

**UNIVERSIDADE CESUMAR - UNICESUMAR**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS TECNOLÓGICAS E AGRÁRIAS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ESTRUTURA MODULAR E TEMPORÁRIA PARA A REALIZAÇÃO DE EVENTOS**

**JOÃO PEDRO PORTO PAIVA**

MARINGÁ – PR

2024

JOÃO PEDRO PORTO PAIVA

## **ESTRUTURA MODULAR E TEMPORÁRIA PARA A REALIZAÇÃO DE EVENTOS**

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Cesumar – UNICESUMAR como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob a orientação do Prof. Dr. Claudio Ichiba.

MARINGÁ – PR

2024

**FOLHA DE APROVAÇÃO**  
**JOÃO PEDRO PORTO PAIVA**

**ESTRUTURA MODULAR E TEMPORÁRIA PARA A REALIZAÇÃO DE EVENTOS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Centro de Ciências Exatas Tecnológicas e Agrárias da Universidade Cesumar – UNICESUMAR como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob a orientação do Prof. Dr. Claudio Ichiba.

Aprovado em: \_\_\_\_ de \_\_\_\_ de 2024.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Claudio Ichiba  
Universidade Cesumar - UniCesumar

---

Prof. Msc. Ronan Yuzo Takeda Violin  
Universidade Cesumar - UniCesumar

---

Prof. Msc. Claudio de Souza Rodrigues  
Universidade Cesumar - UniCesumar

# **ESTRUTURA MODULAR E TEMPORÁRIA PARA A REALIZAÇÃO DE EVENTOS**

João Pedro Porto Paiva

## **RESUMO**

A crescente demanda por espaços temporários para eventos evidencia a importância das tendas modulares, que utilizam lona vinílica como cobertura e enfrentam desafios operacionais, como o peso excessivo das peças, jornadas noturnas e restrições de espaço. Este estudo analisou a tenda piramidal 10x10 metros da empresa Tendas Maringá, com o objetivo de investigar como a substituição de materiais e a otimização da geometria dos perfis podem melhorar o desempenho das estruturas metálicas, por meio da substituição de materiais e da melhoria da geometria dos perfis, promovendo eficiência operacional sem comprometer a segurança. A metodologia de pesquisa, incluiu a abordagem prescritiva, utilizando um estudo de caso para investigar soluções práticas. Como resultado o estudo apontou que a substituição do aço SAE 1020 pelo ASTM A36 garantiu conformidade com a norma ABNT NBR 8800:2008 e proporcionou uma melhor relação resistência/escoamento. A otimização dos perfis resultou na redução de 93,97 kg no peso total da tenda, preservando sua integridade estrutural. Foi necessário, no entanto, o aumento do número de cintas, catracas e estacas para estabilização contra os ventos, sem impacto direto na resistência estrutural. Os resultados apontaram benefícios operacionais significativos, como a redução de custos de transporte e armazenamento, agilidade no processo de montagem e desmontagem e menor impacto ambiental devido à leveza das peças. Conclui-se que a redução do peso das estruturas metálicas é uma estratégia para aumentar a eficiência e a sustentabilidade no setor. Soluções futuras, como o uso de materiais mais leves, perfis otimizados, engates modulares e processos automatizados, prometem ampliar ainda mais a competitividade no mercado de eventos.

**Palavras-chave:** Tenda. Aço. Design

## **MODULAR AND TEMPORARY STRUCTURE FOR EVENT EXECUTION**

### **ABSTRACT**

The growing demand for temporary event spaces highlights the importance of modular tents, which use vinyl canvas as a covering and face operational challenges, such as excessive weight of the parts, night shifts and space restrictions. This study analyzed the 10x10 meter pyramidal tent of the company Tendas Maringá, with the objective of investigating how the replacement of materials and the optimization of the geometry of the profiles can improve the performance of the metal structures, through the replacement of materials and the improvement of the geometry of the profiles, promoting operational efficiency without compromising safety. The research methodology included the prescriptive approach, using a case study to investigate practical solutions. As a result, the study indicated that the replacement of SAE 1020 steel by ASTM A36 ensured compliance with the ABNT NBR 8800:2008 standard and provided a better resistance/yield ratio. The optimization of the profiles resulted in a reduction of 93.97 kg in the total weight of the tent, preserving its structural integrity. However, it was necessary to increase the number of straps, ratchets and stakes for stabilization against winds, without directly impacting the structural resistance. The results showed significant operational benefits, such as reduced transportation and storage costs, agility in the assembly and disassembly process and less environmental impact due to the lightness of the parts. It is concluded that reducing the weight of metal structures is a strategy to increase efficiency and sustainability in the sector. Future solutions, such as the use of lighter materials, optimized profiles, modular couplings and automated processes, promise to further increase competitiveness in the events market.

**Keywords:** Tent. Steel. Design.

## SUMÁRIO

|                                          |           |
|------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                | <b>6</b>  |
| <b>2 DESENVOLVIMENTO.....</b>            | <b>8</b>  |
| 2.1 DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA .....         | 9         |
| 2.1.1 LISTA TÉCNICA .....                | 11        |
| 2.1.2 ESTRUTURA DE AÇO DA TENDA .....    | 22        |
| 2.2 A SUBSTITUIÇÃO DO AÇO .....          | 24        |
| 2.2.1 MODIFICAÇÕES E ERGONOMIA .....     | 25        |
| <b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>    | <b>27</b> |
| 3.1 EQUAÇÕES E FÓRMULAS UTILIZADAS ..... | 34        |
| <b>4 CONCLUSÃO .....</b>                 | <b>35</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                 | <b>37</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>                      | <b>42</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com De Oliveira (2022): “A tenda é uma espécie de barraca desmontável, coberta por um tecido resistente, podendo ser fechada ou aberta e usada como um tipo de habitação ou abrigo”. As tendas remontam aos primórdios da civilização durante a pré-história na Idade da Pedra no período paleolítico entre o ano de 25.000 AC até 6.500 AC. O homem habitava em cavernas e costurava com agulhas de ossos suas roupas, feitas com peles de animais. Construía choupanas e tendas de couro, quando havia deficiência de abrigos (Mano, 1991).

Entre os fatores que determinam a habitação durante o progresso histórico do homem, destaca-se a importância dos recursos animais e vegetais. Primeiro o homem domesticou o animal para atender necessidades humanas, como alimentação, transporte, proteção e entretenimento. Depois o homem desenvolveu a agricultura que era paralela à caça e a busca de frutos ou plantas. Carvalho (1935) admite uma única interpretação: “não há casas onde não há vida nem animal nem vegetação”.

Com o surgimento dos povos nômades que abrem mão da moradia fixa, habitando moradas móveis, abrigos temporários ou improvisados, em busca de satisfazer suas necessidades através da cultura pastoril, cuja migração é consequência imediata da criação de animais associada ao clima e a vegetação. Derruau (1978) explica os modelos de tendas do nomadismo pastoril da zona árida.

A casa é a tenda, que é facilmente transportada e montada em poucos minutos. Como exceção é citado o caso de Tibesti, onde os pastores procuram refúgio em casas de pedra seca, cobertas por telhado de cana ou palmeiras. A tenda pode ser como a dos tuaregues, feita de pele curtida de ovelha selvagem e coberta com argila ocre isolante. Aparentemente, o uso de tecido no Saara é uma argila ocre isolante. Aparentemente, o uso de tecidos no Saara é uma importação árabe. Na verdade, a tenda árabe, cuja área se estende do sul do Saara até o Golfo Pérsico, é feita de faixas de tecido de pêlo de cabra entrelaçados com pêlo de camelo. A barraca é sustentada por algumas varas, geralmente feitas de tamarindo, árvore encontrada nas profundezas úmidas dos desertos. A yurt da Ásia Central tem o formato de um cilindro baixo, coroado por uma cúpula rebaixada: é feita de feltro e oferece boa proteção contra o frio. O mobiliário dos nômades consiste basicamente em tapeçarias, o móvel mais fácil de transportar, pois é dobrado ou enrolado (Derruau, 1978 p. 146-150)

As estruturas remontáveis evoluíram para incluir materiais modernos, como o aço, permitindo a criação de estruturas mais resistentes e versáteis. O primeiro edifício metálico foi o Palácio de Cristal, construído em Londres em 1851 e concebido como construção temporária desmontado e remontado novamente para a exposição de Londres em 1854. Todo construído com peças pré-fabricadas de ferro e revestido por placas de vidro era a maior

construção em ferro e vidro no mundo e a primeira do gênero, destinada a abrigar grandes exposições (Carvalho, 2008).

Por outro lado, alguns edifícios inicialmente projetados para serem provisórios, em algumas situações acabam se transformando em construções permanentes. Um dos exemplos mais conhecidos é o caso da Torre Eiffel, projetada em ferro para a Exposição Mundial de 1889 na França, pelo engenheiro Gustave Eiffel a fim de demonstrar o domínio da tecnologia das estruturas metálicas (Benevolo, 2001). Originalmente a estrutura seria desmontada com o fim da Exposição, mas tornou-se um símbolo e uma referência da cidade no mundo inteiro.

De acordo com De Almeida e Auad (2019), no Brasil, somente no século XX a indústria siderúrgica implantou-se com a Companhia Siderúrgica Belgo Mineira, e foi nos primeiros anos da Segunda Guerra Mundial com a criação da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), em Volta Redonda no Rio de Janeiro, que começou a fabricação de perfis metálicos em maior escala no país.

A tenda é um grande marco de versatilidade e praticidade que se destaca como uma solução confiável para uma variedade de eventos e atividades ao ar livre podendo ser adaptada facilmente às necessidades específicas de cada ocasião. Esse abrigo temporário assim como a construção civil é uma atividade da engenharia que envolve processos desde métodos construtivos, materiais adequados, mão de obra qualificada, se tornando uma atividade que depende de avanço tecnológico (Oliveira *et. al.*, 2020).

O avanço industrial do setor construtivo, bem como a difusão do conhecimento por meio de discussões socioespaciais e desenvolvimento de novas tecnologias arquitetônicas foram resultados advindos das grandes feiras de exposição. Essas exposições existem até hoje, sendo conhecida pela abreviação do nome para EXPO (Angelo, 2022).

Na busca por um modelo estrutural otimizado que permita atender as exigências do mercado de eventos, vem sendo cada vez mais utilizado tendas como coberturas modulares e temporárias que são executadas em prazos curtos e garantem a qualidade do empreendimento. Com o surgimento de novas tecnologias, atualmente cresce no Brasil o consumo de estruturas metálicas, isso ocorre segundo Bellei *et. al.*, (2008) em função de maior produtividade, redução de despesas indiretas, desperdícios de materiais, menor utilização de mão-de-obra e maior agilidade na execução da mesma, antecipando o retorno do investimento.

Porém, para os montadores os pontos negativos se sobressaem e de acordo com De Abreu (2012) quando uma pessoa é submetida a uma nova rotina de atividades e descanso, acarretam os seguintes problemas: riscos à saúde (como doenças cardiovasculares e queixas gastrointestinais), aumento do nível de acidentes pessoais e industriais, insônia, fadigas



crônicas, insatisfação com o trabalho, diminuição do desempenho de produtividade e maiores custos, devido ao maior absenteísmo e rotatividade.

Nesse contexto, este trabalho busca responder à seguinte questão: é possível reduzir o peso de uma tenda sem comprometer sua segurança e funcionalidade? Neste trabalho, foi realizada uma análise da tenda 10x10m da empresa Tendas Maringá, com o objetivo de investigar como a substituição de materiais e a otimização da geometria dos perfis podem melhorar o desempenho das estruturas metálicas. A escolha do aço adequado, por exemplo, será um dos aspectos principais abordados na busca por uma estrutura mais leve e eficiente.

A substituição do aço SAE 1020 pelo aço ASTM A36, que apresenta melhores características de resistência e escoamento, poderá não apenas garantir a conformidade com as normas técnicas, mas também possibilitar uma redução significativa no peso total da tenda. Assim sendo, a aplicação de perfis formados a frio, mais leves e com menor área de seção transversal, foi analisada como uma alternativa para diminuir o peso sem comprometer a resistência da estrutura. Essas abordagens refletem uma tendência crescente de aplicar conceitos de produção enxuta, priorizando a eficiência e a redução de desperdícios, sem abrir mão da segurança e da sustentabilidade nas construções.

## 2 DESENVOLVIMENTO

A metodologia adotada neste estudo é de natureza prescritiva, com o objetivo de apresentar soluções práticas para a redução do peso das estruturas de tendas de aço, sem comprometer a segurança e a funcionalidade. A pesquisa utiliza a metodologia de estudo de caso, focando na tenda piramidal 10x10 da empresa Tendas Maringá, que atua no comércio e locação de tendas e estruturas para eventos. O estudo de caso permite uma análise aprofundada das operações da empresa e dos processos envolvidos na montagem das tendas, oferecendo uma base sólida para a proposição de melhorias. Ao ser produzido, o autor busca todos os dados relevantes e procura relatar de forma clara e analisar todas as possibilidades viáveis de solução para apresentar em sua pesquisa (De Souza Pedroso, 2017).

As técnicas de coleta de dados usados na pesquisa foram realizadas em uma empresa de comércio e locação de tendas e estrutura para eventos com nome fantasia Tendas Maringá, sua matriz fica localizada na cidade de Maringá – PR e possui uma filial em Campo Grande – MS. Envolve levantamento documental de informações primárias, análise *in loco* através de visitas técnicas realizadas no ano de 2024 e entrevistas, para as quais foi utilizado um roteiro semiestruturado com questões abertas.

As entrevistas foram realizadas com profissionais nas áreas de montagem, logística, logística de entrega, atividades administrativas e serviços complementares de acordo com a Classificação Nacional das Atividades Econômicas (CNAE) que integra a Subclasse: 7739-0/03 aluguel de palcos, coberturas e outras estruturas de uso temporário, exceto andaimes (IBGE, 2007). Esse critério garante que os profissionais entrevistados estão diretamente relacionados ao tema da pesquisa.

Na primeira etapa, foram realizadas visitas técnicas à empresa e aos locais de eventos para observar diretamente as operações e obter dados sobre a aplicação das práticas adotadas. Essas visitas permitiram uma compreensão mais profunda da estrutura e dos processos utilizados. Foram também conduzidas entrevistas com profissionais das áreas de montagem, logística, logística de entrega, atividades administrativas e serviços complementares. Essas entrevistas seguiram um roteiro semiestruturado, com perguntas abertas, o que permitiu aos entrevistados compartilharem suas percepções e experiências de maneira detalhada.

Em seguida, foi realizado um levantamento documental, com a coleta de informações primárias da empresa Tendas Maringá, como relatórios e registros, que permitiram entender suas práticas e operações. Além disso, envolveu uma revisão bibliográfica, com a análise de artigos científicos publicados em fontes como SciELO e Google Acadêmico, tanto nacionais quanto internacionais. A seleção dos artigos foi feita com base na relevância para o tema da pesquisa, abordando aspectos como estruturas metálicas, modulares ou temporárias, segurança no trabalho e ergonomia. A combinação desses procedimentos permitiu uma análise detalhada, o que proporcionou a descoberta de soluções para a redução do peso das estruturas de tendas de aço, sempre alinhadas às normas de segurança e eficiência.

## 2.1 DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA

As tendas analisadas da empresa Tendas Maringá são piramidais com dimensões generosas de 10 metros de comprimento por 10 metros de largura (100 m<sup>2</sup>) que oferece um amplo espaço para abrigar eventos de diferentes portes. O modelo estrutural é pré-fabricada modular com travamento auxiliar de pilares (TAP), seu funcionamento apresentado por Augusto (2024) se baseia no travamento dos pilares no sentido do seu menor raio de giração (indicador de distribuição da massa ou área da seção transversal em torno de um eixo. Quanto maior o raio de giração, mais distribuída está a área em torno do eixo considerado, o que significa que a seção do pilar tem maior resistência à flambagem), de forma a reduzir o seu

comprimento de flambagem, o que aumenta a força axial de compressão resistente de cálculo, e consequentemente, um perfil com menor consumo de aço é necessário para resistir ao mesmo esforço e para o dimensionamento funcionar, é necessário que o perfil para o travamento se conecte com a viga.

As vigas são calhadas treliçadas levando em consideração que todas as forças estão sendo aplicadas sobre os nós, para Lopes e Silva (2018) a intensidade destas forças depende simplesmente do módulo de elasticidade e da resistência a tração do aço utilizado na estrutura, estas forças somente podem ser aplicadas no mesmo plano da treliça, como por exemplo, caso a treliça seja plana, então a carga aplicada, não poderá ser perpendicular a treliça, ou seja, carga e treliça devem estar no mesmo plano, seja ele bidimensional ou tridimensional.

As ligações entre pilar-viga e viga-viga são rotuladas utilizando parafusos e conectores que permitem a união entre várias unidades, formando grandes pavilhões apresentado na figura 1 logo abaixo. Bellei (2008) defende que ligações articuladas têm menor custo e devem ser preferidas em detrimento das ligações rígidas. De qualquer forma devem-se evitar soldas de campo fazendo todas as ligações parafusadas.

**Figura 1** – Montagem de pavilhão com 3 tendas 10x10 (300m<sup>2</sup>).



Fonte: (Próprio autor).

Ao observar a montagem da tenda fica nítido os fundamentos do sistema *off site*. A industrialização na construção civil permite que os componentes de uma edificação sejam produzidos a partir de processos industriais e, posteriormente, levados para serem montados nos canteiros de obra. Difere-se, portanto, dos métodos construtivos tradicionais mais utilizados, que, por sua vez, demandam que seus componentes, em sua grande maioria, sejam fabricados e montados nos próprios canteiros (De Freitas, 2022).

De Freitas (2022) ainda ressalta que é importante destacar que, diferentemente de uma linha de montagem automobilística, a da construção civil não possui um lugar estratégico a se fixar, pois as obras estão naturalmente mais espalhadas. Nesse contexto, a montagem da tenda demonstra esses princípios: a tenda é pré-fabricada em um local separado; a estrutura é modular, com componentes interconectados; a tenda é transportada para o local de instalação; a montagem final ocorre no local.

‘Para tendas com 150 m<sup>2</sup> ou mais é necessário a emissão de uma Anotação de Responsabilidade Técnica (ART). O Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA) sugere três códigos da Tabela de Obras e Serviços (TOS) para o registro da ART conforme a existência de atividade técnica:

Nível de atividade: 2016 - Execução.

Atividade Profissional: 48 – Execução de montagem; 55 – Execução de serviço técnico; 66 – Laudo.

Atividade: estruturas > estruturas metálicas > de estrutura metálica > #2.2.1.2 – Para edificação provisória.

Para esta atividade, deverá ser especificada nas observações da ART, a quantidade e tamanho das tendas. A ART foi criada pela lei 6.496/1977. Ela deve ser registrada antes do Início da atividade técnica, de acordo com os dados do contrato.

### 2.1.1 LISTA TÉCNICA

A tenda possui uma lista de materiais para montagem de 62 itens segundo o levantamento documental de informações primárias realizado na empresa Tendas Maringá, conforme listado na tabela abaixo:

**Tabela 1** – Lista técnica de materiais para montagem de uma tenda piramidal 10x10:

| LISTA TÉCNICA               |                 |                   |            |                 |                   |
|-----------------------------|-----------------|-------------------|------------|-----------------|-------------------|
| TENDA PIRAMIDAL 10X10       |                 |                   |            |                 |                   |
| Material                    | Peso unid. (kg) | Valor unid. (R\$) | Quantidade | Peso Total (kg) | Valor Total (R\$) |
| Pilar                       | 25,62           | R\$ 850,00        | 4          | 102,48          | R\$ 3.400,00      |
| Calha treliçada             | 73,13           | R\$ 2.800,00      | 4          | 292,52          | R\$ 11.200,00     |
| Cantoneira                  | 2,1             | R\$ 35,00         | 8          | 16,8            | R\$ 280,00        |
| Pino de travamento 3/4"     | 0,5             | R\$ 8,00          | 8          | 4               | R\$ 64,00         |
| Estaca de ancoragem         | 4,6             | R\$ 40,00         | 4          | 18,4            | R\$ 160,00        |
| Catraca de carga            | 0,9             | R\$ 50,00         | 4          | 3,6             | R\$ 200,00        |
| Cinta de amarração de carga | 2               | R\$ 35,00         | 4          | 8               | R\$ 140,00        |
| Pino de travamento 3/16"    | 0,03            | R\$ 3,00          | 8          | 0,24            | R\$ 24,00         |
| Aranha treliçada            | 22,65           | R\$ 650,00        | 4          | 90,6            | R\$ 2.600,00      |
| Aranha                      | 13,52           | R\$ 480,00        | 4          | 54,08           | R\$ 1.920,00      |
| Parafuso 5/16"              | 0,05            | R\$ 4,50          | 8          | 0,4             | R\$ 36,00         |
| Coroa                       | 2,17            | R\$ 50,00         | 1          | 2,17            | R\$ 50,00         |
| Lona branca 10x10           | 56              | R\$ 4.600,00      | 1          | 56              | R\$ 4.600,00      |

| Volumes | Peso Total (kg) | Valor Total (R\$) |
|---------|-----------------|-------------------|
| 62      | 649,29          | R\$ 24.674,00     |

Fonte: (Tendas Maringá, 2024).

O peso próprio da estrutura. Para determiná-lo basta o conhecimento das dimensões do elemento estrutural e do peso específico ( $\text{peso}/\text{m}^3$ ) do material do qual o elemento estrutural é feito (Rebello, 2009).

Para garantir à exatidão dos resultados a estrutura da tenda é dimensionada e modelada no *software Advance Steel*. Herrera (2023) informa que o programa *Advance Steel* também pertence à família *Autodesk*, é um *Software CAD* para modelagem e detalhamento 3D de estruturas metálicas e criação automática de planos de fabricação e listas de materiais. Posteriormente será verificado utilizando a ferramenta educacional *Ftool* se a estrutura atende os Estados Limites Últimos (ELU) e os deslocamentos adotados para os projetos seguindo as diretrizes das normas NBR 8800:2008 para aço laminado e NBR 14762:2010 para aço dobrado. Martha (2021) explica que o *FTOOL (Two-dimensional Frame Analysis Tool*

*Program*) foi criado em 1991 a partir de um projeto do Instituto Tecgraf de Desenvolvimento de *Software* Técnico-Científico da PUC-Rio (Tecgraf/PUC-Rio). O *FTOOL* utiliza uma biblioteca de modelagem chamada HED (*Half-Edge Data Structure*), responsável por gerenciar as subdivisões planares para representação interna de dados. O software consiste de um programa gráfico-interativo para a análise de modelos estruturais, os quais podem ser manipulados através do *mouse* e teclado.

Para o carregamento de ventos foi utilizado o *software* Visual Ventos. Visual Ventos é um *software* educacional desenvolvido na UFP, Universidade de Passo Fundo, que tem por objetivo a determinação das forças devido ao vento em edifícios de planta retangular e cobertura de duas águas, de acordo com as prescrições da NBR 6123 (Lima, 2024).

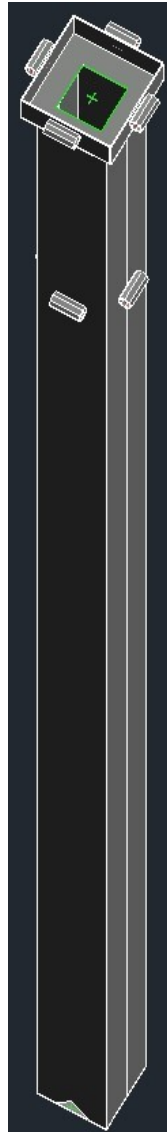
As principais características de *softwares* são tornar o trabalho mais fácil e rápido de ser executado, mais precisos, menos oneroso, assim como reduzir o custo total, a carga de trabalho e mão de obra em comparação com o trabalho que é feito manualmente (Clemente, 2020).

Foi fornecido pela Tenda Maringá uma lista que descreve a formação de cada elemento que compõe a estrutura da tenda:

**Tabela 2** – Descrição dos elementos que compõem a estrutura da tenda

| Elemento                     | Descrição                                                                    | Dimensões/Características                                                                                    |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Pilar</b>                 | Formado por dois perfis U soldados entre si.                                 | Perfil U: 127x65x2 mm. Comprimento: 3000 mm.                                                                 |
| <b>Posição</b>               | Vertical.                                                                    | Uma extremidade soldada à chapa de base, outra ao funil quadrado.                                            |
| <b>Chapa de Base</b>         | Soldada na extremidade inferior do pilar.                                    | Espessura: 2 mm.                                                                                             |
| <b>Funil Superior</b>        | Soldado na extremidade superior do pilar.                                    | Espessura: 2 mm. Altura: 52 mm. Dimensões: 170 mm (2 lados) x 167 mm (2 lados). Área: 2839 cm <sup>2</sup> . |
| <b>Recortes Triangulares</b> | Presentes na base, nos lados esquerdo e direito dos perfis.                  | Direcionam a água da calha para o solo, evitando acúmulo dentro do pilar.                                    |
| <b>Suportes</b>              | Dois suportes soldados em cada lado do pilar (para cantoneira e para calha). | Perfil tubular O: 21x2 mm. Comprimento: 55 mm cada.                                                          |
| <b>Suporte da Cantoneira</b> | Soldado entre os dois perfis do pilar.                                       | Altura: 2484 mm (da base do pilar até o centro do suporte).                                                  |
| <b>Suporte da Calha</b>      | Soldado no funil, na parte central.                                          | Altura: 3041,5 mm (da base do pilar até o centro do suporte).                                                |

**Figura 2** – Pilar dimensionada e modelada no *software Autodesk Advance Steel®*.



Fonte: o autor, 2024.

A calha é formada por 1 perfil cartola enrijecido CRE 127x65x20x20x2mm, com 10000mm de comprimento e posicionado na vertical. Abaixo da calha está soldada uma treliça composta por perfis redondos D 10mm com 9400mm de comprimento. É uma estrutura no formato triangular, com seus extremos interligados por solda. Seus montantes estão espaçados em 600mm na horizontal um do outro e suas diagonais duplas são espaçadas 600mm na horizontal uma extremidade da outra.

A primeira diagonal é soldada a 300mm de distância da extremidade da calha e o primeiro montante é soldado a 530mm de distância da extremidade da calha (o distanciamento se repete em ambas as duas extremidades da calha). Soldado perpendicular ao primeiro



montante em ambas as extremidades da calha está o suporte da cantoneira, um perfil tubular O 21x2mm, com 55mm de comprimento. No enrijecedor da calha em ambas as extremidades, dos dois lados e no meio do seu comprimento (5000mm) está soldado o suporte da aranha.

Trata-se de uma chapa retangular com 2mm de espessura, 40mm de altura e 47mm de comprimento inclinado a 33°, tendo sua extremidade superior que não está soldada. Existe um chanfro para que o suporte não corte a lona da cobertura, o suporte possui um furo de 7mm de espessura a 15mm de distância da extremidade chanfrada até o meio do furo. Nas duas extremidades inferiores da alma do perfil da calha está soldado uma placa na vertical servindo de pingadeira, suas dimensões é de 2mm de espessura, 25mm de altura e 127mm de comprimento. Também na extremidade inferior da alma em ambas as extremidades está soldado o suporte que conecta o pilar com a calha, perfil tubular O 21x2mm, com 32mm de comprimento, distanciados em 59mm entre si para que seja possível o encaixe ao pilar.

**Figura 3** – Conjunto de 4 calhas treliçadas.

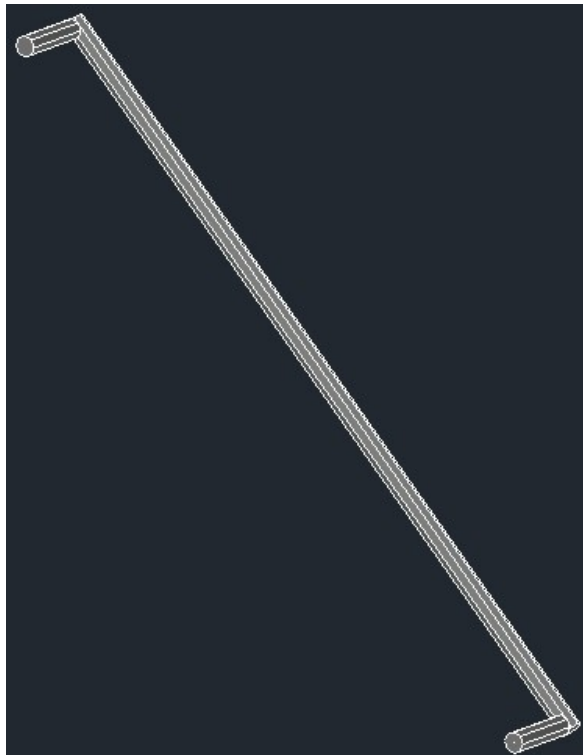


Fonte: (Próprio autor).



A cantoneira é formada por 1 perfil redondo D 19,04mm com 772mm de comprimento, tendo 1 perfil redondo D 19,04mm com 75mm de comprimento soldado na horizontal em cada extremidade da peça formando o formato de colchete “[”. A cantoneira deve ser encaixada no perfil tubular O 21x2mm, com 55mm de comprimento, que se encontra no pilar e no primeiro montante em ambas as duas extremidades da calha.

**Figura 4** – Cantoneira dimensionada e modelada no *software Autodesk Advance Steel®*



Fonte: (Próprio autor).

O pino é formado por 1 perfil redondo D 19,04mm, com 210mm de comprimento e dobrado em formato “L”, tendo suas dimensões finais 170x40x19,04mm. O pino deve ser encaixado nos 3 perfis tubulares O 21x2mm, localizados 1 no funil do pilar com 55mm de comprimento e 2 na extremidade da calha na parte inferior da alma com 32mm de comprimento, distanciados em 59mm entre si.

**Figura 5** – Pino de travamento  $\frac{3}{4}$ ” dimensionada e modelada no *software Autodesk Advance Steel®*.



Fonte: o autor, 2024.

A estaca é formada por 1 perfil redondo D 25,4mm, com 1050mm de comprimento na vertical possuindo nervuras em sua superfície, tendo soldado em uma de suas extremidades outro perfil redondo D 25,4mm com 100mm de comprimento na horizontal onde é ancorado a cinta de amarração de carga. Sua outra extremidade é afiada em formato de ponta para que seja possível perfurar o solo com o auxílio de uma marreta, sendo perfurada inclinada a 45° no solo.

**Figura 6** – Estaca de ancoragem sendo medida



Fonte: o autor, 2024.

A catraca deve possuir capacidade de carga  $\geq 5$  toneladas, com gancho “J” em uma das extremidades, podendo ser utilizada com cintas de poliéster de até 50mm.

**Figura 7** – Catraca de carga com gancho “J”.



Fonte: o autor, 2024.

A cinta de amarração composta em poliéster, capacidade de carga  $\geq 5$  toneladas, com 50mm de largura e 5000mm de comprimento, com gancho J em uma das extremidades.

**Figura 8** – Cinta de amarração de carga



Fonte: o autor, 2024.

O pino é formado por 1 perfil redondo D 5mm, com 190mm de comprimento e dobrado em formato “L”, tendo suas dimensões finais 150x40x5mm. O pino deve ser encaixado na extremidade do banzo superior da aranha e nos 2 suportes (distanciados em 44mm entre si) localizados no enrijecedor da calha em ambas as extremidades e no meio do seu comprimento (5000mm).

**Figura 9** – Pino de travamento 3/16” dimensionada e modelada no *software Autodesk Advance Steel®*



Fonte: o autor, 2024.

O banzo superior da aranha treliçada é formado por 1 perfil quadrado Qd 40x40x2mm e 7250mm de comprimento, tendo dois chanfros em ambas as extremidades para evitar rasgar a cobertura de lona, 1 furo de 7mm de espessura na extremidade inferior e um furo de 10mm de espessura na extremidade superior, ambos os furos estão recuados a 15mm de comprimento da extremidade mais próxima e 20mm de largura da lateral do perfil. O banzo inferior é um perfil redondo D 10mm com 6500mm de comprimento. Possui apenas duas diagonais (perfil redondo D 10mm) localizadas em cada extremidade do banzo inferior, sendo sua outra extremidade soldada a 200mm de recuo centralizado da extremidade do banzo superior. Seus montantes (perfil redondo D 10mm) estão espaçados em 500mm na horizontal um do outro do início ao fim do comprimento do banzo inferior, com seus extremos interligados por solda. A extremidade inferior do banzo superior é conectada a 2 suportes diagonais localizados nas extremidades de 2 calhas.

**Figura 10** – Aranha treliçada dimensionada e modelada no *software Autodesk AdvanceSteel®*



Fonte: o autor, 2024.

A aranha é formada por 1 perfil quadrado Qd 40x40x2mm e 5540mm de comprimento tendo dois chanfros em ambas as extremidades para evitar rasgar a cobertura de lona, 1 furo de 7mm de espessura na extremidade inferior e um furo de 10mm de espessura na extremidade superior, ambos os furos estão recuados a 15mm de comprimento da extremidade mais próxima e 20mm de largura da lateral do perfil.

**Figura 11** – Aranha dimensionada e modelada no *software Autodesk Advance Steel®*



Fonte: o autor, 2024.

Parafuso sextavado de 8x75mm polido com rosca parcial de 25mm de comprimento, cabeça com diâmetro de 19mm, incluso a porca de 8mm. Para ligação aranha-coroa.

**Figura 12** – Parafuso 5/16" sextavado com porca sendo medido



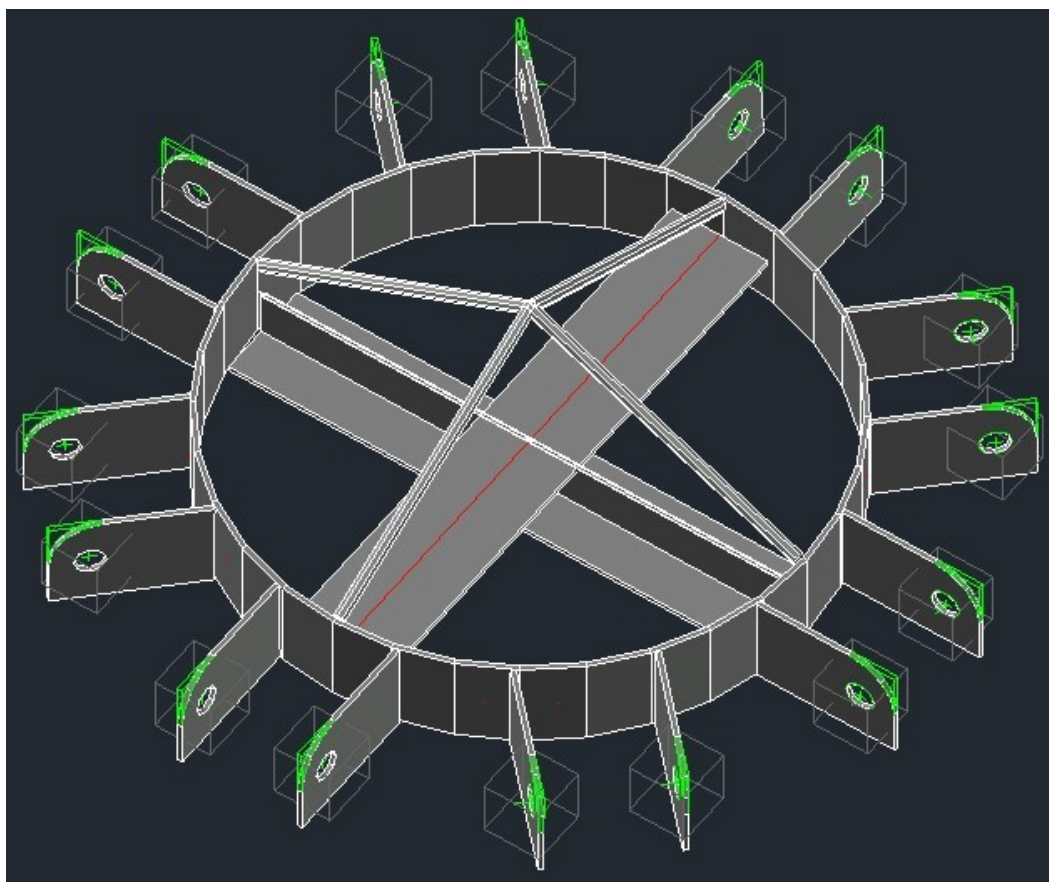
Fonte: o autor, 2024.

A coroa é formada por 1 perfil retangular Ret 40x2mm e 760mm de comprimento formando um círculo soldado nas extremidades. Possui 2 travejamentos (perfil T 20x2mm com 232mm de comprimento) na transversal e longitudinal do interior do círculo com suas extremidades soldadas a alma da coroa e soldadas entre si no meio da seção transversal. Possui 4 diagonais (perfil redondo D 5mm com 116mm de comprimento) tendo uma das extremidades soldadas na mesa superior do perfil da coroa e inclinados em 8.62% (ângulo de elevação= 4.94°) e a outra extremidade soldada com as demais das outras diagonais.



No perímetro da coroa está soldado 16 chapas retangulares 2x60x40mm, tendo um chanfro na extremidade para evitar rasgar a cobertura de lona, 1 furo de 12mm de espessura recuado a 15mm de comprimento da extremidade do chanfro e 20mm de largura de cada lateral da chapa, a outra extremidade é soldada a coroa. As chapas estão distanciadas entre si a 50mm e a sua função é servir de apoio para as 8 aranhas, sendo conectados 1 aranha em 2 apoios por parafuso 8mm sextavado com porca.

**Figura 13** – Coroa dimensionada e modelada no *software Autodesk Advance Steel®*



Fonte: o autor, 2024.

Lona Vinílica (PVC) com 0,46mm de espessura sendo de 4 camadas respectivamente: lona com aditivos, tecido de reforço, filme *blackout* e lona com aditivos. Lona com aditivos anti UV, antioxidante, Retardante de chamas e antifungos; tecido de reforço de alta tenacidade que oferece alta resistência mecânica; Filme *blackout* que reduz a temperatura no interior da tenda.

**Figura 14** – Lona branca amarrada para entrega



Fonte: o autor, 2024.

### 2.1.2 ESTRUTURA DE AÇO DA TENDA

A tenda é uma estrutura metálica feita em aço em sua grande maioria, são considerados dois tipos principais de aço segundo Chiaverini (1988), o *aço-carbono* é uma liga de ferro e carbono que geralmente contém entre 0,008% e aproximadamente 2,11% de carbono, além de pequenos teores de elementos residuais decorrentes dos processos de fabricação. Já o *aço-liga* é uma variante do *aço-carbono* que possui outros elementos de liga em sua composição ou apresenta os elementos residuais em concentrações superiores às normalmente aceitas.

Há um tipo específico de aço que deve ser utilizado na construção civil: o *aço estrutural*. A regulamentação do material é feita pela norma técnica brasileira ABNT NBR 8800 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.

De acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008), item 4.5.2.2.1, os aços permitidos por esta Norma para utilização em perfis, barras e chapas devem estar qualificados conforme uma Norma Brasileira ou uma norma ou especificação estrangeira, desde que apresentem resistência máxima ao escoamento de 450 MPa e uma relação entre a resistência à ruptura ( $f_u$ ) e a resistência ao escoamento ( $f_y$ ) igual ou superior a 1,18.

A NBR 8800:2008, determina que o *aço estrutural* deverá ter o limite de escoamento mínimo de 250 MPa (ABNT, 2008), Anexo A.2.3, os aços com resistência ao escoamento inferior a 250 MPa não são mencionados, pois não têm sido empregados na prática.

Chiaverini (1988) ainda explica o que difere os aços estruturais dos demais, os aços estruturais são materiais compostos por carbono ou com baixo teor de elementos de liga, caracterizados por sua boa ductilidade, soldabilidade e uma elevada relação entre o limite de resistência à tração e o limite de escoamento.

Toda a estrutura metálica da tenda analisada incluindo os perfis, conectores e parafusos são produzidos com aço-carbono **SAE 1020**. A classificação SAE (Sociedade de Engenheiros Automotivos) é um sistema de identificação de 4 a 5 dígitos baseada na composição química do aço, sendo o primeiro algarismo (1) indica que é um aço carbono; o segundo algarismo (0) indica que não há liga; os dois últimos algarismos (20) indicam que o teor de carbono é de 0,20% (Chiaverini, 1988).

O aço-carbono SAE 1020 é classificado como sendo um aço com baixo teor de carbono, sendo inferior a 0,25%. Suas características negativas são menor dureza e baixa resistência mecânica, em contrapartida ele possui características positivas como tenacidade e ductibilidade excepcional, possui também maior resistência à corrosão do que outros tipos de aço (Callister, 2016). Sendo comumente usados na área estrutural em vigas e canaletas, e na mecânica em tubos e chapas.

**Tabela 3** – Propriedades do aço SAE 1020

| <b>Tipo de aço</b> | <b>Teor de carbono (%)</b> | <b>Limite de elasticidade (GPa)</b> | <b>Limite de escoamento (MPa)</b> | <b>Limite de resistência a tração (Mpa)</b> | <b>Alongamento (%)</b> |
|--------------------|----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------|------------------------|
| SAE 1020           | 0,20%                      | 205 GPa                             | 350 MPa                           | 420 MPa                                     | 15%                    |

Fonte: Luz, 2017.

Os perfis laminados apresentam uma superfície rugosa e bordas arredondadas tais características é consequência do método adotado para a laminação. Os perfis laminados são produzidos por meio de um processo chamado laminação a quente, que consiste em um sistema de transformação mecânica de metais, a fim de torná-los adequado ao uso. Esses perfis podem ser aplicados em diferentes áreas, como por exemplo, na construção civil, naval, em fundações, e em indústrias (Amorim, 2019).



## 2.2 A SUBSTITUIÇÃO DO AÇO

Para o projeto da nova tenda mais leve é necessário um substituto para o aço SAE 1020. OS aços da linha ASTM (*American Society for Testing and Materials*) prioritariamente são utilizados em estruturas metálicas. O ASTM A36 é um aço do tipo estrutural, com baixo teor de carbono (máximo 0,27%p). Aço de boa soldabilidade, baixa resistência mecânica e baixa usinabilidade (Viana, 2019).

**Tabela 4** – Propriedades do aço ASTM A36

| <b>Tipo de aço</b> | <b>Teor de carbono (%)</b> | <b>Limite de elasticidade (GPa)</b> | <b>Limite de escoamento (MPa)</b> | <b>Limite de resistência a tração (MPa)</b> | <b>Alongamento (%)</b> |
|--------------------|----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------|------------------------|
| ASTM A36           | 0,26% máx                  | 200 GPa                             | 250 MPa mín                       | 400~550 MPa                                 | 23%                    |

Fonte: Luz, 2017.

A massa específica do ASTM A36 e SAE 1020 são a mesma 7,85g/cm<sup>3</sup> (Callister, 2016). As tabelas 4 e 5 apresentam as propriedades dos aços comparadas entre a resistência à ruptura ( $f_u$ ) e ao escoamento ( $f_y$ ) por Albuquerque (2021), de acordo com as fontes selecionadas:

**Tabela 5** – Relação  $f_u/f_y$  ASTM A36

| <b>Fonte</b>          | <b>Limite de Resistencia a Tração ASTM A36</b> | <b>Limite de Escoamento ASTM A36</b> | <b>Relação</b> |
|-----------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------|
| Silva; Gheno (2017)   | 434,5 MPa                                      | 315 MPa                              | 1,37           |
| Fleck (2018)          | 493,6 MPa                                      | 361,9 MPa                            | 1,36           |
| Fonseca (2005)        | 445,6 MPa                                      | 320,67 MPa                           | 1,38           |
| Carlesso et al (2018) | 444 MPa                                        | 311 MPa                              | 1,42           |

Fonte: Albuquerque, 2021.

**Tabela 6 – Relação  $f_u/f_y$  SAE 1020**

| <b>Fonte</b>        | <b>Limite de Resistência a Tração SAE 1020</b> | <b>Limite de Escoamento SAE 1020</b> | <b>Relação</b> |
|---------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------|
| Bertoldi (2014)     | 462,36 MPa                                     | 417,11 MPa                           | 1,10           |
| Datres et al (2017) | 512,99 MPa                                     | 468,68 MPa                           | 1,09           |
| Barbosa (2018)      | 481,34 MPa                                     | 320,84 MPa                           | 1,50           |
| Bejo et al (2019)   | 466,22 MPa                                     | 325,8 MPa                            | 1,43           |

Fonte: Albuquerque, 2021.

Segundo a norma ABNT NBR 8800:2008, um aço estrutural deverá ter o Limite de Escoamento mínimo de 250MPa, e máximo de 450 MPa. O aço SAE 1020 ultrapassa o máximo permitido, fazendo com que não mais se encaixe na norma. Albuquerque (2021) ainda conclui que em outro ponto da norma técnica, consta que existe um valor mínimo para a relação entre Limite de Resistência e o Limite de Escoamento do material, que é 1,18. Fazendo a análise desse critério nos dois materiais, o ASTM A36 atende a todos os critérios, já o SAE 1020 não se adequa em metade dos casos estudados, por Datres *et al.* (2024) e Bertoldi (2014).

### 2.2.1 MODIFICAÇÕES E ERGONOMIA

É determinado na NR17 (2022) Item 17.5.4 b) que é necessário adequar o peso e o tamanho da carga (dimensões e formato) para que não provoquem o aumento do esforço físico que possa comprometer a segurança e a saúde do trabalhador. A redução do peso de estruturas metálicas é uma área relevante na engenharia civil, pois impacta diretamente na logística de transporte, armazenagem e montagem de grandes estruturas temporárias. Em sistemas metálicos, o peso é determinado pela geometria da seção transversal dos perfis e pelo tipo de material utilizado.

No caso das tendas de aço, a geometria da seção transversal dos perfis de aço é a principal variável para a redução de peso, pois o aço com maior teor de carbono não apresenta redução significativa no peso total da estrutura. A geometria dos perfis pode ser otimizada por meio do dimensionamento adequado das seções transversais, levando em consideração as cargas que a estrutura precisa suportar, sem comprometer a segurança e a funcionalidade da tenda (Günther *et al.*, 2014). Nesse contexto, Womack *et al.* (2004) afirmam que:

A produção enxuta é “enxuta” por utilizar menores quantidades de tudo em comparação com a produção em massa: metade do esforço dos operários na fábrica, metade do espaço para fabricação, metade do investimento em ferramentas, metade das horas de planejamento para desenvolver novos produtos em metade do tempo. Requer também bem menos da metade dos estoques atuais no local de fabricação, além de resultar em bem menos defeitos e produzir uma maior e sempre crescente variedade de produtos (Womack *et al.*, 2004, p. 3).

Embora o país seja um dos maiores produtores deste setor, o aço é pouco utilizado pela Construção Civil e o sistema construtivo *Light Steel Frame* (LSF), baseado no aço a seco e galvanizado, é pouco empregado (Santos Júnior; Lima, 2022), sendo negligenciada a qualidade construtiva, bem como a sua contribuição na minimização dos impactos ambientais considerando seus resíduos reduzidos (Rodrigues; Sette, 2021).

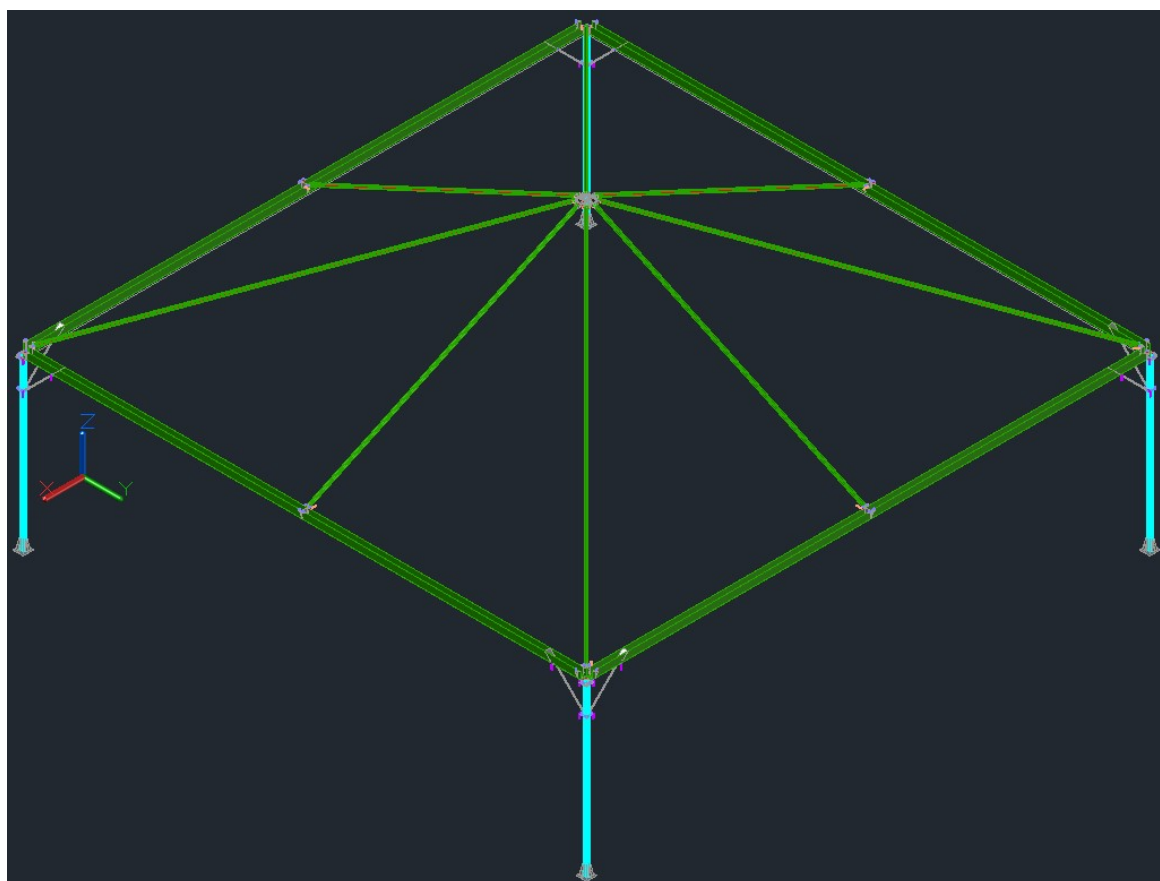
A NBR 15253 (ABNT, 2014) – pontua que os perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis reticulados em edificações; apresenta as dimensões, massa e propriedades geométricas dos perfis de aço comerciais mais utilizados no LSF. Segundo a referida NBR, as espessuras das chapas de aço podem variar entre 0,80 e 3,0mm. Os perfis estruturais formados a frio, conforme definido na norma NBR 14762 (ABNT, 2010), são produzidos de duas maneiras principais. A primeira é por meio do processo de dobramento em uma prensa dobradeira, onde tiras cortadas de chapas ou bobinas de aço são dobradas para criar a forma desejada do perfil.

A segunda abordagem envolve a conformação contínua, em que o aço é moldado em sua forma final por meio de um conjunto de matrizes rotativas, resultando no perfil estrutural desejado. Os perfis formados a frio são criados através do dobramento de chapas e são compostos por três elementos planos: a mesa, a alma e os enrijecedores. Conforme, Teixeira (2020), os enrijecedores são definidos como elementos adicionados ao perfil para aumentar a capacidade de carga da seção, principalmente no que diz respeito à flambagem local e podem ser adicionados ao longo do elemento ou na sua extremidade.

O projeto estrutural da tenda de aço deve estar em conformidade com as normas estabelecidas pela NBR 8800 (ABNT, 2008), que trata do projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas (aço e concreto). A norma garante que, mesmo com modificações na geometria dos perfis para reduzir o peso, a estrutura contínua segura e capaz de suportar as cargas previstas, como vento, chuva e o peso próprio da estrutura e o cumprimento das normas garante a durabilidade e estabilidade da tenda, minimizando riscos para os montadores e usuários. De acordo com a NBR 8800, o projeto de estruturas de aço deve considerar não apenas a resistência dos materiais, mas também a estabilidade global e as condições de uso da estrutura.

O projeto vai manter os princípios da construção *off-site* composta por partes podendo ser unificada nos canteiros de obra ou nas próprias fábricas. A construção pré-fabricada tem como um de seus pilares a racionalidade, assim, a coordenação modular é uma evolução considerável na forma de projetar e construir (De Freitas, 2022).

**Figura 15** – Projeto isométrico da nova tenda 10x10m.



Fonte: o autor, 2024.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A lista técnica com o peso e quantidade das peças que compõe o projeto da nova estrutura é apresentada na tabela 6. O comparativo quantitativo entre as tendas, modelo antigo e modelo novo, é apresentado na tabela 7.

**Tabela 7** – Lista técnica tenda 10x10m com estrutura de aço ASTM A36.

| LISTA TÉCNICA               |                 |            |                 |
|-----------------------------|-----------------|------------|-----------------|
| TENDA PIRAMIDAL 10X10       |                 |            |                 |
| PEÇA                        | Peso unid. (kg) | Quantidade | Peso Total (kg) |
| Pilar                       | 15,34           | 4          | 61,36           |
| Calha                       | 62,94           | 4          | 251,76          |
| Trav. Aux. De Pilar         | 1,63            | 8          | 13,04           |
| Pino de trav. 3/4"x192mm    | 0,43            | 24         | 10,32           |
| Estaca de ancoragem         | 4,6             | 8          | 36,8            |
| Catraca de carga            | 0,9             | 8          | 7,2             |
| Cinta de amarração de carga | 2               | 8          | 16              |
| Pino de trav. 3/4"x202mm    | 0,45            | 8          | 3,6             |
| Aranha Diagonal             | 19,41           | 4          | 77,64           |
| Aranha                      | 12,36           | 4          | 49,44           |
| Parafuso 1/2"               | 0,07            | 8          | 0,56            |
| Coroa                       | 1,6             | 1          | 1,6             |
| Lona branca 10x10           | 56              | 1          | 56              |

| Volumes | Peso Total (kg) |
|---------|-----------------|
| 90      | 585,32          |

Fonte: o autor, 2024.

**Tabela 8** – Lista comparando o peso da nova estrutura com a antiga.

| COMPARATIVO PESO DA ESTRUTURA DE AÇO - TENDA 10x10 |             |                  |                  |                                |             |                  |                  |
|----------------------------------------------------|-------------|------------------|------------------|--------------------------------|-------------|------------------|------------------|
| AÇO:                                               |             | ASTM A36         |                  | AÇO:                           |             | SAE1020          |                  |
| Peça:                                              | Quantidade: | Peso unid. (kg): | Peso Total (kg): | Peça:                          | Quantidade: | Peso unid. (kg): | Peso Total (kg): |
| Pilar                                              | 4           | 15,34            | 61,36            | Pilar                          | 4           | 25,62            | 102,48           |
| Calha                                              | 4           | 62,94            | 251,76           | Calha treliçada                | 4           | 73,13            | 292,52           |
| Trav. Aux. De Pilar                                | 8           | 1,63             | 13,04            | Cantoneira                     | 8           | 2,1              | 16,8             |
| Pino de trav. 3/4"x192mm                           | 24          | 0,43             | 10,32            | Pino de travamento 3/4"x210mm  | 8           | 0,5              | 4                |
| Pino de trav. 3/4"x202mm                           | 8           | 0,45             | 3,6              | Pino de travamento 3/16"x190mm | 8           | 0,03             | 0,24             |
| Aranha Diagonal                                    | 4           | 19,41            | 77,64            | Aranha treliçada               | 4           | 22,65            | 90,6             |
| Aranha                                             | 4           | 12,36            | 49,44            | Aranha                         | 4           | 13,52            | 54,08            |
| Parafuso 1/2"                                      | 8           | 0,07             | 0,56             | Parafuso 5/16"                 | 8           | 0,05             | 0,4              |
| Coroa                                              | 1           | 1,6              | 1,6              | Coroa                          | 1           | 2,17             | 2,17             |

| Volumes | Peso Total (kg) |
|---------|-----------------|
| 65      | 469,32          |

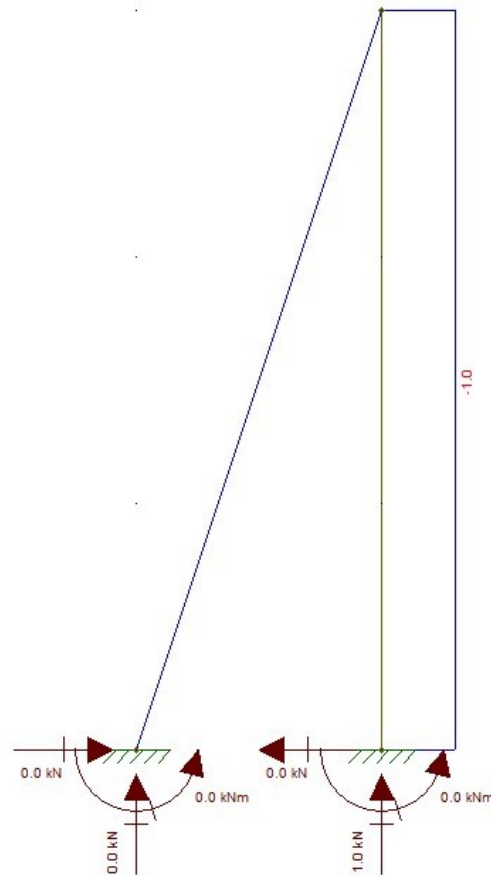
| Volumes | Peso Total (kg) |
|---------|-----------------|
| 49      | 563,29          |

Fonte: o autor, 2024.

A tenda projetada utilizando perfis de aço ASTM A36 formados a frio apresentou 93,97 kg a menos comparado ao modelo antigo que utiliza perfis de aço SAE 1020 formados a quente. A nova estrutura atende as cargas solicitantes, sendo necessário apenas o dobro da quantidade de cintas, catracas e estacas para a ancoragem e estabilidade da estrutura não sendo esses 3 itens considerados estruturais, já que as cargas de momento não são distribuídas sobre eles, fato esse apresentado na figura 16. A redução do peso foi possível devido a otimização da geometria da seção transversal dos perfis utilizados segundo Günther *et al.* (2014).

Sugere-se futuras pesquisas explorem inovações tecnológicas para estruturas modulares temporárias, como o uso de aços de alta resistência e técnicas de formação de perfis mais eficientes, podem ser aplicadas para reduzir ainda mais o peso das estruturas de aço, sem sacrificar a resistência necessária. A utilização de aços de alta resistência, por exemplo, permite que perfis menores ou mais finos sejam usados para suportar as mesmas cargas, resultando em estruturas mais leves. No entanto, como mencionado, a simples escolha de um aço com maior teor de carbono não é suficiente para gerar uma redução significativa no peso total da estrutura. O desenvolvimento de novas tecnologias de fabricação e processos de otimização estrutural são essenciais para garantir que a redução de peso seja alcançada de forma eficiente (Carvalho *et al.*, 2011).

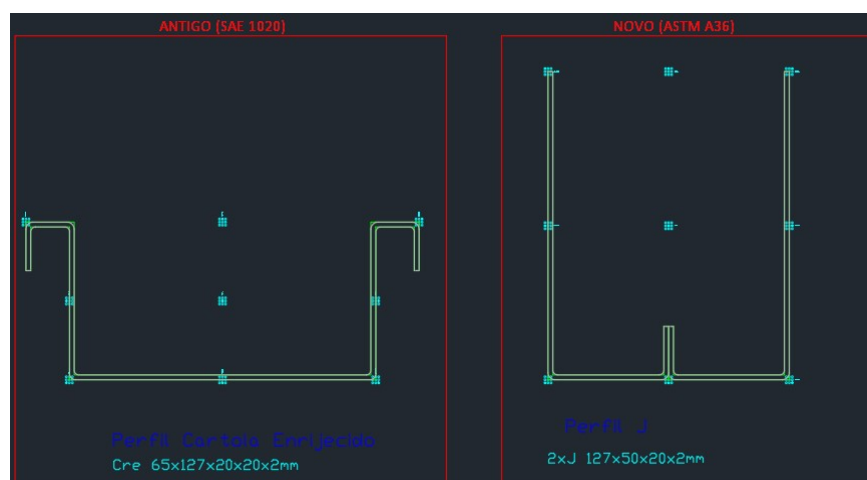
**Figura 17** – Perfil adotado para substituir a calha.



Fonte: o autor, 2024.

A peça com maior peso da estrutura antiga era a calha com 73,13 kg (tabela 1), foi adotado o uso de 2 perfis formados a frio (J 127x50x20x2mm), soldados entre si para compor a nova calha que possui 62,94 kg (10,28 kg a menos), a seção transversal do perfil é apresentada na figura 17.

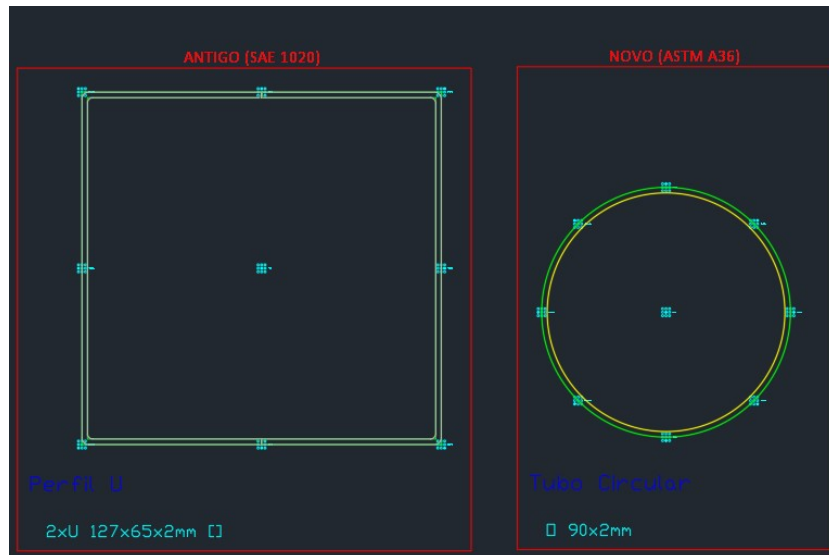
**Figura 17** – Seção transversal dos perfis da calha.



Fonte: o autor, 2024.

Os perfis do pilar antigo com 25,62 kg foram substituídos por um perfil circular (O 90x2mm) formado a frio com 15,34 kg (10,19 kg a menos), a seção transversal do perfil é apresentada na figura 18.

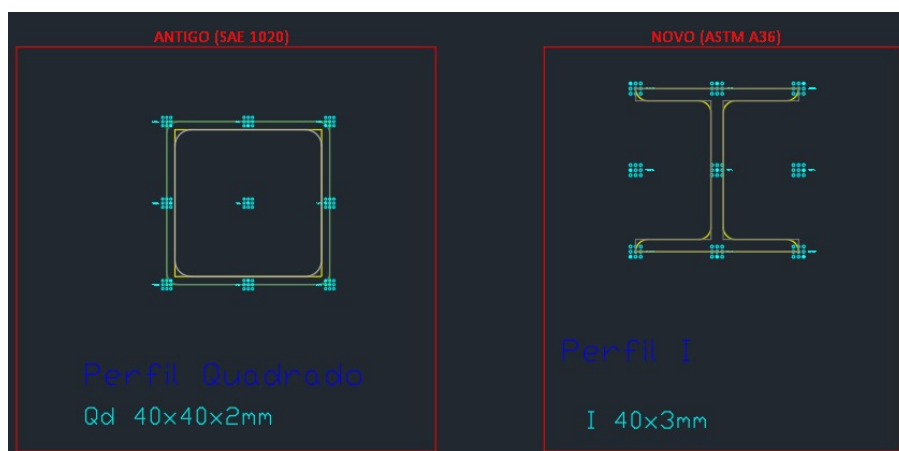
**Figura 18** – Seção transversal dos perfis do pilar.



Fonte: o autor, 2024.

O perfil das aranhas e aranhas treliçadas, peso respectivo 13,52 kg e 22,65 kg, foram substituídos por perfis I 40x3mm formados a frio, tendo 12,36 kg à aranha e 19,41 kg a aranha da diagonal (respectivamente 1,16 kg e 3,24kg a menos), apresentado na figura 19.

**Figura 19** – Seção transversal dos perfis da aranha.



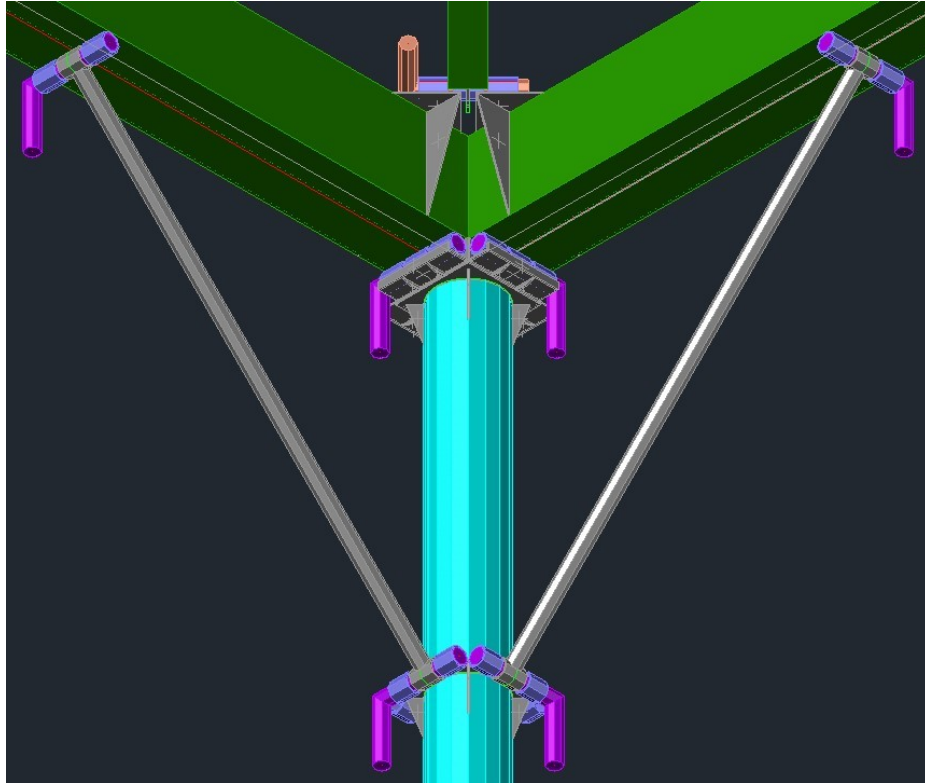
Fonte: o autor, 2024.

“Todas as ligações entre as peças estruturais são articuladas por parafusos e pinos assim como defende Bellei (2008), sendo mantida a espessura dos pinos  $\frac{3}{4}$ ”. O travamento



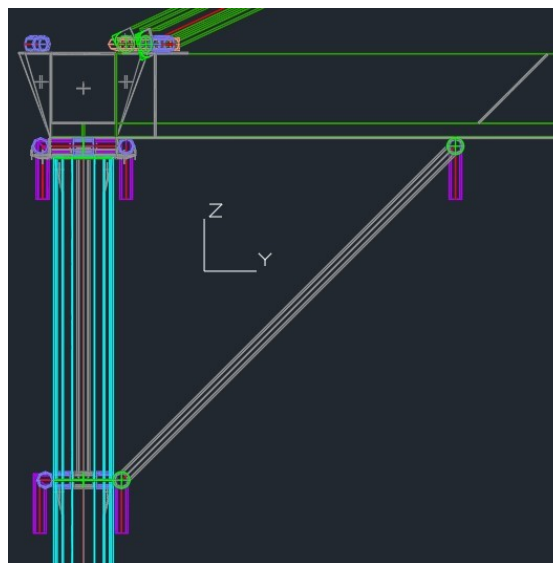
auxiliar de pilares (TAP) foi adaptado para um modelo inspirado no pesquisador Augusto (2024), composto por 1 perfil redondo (D 19,04mm) com 713mm de comprimento, soldado em cada extremidade um perfil circular (O 21x2mm) com 30mm de comprimento (figura 20 e 21).

**Figura 20** – Travamento Auxiliar de pilares (TAP), vista isométrica.



Fonte: o autor, 2024.

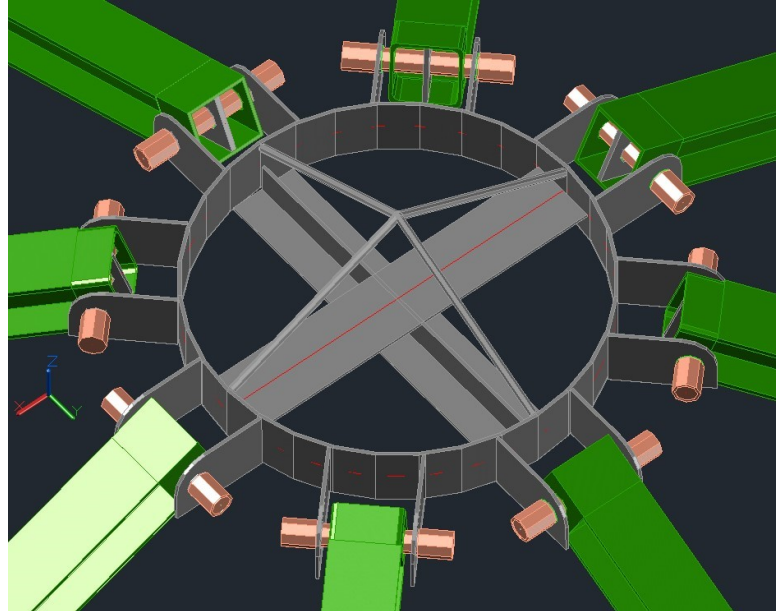
**Figura 21** – Travamento Auxiliar de pilares (TAP), vista bidimensional.



Fonte: o autor, 2024.

O modelo da coroa antiga foi mantido, sendo adaptado para encaixar na extremidade superior das aranhas, ligados por parafusos  $\frac{1}{2}$ "x75mm, apresentados na figura 22.

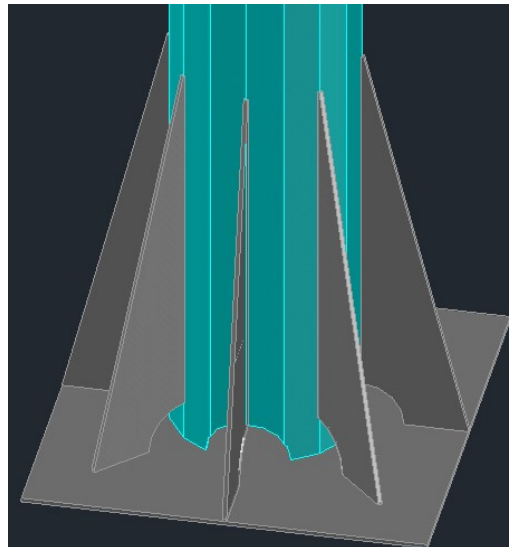
**Figura 22** – Coroa ligada às aranhas.



Fonte: o autor, 2024.

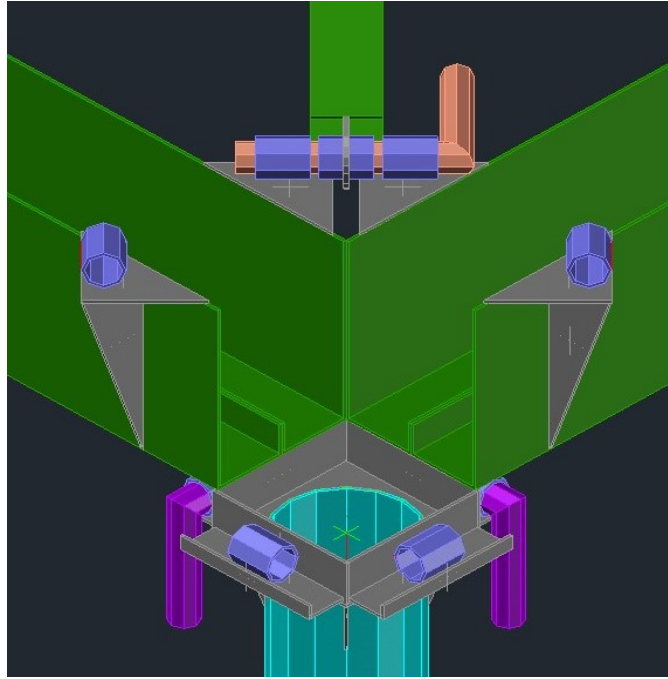
A abertura na extremidade inferior do perfil do pilar para o escoamento da água foi mantida, junto ao funil no topo do pilar apresentados respectivamente nas figuras 23 e 24.

**Figura 23** – Abertura para escoamento de água pluvial.



Fonte: o autor, 2024.

**Figura 24** – Funil quadrado soldado ao topo do pilar, servindo também de apoio para a ligação da calha com o pilar.



Fonte: o autor, 2024.

### 3.1 EQUAÇÕES E FÓRMULAS UTILIZADAS

Os cálculos estão apresentados respectivamente nos anexos de 1 ao 8.

Calha:

$$I_x * y_{max} = W_x \dots\dots\dots (1)$$

$$(Z * f_y) / I, I = M_{dres} \dots\dots\dots (2)$$

$$M_d / M_{dres} = Z_x \dots\dots\dots (3)$$

$$Z_x / W_x = \text{Coef. de forma} \dots\dots\dots (4)$$

$$(M/I) * y_{max} = (M/W) < f_y = \sigma_{máx} \dots\dots\dots (5)$$

Pilar:

$$l * k = l_f \dots\dots\dots (1)$$

$$(l_f / i) * 0,0113 = \lambda_0 \dots\dots\dots (2)$$

$$0,938 * f_y = f_c \dots\dots\dots (3)$$

$$(A_g * f_c) / y_{al} = N_{dres} \dots\dots\dots (4)$$

Pinos e parafusos:

$$(R_{nv} / Y_{a2}) * \text{plano de corte} = R_{dt} \dots\dots\dots (1)$$

## 4 CONCLUSÃO

A análise da tenda 10x10m da empresa Tendas Maringá, utilizando perfis de aço SAE 1020, evidenciou a necessidade de otimização das estruturas para atender aos requisitos normativos e, ao mesmo tempo, reduzir o peso da mesma. O aço SAE 1020, ao ultrapassar os limites de escoamento permitidos pela norma ABNT NBR 8800:2008, foi substituído pelo aço ASTM A36, mais adequado e com melhores características em relação ao limite de resistência e escoamento. Essa substituição não só garantiu a conformidade com as normas, mas também possibilitou a redução significativa de peso, sem comprometer a integridade da estrutura, demonstrando que a escolha do material adequado é fundamental para a eficiência das construções metálicas.

Além da troca do material, a otimização da geometria dos perfis foi um fator essencial para a redução do peso das estruturas. A aplicação de perfis formados a frio, mais leves, com menor área da seção transversal, também contribuiu para a diminuição de 93,97 kg no peso total da tenda. Com essas modificações, a nova estrutura atendeu a todas as cargas solicitantes, e embora fosse necessário aumentar a quantidade de cintas, catracas e estacas para garantir a estabilidade contra o vento, essas peças não exerceram um papel estrutural diretamente nas forças de momento. Essa abordagem mais enxuta, baseada em estratégias de produção mais eficientes, como a otimização das seções transversais, reflete os princípios da produção enxuta, buscando sempre melhorar a eficiência e reduzir desperdícios.

Outro ponto relevante é o impacto que a redução de peso pode ter nos custos operacionais e na sustentabilidade das operações de montagem e desmontagem das tendas. No transporte, a diminuição do peso implica em menores custos com frete, pois é possível utilizar veículos menores e mais eficientes, reduzindo o consumo de combustível e o número de viagens necessárias resultando em menores emissões de gases poluentes, alinhando-se com as crescentes exigências ambientais e de responsabilidade social no setor de construção. Ademais, facilita o armazenamento, permitindo que mais unidades sejam acomodadas em um espaço reduzido, o que aperfeiçoa o estoque e reduz os custos com armazenamento. Em relação à montagem e desmontagem, a leveza da estrutura torna o processo mais ágil, exigindo menos mão de obra e equipamentos pesados, o que contribui para um aumento da produtividade e uma redução dos custos operacionais. Esses benefícios se traduzem em um retorno financeiro mais rápido e em uma operação mais sustentável e eficiente, capaz de atender às demandas contemporâneas de prazos curtos e custos reduzidos no mercado de eventos de forma eficiente e responsável.

Apesar dos avanços já alcançados, ainda existem várias oportunidades para inovações tecnológicas que podem aprimorar as estruturas modulares temporárias. Uma dessas inovações seria a troca do perfil da calha por uma cantoneira "V", o que resultaria em uma redução de peso e também, os pilares poderiam ser projetados com engates macho e fêmea, permitindo que eles tenham apenas 1,5 metros de comprimento, mas possam ser estendidos conforme a altura necessária para cada evento.

Outra possibilidade seria diminuir a espessura da mesa do perfil I das aranhas para 2 mm, contribuindo para uma redução ainda maior do peso da estrutura. Outras inovações incluem o uso de ligas metálicas mais leves e resistentes, bem como a utilização de aço de alta resistência, o que permite manter a robustez das estruturas enquanto reduz o peso total. Portanto, a automatização dos processos de montagem e desmontagem pode diminuir a necessidade de mão de obra intensiva, tornando a instalação mais rápida e eficiente. O futuro da engenharia de estruturas temporárias dependerá cada vez mais da adoção dessas tecnologias inovadoras, que buscam melhorar a eficiência, reduzir custos e aumentar a sustentabilidade das operações.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Juliana Joyce Barbosa. **Estudo teórico de viabilidade técnica da substituição do aço ASTM A36 pelo aço SAE 1020**. 2021. 55 f. Monografia (Graduação em Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, p. 49-51, 2021. Disponível em: [https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/60632/3/2021\\_tcc\\_jjbalbuquerque.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/60632/3/2021_tcc_jjbalbuquerque.pdf) Acesso em: 09 nov. 2024.

AMORIM, Raíssa Lorrana Xavier. **Estudo de caso comparativo entre vigas mistas compostas por perfis laminados e formados a frio**. Monografia (Especialização em Análise e Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado e Aço) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, p. 15, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/54586/3/TCC%20Ra%c3%adssa%20Lorrana%20Xavier%20Amorim.pdf> Acesso em: 16 nov. 2024.

ANGELO, Lucas Lenin Sabino. **É VENTO: estudo preliminar de instalações modulares e portáteis para apresentações musicais na rua**. Pau dos Ferros/RN, UFERSA, p. 53. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/items/f24da3a9-4f6b-49c4-a6f4-7ee6bcc6b347> Acesso em: 12 jun. 2024.

AUGUSTO, Iago Lucas de Lima. **Análise da redução do consumo de aço em estruturas metálicas através do travamento auxiliar de pilares**. Instituto Federal de Educação da Paraíba, 2024. Trabalho de Conclusão de Curso. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/bitstream/177683/4065/1/TCC%20-%20Iago%20Lucas.pdf> Acesso em: 09 nov. 2024.

BELLEI, I. H.; PINHO, F. O.; PINHO, M. O.; **Edifícios de múltiplos andares em aço**. São Paulo: ABCEM, P. 4-13, 2008. Disponível em: <https://www.abcem.org.br/lib/php/download.php?now=0&arq=downloads/RCM88.pdf> Acesso em: 12 jun. 2024.

BENEVOLO, Leonardo. **História da Arquitetura Moderna**. (Trad.) São Paulo: Perspectiva, p. 143-145, 2001. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5646290/mod\\_resource/content/1/Historia\\_da\\_arquitetura\\_moderna\\_Leonardo.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5646290/mod_resource/content/1/Historia_da_arquitetura_moderna_Leonardo.pdf) Acesso em: 09 out. 2024.

BERGER, Horst. **Creating architecture with tensile membrane structures**. SEWC, p. 4, 2013. Disponível em: [https://www.structuralengineersworldcongress.com/04\\_sewc/journal/SEWC2013Vol3no1.pdf#page=6](https://www.structuralengineersworldcongress.com/04_sewc/journal/SEWC2013Vol3no1.pdf#page=6). Acesso em: 12 jun. 2024.

CALLISTER, William D.; RETHISCH, David G.; tradução SOARES, Sergio Murilo Stamile **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 9. Ed. Rio de Janeiro, LTC, p. 197, 404, 813, 841-867, 2016. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/8463392/mod\\_resource/content/0/Ciencia-e-Engenharia-de-Materiais-CALLISTER-9%C2%AA-Edicao-pdf.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/8463392/mod_resource/content/0/Ciencia-e-Engenharia-de-Materiais-CALLISTER-9%C2%AA-Edicao-pdf.pdf) Acesso em: 02 nov. 2024.

CARVALHO, Delgado. **Geografia Humana, Política e Econômica**. São Paulo: Companhia Nacional, p.100-107, 1935.

CARVALHO, Kleber Santos. **Arquitetura Efêmera em Feiras e Exposições: Um laboratório de idéias**. II Colóquio internacional: sobre comércio e cidade: uma relação de origem, São Paulo/SP, p. 3, 2008. Disponível em: [http://www.labcom.fau.usp.br/wp-content/uploads/2015/05/2\\_cincci/4016%20Carvalho.pdf](http://www.labcom.fau.usp.br/wp-content/uploads/2015/05/2_cincci/4016%20Carvalho.pdf). Acesso em: 14 jun. 2024.

CARVALHO, S. R. et al. **Estruturas metálicas: Princípios e práticas**. São Paulo: Ed. Blucher, 2011.

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e Ferros Fundidos**. 6. ed. São Paulo: [s. n.], p. 21, 159, 203 1988.

CLEMENTE, Marcus Vinícius Romeiro. **Desenvolvimento de software de verificação de perfis laminados e soldados**. Repositório de Trabalhos de Conclusão de Curso, 2020. Disponível em: <https://pensaracademico.unifacig.edu.br/index.php/repositoriottcc/article/view/3102/2153> Acesso em: 14 jun. 2024.

DE ABREU, Nelsio Rodrigues et al. Trabalho em turnos noturnos: implicações na qualidade de vida profissional e pessoal dos trabalhadores. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 12, n. 3, p. 103-131, 2012. Disponível em: <https://revistagt.fpl.emnuvens.com.br/get/article/view/445/417> Acesso em: 12 jun. 2024.

DE ALMEIDA, Paulo Vitor Silva; AUAD, Samys Fahndrich Dias Kopke. A importância da estrutura metálica na construção civil. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 23862-23869, 2019. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/4424/4146> Acesso em: 14 jun. 2024.

DE FREITAS, Luiza Pereira Machado; RODRIGUES, Rafael. Agilidade e eficiência na Construção Off Site. **Boletim do Gerenciamento**, v. 29, n. 29, p. 56-65, 2022. Disponível em: <https://nppg.org.br/revistas/boletimdogerenciamento/article/view/634/411> Acesso em: 16 nov. 2024.

DE OLIVEIRA, Cleber Cesar. **Segurança em eventos temporários – Orientações sobre responsabilidade técnica**. CREA-MG, p. 23-25, 2022. Disponível em: <https://www.crea-mg.org.br/sites/default/files/publicacao/2023-10/cartilha-fiscalizacao-eventos-crea-mg-para-calameo.pdf> Acesso em: 01 nov. 2024.

DE SOUZA PEDROSO, Júlia; DA SILVA, Kauana Soares; DOS SANTOS, Laiza Padilha. **Pesquisa descritiva e pesquisa prescritiva**. JICEX, v. 9, n. 9, 2017. Disponível em: <https://unisantacruz.edu.br/revistas-old/index.php/JICEX/article/view/2604> Acesso em: 17/11/2024.

DERRUAU, Max. **Tratado de Geografia Humana**, Tradução Raimundo Grinô, Espanha, p. 146-150, 1978.

FERREIRA, Marinaldo Loures. Gestão da saúde e segurança do trabalho na construção civil. **Entrepreneurship**, v. 4, n. 2, p. 43-51, 2020. Disponível em:

<https://www.sustenere.inf.br/index.php/entrepreneurship/article/view/CBPC2595-4318.2020.002.0005/1990> Acesso em: 17/11/2024.

GEISEL, Ernesto; PRIETO, Arnaldo. **LEI Nº 6.496, DE 7 DE DEZEMBRO DE 1977**. Congresso Nacional, 1977. Disponível em: <http://bit.ly/lei3496-1977> Acesso em: 01 nov. 2024.

GÜNTHER, M. et al. Otimize suas estruturas metálicas para reduzir peso e custos. **Revista Brasileira de Engenharia**, v. 4, n. 2, p. 45-60, 2014.

HERRERA, Eduardo Andrés Contreras. **IIA Tecnologías Especializadas SA**. Campus UNITEC San Pedro Sula, p. 5, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unitec.edu/bitstreams/f0aad70b-7fed-4066-b51a-9ad8dd3894a3/download> Acesso em: 12 jun. 2024.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **CONCLA Comissão Nacional de Classificação**. Rio de Janeiro, IBGE, 2007. Disponível em: <https://concla.ibge.gov.br/busca-online-cnae.html?subclasse=7739003&tipo=cnae&versao=6&view=subclasse> Acesso em: 09 nov. 2024.

LIMA, Nadla Silva. **Análise de coberturas em estrutura metálica com diferentes tipos de geometria para um galpão comercial**. Monografia (Curso de Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário Fasipe, Sinop, p. 29, 2024. Disponível em: [http://104.207.146.252:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/928/TCC%20-%20AP%20c3%93S%20BANCA%20-NADLA\\_compressed.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://104.207.146.252:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/928/TCC%20-%20AP%20c3%93S%20BANCA%20-NADLA_compressed.pdf?sequence=1&isAllowed=y) Acesso em: 16 nov. 2024.

LOPES, Carlos Roberto da Silva; SILVA, Mateus Batista Oliveira da. **Comparativo relacionado ao consumo de aço entre uma estrutura de treliça plana triangular e uma estrutura de treliça plana em arco**. Doctum Caratinga, Caratinga, p. 50-52, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Disponível em: <https://dspace.doctum.edu.br/bitstream/123456789/172/1/TCC%20MATEUS.pdf> Acesso em: 09 nov. 2024

LUZ, Gelson. **Aço ASTM A36 Propriedades Mecânicas e Composição Química**. Blog Materiais, [s. l], 2017. Disponível em: <https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/astm-a36-propriedades-mecanicas-e-composicao-quimica.html> Acesso em: 09 nov. 2024.

LUZ, Gelson. **Aço SAE 1020 Propriedades (e Fornecedores do Aço 1020)**. Blog Materiais, [s. l], 2017. Disponível em: <https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/aco-sae-1020-propriedades-mecanicas.html> Acesso em: 09 nov. 2024.

MANO, Eloisa Biasotto. **Polímeros como materiais de engenharia**. Editora Blucher, p. 1, 1991. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=qeuyDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP20&dq=paleol%C3%ADtico+e+neol%C3%ADtico+tenda&ots=6GrKm2PzFN&sig=AfRhxaIQul\\_7VMp-M7jxVMnd0OM](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=qeuyDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP20&dq=paleol%C3%ADtico+e+neol%C3%ADtico+tenda&ots=6GrKm2PzFN&sig=AfRhxaIQul_7VMp-M7jxVMnd0OM) Acesso em: 12 jun. 2024.



MARTHA, Luiz Fernando. **Análise de estruturas metálicas com ligações semirrígidas utilizando a ferramenta educacional FTOOL**. 2021. Tese de Doutorado. PUC-Rio. Disponível em: Acesso em: <https://web.tecgraf.puc-rio.br/~lfm/teses/ChristianDias-Mestrado-2021.pdf> 12 jun. 2024.

MONTORO SÁNCHEZ, M. A. Algunas Razones para la Cooperación en el Sector de Automoción. **Economía Industrial**, n. 358, p. 27-36, 2005. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Angeles-Montoro-Sanchez/publication/28102055\\_Algunas\\_Razones\\_para\\_la\\_Cooperacion\\_en\\_el\\_Sector\\_de\\_Automocion/links/00b7d51e3d69eef190000000/Algunas-Razones-para-la-Cooperacion-en-el-Sector-de-Automocion.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Angeles-Montoro-Sanchez/publication/28102055_Algunas_Razones_para_la_Cooperacion_en_el_Sector_de_Automocion/links/00b7d51e3d69eef190000000/Algunas-Razones-para-la-Cooperacion-en-el-Sector-de-Automocion.pdf) Acesso em: 09 nov. 2024.

NBR 14762:2010, **Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio - Procedimento**, 2001. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Disponível em: <https://www.slideshare.net/slideshow/nbr-14762-dimensionamento-de-estruturas-de-ao-perfis-formados-a-frio/27883648> Acesso em: 02 nov. 2024.

NBR 15253:2014, **Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis reticulados em edificações**, 2014. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Disponível em: <https://www.scribd.com/document/777296809/ABNT-NBR-15253-2014> Acesso em: 16 nov. 2024.

NBR 6123:2023, **Forças devidas ao vento em edificações**, 2023. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Disponível em: <https://normadedesempenho.com.br/wp-content/uploads/2024/01/NBR-6123-2023.pdf> Acesso em: 16 nov. 2024.

NBR 7007:2002, **Aços-carbono e microligados para uso estrutural e geral**, 2002. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Disponível em: <https://www.scribd.com/doc/61169174/nbr-7007> Acesso em: 02 nov. 2024.

NBR 8800:2008, **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**, p. 11, 74, 107, 2008. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Disponível em: [https://engcivil20142.files.wordpress.com/2018/03/nbr8800\\_2008\\_1.pdf](https://engcivil20142.files.wordpress.com/2018/03/nbr8800_2008_1.pdf) Acesso em: 01 nov. 2024.

NR 17, **Ergonomia**, p. 5, 2022. Ministério do Trabalho e Emprego. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/nr-17-atualizada-2023.pdf> Acesso em: 16 nov. 2024.

OLIVEIRA, Douglas Henrique; SOARES, Renato Alberto Brandão; SANTOS, Victor Hugo Diniz. Comparação entre as vantagens da utilização de estrutura metálica e estrutura de concreto armado. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 17783-17793, 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/8505/7521> Acesso em: 14 jun. 2024.

PFEIL, Walter. **Estruturas de aço: dimensionamento prático** I Walter Pfeil, Michèle Pfeil. - 8.ed. -. Rio de Janeiro: LTC, p. 140-160, 175-182, 211-221, 332, 2009. Disponível em: <https://kaiohdutra.files.wordpress.com/2016/02/estruturas-de-aco-dimensionamento-pratico.pdf> Acesso em: 20/11/2024.

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. Sistemas estruturais em aço na arquitetura. IBS/CBCA, Rio de Janeiro, p. 11, 2009. Disponível em: [https://ufprvirtual.ufpr.br/pluginfile.php/1087169/mod\\_resource/content/1/Apostila%20CBCA%20Yopanan%20Rebello%20de%20Sistemas%20Estruturais%20em%20A%C3%A7o.pdf](https://ufprvirtual.ufpr.br/pluginfile.php/1087169/mod_resource/content/1/Apostila%20CBCA%20Yopanan%20Rebello%20de%20Sistemas%20Estruturais%20em%20A%C3%A7o.pdf) Acesso em: 20 nov. 2024.

RODRIGUES, L. J. L; SETTE, S. T. **Análise comparativa dos sistemas construtivos habitacionais: light steel frame x alvenaria convencional**. RMS, v.3, n.4, p.442-449, 2021.

SANTOS JUNIOR, W. P. P.; LIMA, D. S. Estudo comparativo estrutural e construtivo – light steel frame e alvenaria convencional. Repositório de TCC, nov. 2022. Disponível em: <http://www.ienomat.com.br/revista/index.php/repositorio/article/view/255> Acesso em: 16 nov. 2024.

TEIXEIRA, Igor de Lima. Otimização de coberturas em aço de perfil formado a frio de edifícios industriais. TCC (Graduação em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, p. 24-64, 2020. Disponível em: [https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/216949/TCC\\_Igor\\_de\\_Lima\\_Teixeira.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/216949/TCC_Igor_de_Lima_Teixeira.pdf?sequence=1&isAllowed=y) Acesso em: 17/11/2024.

VIANA, Dávila de Oliveira. **Tratamento térmico em aço carbono ASTM A36 e sua influência na resistência à corrosão**. 2019. 66 f. Monografia (Graduação em Engenharia Metalúrgica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, p. 25, 2019. Disponível em: [https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/49232/1/2019\\_tcc\\_doviana.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/49232/1/2019_tcc_doviana.pdf) Acesso em: 09 nov. 2024.

WOMACK, J. P et al. **The machine that changed the world**. New York, N.Y.: Macmillan, p. 3, 2004.

## ANEXOS

**1)** Relatório dos resultados do carregamento de ventos utilizando o *software* VisualVentos:

Dados Geométricos:

$$b = 10,00 \text{ m.}$$

$$a = 10,00 \text{ m.}$$

$$b_1 = 2 * h; b_1 = 2 * 3,00; b_1 = 6,00\text{m.}$$

Ou:

$$b_1 = b/2; b_1 = 10,00/2; b_1 = 5,00\text{m.}$$

Adota-se o menor valor, portanto:

$$b_1 = 5,00 \text{ m}$$

$$a_1 = b/3; a_1 = 10,00/3; a_1 = 3,33\text{m}$$

Ou:

$$a_1 = a/4; a_1 = 10,00/4; a_1 = 2,50\text{m.}$$

Adota-se o maior valor (porém  $a_1 \leq 2 * h$ ):

$$2 * 3,00 = 6,00 \text{ m}$$

Portanto:

$$a_1 = 3,33 \text{ m}$$

$$a_2 = (a/2) - a_1; a_2 = (10,00/2) - 3,33; a_2 = 1,67 \text{ m}$$

$$h = 3,00 \text{ m}$$

$$h_1 = 2,50 \text{ m}$$

$$\beta = 26,57^\circ$$

$$d = 10,00 \text{ m}$$

Área das aberturas:

Fixas:

$$\text{Face A1} = 9,99 \text{ m}^2$$

$$\text{Face A2} = 9,99 \text{ m}^2$$

$$\text{Face A3} = 9,99 \text{ m}^2$$

$$\text{Face B1} = 9,99 \text{ m}^2$$

$$\text{Face B2} = 9,99 \text{ m}^2$$

$$\text{Face B3} = 9,99 \text{ m}^2$$

$$\text{Face C1} = 15,00 \text{ m}^2$$

Face C2 = 15,00 m<sup>2</sup>

Face D1 = 15,00 m<sup>2</sup>

Face D2 = 15,00 m<sup>2</sup>

Movéis:

Face A1 = 0,00 m<sup>2</sup>

Face A2 = 0,00 m<sup>2</sup>

Face A3 = 0,00 m<sup>2</sup>

Face B1 = 0,00 m<sup>2</sup>

Face B2 = 0,00 m<sup>2</sup>

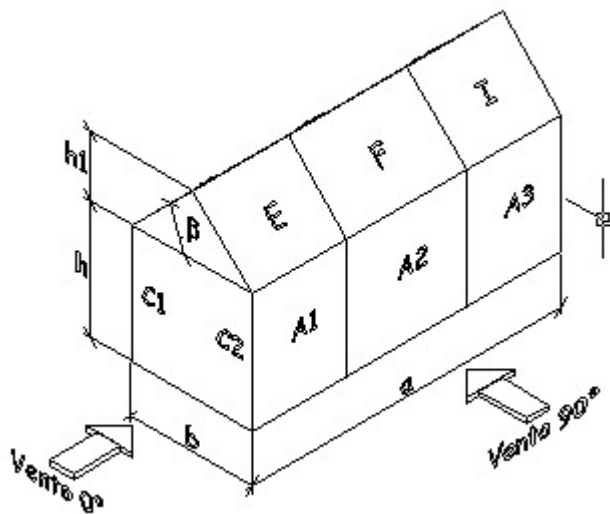
Face B3 = 0,00 m<sup>2</sup>

Face C1 = 0,00 m<sup>2</sup>

Face C2 = 0,00 m<sup>2</sup>

Face D1 = 0,00 m<sup>2</sup>

Face D2 = 0,00 m<sup>2</sup>



Velocidade básica do vento:

$V_o = 45,00 \text{ m/s}$

Fator Topográfico (S1) = Terreno plano ou fracamente acidentado:

$S1 = 1,00$

Fator de Rugosidade (S2):

Categoria I

Classe A

Parâmetros retirados da Tabela 2 da NBR6123/88 que relaciona Categoria e Classe:

$$b = 1,10$$

$$Fr = 1,00$$

$$p = 0,06$$

$$S2 = b * Fr * (z/10)^{\exp p}$$

$$S2 = 1,10 * 1,00 * (5,50/10)^{\exp 0,06}$$

$$S2 = 1,06.$$

Fator Estático (S3):

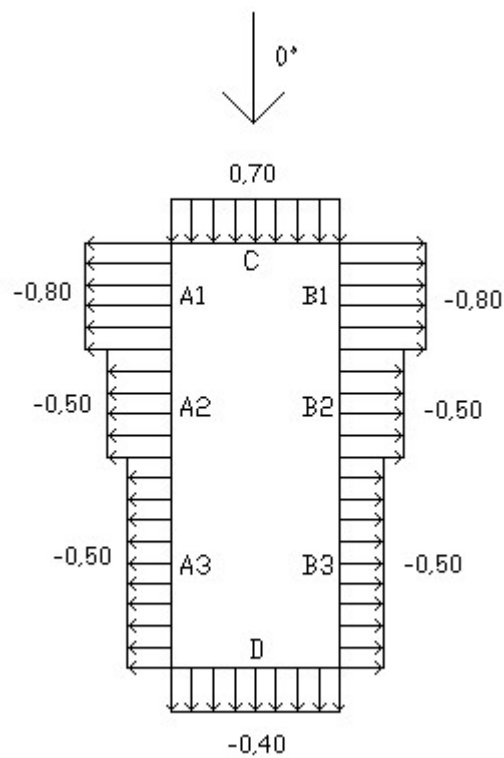
Grupo 1

$$S3 = 1,10.$$

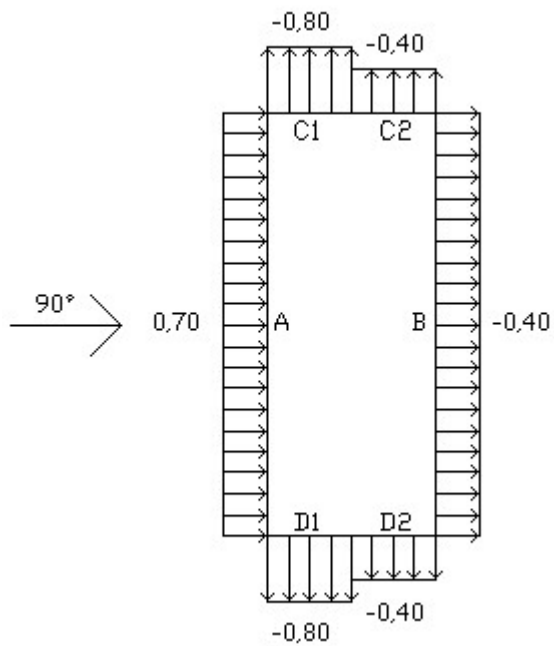
Coeficiente de pressão externa:

Paredes:

Vento 0°

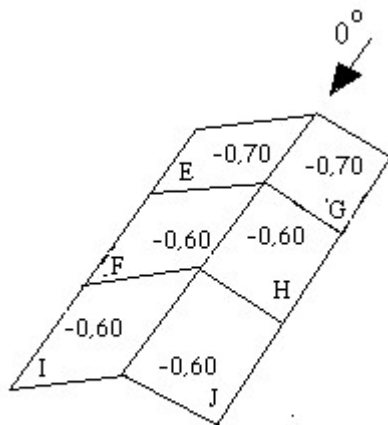


Vento 90°



Telhado:

Vento 0°



Vento 90°

Cpe médio = -0,90

Coeficiente de pressão interno:

Cpi 1 = -0,43

Cpi 2 = -0,43

Velocidade Característica de Vento:

$$V_k = V_o * S1 * S2 * S3$$

$$V_k = 45,00 * 1,00 * 1,06 * 1,10$$

$$V_k = 52,53 \text{ m/s}$$

Pressão Dinâmica:

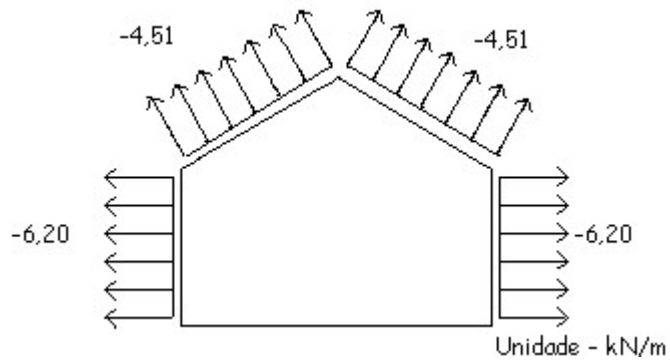
$$q = 0,613 * V_k^2$$

$$q = 0,613 * 52,53^2$$

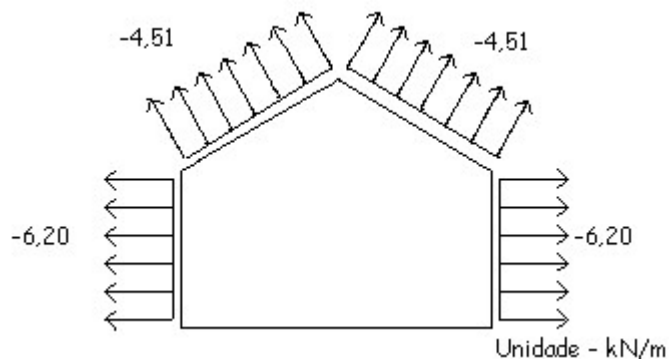
$$q = 1,69 \text{ kN/m}^2$$

Esforços Resultantes:

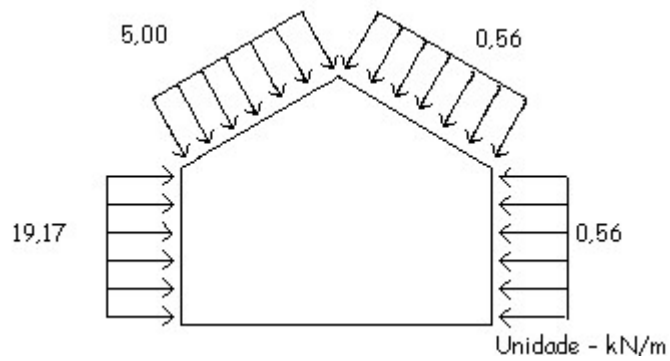
Vento 0° - Cpi = -0,43



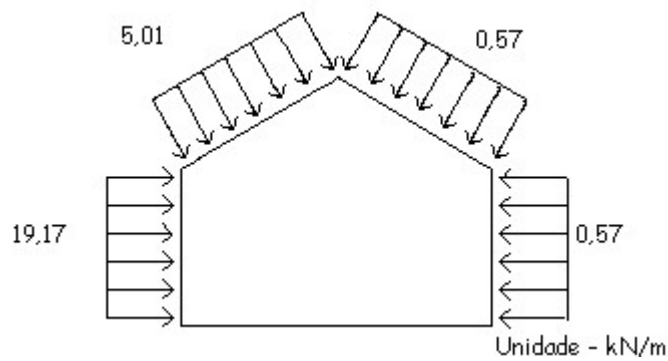
Vento 0° - Cpi = -0,43



Vento 90° - Cpi = -0,43



Vento 90° - Cpi = -0,43



2) Tabela 2 da NBR 14762 (ABNT, 2010).

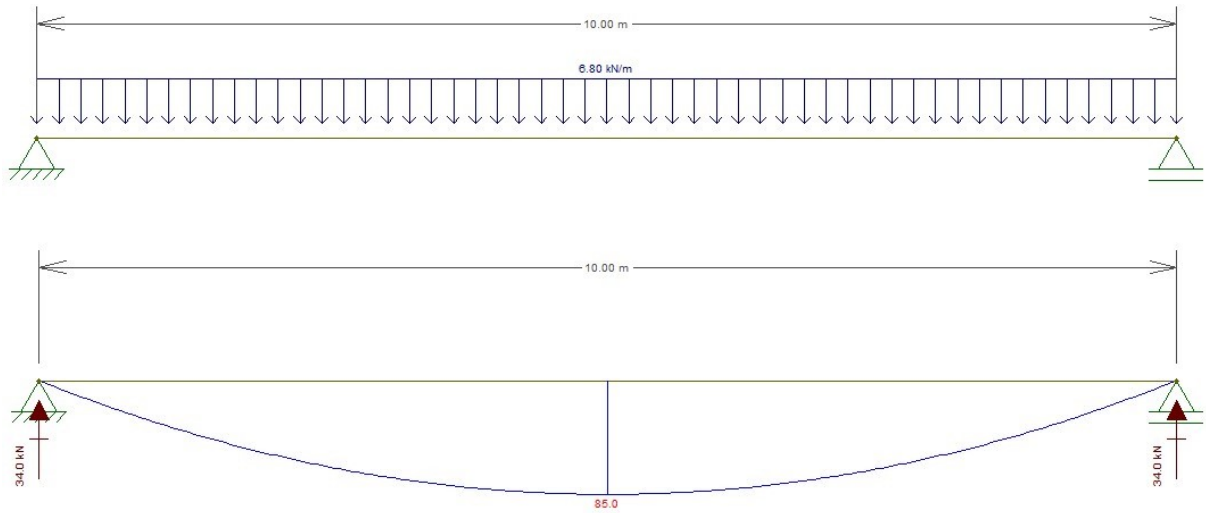
| Tabela 2 da NBR 14762/2010                                                                  |                                      |                                         |                                                                                                                 |                                                                                    |                                                                    |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| Valores dos coeficientes de ponderação das ações $\gamma_f = \gamma_{f1} \cdot \gamma_{f3}$ |                                      |                                         |                                                                                                                 |                                                                                    |                                                                    |           |
| Combinações                                                                                 | Ações permanentes ( $\gamma_g$ )     |                                         |                                                                                                                 |                                                                                    |                                                                    |           |
|                                                                                             | Diretas                              |                                         |                                                                                                                 |                                                                                    |                                                                    | Indiretas |
|                                                                                             | Peso próprio de estruturas metálicas | Peso próprio de estruturas pré-moldadas | Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados e empuxos permanentes | Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições <i>in loco</i> | Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos     |           |
| Normais                                                                                     | 1,25                                 | 1,3                                     | 1,35                                                                                                            | 1,4                                                                                | 1,5                                                                | 1,2       |
| Combinações                                                                                 | Ações variáveis ( $\gamma_q$ )       |                                         |                                                                                                                 |                                                                                    |                                                                    |           |
|                                                                                             | Efeito da temperatura                |                                         | Ação do vento                                                                                                   | Ações truncadas                                                                    | Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes do uso e ocupação |           |
|                                                                                             | 1,2                                  |                                         | 1,4                                                                                                             | 1,2                                                                                | 1,5                                                                |           |

3) Tabela de combinações de peso, adotando os coeficientes da NBR 14762.

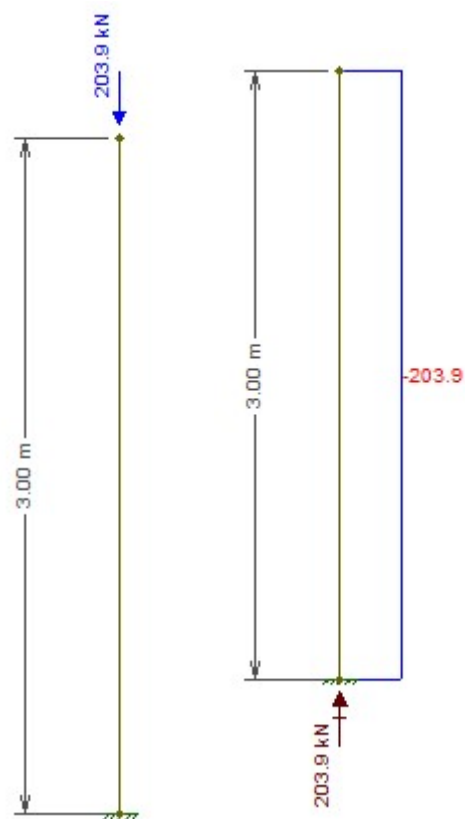
| Tipo de Combinação: Normal                             |                                    |                                     |                                                                |                       |               |                      |                        |
|--------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------|----------------------|------------------------|
| Ações Permanentes                                      |                                    |                                     |                                                                | Ações Variáveis       |               |                      |                        |
| Peso Próprio da Estrutura Metálica (kN)                | Peso Próprio da Estrutura Metálica | Ação Perm. comp. $\gamma$ Met. (kN) | Peso Próprio de Elementos Construtivos em Geral e Equipamentos | Pressão Dinâmica (kN) | Ação do Vento | Carga Acidental (kN) | Demais Ações Variáveis |
| 0,21                                                   | 1,25                               | 0,56                                | 1,50                                                           | 42,25                 | 1,40          | 6,25                 | 1,50                   |
| (Considerando o peso de um pavilhão de 5 tendas 10x10) |                                    |                                     |                                                                |                       |               |                      |                        |
| Para Calha                                             | Md =                               | 68,0                                | kN;                                                            | ou                    | 6,8           | kN/m.                |                        |
| Tipo de Combinação: Normal                             |                                    |                                     |                                                                |                       |               |                      |                        |
| Ações Permanentes                                      |                                    |                                     |                                                                | Ações Variáveis       |               |                      |                        |
| Peso Próprio da Estrutura Metálica (kN)                | Peso Próprio da Estrutura Metálica | Ação Perm. comp. $\gamma$ Met. (kN) | Peso Próprio de Elementos Construtivos em Geral e Equipamentos | Pressão Dinâmica (kN) | Ação do Vento | Carga Acidental (kN) | Demais Ações Variáveis |
| 0,15                                                   | 1,25                               | 0,56                                | 1,50                                                           | 42,25                 | 1,40          | 6,25                 | 1,50                   |
| (Considerando o peso de um pavilhão de 5 tendas 10x10) |                                    |                                     |                                                                |                       |               |                      |                        |
| Para 1 pilar                                           | Md =                               | 67,9                                | kN;                                                            | +carga de reação*4 =  | 203,9         | kN.                  |                        |



4) Momento fletor da calha.



5) Compressão do pilar.



### 6) Cálculo da calha/viga (Pfeil, 2009).

| Calculo Calha:                         |                                                                                  |                 |      | pg. 175 - 179, 182, 211, 221 |    | (Pfeil, 2009)           |  |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------|------------------------------|----|-------------------------|--|
| Momento de inercia (Ix)=               | 131,456                                                                          | cm <sup>4</sup> |      |                              |    |                         |  |
| Distância centroide da base (ymax)=    | 4,283                                                                            | cm              |      |                              |    |                         |  |
| Modulo elástico (Wx)=                  | 30,692                                                                           | cm <sup>3</sup> |      |                              |    |                         |  |
| Md=                                    | 680,0                                                                            | kN/cm           |      |                              |    |                         |  |
| Momento resistente de projeto (Mdres)= | $= (Z \cdot f_y) / 1,1$                                                          |                 | 22,7 | *Z*kN/cm                     |    |                         |  |
| Momento fletor=                        | 8500                                                                             | kN/cm           |      |                              |    |                         |  |
| Modulo plástico (Zx)=                  | $= Md / Mdres$                                                                   |                 | 29,9 | cm <sup>3</sup>              |    |                         |  |
| Coeficiente de forma (Zx/Wx)=          | 0,97                                                                             |                 |      |                              |    |                         |  |
| Máxima tensão (σmáx) =                 | $\sigma_{máx} = (M/I) \cdot y_{máx} = (M/W) < f_y$                               |                 |      |                              |    |                         |  |
| Máxima tensão (σmáx) =                 | $= (\text{momento fletor} / \text{inerxia}) \cdot \text{distância de centroide}$ |                 |      |                              |    |                         |  |
| Máxima tensão (σmáx) =                 | 22,15                                                                            | kN              | =    | 22,15                        | kN | < 25 kN/cm <sup>2</sup> |  |

### 7) Cálculo do pilar (Pfeil, 2009).

| Calculo Pilar:                                     |                                          |            |                               | pg. 141-160 |        | (Pfeil, 2009) |  |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------|------------|-------------------------------|-------------|--------|---------------|--|
| Comprimento de flambagem (Lfi)=                    | (l*k) comp. da peça * coef. de flambagem |            | 630                           | cm.         |        |               |  |
| Raio de giração (ix)=                              | 22,03                                    | cm.        |                               |             |        |               |  |
| lfi/ix=                                            | 28,60                                    | cm.        |                               |             |        |               |  |
| Índice de esbeltez (λ0)=                           | $= 0,0113 \cdot (lfi/ix)$                |            | 0,32                          |             |        |               |  |
| Coef. de minoração adotado =                       | 0,938                                    | (TABELADO) |                               |             |        |               |  |
| Tensão resistente à compressão com flambagem (fc)= | $= 0,938 \cdot f_y$                      |            | 234,5                         | Mpa         |        |               |  |
| Momento resistente de projeto (Nd res)=            | $= (A_g \cdot f_c) / \gamma_a$           |            | $= (5,5323 \cdot U98) / 1,10$ |             | 1179,4 | kN            |  |

### 8) Cálculo de cisalhamento do parafuso e pino de travamento (Pfeil, 2009).

| Parafuso 1/2"                                 |                                        |      |                             |       |    | (Pfeil, 2009) |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------|------|-----------------------------|-------|----|---------------|
| Esforço resistente de cálculo a tração (Rdt)= | $= (0,4 \cdot 12,7 \cdot 500) / 1,35$  | 1,88 | *qntd. Planos de corte(8) = | 15,05 | kN |               |
|                                               |                                        |      |                             |       |    |               |
| Pino de travamento 3/4"                       |                                        |      |                             |       |    | (Pfeil, 2009) |
| Esforço resistente de cálculo a tração (Rdt)= | $= (0,4 \cdot 19,05 \cdot 500) / 1,35$ | 2,82 | *qntd. Planos de corte(4) = | 11,29 | kN |               |