte: Adaptado de Bellei (2023).

Figura 6 - Pórtico de alma cheia com inércia variável.



Fonte: Adaptado de Bellei (2023).

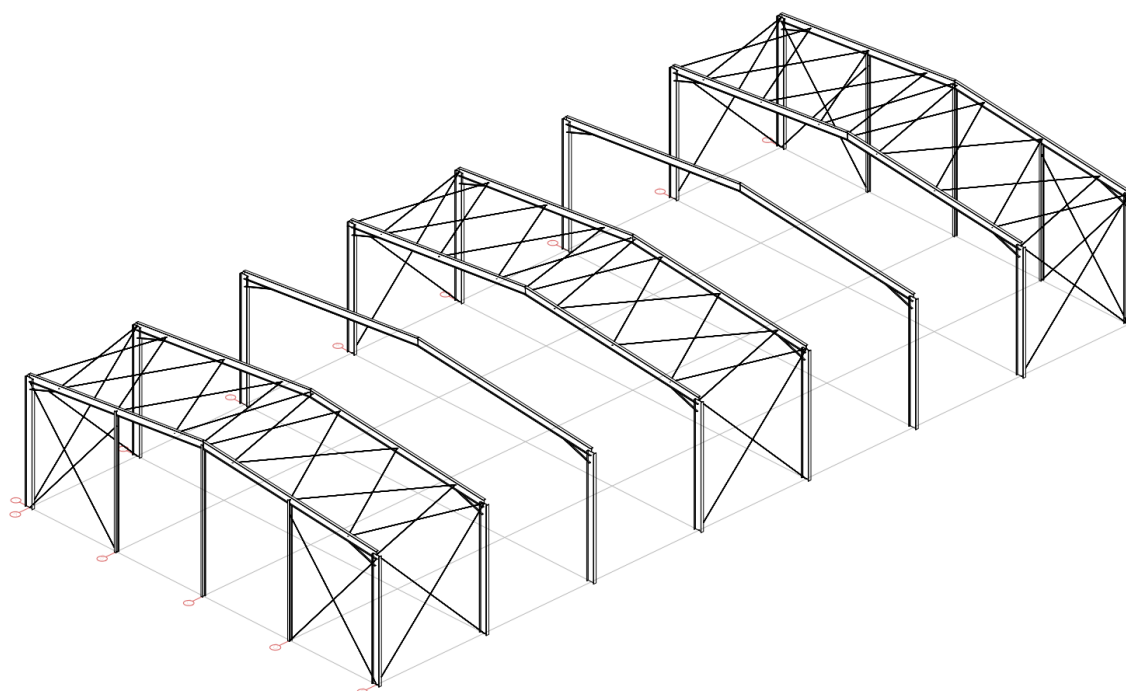
2.4 CONTRAVENTAMENTO

As estruturas, de modo geral, são tridimensionais e precisam possuir subestruturas de contraventamento que as estabilizem lateralmente em todas as direções. Dessa forma, é comum ter edificações de plantas retangulares nas quais, na direção transversal, as subestruturas de contraventamento são pórticos e, na direção longitudinal, contraventamentos (FAKURY, CASTRO E SILVA, 2016).

As forças resultantes da ação do vento nas fachadas laterais são transferidas às fundações por meio dos pórticos no sentido transversal. De forma análoga, os esforços

horizontais atuantes no sentido longitudinal, oriundos do vento ou de ações como a ponte rolante, são transmitidos às fundações por meio dos sistemas de contraventamentos horizontais e verticais. Dentre os sistemas empregados, o contraventamento do tipo “X” é o mais utilizado, ilustrado na Figura 7, embora existam diversas configurações possíveis, a depender das necessidades específicas do projeto (SILVA, 2020).

Figura 7 - Contraventamento em X.



Fonte: Autor (2026).

2.5 DEFINIÇÃO DOS CARREGAMENTOS

2.5.1 Ações permanentes

As estruturas estão sujeitas à ação de diferentes tipos de carregamentos, os quais podem provocar tensões, deslocamentos e deformações, comprometendo seu desempenho e, em situações extremas, ocasionando o colapso estrutural. Dessa forma, a correta determinação das cargas atuantes ao longo da vida útil da edificação é uma etapa fundamental do projeto estrutural. Entre essas ações, destacam-se as cargas permanentes, que permanecem aplicadas durante toda a vida útil da estrutura e são constituídas principalmente pelo peso próprio dos

elementos estruturais, das ligações, das divisórias fixas, dos equipamentos permanentes (SILVA, 2020).

Neste trabalho, foram consideradas apenas carregamentos como permanentes apenas o peso próprio da estrutura metálica, *sprinklers* e as telhas de cobertura e fechamento lateral.

2.5.2 Ações variáveis

As ações variáveis correspondem aos carregamentos que podem sofrer alterações significativas de magnitude durante a vida útil da edificação. Essas ações estão associadas, principalmente, ao uso e à ocupação da estrutura, abrangendo sobrecargas em pisos e coberturas, cargas provenientes de equipamentos, além das ações decorrentes do vento e das variações de temperatura. A consideração adequada desses carregamentos é essencial para garantir a segurança e o desempenho estrutural da edificação (ABNT NBR 8800:2024 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações.)

2.5.3 Ação do vento em edificações

Segundo Bellei (2023), a ação do vento em estruturas metálicas é uma das mais importantes a serem consideradas, especialmente quando não há ações de ponte rolante atuando na estrutura. Quando negligenciada, essa ação pode representar um elevado risco de instabilidade e até mesmo levar a estrutura ao colapso. A Figura 8 ilustra uma estrutura que por algum erro humano entrou em colapso.

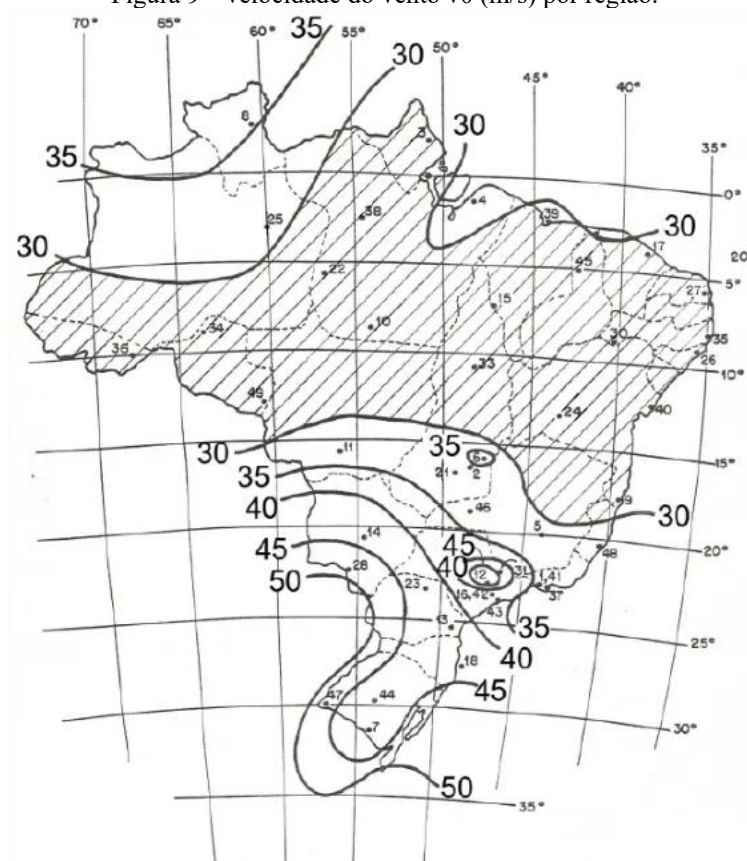
Figura 8 - Estrutura metálica desaba em Brusque-SC.



Fonte: O Município (2017).

Apesar de o vento constituir uma das ações mais relevantes no dimensionamento estrutural, a ABNT NBR 6123:2023 - Forças devido ao vento em edificações estabelece os critérios e procedimentos para a determinação das ações do vento sobre as edificações. A norma define, entre outros aspectos, a velocidade básica do vento a ser adotada para cada região do território brasileiro, como mostra a Figura 9, os fatores de correção associados à topografia, rugosidade do terreno e altura da edificação, bem como os coeficientes de pressão externa e interna aplicáveis às diferentes configurações geométricas. Dessa forma, a correta consideração dessas diretrizes é fundamental para a avaliação segura das ações do vento e para o adequado desempenho estrutural da edificação.

Figura 9 - Velocidade do vento v_0 (m/s) por região.



Fonte: ABNT (2023).

2.6 CONSUMO DE AÇO

A taxa de consumo de aço é um importante indicador utilizado no desenvolvimento de projetos de estruturas metálicas, sendo normalmente expressa em quilogramas de aço por metro quadrado de área construída (kg/m^2). Esse parâmetro é amplamente empregado em estudos preliminares e análises comparativas, já que permite avaliar a eficiência estrutural de diferentes

soluções, além de fornecer uma estimativa inicial da quantidade de material necessária e dos custos envolvidos na execução da obra.

A comparação entre diferentes tipologias estruturais demonstra que a taxa de consumo de aço é fortemente influenciada pela configuração adotada para o galpão. Em um estudo comparativo entre pórticos compostos por tesouras trapezoidais (treliçadas) em perfis conformados a frio de acordo com a ABNT NBR 14762:2010: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio, e pórticos de alma cheia em perfis laminados, verificou-se taxas de 20,98 kg/m² e 25,08 kg/m², respectivamente, indicando uma redução de aproximadamente 20% no consumo de aço para a solução treliçada (SILVA, 2017).

Diversos fatores influenciam a taxa de consumo de aço, destacando-se a localização da edificação, o vão livre entre pilares, o espaçamento entre pórticos, a altura dos pilares, o tipo de perfil empregado e as condições de vinculação da estrutura. Além disso, estudos comparativos apontam que o comportamento desse índice varia em função do vão adotado, podendo apresentar redução para determinados intervalos e aumento para vãos mais elevados, evidenciando que a definição da solução estrutural deve considerar simultaneamente aspectos técnicos e econômicos (SILVA, 2018).

Além da taxa de consumo de aço, a escolha da solução estrutural deve considerar o projeto de forma global. Embora a redução do quantitativo de material possa representar uma economia significativa, fatores como custos de fabricação, transporte, montagem e disponibilidade de mão de obra especializada também influenciam diretamente a viabilidade econômica da estrutura. As condições de mercado podem variar ao longo do tempo, fazendo com que, em determinados períodos, o custo do aço seja mais competitivo, enquanto em outros a mão de obra ou os processos de fabricação representem a maior parcela dos custos.

2.7 DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS

Os deslocamentos horizontais constituem um importante parâmetro para a avaliação do desempenho de estruturas metálicas, especialmente em galpões industriais, nos quais as ações do vento podem produzir deslocamentos significativos nos pórticos. Embora a resistência dos elementos estruturais seja fundamental para garantir a segurança da edificação, também é necessário atender aos critérios de Estado Limite de Serviço (ELS), evitando deformações excessivas que possam comprometer a estabilidade global da estrutura e o funcionamento adequado previsto no projeto. Nesse contexto, a ABNT NBR 8800:2024, no Anexo B,

estabelece que para galpões em geral e edificações de um pavimento, o deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base deve ser limitado a $H/300$, sendo H a altura total do pilar.

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia adotada para a realização de um estudo comparativo entre dois modelos estruturais de galpão: um dotado de sistema de contraventamento e outro sem a utilização desse sistema. As modelagens e análises foram desenvolvidas com o auxílio do *software* CYPE 3D.

Previamente ao dimensionamento estrutural, foi realizado um pré-dimensionamento por meio do software AutoCAD, com o objetivo de definir a geometria da estrutura, a disposição adequada das barras e minimizar possíveis inconsistências no modelo estrutural.

A partir da elaboração dos modelos, foram obtidos e analisados os resultados, permitindo a comparação do comportamento estrutural em ambas as situações. Com base nesses dados, buscou-se evidenciar e justificar a importância da utilização de barras tracionadas como elemento de contraventamento, destacando sua contribuição para a estabilidade global da estrutura.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa atual foi caracterizada como estudo comparativo de abordagem quantitativa, desenvolvido por meio de modelagem computacional aplicada à análise estrutural de galpões metálicos. O estudo teve como objetivo principal avaliar a influência da utilização de contraventamentos no comportamento estrutural da edificação, priorizando a comparação do consumo de aço, deslocamentos e análise de estabilidade global da estrutura frente às ações horizontais do vento.

Para a realização das análises estruturais, foi utilizado o *software* CYPE 3D, o qual possibilitou o dimensionamento e verificação dos elementos estruturais por meio do Método dos Elementos Finitos (MEF), análise linear estrutural e verificação da estabilidade estrutural, permitindo a comparação entre dois modelos estruturais conforme os critérios estabelecidos pelas normas técnicas vigentes.

3.2 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

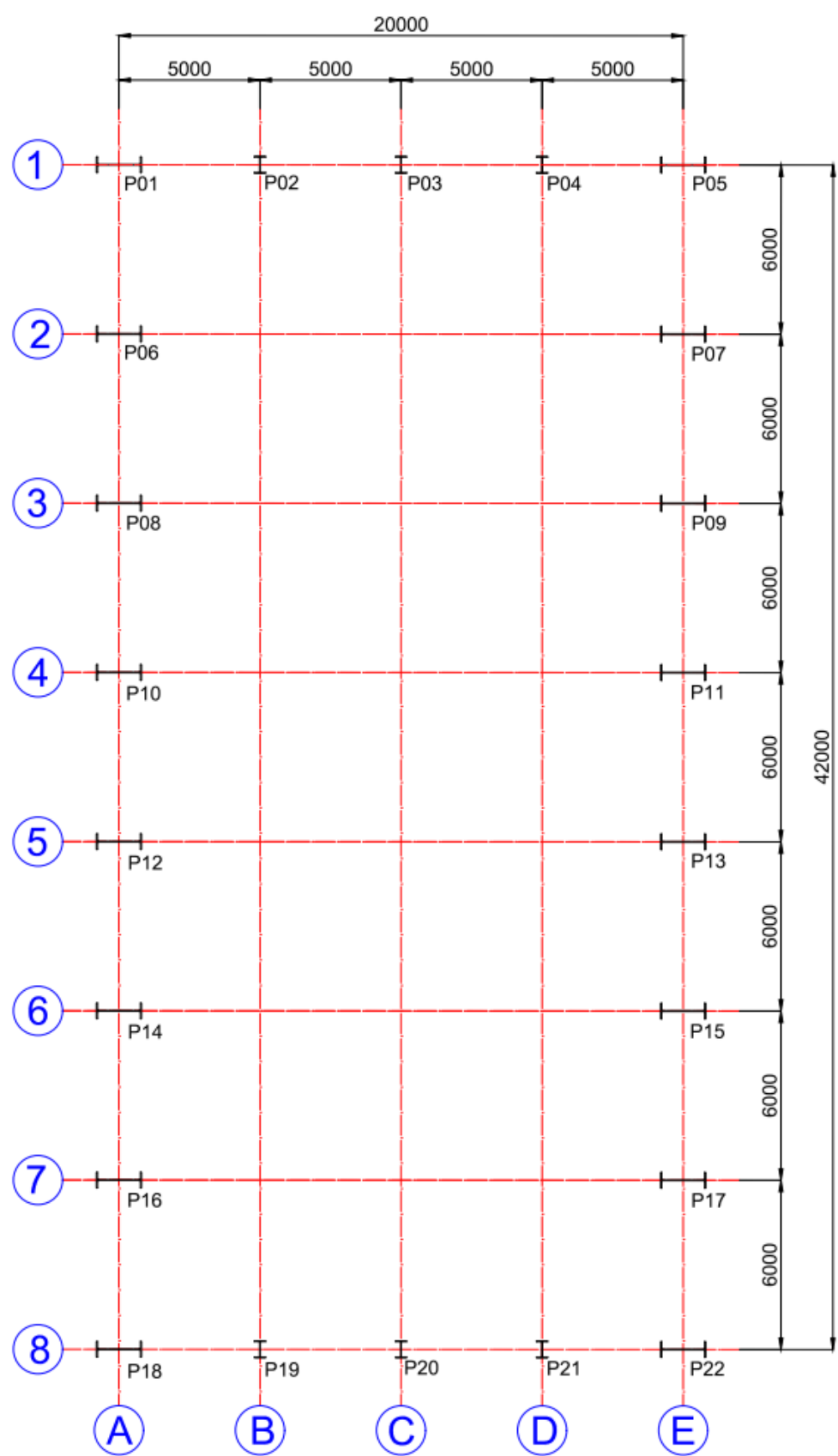
A definição das dimensões do galpão representa uma etapa fundamental para o desenvolvimento da estrutura, uma vez que os parâmetros geométricos adotados influenciam diretamente no comportamento estrutural e no dimensionamento dos elementos. Dessa forma,

foram estabelecidas as principais dimensões da edificação para o desenvolvimento do estudo comparativo, conforme descrito a seguir:

- Comprimento: 42 m;
- Largura: 20 m;
- Distância entre pórticos: 6 m;
- Inclinação: 10%;
- Duas aberturas frontais de 5 x 4 m;
- Duas aberturas laterais de 6 x 4 m.

A partir das dimensões previamente definidas, foi elaborada a concepção estrutural inicial da edificação por meio do *software* AutoCAD, permitindo a definição da disposição dos pilares, espaçamento entre pórticos e distribuição dos elementos estruturais principais. A planta de locação dos pilares utilizada no desenvolvimento do modelo estrutural pode ser observada na Figura 10.

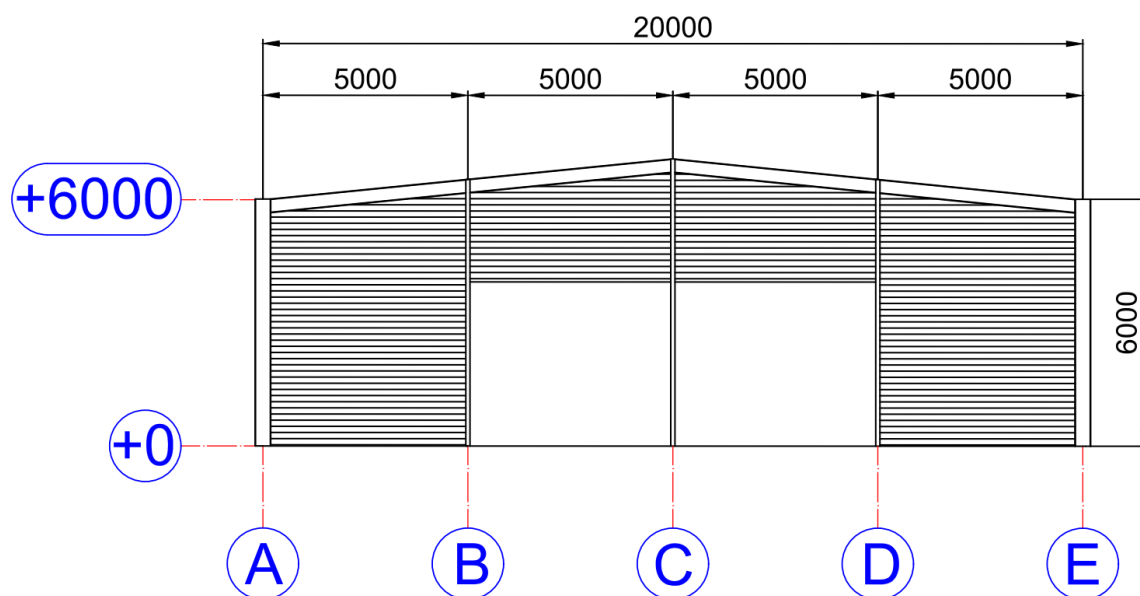
Figura 10 - Planta de locação dos pilares.



Fonte: Autor (2026).

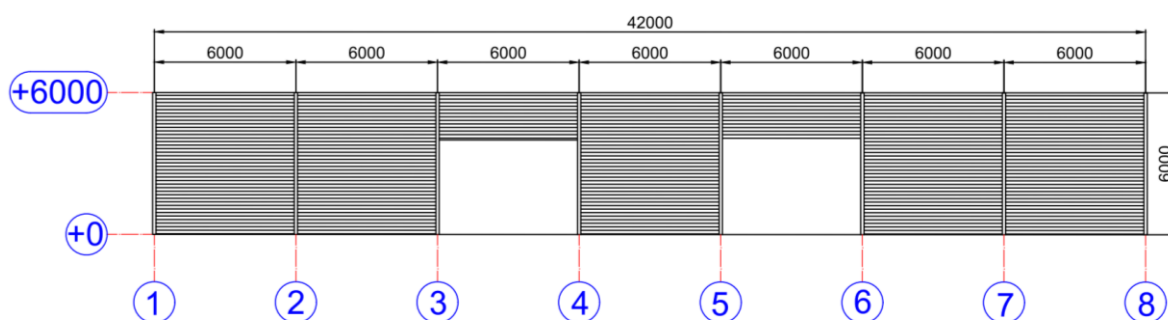
Depois disso, foram desenvolvidas as vistas frontal e lateral do galpão, com o objetivo de representar geometricamente a configuração estrutural adotada, bem como a inclinação da cobertura e a disposição das aberturas na edificação, conforme apresentado na Figura 11 e Figura 12.

Figura 11 - Elevação do eixo 1.



Fonte: Autor (2026).

Figura 12 - Elevação do eixo E.



Fonte: Autor (2026).

3.3 MODELAGEM ESTRUTURAL NO CYPE 3D

A modelagem estrutural do galpão foi desenvolvida por meio do *software* CYPE 3D, permitindo a análise, dimensionamento e verificação dos elementos estruturais da edificação. Nesta etapa, foram definidos os materiais, perfis estruturais, vínculos, carregamentos e demais

parâmetros necessários para o desenvolvimento do modelo computacional e posterior análise comparativa entre as estruturas estudadas.

3.3.1 Definição de perfis e materiais

Após a definição da geometria da edificação, foram estabelecidos os materiais e os perfis estruturais utilizados no desenvolvimento do modelo computacional. A escolha dos elementos estruturais foi realizada considerando as características geométricas do galpão, os vãos adotados e as solicitações previstas para a estrutura. A Tabela 1 apresenta os perfis e materiais inicialmente adotados para cada elemento estrutural.

Tabela 1 - Perfis e materiais.

Elemento estrutural	Tipo de perfil	Material	Fy (MPa)	Fu (MPa)
Terça	Perfil UE	SAE 1020	240	380
Viga principal	Perfil W	ASTM A-572 Gr.50	345	450
Pilar	Perfil W	ASTM A-572 Gr.50	345	450
Oitão	Perfil W	ASTM A-572 Gr.50	345	450
Contraventamento	Barra redonda	ASTM A36	250	400
Corrente rígida	Cantoneira	ASTM A36	250	400
Corrente flexível	Barra redonda	ASTM A36	250	400

Fonte: Autor (2026).

As propriedades mecânicas dos materiais adotados foram obtidas conforme as especificações técnicas correspondentes a cada material, sendo utilizados os valores estabelecidos pela ASTM A36/A36M (2019) para o aço ASTM A36, pela ASTM A572/A572M (2022) para o aço ASTM A572 Gr. 50 e pela SAE J1397 (2024) para o aço SAE 1020.

A definição dos perfis estruturais e materiais foi realizada com base nas características geométricas da edificação, nos vãos adotados e nas solicitações previstas para a estrutura. Os perfis iniciais foram definidos a partir de um pré-dimensionamento estrutural, possibilitando posteriormente a otimização dos elementos por meio do *software* CYPE 3D.

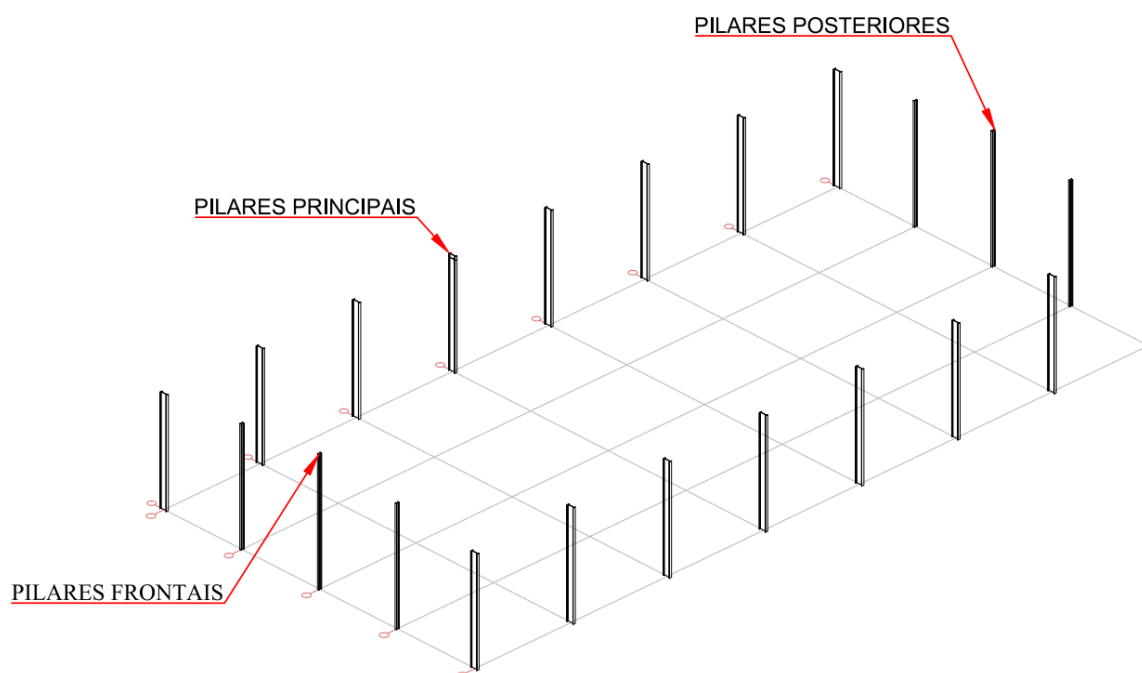
3.3.2 Inserção da geometria estrutural do galpão com contraventamentos

Com base na concepção estrutural definida anteriormente na Seção 3.2, foi iniciada a modelagem estrutural no *software* CYPE 3D. Nesta etapa, foram definidos inicialmente a malha de eixos, bem como o posicionamento dos pilares principais e dos pilares de oitão (cor vermelha). Os pilares frontais e posteriores foram espaçados entre si em 5 m, enquanto os pilares principais foram distribuídos a cada 6 m. A Figura 13 apresenta o início da modelagem estrutural no *software* CYPE 3D.

Os pilares principais possuem a função de transmitir as cargas provenientes da cobertura e demais elementos estruturais para as fundações. Já os pilares frontais e posteriores, além de contribuírem para o fechamento estrutural das extremidades do galpão, auxiliam na resistência às ações horizontais atuantes na estrutura.

Além disso, todos os pilares foram considerados engastados em suas extremidades inferiores, por meio de chapas de base. As ligações entre vigas e pilares foram modeladas como rígidas, permitindo a transmissão de momentos fletores entre os elementos. Já as demais barras da estrutura, como terças, correntes e contraventamentos, foram consideradas com vínculos rotulados (ou flexíveis), admitindo a transmissão apenas de esforços axiais e de cisalhamento, sem a transferência significativa de momentos fletores.

Figura 13 - Pilares principais, frontais e posteriores.



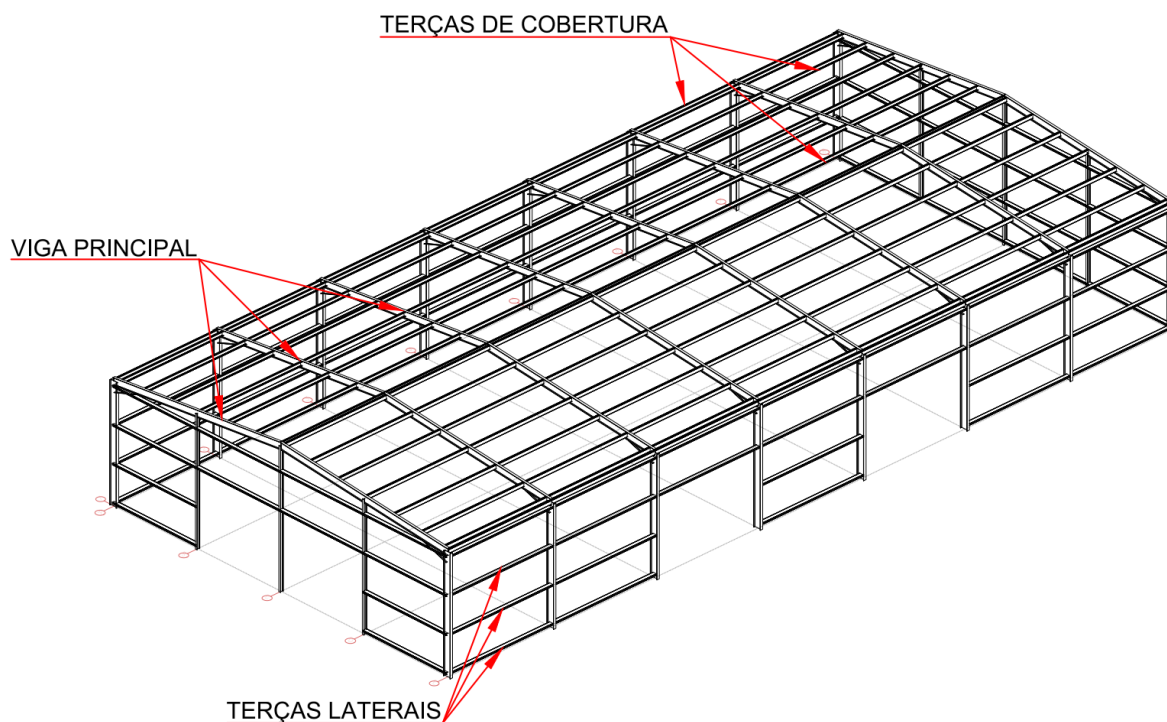
Fonte: Autor (2026).

Na sequência, foram inseridas as vigas principais, adotando inclinação de 10%, bem como as terças de cobertura. As vigas principais seguiram o mesmo espaçamento dos pilares principais, enquanto as terças foram distribuídas ao longo das vigas com espaçamento de 1,675 m, adotando-se recuo de 10 cm na região da cumeeira e de 30 cm na extremidade oposta, destinado ao posicionamento da calha.

As terças de fechamento lateral foram distribuídas ao longo dos pilares com espaçamento de 1,867 m, considerando recuos de 20 cm nas extremidades inferior e superior dos pilares. A disposição dos elementos estruturais inseridos no modelo computacional pode ser observada na Figura 14.

As vigas principais de cobertura possuem a função de receber os carregamentos transmitidos pelas terças e redistribuí-los aos pilares principais. As terças de cobertura atuam como elementos de apoio das telhas, transmitindo os esforços atuantes às vigas principais e auxiliando na estabilização do sistema de cobertura. Já as terças de fechamento lateral são responsáveis pelo suporte dos fechamentos verticais da edificação, além de garantir uma distribuição dos esforços horizontais devido ao vento nos pilares.

Figura 14 - Terças de cobertura e laterais e vigas principais.



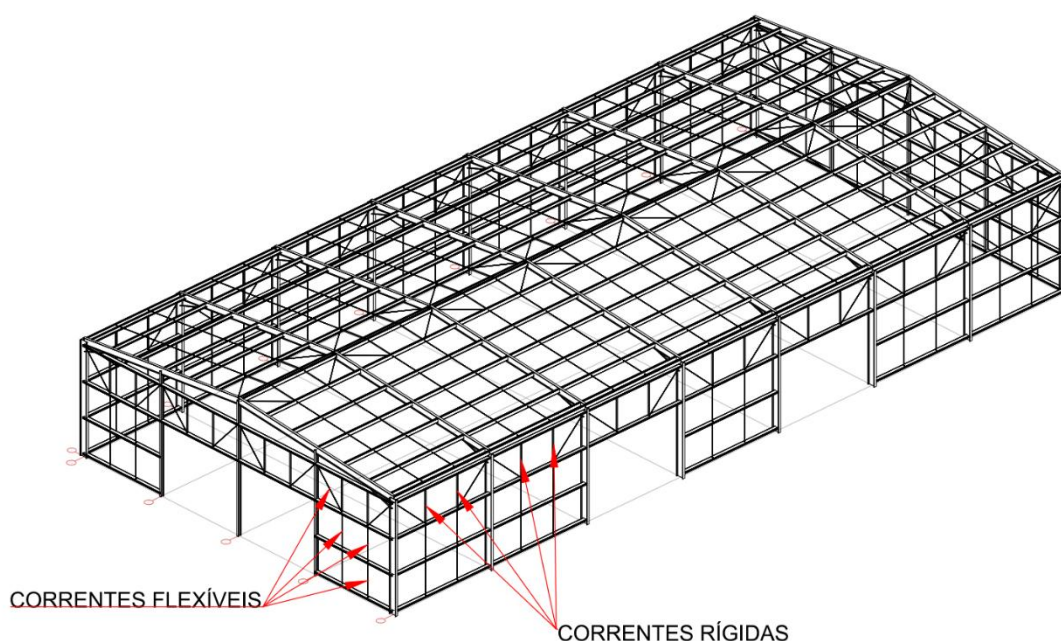
Fonte: Autor (2026).

Na sequência, foram modeladas as correntes rígidas e flexíveis. Esses elementos foram distribuídos ao longo das terças com espaçamento de 2 m entre si, contribuindo para o

travamento do sistema de cobertura e fechamento lateral e para a estabilidade estrutural do conjunto.

As correntes rígidas atuam como pontos de apoio rígidos para as demais correntes flexíveis, além de resistirem a esforços de compressão. Já as correntes flexíveis foram consideradas trabalhando apenas à tração, auxiliando no alinhamento e estabilização das terças de cobertura. A disposição desses elementos no modelo estrutural pode ser observada na Figura 15.

Figura 15 - Correntes rígidas e flexíveis.

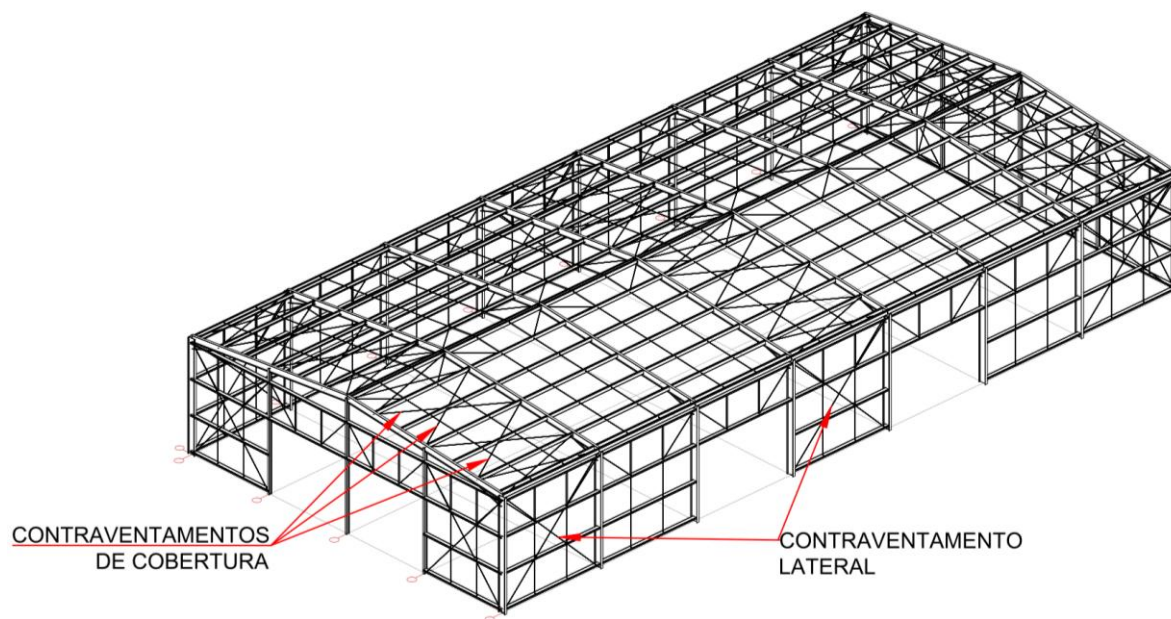


Fonte: Autor (2026).

Por fim, foram inseridos os contraventamentos laterais e de cobertura, responsáveis por garantir a estabilidade global da estrutura frente às ações horizontais, principalmente as provenientes do vento. Os contraventamentos de cobertura foram posicionados alinhados aos pilares de oitão e às terças correspondentes, sendo definidos quatro conjuntos em “X” em cada água da cobertura, distribuídos com espaçamento correspondente a dois vãos estruturais.

Já os contraventamentos laterais foram definidos por meio de um único conjunto em “X” em cada lateral da estrutura, adotando o mesmo espaçamento utilizado nos contraventamentos de cobertura. A disposição dos sistemas de contraventamento no modelo estrutural pode ser observada na Figura 16.

Figura 16 - Contraventamentos laterais e de cobertura.



Fonte: Autor (2026).

3.3.3 Definição dos carregamentos

Para a realização da análise estrutural, foram definidos os carregamentos atuantes na edificação. Os carregamentos considerados foram inseridos no *software* CYPE 3D, permitindo a análise do comportamento estrutural do galpão frente às ações permanentes, variáveis e ações do vento.

Com base nos critérios normativos estabelecidos, para o Estado Limite Último (ELU) foram consideradas apenas as combinações normais de ações. Já para o Estado Limite de Serviço (ELS), foi adotada a combinação frequente de serviço.

A telha adotada para o presente estudo foi a TP 40, fabricada pela empresa Isoeste, utilizada tanto na cobertura quanto no fechamento lateral da edificação. Adicionalmente, os valores referentes aos carregamentos das telhas, bem como dos *sprinklers* e da sobrecarga de cobertura, foram determinados conforme os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 6120:2019 - Ações para o cálculo de estruturas de edificações, conforme a Tabela 2.

A Figura 17 apresenta o modelo de telha trapezoidal adotado no estudo, evidenciando o sistema de fechamento empregado na estrutura analisada.

Figura 17 - Catálogo de produtos Isoeste.

TRAPEZOIDAL TP-40																				
Nº de Apoios	Espes. Aço (mm)	Peso Kg/m²	Sobrecarga máxima admissível (kg/m²) de acordo com a aplicação e distância entre apoios																	
			1,80 m		2,00 m		2,20 m		2,40 m		2,60 m		2,80 m		3,00 m		3,20 m		3,40 m	
			COB	FEC	COB	FEC	COB	FEC	COB	FEC	COB	FEC	COB	FEC	COB	FEC	COB	FEC	COB	FEC
	0,43	4,13	142	142	114	106	94	78	78											
	0,50	4,81	168	168	135	125	111	93	92	70	78									
	0,65	6,25	223	223	180	167	147	124	123	94	104	73	89		76					
	0,43	4,13	142	142	114	106	94	78	78											
	0,50	4,81	168	168	135	125	111	93	92	70	78									
	0,65	6,25	223	223	180	167	147	124	123	94	104	73	89		76					
	0,43	4,13	226	226	169	169	138	137	113	115	95	97	82	82						
	0,50	4,81	264	264	195	195	162	161	133	133	113	112	96	96	83	83				
	0,65	6,25	292	292	256	256	210	210	178	176	149	149	127	127	110	110	96	96		

Fonte: Kingspan Isoeste (2026).

O sistema fotovoltaico considerado é composto por painéis da marca Sunova, modelo SS-550-72-MDH, sendo adotado um peso de 30 kg por módulo, com dimensões de $2,279 \times 1,134$ m, acrescido de 8 kg referentes aos suportes de fixação NeoSolar (2026). O sistema fotovoltaico foi considerado como uma ação variável, uma vez que o projeto fictício desenvolvido neste trabalho não pressupõe sua instalação permanente. Assim, admitiu-se a possibilidade de sua instalação em momento posterior ou mesmo de sua não utilização, justificando sua classificação como ação variável.

A Tabela 2 apresenta os carregamentos permanentes e as sobrecargas consideradas na estrutura para a realização da análise estrutural e dimensionamento dos elementos. Já as ações do vento, devido à sua importância no comportamento global da edificação, serão abordadas detalhadamente na seção seguinte.

Tabela 2 - Carregamentos considerados no modelo estrutural.

Carregamento	Classificação	Valor (kN/m²)
Telha trapezoidal	Carga permanente	0,06
Sprinklers	Carga permanente	0,10
Painéis fotovoltaicos	Carga variável	0,15
Sobrecarga	Carga variável	0,25

Fonte: Autor (2026).

3.3.3.1 Ação variável devido ao vento

A ação do vento é relevante para um bom dimensionamento de estruturas metálicas, influenciando diretamente na estabilidade global e nos deslocamentos da edificação. E com base nisso, os critérios foram definidos a ABNT NBR 6123:2023.

O primeiro passo foi determinar a velocidade básica do vento V_0 para a região de Goiânia-GO por meio do mapa de isopletras presente na ABNT NBR 6123:2023, conforme apresentado anteriormente. Para a região em estudo, adotou-se velocidade básica do vento igual a 35 m/s.

Na sequência, foi determinado o fator topográfico S_1 , fator de rugosidade, dimensões da edificação e altura sobre o terreno S_2 e o fator estatístico S_3 , além da velocidade característica V_K e pressão dinâmica Q .

A partir da definição dos fatores S_1 , S_2 e S_3 , foi determinada a velocidade característica do vento V_K conforme os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 6123:2023. Esse parâmetro representa a velocidade efetiva do vento incidente na edificação, obtida a partir da combinação da velocidade básica do vento com os fatores de correção aplicáveis às condições específicas do local de implantação da estrutura.

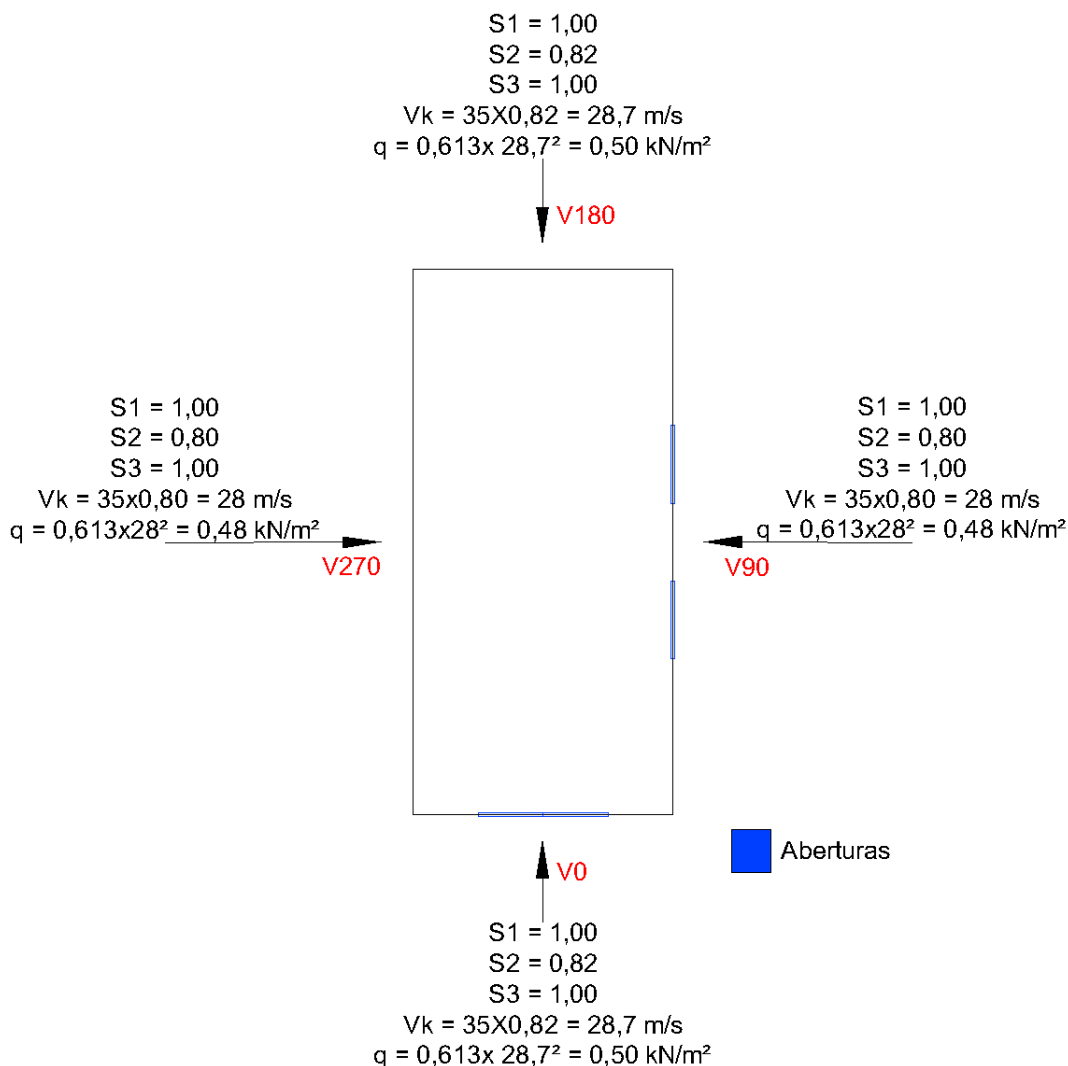
Posteriormente, com base na velocidade característica do vento, determinou-se a pressão dinâmica do vento Q , parâmetro utilizado para a obtenção das ações e esforços provocados pelo vento na estrutura. A Tabela 3 e Figura 18 apresentam os valores obtidos para as diferentes direções analisadas, evidenciando pequenas variações entre as orientações principais da edificação.

Tabela 3 - Fatores, velocidade característica e pressão dinâmica do vento.

Direção do vento	S_1	S_2	S_3	V_K (m/s)	Q (kN/m²)
V0 e V180	1,00	0,82	1,00	28,7	0,50
V90 e V270	1,00	0,80	1,00	28,0	0,48

Fonte: Autor (2026).

Figura 18 - Fatores, Velocidade característica e pressão dinâmica do vento.

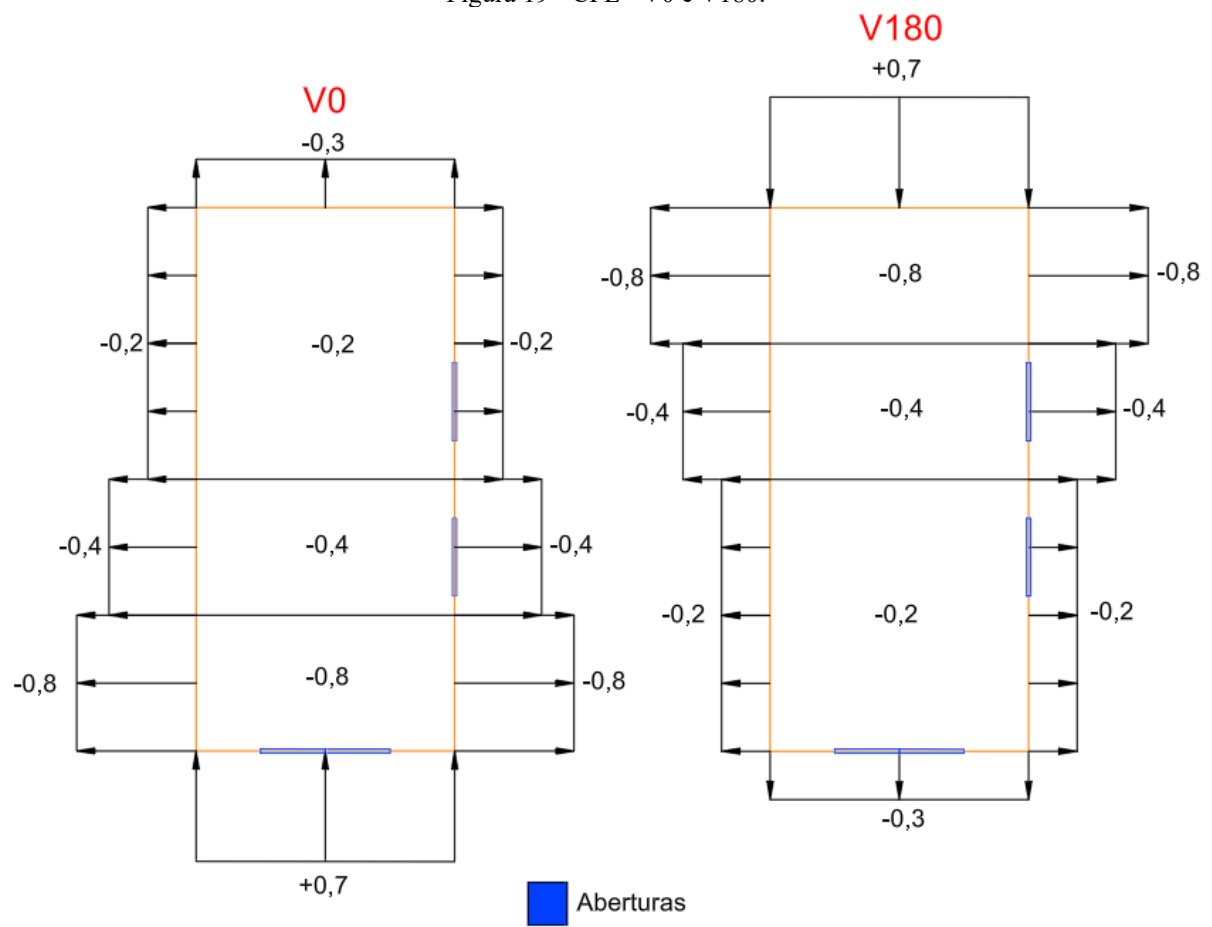


Fonte: Autor (2026).

Com a determinação da pressão dinâmica do vento para cada direção analisada, o passo seguinte consistiu na definição do coeficiente de pressão externa (CPE), conforme os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 6123:2023. Esse coeficiente é utilizado para representar a distribuição das pressões e sucções provocadas pelo vento sobre as superfícies da edificação, variando de acordo com a geometria da estrutura, inclinação da cobertura e direção de incidência do vento.

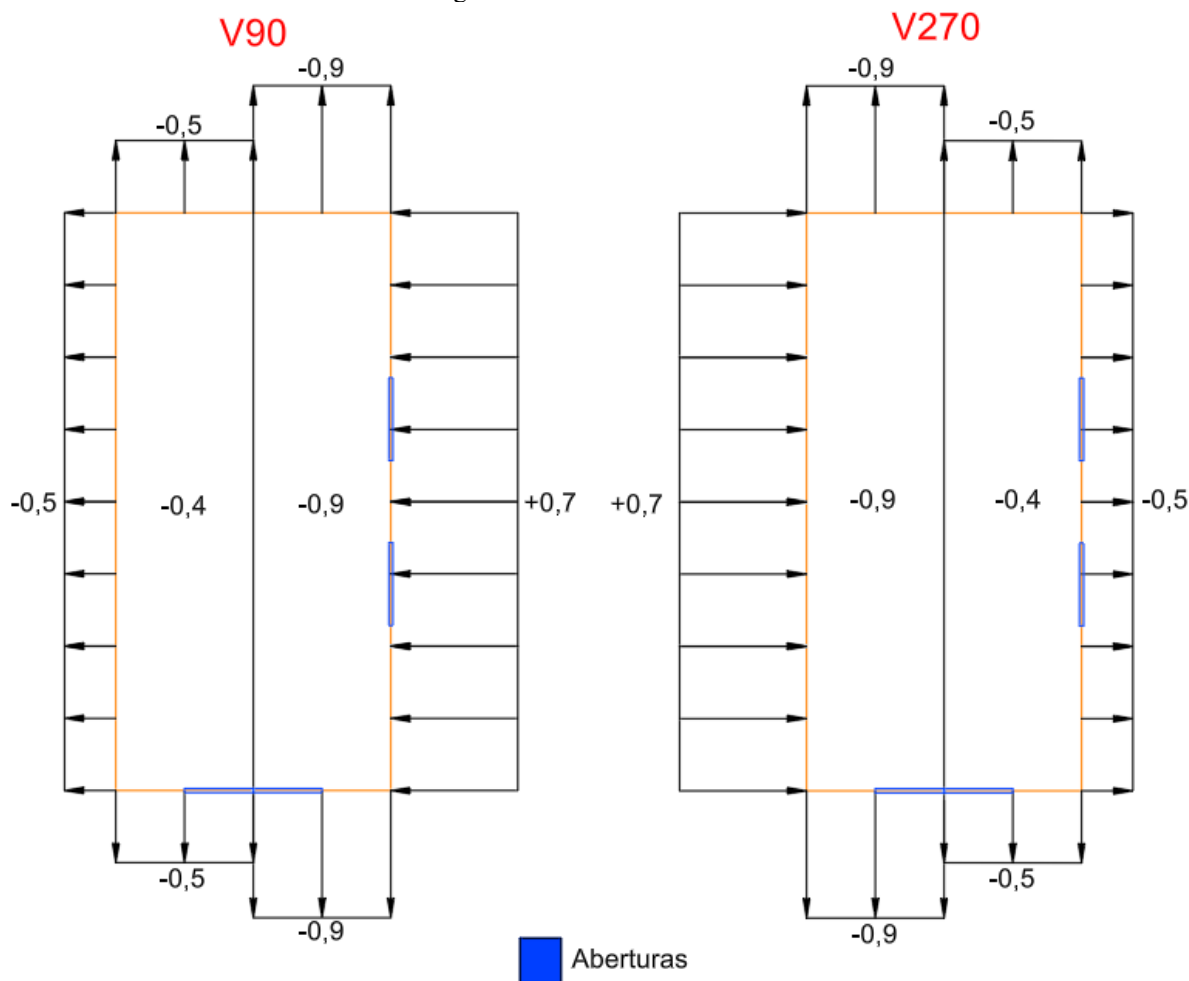
Para as direções V0 e V180, as laterais paralelas ao vento e a cobertura foram subdivididas em quatro seções, conforme ilustrado na Figura 19, de modo a possibilitar a correta atribuição dos coeficientes de pressão em cada região da edificação. Já para as direções V90 e V270, as laterais paralelas ao vento e a cobertura foram subdivididas em duas seções, conforme apresentado na Figura 20.

Figura 19 - CPE - V0 e V180.



Fonte: Autor (2026).

Figura 20 - CPE - V90 e V270.



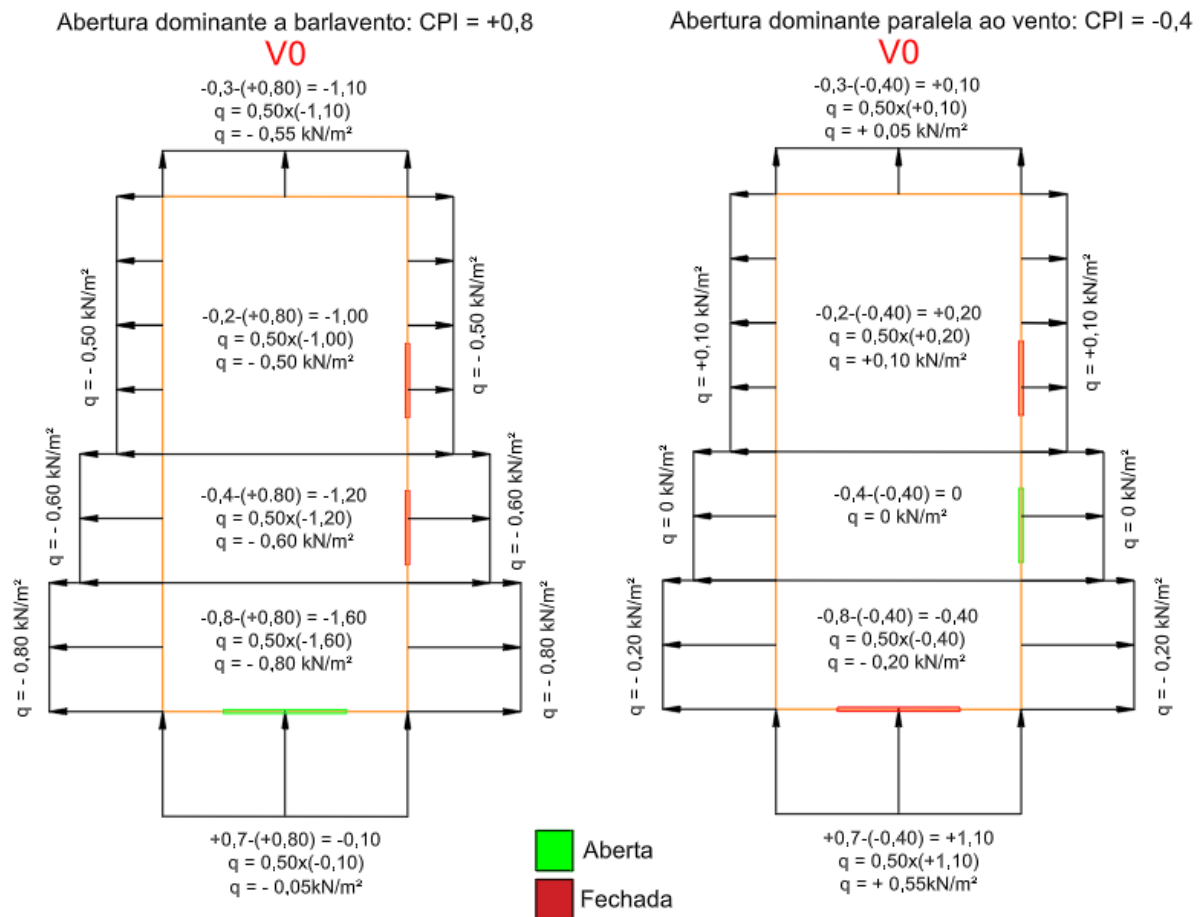
Fonte: Autor (2026).

Além do coeficiente de pressão externa (CPE), também foi determinado o coeficiente de pressão interna (CPI) da edificação, conforme os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 6123:2023. O CPI representa os efeitos da pressão do vento no interior da edificação, sendo diretamente influenciado pela distribuição e dimensão das aberturas existentes no fechamento da estrutura.

Após a determinação dos coeficientes de pressão interna (CPI) para cada hipótese analisada, realizou-se o somatório vetorial (CPE-CPI) entre os coeficientes de pressão externa (CPE) e interna (CPI), com o objetivo de obter o coeficiente resultante de pressão em cada superfície da edificação. A partir desse coeficiente resultante, foi possível determinar as pressões efetivamente aplicadas em cada segmento da estrutura, considerando as diferentes direções de incidência do vento e as condições de abertura dominante adotadas, com um valor negativo para um esforço de tração e positivo para compressão do segmento em questão.

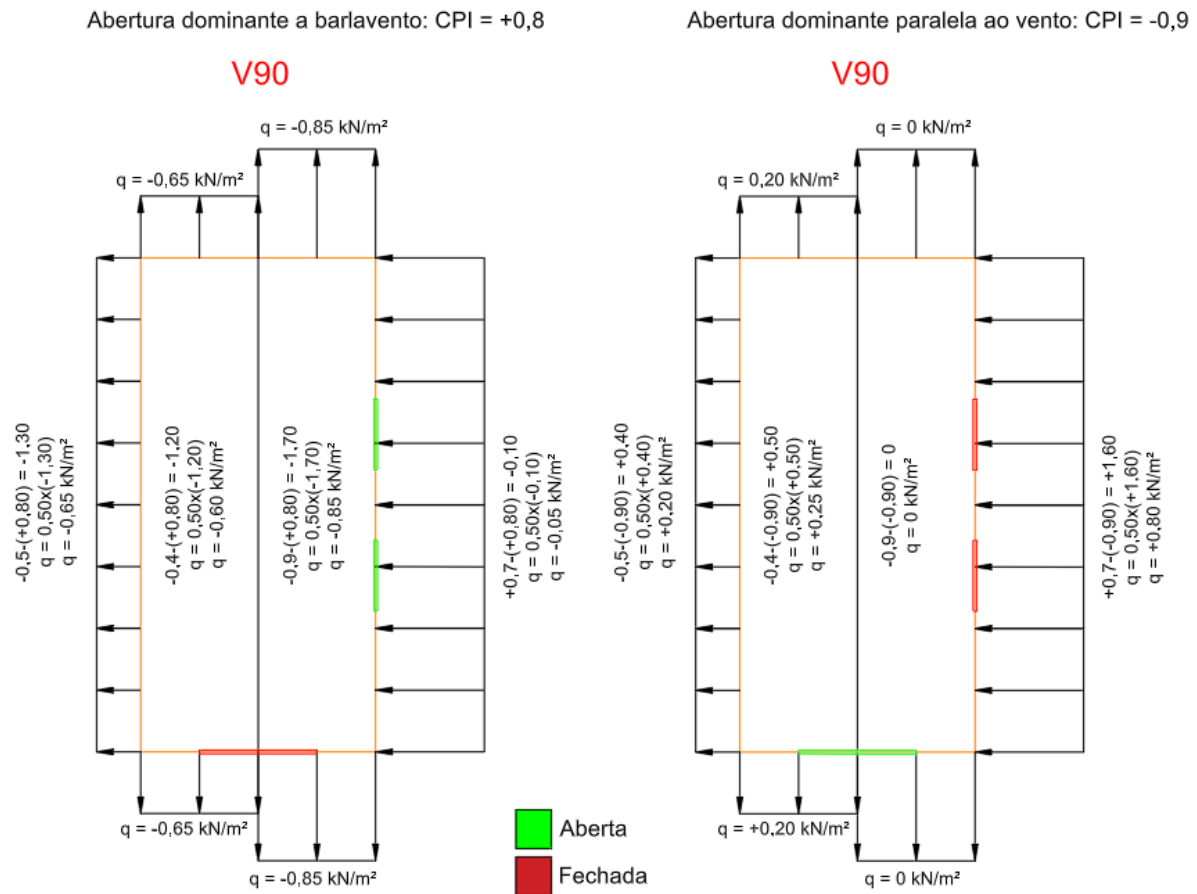
Para cada direção do vento analisada, foram consideradas duas hipóteses de abertura dominante, a fim de abordar diferentes cenários de incidência do vento sobre a edificação. Para o V0 e V90 foram consideradas as hipóteses de abertura dominante a barlavento e paralela ao vento, conforme ilustra a Figura 21 e Figura 22 respectivamente.

Figura 21 - Aberturas dominantes para V0.



Fonte: Autor (2026).

Figura 22 - Aberturas dominantes para V90.



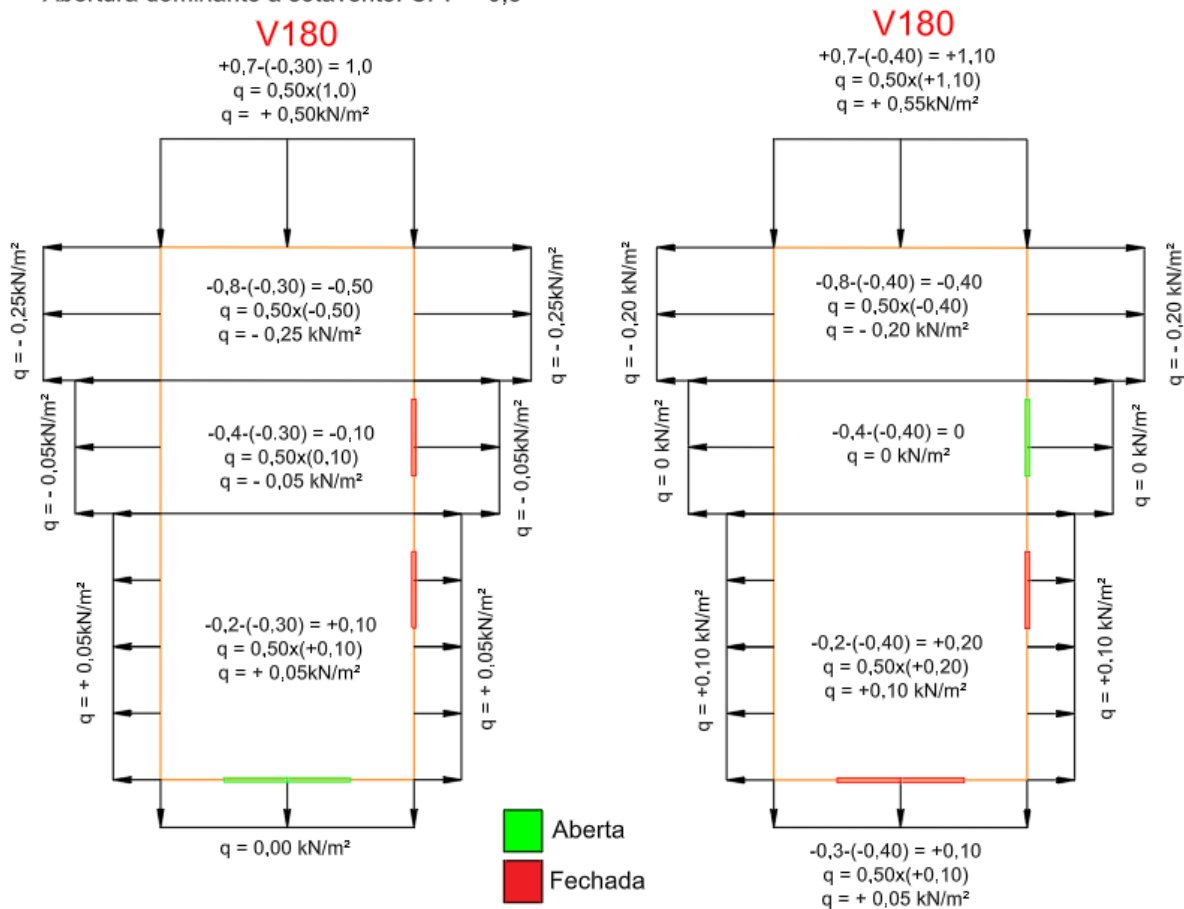
Fonte: Autor (2026).

Para o vento nas direções V180 e V270 também foram determinadas duas hipóteses, sendo abertura dominante a sotavento e paralela ao vento, conforme ilustra as Figura 23 e 24.

Figura 23 - Aberturas dominantes para V180.

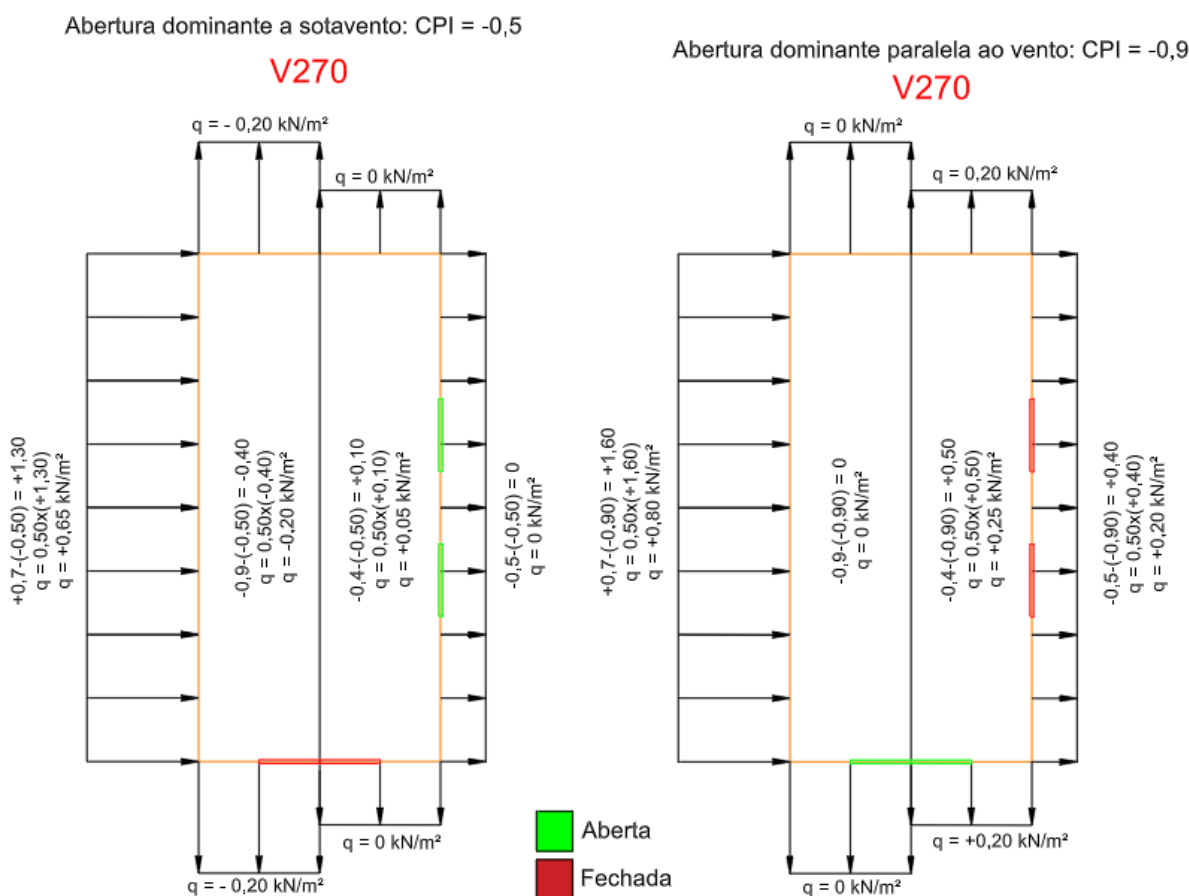
Abertura dominante a sotavento: CPI = -0,3

Abertura dominante paralela ao vento: CPI = -0,4



Fonte: Autor (2026).

Figura 24 - Aberturas dominantes para V270.



Fonte: Autor (2026).

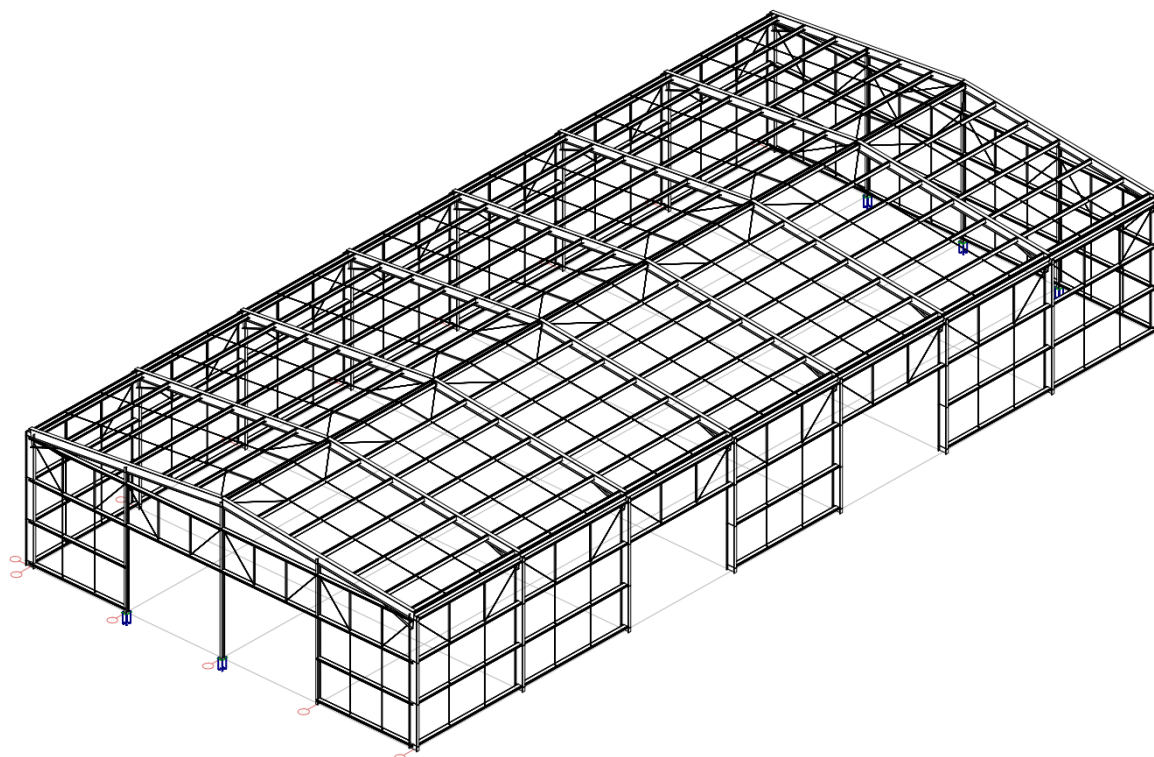
3.3.4 Inserção da geometria estrutural do galpão não contraventado

O modelo estrutural do galpão não contraventado foi concebido de forma a manter as mesmas características geométricas, construtivas e de carregamento adotadas para o modelo contraventado, visando garantir a uniformidade dos critérios de análise e permitir uma comparação consistente entre as duas estruturas.

Dessa forma, foram preservadas as dimensões da edificação, propriedades dos materiais, tipologia estrutural, perfis metálicos adotados (com a substituição de perfis de maior ou menor seção), carregamentos permanentes e variáveis, bem como as ações do vento e demais parâmetros de modelagem estrutural, permanecendo inalteradas todas as condições anteriormente estabelecidas. A única modificação realizada consistiu na remoção do sistema de contraventamento, possibilitando a avaliação do comportamento global da estrutura sem a contribuição desses elementos para a estabilidade.

Assim, a comparação entre os modelos teve como objetivo analisar a influência do sistema de contraventamento no desempenho estrutural do galpão, permitindo avaliar seus efeitos sobre os deslocamentos, esforços internos e demais parâmetros de interesse do estudo. A Figura 25 ilustra o galpão sem o sistema de contraventamento.

Figura 25 - Galpão não contraventado.



Fonte: Autor (2026).

4 RESULTADOS

4.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir das modelagens estruturais desenvolvidas para os galpões contraventado e não contraventado, elaboradas no *software* CYPE 3D. A comparação entre os modelos tem como objetivo avaliar a influência do sistema de contraventamento no comportamento estrutural da edificação.

Para essa análise, foram considerados parâmetros relacionados aos deslocamentos estruturais, à estabilidade global e ao consumo de aço, possibilitando a identificação das diferenças de comportamento entre os sistemas estruturais estudados.

4.1.1 Deslocamentos máximos

Os deslocamentos máximos dos elementos estruturais dos galpões contraventado e não contraventado são apresentados na Tabela 4 e Tabela 5, respectivamente. Para cada tipo de elemento estrutural analisado, foi considerado o maior deslocamento obtido, com o objetivo de representar a condição mais crítica observada por elemento, possibilitando uma comparação mais objetiva entre as duas estruturas. É importante ressaltar que o sentido do deslocamento em “X” corresponde à direção transversal dos galpões, enquanto que o deslocamento em “Y” faz parte da direção longitudinal.

Tabela 4 - Deslocamentos do galpão contraventado.

Elemento	Dx máx (mm)	Caso crítico Dx	Dy máx (mm)	Caso crítico Dy
Pilar	12,77	V90(CPI+0,80)	7,16	V180(CPI-0,40)
Viga	12,63	V270(CPI-0,50)	11,35	V180(CPI-0,40)

Fonte: Autor (2026).

Tabela 5 - Deslocamentos do galpão não contraventado.

Elemento	Dx máx (mm)	Caso crítico Dx	Dy máx (mm)	Caso crítico Dy
Pilar	9,84	V270(CPI-0,50)	40,27	V180(CPI-0,40)
Viga	8,89	V270(CPI-0,50)	267,27	V0(CPI+0,80)

Fonte: Autor (2026).

4.1.2 Estabilidade global da estrutura

A estabilidade global dos modelos estruturais foi avaliada com base nas relações (F_v) entre os coeficientes de majoração amplificados e os coeficientes sem amplificação, fornecidas pelo *software* CYPE 3D. Esse parâmetro considera os efeitos globais de segunda ordem decorrentes da deslocabilidade da estrutura, representando a influência dos deslocamentos na amplificação das ações horizontais atuantes.

Dessa forma, valores próximos da unidade (1,0) indicam que os efeitos globais de segunda ordem possuem pouca influência sobre o comportamento estrutural dos galpões, evidenciando uma menor amplificação das ações horizontais. Em contrapartida, valores mais elevados indicam maior influência da análise de segunda ordem, refletindo uma maior amplificação dos esforços horizontais para a hipótese de carregamento considerada.

No presente estudo, a estabilidade global foi analisada para as duas hipóteses de CPI para cada direção do vento (V0, V90, V180 e V270). A Figura 26 e Figura 27 apresentam os valores obtidos para o parâmetro de estabilidade global do galpão contraventado e não contraventado, respectivamente.

Figura 26 - F_v - Galpão contraventado.

V0(CPI=+0,80)	1.022
V0(CPI=-0,40)	1.022
V90(CPI=+0,80)	1.005
V90(CPI=0,90)	1.005
V180(CPI=-0,40)	1.022
V180(CPI=-0,30)	1.022
V270(CPI=-0,50)	1.005
V270(CPI=-0,90)	1.005

Fonte: CYPE Ingenieros (2026).

Figura 27 – F_v - Galpão não contraventado.

V0(CPI=+0,80)	1.673
V0(CPI=-0,40)	1.672
V90(CPI=+0,80)	1.007
V90(CPI=0,90)	1.006
V180(CPI=-0,40)	1.673
V180(CPI=-0,30)	1.673
V270(CPI=-0,50)	1.007
V270(CPI=-0,90)	1.007

Fonte: CYPE Ingenieros (2026).

4.1.3 Consumo de aço

O consumo de aço dos modelos estruturais foi obtido a partir dos relatórios fornecidos pelo *software* CYPE 3D, considerando todos os elementos constituintes da estrutura metálica modelada. Para fins de apresentação dos resultados, foram contabilizadas as massas totais de aço de cada galpão.

As Tabela 6 e Tabela 7 apresentam as quantidades de aço obtidas para os modelos contraventado e não contraventado, respectivamente. Nessa etapa, os resultados são apresentados de forma objetiva, sendo a comparação entre os modelos e a análise da eficiência estrutural realizada em seção posterior.

Tabela 6 - Consumo de aço - Galpão contraventado.

Material		Perfil	Peso (kg)
Tipo	Designação		
Aço laminado	A-572 Gr-50	W150x24	989,10
		W360x32,9	5700,70
		W410x38,8	3790,61
	A36	R10	443,85
		R12	278,88
		L 2x1/8	314,12
Aço dobrado	SAE 1020	C200x75x25x2,66	8973,83
Total			20491,09

Fonte: Autor (2026).

Tabela 7 - Consumo de aço - Galpão não contraventado.

Material		Perfil	Peso (kg)
Tipo	Designação		
Aço laminado	A-572 Gr-50	W150x24	989,10
		W410x75	12987,39
		W410x46,1	4461,31
	A36	R10	338,12
		R14	10,15
		L 2x1/8	314,12
Aço dobrado	SAE 1020	C200x75x25x4,76	6222,31
		C200x75x25x3,35	6675,93
Total			31998,43

Fonte: Autor (2026).

4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

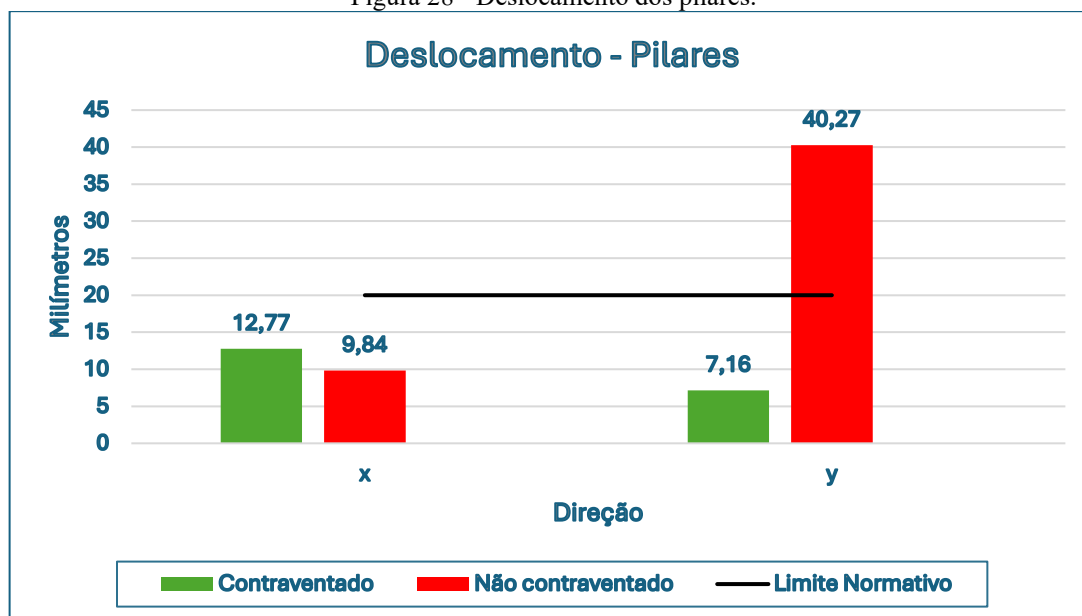
4.2.1 Análise dos deslocamentos

Os resultados apresentados nas Tabelas 4 e 5 evidenciam a influência do sistema de contraventamento no comportamento global da estrutura, principalmente em relação aos deslocamentos horizontais. De maneira geral, foi observado que os dois modelos apresentaram valores próximos para os deslocamentos na direção transversal do galpão (eixo x), enquanto diferenças mais significativas foram verificadas na direção longitudinal (eixo y), diretamente relacionada à atuação do sistema de contraventamento. De acordo com a ABNT NBR 8800:2024, o deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base deve ser limitado a $H/300$. Ressalta-se ainda que não foi realizada a verificação da flecha das vigas no sentido horizontal, uma vez que esses elementos acompanham o deslocamento lateral dos pilares em decorrência do comportamento global do pórtico. O limite $L/250$ previsto pela norma refere-se à flecha vertical das vigas de cobertura, associada às ações gravitacionais, não sendo aplicável à análise dos deslocamentos horizontais decorrentes da ação do vento. Dessa forma, apenas houve uma verificação nos deslocamentos horizontais das vigas principais, e, ao contrário dos pilares, não foi delimitado um parâmetro normativo.

Em relação aos pilares, os deslocamentos máximos na direção “X” apresentaram valores próximos para os dois modelos estruturais, sendo de 12,77 mm para o galpão contraventado e

9,84 mm para o galpão não contraventado (diferença de aproximadamente 29,8% favorecendo o não contraventado). Entretanto, na direção “Y”, o galpão contraventado apresentou deslocamento máximo de 7,16 mm, enquanto o modelo não contraventado atingiu 40,27 mm, representando um aumento de 462,4% em relação ao contraventado, evidenciando a influência do contraventamento no aumento da estabilidade no sentido longitudinal da estrutura. A Figura 28 demonstra de maneira visível a diferença de deslocamentos entre os pilares. Além disso, o modelo não contraventado não atendeu ao limite normativo estabelecido para o Estado Limite de Serviço (ELS). Ressalta-se, entretanto, que esse critério não está relacionado à resistência ou à segurança estrutural dos pilares, mas sim ao desempenho da estrutura em serviço, visando garantir deslocamentos compatíveis com o bom funcionamento da edificação e o conforto dos usuários.

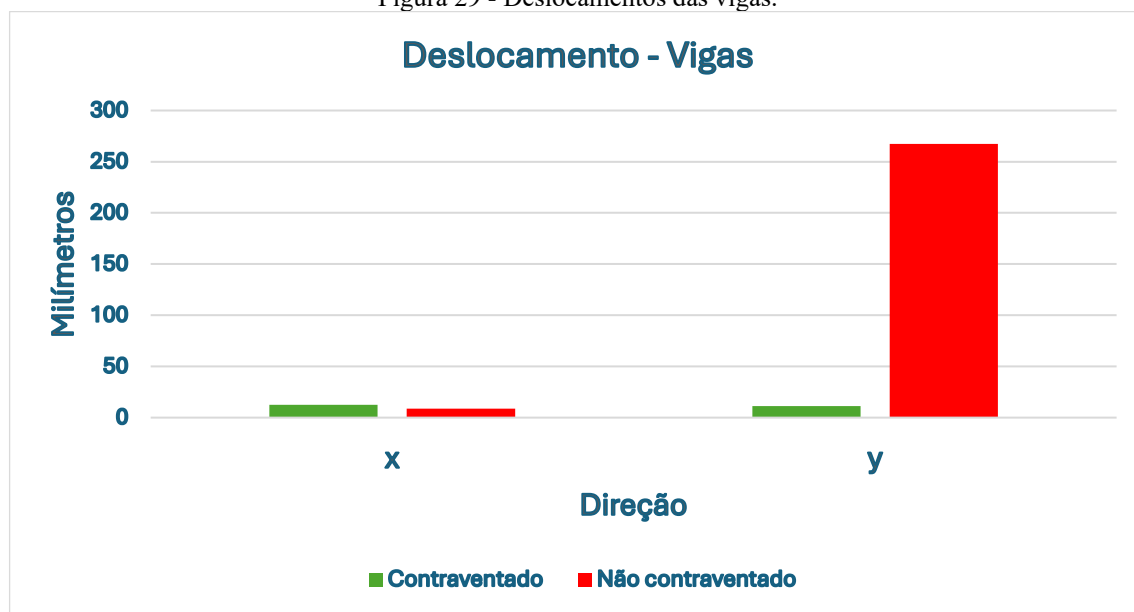
Figura 28 - Deslocamento dos pilares.



Fonte: Autor (2026).

Comportamento semelhante foi observado para as vigas principais. Embora os deslocamentos máximos na direção “X” tenham permanecido próximos entre os modelos, com valores de 12,63 mm para o galpão contraventado e 8,89 mm para o não contraventado (diferença de aproximadamente 42% favorecendo o não contraventado), na direção “Y” foi constatada uma diferença muito significativa. O modelo contraventado apresentou deslocamento máximo de 11,35 mm, enquanto o galpão não contraventado atingiu 267,27 mm, um aumento de aproximadamente 2300% do contraventado para o não contraventado. A Figura 29 demonstra de maneira visível a diferença de deslocamentos entre as vigas.

Figura 29 - Deslocamentos das vigas.



Fonte: Autor (2026).

Os resultados obtidos indicam que o sistema de contraventamento exerce papel fundamental no controle dos deslocamentos laterais da estrutura, sobretudo no sentido longitudinal (Eixo y) da estrutura, proporcionando menores deformações provocadas pela ação do vento. A influência desse comportamento será discutida com maior profundidade nas seções seguintes, em conjunto com a análise da estabilidade global e do consumo de aço.

4.2.2 Análise da estabilidade global

Os resultados apresentados nas Figura 26 e 27 demonstraram a influência do sistema de contraventamento na estabilidade global dos modelos estruturais. De modo geral, o galpão contraventado apresentou valores do parâmetro F_v muito próximos da unidade para todas as hipóteses de carregamento analisadas, variando entre 1,005 e 1,022. Esse comportamento indica uma reduzida influência dos efeitos da análise de segunda ordem, refletindo uma maior estabilidade global da estrutura e uma pequena amplificação das ações horizontais.

Por outro lado, o galpão não contraventado apresentou comportamentos distintos em função da direção de incidência do vento. Para as direções V90 e V270, os valores permaneceram próximos de 1,0, variando entre 1,006 e 1,007, indicando pequena influência dos efeitos de segunda ordem. Porém, para as direções V0 e V180, foram obtidos valores da ordem de 1,673 (61% a mais do que o galpão contraventado), ou seja, houve uma amplificação significativa das ações horizontais decorrente da deslocabilidade horizontal da estrutura.

Esse comportamento demonstra que a ausência do sistema de contraventamento torna a estrutura mais sensível aos efeitos da análise de segunda ordem, principalmente nas direções em que o contraventamento atua como principal elemento responsável pelo aumento da estabilidade lateral (direção longitudinal). Em contrapartida, a adoção desse sistema proporciona uma distribuição mais eficiente dos esforços horizontais, reduzindo a amplificação das ações e contribuindo para uma boa estabilidade estrutural.

4.2.3 Análise do consumo de aço

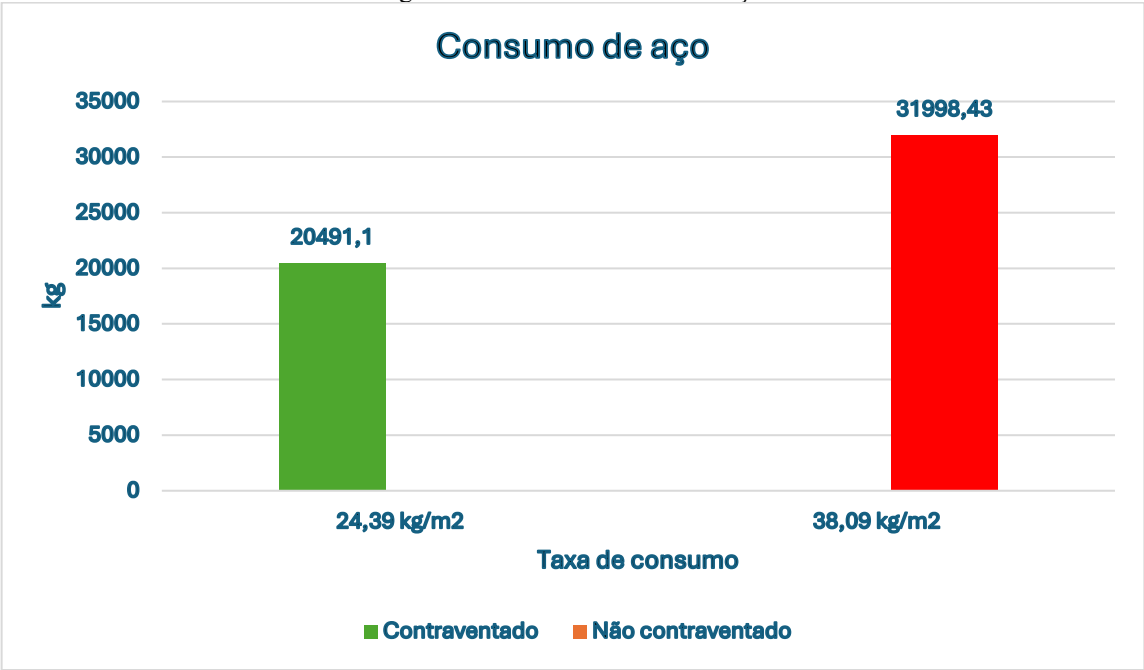
As Tabela 6 e 7 evidenciam a influência do sistema de contraventamento na quantidade de aço empregado em cada tipo de galpão. Embora os dois modelos possuam a mesma concepção arquitetônica, mesmas dimensões, mesmos carregamentos e sejam constituídos pelos mesmos materiais, a ausência do sistema de contraventamento exigiu alterações no dimensionamento de alguns elementos estruturais, refletindo diretamente no consumo total de aço.

O galpão contraventado apresentou um consumo total de 20.491,09 kg de aço, enquanto o modelo não contraventado atingiu 31.998,43 kg, mostrando um aumento de 11.507,34 kg de material necessária para garantir a resistência da estrutura na ausência dos contraventamentos. Esse comportamento pode ser observado principalmente pelo aumento das seções dos perfis principais, que passaram a absorver esforços adicionais anteriormente redistribuídos pelo sistema de contraventamento.

Considerando a área da edificação (840 m^2), os modelos apresentaram uma taxa de consumo de aço de $24,39 \text{ kg/m}^2$ para o galpão contraventado e $38,09 \text{ kg/m}^2$ para o galpão não contraventado, um aumento de aproximadamente 56% de aço do galpão contraventado para o não contraventado. Essa relação permite uma avaliação mais objetiva e prática da eficiência estrutural dos sistemas analisados, uma vez que facilita a comparação com outros projetos de características semelhantes.

Para facilitar a comparação entre os modelos, a Figura 30 apresenta um gráfico de barras com o consumo total e a taxa de consumo de aço obtida para cada alternativa estrutural.

Figura 30 - Taxa de consumo de aço.



Fonte: Autor (2026).

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou a modelagem e a análise comparativa entre um galpão metálico contraventado e um galpão metálico não contraventado, utilizando o software CYPE 3D como ferramenta de dimensionamento e análise estrutural. Durante o desenvolvimento do estudo, foram aplicados os conceitos relacionados às estruturas metálicas, às ações atuantes nas edificações e aos critérios estabelecidos pela ABNT NBR 6123:2023 para a determinação das ações do vento.

A comparação entre os modelos permitiu avaliar a influência do sistema de contraventamento no comportamento global da estrutura, evidenciando sua importância no controle dos deslocamentos horizontais e na otimização do consumo de aço. Os resultados mostraram que, na direção longitudinal do galpão, a ausência do sistema de contraventamento proporcionou um aumento de aproximadamente 462,4% nos deslocamentos máximos dos pilares do contraventado para o não contraventado, e de aproximadamente 2300% nos deslocamentos das vigas principais, demonstrando um aumento significativo da instabilidade no sentido longitudinal da estrutura frente às ações horizontais.

Além dos benefícios relacionados ao desempenho estrutural, verificou-se influência direta do sistema de contraventamento no sentido da quantidade de aço gasto. O galpão contraventado apresentou consumo total de 20.491,09 kg de aço, correspondente a uma taxa de 24,39 kg/m², enquanto o modelo não contraventado consumiu 31.998,43 kg, equivalente a 38,09 kg/m². Esses resultados representam um aumento aproximado de 56% no consumo de aço da estrutura sem contraventamentos, evidenciando que a ausência desse sistema exige o aumento das seções dos principais elementos estruturais para garantir condições adequadas de resistência e estabilidade.

Os resultados obtidos demonstram que o sistema de contraventamento não apenas melhora o comportamento global da estrutura, reduzindo significativamente os deslocamentos laterais, como também contribui para uma utilização mais eficiente do aço, proporcionando soluções estruturalmente mais rígidas e economicamente mais vantajosas.

Dessa forma, conclui-se que os objetivos propostos neste trabalho foram plenamente alcançados, comprovando a importância do sistema de contraventamento no projeto de galpões metálicos. Além de garantir maior estabilidade global, esse sistema reduz a influência dos efeitos de segunda ordem e possibilita a otimização do consumo de material, constituindo uma solução técnica recomendável para estruturas submetidas predominantemente às ações horizontais do vento.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os resultados obtidos neste trabalho evidenciaram a influência do sistema de contraventamento no comportamento estrutural de galpões metálicos, proporcionando maior estabilidade global e redução do consumo de aço. Entretanto, além da utilização de contraventamentos, existem outras soluções estruturais que podem ser empregadas com o objetivo de aumentar a eficiência da estrutura e otimizar o uso de aço.

1. Uma alternativa consiste na utilização de vigas e pilares treliçados, que podem proporcionar elevada rigidez estrutural com menor consumo de aço quando comparados a elementos de alma cheia, dependendo das características arquitetônicas do projeto. Dessa forma, recomenda-se que estudos futuros realizem uma análise comparativa entre sistemas estruturais contraventados compostos por elementos de alma cheia e elementos treliçados, avaliando seus impactos no desempenho estrutural e na economia de aço.
2. Outra possibilidade consiste na instalação de sistemas de ventilação natural, como venezianas e lanternins. A adoção desses elementos pode modificar as condições de ventilação da edificação, reduzindo a influência das aberturas dominantes, conforme aborda a ABNT NBR 6123:2023 e, consequentemente, dos elevados coeficientes de pressão interna, como os casos de $CPI = +0,80$ e $CPI = -0,90$. A avaliação desse comportamento pode contribuir para a redução das ações internas do vento e, consequentemente, para a otimização do dimensionamento estrutural.
3. Por fim, outra possibilidade para trabalhos futuros consiste na realização de análises considerando diferentes velocidades básicas do vento e distintas regiões do território brasileiro. Como as ações do vento influenciam muito no comportamento de galpões metálicos, a comparação entre estruturas contraventadas e não contraventadas em cenários de maior ou menor intensidade do vento pode contribuir para uma melhor compreensão da eficiência do sistema de contraventamento e de sua influência no consumo de aço.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM A36/A36M: Standard Specification for Carbon Structural Steel**. West Conshohocken, PA, 2019.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM A572/A572M: Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Columbium-Vanadium Structural Steel**. West Conshohocken, PA, 2022.

AUTODESK. **AutoCAD**. San Francisco, CA: Autodesk, 2026. Disponível em: <<https://www.autodesk.com>>. Acesso em: 7 jun. 2026.

BELLEI, Ildony Hélio. **Edifícios industriais em aço: projeto e cálculo estrutural**. 7. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2023.

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Galpões para usos gerais**. 4. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil: CBCA, 2018.

CYPE INGENIEROS. **CYPE 3D**. Alicante, Espanha: CYPE Ingenieros, 2026. Disponível em: <<https://www.cype.com>>. Acesso em: 7 jun. 2026.

FAKURY, Ricardo Hallal; CASTRO E SILVA, Ana Lydíia R.; CALDAS, Rodrigo Barreto. **Dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

KINGSPAN ISOESTE. **Catálogo de produtos. Anápolis: Kingspan Isoeste, 2026.** Disponível em: <<https://kingspanisoeste.com.br>>. Acesso em: 3 maio 2026.

NEOSOLAR. **Painel Solar Fotovoltaico 550W – Sunova SS-550-72-MDH.** Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-550w-sunova-ss-550-72-mdh.html>>. Acesso em: 5 maio 2026.

NOGUEIRA, Gilcimar Saraiva. **Avaliação de soluções estruturais para galpões compostos por perfis de aço formados a frio.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

O MUNICÍPIO. **Estrutura metálica desaba e deixa cinco pessoas feridas em Brusque. Brusque, 2017.** Disponível em: <<https://omunicipio.com.br/seguranca/estrutura-metalica-desaba-e-deixa-cinco-pessoas-feridas-em-brusque/>>. Acesso em: 3 jan. 2026.

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

PINHEIRO, Antonio Carlos da Fonseca Bragança. **Estruturas metálicas: cálculos, detalhes, exercícios e projetos.** 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Blucher, 2005.

SAE INTERNATIONAL. SAE J1397: **Estimated Mechanical Properties and Machinability of Steel Bars.** Warrendale, PA, 2024.

SILVA, Leandro Nunes da. **Avaliação do desempenho de soluções estruturais para tesouras de galpões industriais com ponte rolante.** 2020. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia das Construções) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2020.

SILVA, Rodrigo Emanuel Rodrigues da. **Projeto de galpão em estrutura metálica: consumo de aço em soluções com perfis laminados e conformados a frio.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

SILVA, Valdir Pignatta e; PANNONI, Fabio Domingos. **Estruturas de aço para edifícios: aspectos tecnológicos e de concepção.** São Paulo: Blucher, 2010.