

DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE COMPUTACIONAL DE UM GALPÃO METÁLICO UTILIZANDO O SOFTWARE SAP 2000

Bianca Saldanha Pinheiro¹, Salete Souza de Oliveira¹

¹*Faculdade de Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará
R. Augusto Corrêa, 01 – Guamá, 66075-110, Belém - PA, Brasil
bianca_98pi@hotmail.com, salete@ufpa.br*

Resumo. O presente trabalho apresenta um tutorial do SAP 2000 v.16 - Structural Analysis Program, para modelagem, dimensionamento e análise estrutural de um galpão com estrutura em perfis metálicos. O SAP 2000 é um software para análise estrutural que utiliza o método dos elementos finitos, desenvolvido pela empresa americana CSI – Computers&Structures Inc. e comercializado no Brasil pela empresa Multiplus Softwares Técnicos in. O software é vastamente utilizado para analisar edificações de pequeno, médio e grande porte, no entanto, apesar de ser uma importante ferramenta de análise e dimensionamento, nota-se a dificuldade dos alunos de engenharia civil em aprender a usá-lo, assim como a escassez de material em português apresentando, didaticamente, tutoriais para auxiliar na utilização do programa, visto que, com a evolução das estruturas, que estão se tornando cada vez mais complexas, tornou-se, em grande parte das situações, inviável a resolução por meio de cálculos analíticos. Desta forma, o presente trabalho visa contribuir para diminuir estas dificuldades, apresentando um manual de modelagem, dimensionamento e análise de uma estrutura metálica, a fim de gerar o perfil adequado para cada barra, assim como os diagramas de esforços, deflexões, momentos, cisalhamento, reações e deformadas.

Keywords: SAP 2000, análise estrutural, tutorial, estrutura metálica, modelagem.

1 Introdução

O presente trabalho é baseado em [1], cujo objetivo é apresentar a modelagem de um galpão metálico, usando o software SAP 2000, após terem sido feitas as devidas verificações, conforme regulamentado pelas normas ABNT NBR 8800:2008 e NBR 6123:1988. Este trabalho tem por finalidade, servir como tutorial para ajudar alunos e profissionais que tenham dificuldade em manusear o programa, desta forma, contribuindo para a bibliografia nacional de materiais com este tema. Apresentam-se os diagramas dos esforços das barras principais da estrutura, bem como a leitura destes.

2 Formulação

O galpão será de duas águas com vão livre de 12 metros por 3 vãos de 6 metros, fechamento em alumínio e perfis metálicos. A escolha dos perfis foi feita a partir de um pré-dimensionamento utilizando o SAP 2000, esta ferramenta funciona a partir da inserção de perfis, de uma biblioteca contida no computador do usuário, a fim de criar um banco de dados no programa, a partir desta importação, deve-se criar um perfil de auto seleção de determinada geometria, nesse caso, tipo H e C, e associar à cada um, os perfis importados, com a geometria respectiva, dentre os quais, o software irá selecionar a opção mais adequada para cada barra, com base na norma escolhida pelo usuário, no caso de usuários brasileiros, a norma correta a ser escolhida deve ser a AISC360 05/IBC2006, que é similar à NBR 8800:2008, já que a norma brasileira não consta no programa.

Neste caso, foram selecionados os seguintes perfis: HP 200 x 53,0 para as colunas, U – 305 x 30,80 para as terças e vigas horizontais, U – 76,20 x 6,10 para os montantes e W – 150 x 22,5 para as vigas inclinadas, todos os

perfis provém de catálogos Gerdau. Enquanto o aço é o aço-carbono A36 cujas propriedades de resistência ao escoamento e resistência à ruptura são, respectivamente, 250 MPa e 400 Mpa. As telhas foram escolhidas com base em um catálogo e seu peso é de 5,85 kg/m. As dimensões do galpão estão expostas nas Figuras 1 e 2.

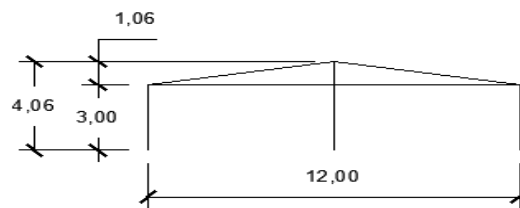


Figura 1. Cotas da vista frontal do galpão

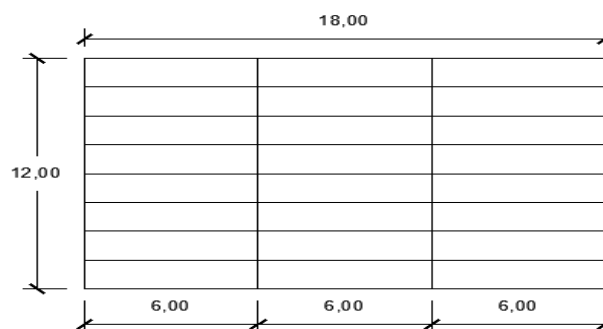


Figura 2. Cotas da vista superior do galpão

Dados geométricos da edificação:

$b = 12,00$ m; $a = 18,00$ m; $h = 3,00$ m; $h_1 = 1,06$ m; $\beta = 10,00^\circ$ e $d = 6,00$ m.

Sendo:

b – Dimensão frontal do galpão; a – Dimensão longitudinal do galpão; h – Altura; h_1 – Altura do montante; β – Inclinação; d – Distância entre pórticos. As cargas incidentes na estrutura são as seguintes:

2.1 Peso próprio

O peso próprio é a carga permanente da estrutura, definida pela soma do peso de cada perfil e peso das telhas.

2.2 Vento 0° e 90°

O esforço proveniente da ação do vento pode ser determinado a partir da ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações, considerando os dados geométricos, previamente apresentados. Todos os cálculos detalhados estão contidos em [1], aqui apresentar-se-ão apenas os resultados, com a pior situação da carga do vento. O pior caso para o vento 0° e 90° é com $c_{pi} = 0$, logo, ao dividir os valores dos esforços no telhado pela distância entre os pórticos, encontra-se o valor do esforço para cada área de influência, este será o valor inserido no SAP 2000. Ao dividir, obtém-se, para o vento 90° , 0,357 KN/m² para o lado esquerdo do telhado e 0,118 KN/m² para o lado direito, enquanto, para o vento 0° , tem-se 0,237 KN/m² para ambos os lados.

2.3 Sobrecarga na cobertura

A sobrecarga aplicada na cobertura é definida, também, pela ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações, e equivale a 0,25 KN/m², trata-se de uma carga extra que deve ser considerada a fim de favorecer a segurança da edificação.

2.4 Verificações

As peças foram verificadas quanto à estabilidade à tração e compressão, de acordo com o esforço ao qual cada uma foi submetida, apresenta-se neste trabalho, os resultados do esforço resistente de cada peça, indicando se este é menor que o esforço solicitante, extraído do programa SAP 2000, assim como os valores de esbeltez para cada peça, demonstrando que são menores que os valores limites estabelecidos pela ABNT NBR 8800:2008.

Observação 1: Tração. As peças expostas ao esforço de tração são as vigas horizontais e algumas terças, os resultados das verificações será exposto a seguir, comparando a resistência à tração da peça com o esforço solicitante:

Vigas horizontais, valores para escoamento da seção bruta e ruptura da seção líquida, respectivamente:

$$N_{t,Rd} = 39,30 \times 10^{-4} \times 250 \times 10^6 / 1,1 = 893181,82 \text{ N} > 5099 \text{ KN OK.} \quad (1)$$

$$N_{t,Rd} = 39,30 \times 10^{-4} \times 400 \times 10^6 / 1,35 = 1164444,44 \text{ N} = 1164,44 \text{ KN} > 5,099 \text{ KN OK} \quad (2)$$

Semelhantemente, valores das terças:

$$N_{t,Rd} = 39,30 \times 10^{-4} \times 250 \times 10^6 / 1,1 = 893181,82 \text{ N} = 893,18 \text{ KN} > 0,308 \text{ KN OK} \quad (3)$$

$$N_{t,Rd} = 39,30 \times 10^{-4} \times 400 \times 10^6 / 1,35 = 1164444,44 \text{ N} = 1164,44 \text{ KN} > 0,308 \text{ KN OK} \quad (4)$$

A próxima verificação é quanto ao limite do índice de esbeltez, deve-se obedecer à condição da ABNT NBR 8800:2008:

Vigas horizontais:

$$L / r_y = 600 / 2,03 = 295,57 < 300 \text{ OK} \quad (5)$$

Terças:

$$L / r_y = 600 / 2,03 = 295,57 < 300 \text{ OK} \quad (6)$$

Desta forma, verifica-se a estabilidade das peças quanto à tração.

Observação 2: Compressão. As peças comprimidas são as colunas, as vigas inclinadas, os montantes e algumas terças, os resultados das verificações será exposto a seguir, comparando a resistência à tração da peça com o esforço solicitante, conforme feito anteriormente:

Colunas:

$$N_{c,Rd} = 0,91 \times 1 \times 68,1 \times 25 / 1,1 = 1408,43 \text{ KN} > 36,86 \text{ KN OK} \quad (7)$$

Vigas Inclinadas:

$$N_{c,Rd} = 0,25 \times 1 \times 29 \times 25 / 1,1 = 164,77 \text{ KN} > 1,81 \text{ OK} \quad (8)$$

Montantes:

$$N_{c,Rd} = 0,69 \times 1 \times 7,78 \times 25 / 1,1 = 122,00 \text{ KN} > 32,65 \text{ OK} \quad (9)$$

Terças:

$$N_{c,Rd} = 0,29 \times 1 \times 39,30 \times 25 / 1,1 = 259,02 \text{ KN} > 0,601 \text{ OK} \quad (10)$$

A próxima verificação é quanto ao limite do índice de esbeltez, semelhante ao que foi feito anteriormente, obedecendo-se à condição da ABNT NBR 8800:2008:

Colunas:

$$L / r_y = 300 / 4,96 = 60,48 < 200 \text{ OK} \quad (11)$$

Vigas Inclinadas:

$$L / r_y = 609 / 3,65 = 166,85 < 200 \text{ OK} \quad (12)$$

Montantes:

$$L / r_y = 106 / 1,03 = 102,91 < 200 \text{ OK} \quad (13)$$

Terças:

$$L / r_y = 313,6 / 2,03 = 154,48 < 200 \text{ OK} \quad (14)$$

Após os cálculos, constata-se que os elementos comprimidos atendem às necessidades para as quais foram projetados.

3 Modelagem do galpão no SAP 2000

3.1 Seleção do template

Ao iniciar o programa, clica-se em *File -> New Model*, em seguida deve-se selecionar as unidades em que o SAP 2000 irá trabalhar e no campo *Select Template* seleciona-se *Grid Only*. Em seguida, uma caixa de diálogo *Quick Grid Lines* aparecerá, nela serão inseridos o número de linhas de base em cada eixo, assim como a distância entre elas, as medidas serão conforme a seleção de unidades feita anteriormente.

Os valores a serem inseridos no campo *Number of Grid Lines* em *X direction*, *Y direction* e *Z direction* são 3, 4 e 3, respectivamente, da mesma forma, no campo *Grid Spacing*, deve-se inserir os seguintes valores nas lacunas: *X direction* (6); *Y direction* (6) e *Z direction* (3). O terceiro campo refere-se às coordenadas de localização da primeira linha de base, mantem-se o valor 0 em todas as lacunas para que o desenho se inicie na origem do plano cartesiano. A fim de alterar a medida de uma única linha de base para fazer o desenho da cobertura corretamente, deve-se clicar, na tela atual, com o botão direito do mouse e selecionar *Edit Grid Data* na caixa de diálogo aberta, então seleciona-se *Modify/Show System*, e deve-se alterar o valor de *Z Grid Data* para 4,0575.

3.2 Definição dos materiais e perfis

A definição dos materiais é feita da seguinte forma, clica-se em *Define*, na paleta superior, em seguida na opção *Materials->Add New Material*. Abrir-se-á a janela *Add Material Property*, na qual deve-se alterar os campos *Region->United States*, *Material Type->Steel*, *Standard->ASTM36* e *Grade->Grade 36*. Clicar em *OK* para finalizar o comando. Na janela *Define Materials* clica-se em *Modify/Show Material*. Em *General Data*, alterar o item *Material Name and Display Color* para *Aço*.

Seguindo o mesmo roteiro anterior, adiciona-se o material do fechamento superior, na janela *Add Material Property*, preencher como a seguir *Region->United States*, *Material Type-> Alumínio*, *Standard->ASTM* e *Grade->Grade Alloy 6061 T6*. Selecionar *Modify/Show Material* e alterar o campo *Material Name Display Color* para *Alumínio*. A seguir, para inserir os perfis I e U, deve-se importar de uma biblioteca de perfis, conforme [1].

3.3 Desenho dos elementos

Para desenhar os elementos, seleciona-se *Draw Frame/Cable*, na paleta lateral esquerda que abrirá uma caixa de diálogo, *Properties Of Object*, nela, deve-se selecionar o perfil de cada elemento no campo *Section* ao fazer seu desenho. Em seguida, seleciona-se as vigas da cobertura para dividi-las em elementos finitos, deve-se clicar na paleta superior em *Edit->Edit Lines->Divide Frames*, assim abrirá uma caixa de diálogo *Divide Selected Frames*. Depois deve-se apertar em *Last/First Length Ratio* (1) e em *Number of Frames* (4) e clicar em *OK*.

Deve-se ativar a visualização dos nós das vigas na paleta superior *Set Display Options*, desmarcando, no campo *Joint*, a opção *Invisible*. Para criação das Terças, seleciona-se os pontos das vigas e clica-se em *Edit->Extrude->Extrude Points to Frames/Cables*. Na janela *Extrude Points to lines*, colocar em *Property For Added*

Objects (Terca) e, em **Increment Data**, $dx (0)$, $dy (-6)$, $dz(0)$ e **Number (6)**. Clicar em **OK**.

Para replicar o pórtico, seleciona-se todas as peças do modelo, clica-se em **Edit->Replicate**. Na aba **Linear**, coloca-se, na caixa de **Number**, o valor **3** e, no item **dy**, o valor **6**. Em seguida, é primordial corrigir a orientação dos perfis, conforme feito em [1]. O galpão modelado encontra-se na Figura 3.

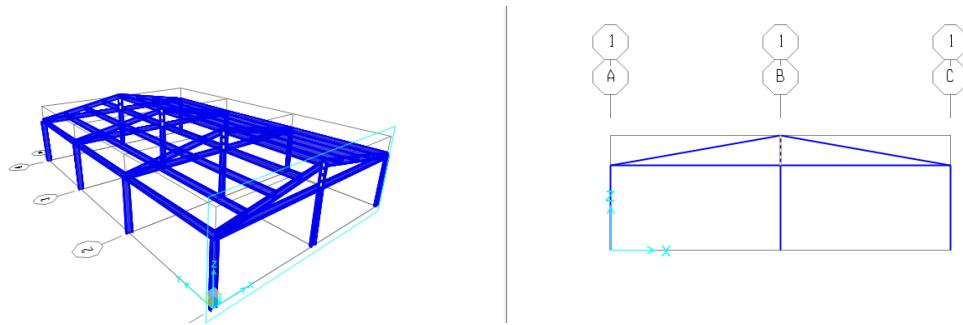


Figura 3. Galpão modelado

3.4 Definição dos apoios

Para definir os apoios, é preciso, primeiro, selecionar os pontos inferiores das colunas, em seguida clica-se em **Assign->Joint->Restraints**, na janela aberta, deve-se selecionar a primeira opção no campo **Fast Restraints**, por fim, seleciona-se **OK**. Depois, faz-se a seleção dos pontos superiores das colunas então clica-se, na paleta superior, em **Analyze->Set Analysis Options** e deve-se selecionar a primeira opção, **Space Frame**, depois **OK**. Por fim, selecionam-se os pontos superiores e inferiores dos montantes e procede-se como anteriormente **Analyze->Set Analysis Options**, na paleta superior, então clica-se na quarta opção, **Space Truss**, depois **OK**.

3.5 Inserção do fechamento na cobertura

Para criar o material referente as telhas, deve-se clicar em **Define->Section Properties->Area Sections**. Na caixa de **Select Section Type To Add** mantém **Shell** e clica-se em **Add New Section**. Na janela aberta, na lacuna **Section Name**, coloca-se **Alumínio**, em **Type** marca-se **Membrane**, na lacuna **Thickness** coloca-se **Membrane (0,02) e Bending (0,02)**. No espaço **Material Name** seleciona-se **Alumínio** e clica-se em **OK**. Na paleta esquerda, seleciona-se o ícone **Draw Poly Area** que abrirá a janela **Properties of Objects**, nessa, em **Section**, é escolhido **Alumínio** e em **Drawing Control Type** atribui-se **None <space bar>**. Selecionam-se, na peça, os nós que fecharão as áreas, para isso, clica-se nos pontos. Deve-se repetir o processo, até preencher, completamente, o telhado.

3.6 Aplicação de cargas

Para definir os casos de carregamento, clica-se em **Define->Load Patterns** na paleta superior. O programa gera, automaticamente, uma carga DEAD, que representa o peso próprio da estrutura e, por isso, tem o valor 1 no campo **Self Weight Multiplier**. Adiciona-se cargas nomeadas de **Telhas, Type (Dead), Self Weight Multiplier (0); Sobrecarga na Cobertura, Type (Live), Self Weight Multiplier (0); Vento 0°, Type (Wind), Self Weight Multiplier (0), Auto Lateral Load Pattern (None); Vento 9°, Type (Wind), Self Weight Multiplier (0), Auto Lateral Load Pattern (None)**. Após o preenchimento de todas as lacunas de cada carga, deve-se clicar em **Add New Load Pattern**. Para inserir o carregamento na estrutura, selecionam-se as áreas do telhado, e executa-se o caminho **Assign->Area Loads->Uniform Shell**, marca-se a opção **Add to Existing Loads, Load Pattern Name (Telhas), Direction (Z), Load (-0,0585)**. Em seguida, segue-se as instruções anteriores, preenchendo as lacunas conforme a intensidade e direção de cada carga, no telhado e nas colunas.

Para inserir as combinações de ações, feitas segundo a ABNT NBR 8800, deve-se selecionar **Define** na paleta superior, depois **Load Combinations->Add New Combo** e inserir 6 combinações de ações, duas considerando a sobrecarga como carga variável principal, duas considerando o vento 0° como carga variável principal e outras duas considerando o vento 90° como carga variável principal, após inserir cada carga e o fator, deve-se clicar em

Add e, após adicionar todas as cargas da combinação clica-se em **OK** e repete-se o processo até inserir todas as combinações da seguinte maneira, por fim, clica-se em **OK**, novamente:

COMB1: DEAD, Scale Factor (1,25); Telhas, Scale Factor (1,25); Sobrecarga na cobertura, Scale Factor (1,5); Vento 0, Scale Factor (0,84).

COMB2: DEAD, Scale Factor (1,25); Telhas, Scale Factor (1,25); Sobrecarga na cobertura, Scale Factor (1,5); Vento 90, Scale Factor (0,84).

COMB3: DEAD, Scale Factor (1,00); Telhas, Scale Factor (1,00); Vento 0, Scale Factor (1,4).

COMB4: DEAD, Scale Factor (1,25); Telhas, Scale Factor (1,25); Sobrecarga na cobertura, Scale Factor (1,2); Vento 0, Scale Factor (1,4).

COMB5: DEAD, Scale Factor (1,00); Telhas, Scale Factor (1,00); Vento 90, Scale Factor (1,4).

COMB6: DEAD, Scale Factor (1,25); Telhas, Scale Factor (1,25); Sobrecarga na cobertura, Scale Factor (1,2); Vento 90, Scale Factor (1,4).

3.7 Análise da estrutura

Após inserir todas as cargas e combinações, clica-se **Run Analysis** na paleta superior e clica-se em **Run Now**. Em seguida, clica-se em **Steel Frame Design->View/Revise Preferences** para indicar ao SAP 2000 a norma a ser usada na análise das barras, seleciona-se **AISC360 05/IBC2006** em **Design Code**, posteriormente, deve-se selecionar, na paleta superior, **Design->Steel Frame Design->Start Design/Check of Structure**. Por fim, é possível visualizar a análise dos perfis de cada elemento estrutural, através de uma paleta de cores que indica os esforços aos quais as barras estão sendo submetidas, da seguinte maneira, a cor azul indica que a barra está sofrendo um esforço entre 0 e 50% do que esta suporta, ou seja, o coeficiente de segurança seria igual a 2. A cor verde indica esforço entre 50% e 70%, enquanto na amarela o esforço é de 70% a 90%, o laranja simboliza esforço entre 90% e 100% do que o elemento suporta. Já a vermelha indica que o esforço submetido é maior do que a barra é capaz de resistir. Esta paleta é usada para indicar ao usuário se o perfil escolhido é adequado.

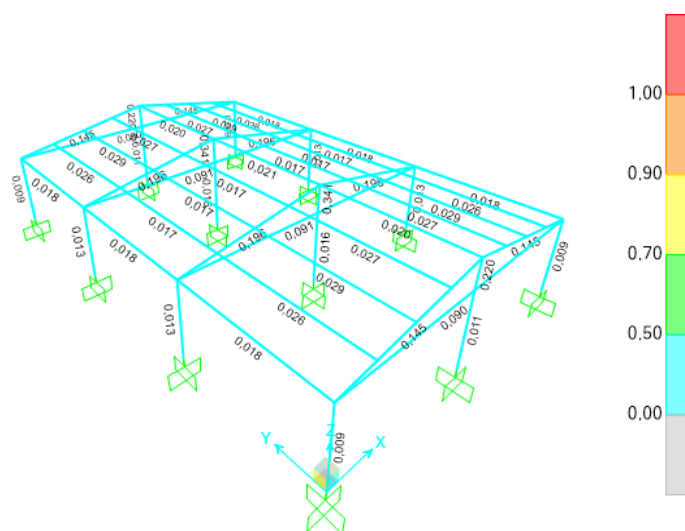


Figura 3. Visualização da proporção de esforços em cada barra

4 Análise dos resultados

4.1 Colunas

Nem todas as colunas estão submetidas à esforços de mesma intensidade, no entanto, serão apresentados os valores da pior situação, as duas colunas centrais sofrem a maior compressão, no valor de 36860 N, já as colunas centrais da esquerda e da direita estão sob ação de um momento fletor máximo de 250 N.m.

4.2 Vigas Inclinadas

Semelhante ao que foi explicado anteriormente, as vigas inclinadas externas sofrem mais esforços que as do meio, estas estão submetidas ao esforço de tração de 550 N, momento máximo de -40 N.m, esforço de cisalhamento de 50 N, deflexão 0,00000464 m e não sofrem torção.

4.3 Vigas Horizontais

As vigas horizontais do meio são as que sofrem mais esforços, tracionadas em 5099 N, submetidas a momento fletor de -6 N.m, cisalhamento de -1,98 N, deflexão de 0,0000042 m, não sofrem torção nem carga distribuída.

4.4 Montantes

Os montantes internos são os mais comprimidos, sofrendo 32650 N, enquanto os montantes externos sofrem maiores esforços de momento fletor e cisalhamento, sendo o momento fletor igual a 3,7 N.m e o cisalhamento de intensidade igual a 7 N.

4.5 Terças

As terças que sofrem mais esforços estão localizadas nos extremos centrais da estrutura, ou seja, as terças dos extremos entre os pórticos do meio, estas sofrem tração de 963 N, torção de 65,8 N.m, momento fletor de 1120 N.m, cisalhamento de -1120 N e deflexão de 0,00011 m.

5 Conclusão

O presente trabalho se mostrou de grande importância para alunos e engenheiros que buscam por bibliografia em português para auxiliar o uso do SAP 2000. Pode-se chegar a duas conclusões principais: (a) é preciso ter os conhecimentos básicos do software para manuseá-lo corretamente, evitando assim, resultados equivocados; e (b) o usuário do programa deve estar habilitado para realizar os cálculos prévios ao lançamento da estrutura no programa, além de ser capacitado para ler os resultados gerados pelo SAP 2000. Inserir perfis sem as devidas verificações prévias, é negligenciar a segurança da estrutura, por isto, o programa deve ser manuseado por profissionais com os devidos conhecimentos da área e do funcionamento do programa. Este software, assim como os demais programas de análise estrutural e/ou dimensionamento, são ferramentas importantes, no entanto, precisam ser executados por pessoas capacitadas para tal, pois trata-se de estruturas que servirão de abrigo para cargas, pessoas e materiais, logo, a segurança é prioritária para o projeto.

Agradecimentos. Agradeço, primeiramente, a Deus que me sustenta e capacita em todas as situações, aos meus pais, Kleber e Val, e minha irmã, Karine, por todo apoio, suporte e auxílio em todos os momentos. Ao meu namorado, Matheus, pelo incentivo e ajuda, sempre. Aos meus tios, tias, avós e primas que acreditam em mim e me assistem em todas as ocasiões.

Declaração de autoria. Os autores confirmam que são as únicas pessoas responsáveis pela autoria deste trabalho e que todo o material que foi incluído aqui como parte do presente artigo é de propriedade (e autoria) dos autores ou tem a permissão dos proprietários para serem incluídos aqui.

References

- [1] B. S. Pinheiro, DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE COMPUTACIONAL DE UM GALPÃO METÁLICO UTILIZANDO O SOFTWARE SAP 2000. Monografia, Universidade Federal do Pará, 2020.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.