



PROJETO E FABRICAÇÃO DE UMA TORRE PARA ENSAIOS AERODINÂMICOS: UMA ALTERNATIVA AO TÚNEL DE VENTO

V.Q. Cavalcanti^{1,*}; S.M. Lugones¹

1 Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos - Professor Jessen Vidal
Av. Cesare Mansueto Giulio Lattes, 1350 - Eugênio de Melo, São José dos Campos/SP,
CEP.: 12247-014, Brasil.
Telefone: (12) 3905-2423

[*vinicius.cavalcanti@fatec.sp.gov.br](mailto:vinicius.cavalcanti@fatec.sp.gov.br)

RESUMO: No presente trabalho foi realizada a fabricação de uma estrutura de baixo custo para fins de aquisição de dados úteis de validação de cálculos e estruturação de relatórios da equipe Megazord AeroDesign, representante da Faculdade de Tecnologia Professor Jessen Vidal de São José dos Campos. A partir de seis metros de barras de aço metalon, foi projetada a melhor disposição de material para resistir esforços e a melhor solução de montagem e desmontagem para posterior logística e armazenamento. Foi realizado também, uma análise estrutural da torre a fim de validar o seu desempenho desde o ponto de vista de segurança.

PALAVRAS-CHAVE: torre, ensaio, estrutura, aerodinâmica, baixo custo, túnel de vento.

ABSTRACT: In the present work, a low-cost structure was fabricated for the purpose of acquiring useful data for the calculation, validation and report structuration of the Megazord AeroDesign team, representing Professor Jessen Vidal Technology College of São José dos Campos. From six meters of iron steel bars, the best material layout was designed to withstand stress loads and to promote the best assembly and disassembly solution for later logistic and storage. A structural analysis of the tower was also carried out in order to validate its performance from a safety point of view.

KEYWORDS: Tower, rehearsal, structure, aerodynamics, low cost, wind tunnel

1. INTRODUÇÃO.

A equipe Megazord Aerodesign já tem vários anos de participação na competição SAE Aerodesign, contudo, o problema mais crítico e recorrente que a equipe carrega, devido a ser uma instituição de ensino tecnológico, é a mudança de participantes da equipe a cada três anos aproximadamente e, portanto, a perda de talentos e de conhecimento. É com o intuito de mitigar este problema, que se pretende documentar estes projetos a través de publicações.

Na presente publicação, pretende-se documentar os desafios encarados pelos alunos que participam na competição SAE, os conhecimentos teóricos, e práticos adquiridos durante a preparação. O desafio, apresentado no presente documento, foi de construir uma torre adaptativa (para posicionar acima de um carro) onde se consiga realizar ensaios aerodinâmicos, através de uma balança de células de cargas. O objetivo principal deste projeto é de substituir a utilização de túneis de vento aerodinâmicos, já que o acesso aos mesmos dos alunos é limitado e limitante.

Pretende-se, com apenas 6 metros de barra metálica, alcançar a melhor distribuição geométrica, topológica e ergométrica da torre a fim de suportar os esforços aerodinâmicos produzidos pela asa de um aeromodelo ou de grupo moto propulsor. Tomando como inspiração a fabricação de estruturas com o mesmo objetivo de outras equipes participantes da competição, proporcionaremos assim uma estrutura alternativa de baixo custo com resultados satisfatórios, de fácil construção, montagem e operação, podendo inspirar outras equipes ou empresas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo visa elucidar a integração teórico-prática, que foi levada em consideração para a concepção deste projeto. Diversas análises estruturais fundamentais foram levadas em consideração a fim de legitimar a segurança estrutural do projeto.

2.1. Análises de Carga e Modelagem

Partindo da base de cálculo das competições anteriores, validou-se que os aeromodelos são dimensionados para carregar 20 quilos de carga como máximo. O que deixa um carregamento de sustentação na decolagem de 60 quilos quando considerado um fator de carga igual a 3. Será considerado um valor altamente conservativo de 33% de arrasto em relação à sustentação máxima.

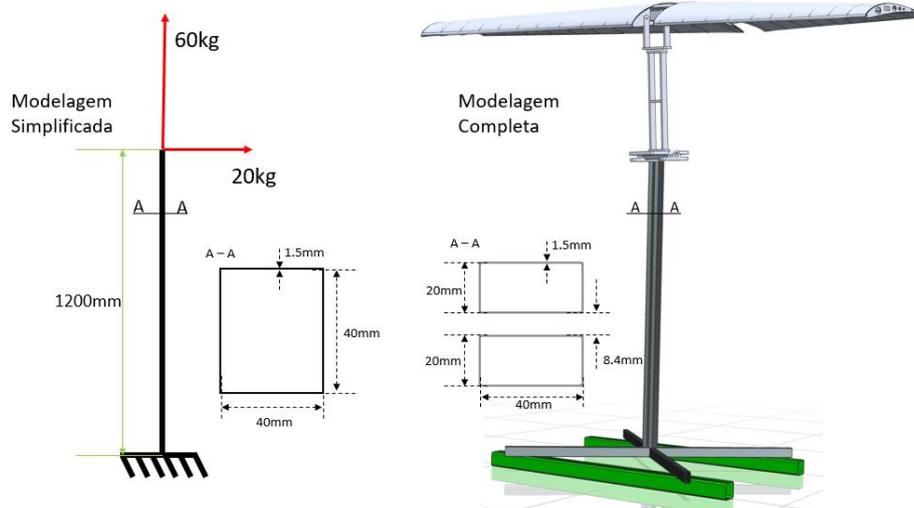


Figura 1. Modelagens.

A Figura 1 proporciona dois tipos de modelagem que serão levadas em consideração. À esquerda da Figura 1, uma modelagem simplificada é apresentada para a obtenção da distribuição de esforços aplicados na estrutura. Geralmente, os resultados obtidos através de modelagens simplificadas costumam ser altamente conservativos. Caso as margens de segurança não atinjam os resultados esperados com a utilização da modelagem simplificada, uma modelagem completa é apresentada à direita da Figura 1 para ser implementada em uma simulação de elementos finitos.

2.2. Análise Estrutural do Projeto

Para a obtenção dos esforços admissíveis e dos outros parâmetros mecânicos do material, foram realizados ensaios de tração com quatro corpos de prova como é mostrado na Figura 2.

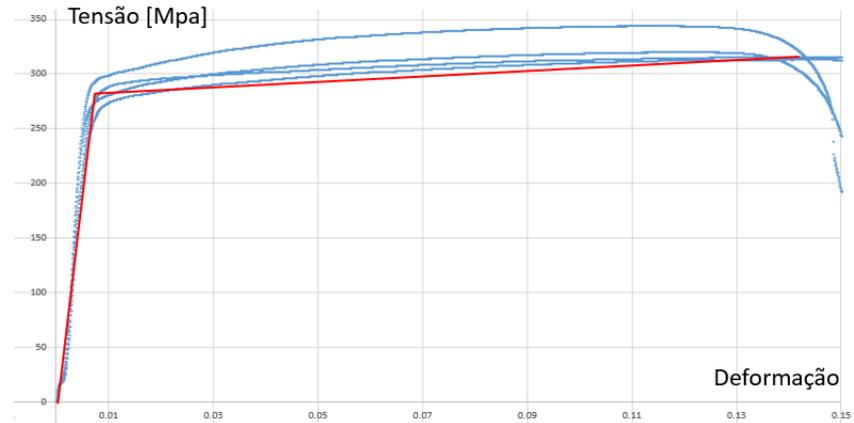


Figura 2. Ensaios de Tração.

A Figura 3 apresenta o resumo da realização do cálculo da margem de segurança da estrutura através da modelagem de uma viga engastada [BRUHN, 1973]. A força de arrasto (R) em relação com o módulo de elasticidade (E) e o momento de inércia (I), gera um esforço de flexão σ_f , enquanto que a sustentação (L) promove um esforço axial σ_a em relação à seção transversal (A). A tensão crítica $\sigma_{cr} = \sigma_{max}$ é a combinação dos esforços axiais e de flexão, a qual é atingida na fibra mais externa tracionada. A margem de segurança (MS) é obtida pela relação entre os esforços aplicados e os esforços admissíveis.

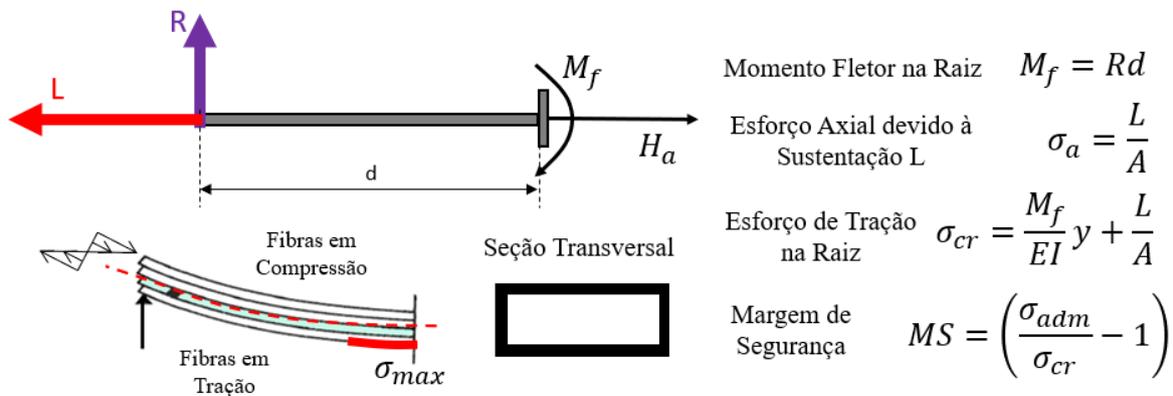


Figura 3. Cálculo da Margem de Segurança.

A margem de segurança encontrada para este projeto foi de 7000%, o que significa, que poderia adquirir um incremento de carga de até 75 vezes do previsto, e a estrutura continuaria a resistir. O admissível de cisalhamento dos parafusos utilizado não é conhecido pelo que se optou por recorrer à redundância de parafusos e reforços. Também pode ser percebido, que a tensão aplicada na zona crítica é muito baixa em relação à carga suportada por rebites de diâmetro altamente inferiores aos parafusos utilizados.

Não serão levados em consideração nesta publicação, cálculos de falhas relacionadas a efeitos compressivos e nem à possível fadiga do material.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A inspiração de conceber a fabricação de uma torre de ensaios aerodinâmicos surgiu das práticas que vem sendo realizadas pelas equipes colegas (Figura 4). Baixo custo, adaptabilidade, desempenho aceitável e segurança são alguns dos requisitos internos que foram impostos para o projeto e a fabricação da torre de ensaios aerodinâmicos.



Figura 4. Céu Azul Aeronaves (Acima) e Caboclo Aerodesign UFRPE (Embaixo).

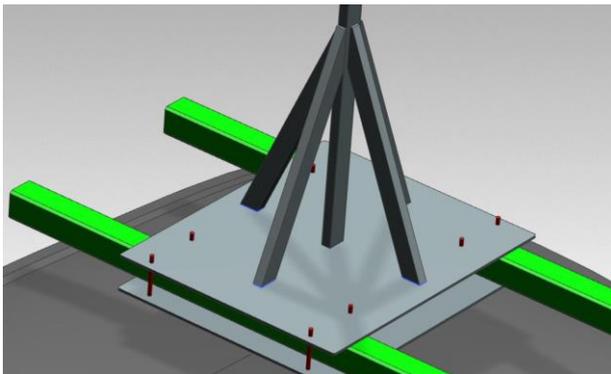
Com o intuito de diminuir a interferência do escoamento entre o carro e a asa a ser ensaiada, uma primeira concepção foi desenvolvida e fundamentada em ensaios alternativos (Figura 5a).

Determinou-se uma distância razoável de 120cm (cinto e vinte centímetros) entre a balança aerodinâmica e o carro. A Figura 5b apresenta a primeira concepção da fixação entre a torre e o carro, a qual se baseava no uso de uma placa de aço de 5mm fixada ao rack do carro mediante parafusos, mas a ideia foi rapidamente inviabilizada devido ao custo e ao peso resultante da estrutura.

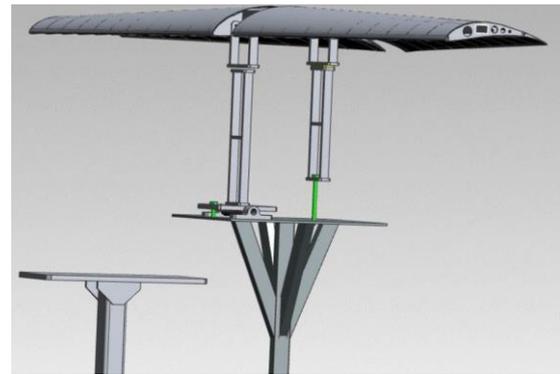
Na Figura 5c podem ser vistas as primeiras concepções da base de contato entre a torre e a balança. A primeira delas, apresenta uma interfase entre uma placa e duas pequenas nervuras de chapa, a qual seria uma solução razoável desde o ponto de vista aerodinâmico, mas não se mostrou eficiente desde o ponto de vista de fabricação. A outra solução foi focada na reutilização dos sobrantes das barras de metalon, mas o receio desta disposição se fundamentou em uma potencial interferência nas medições aerodinâmicas.



a) Conjunto Carro – Torre – Balança - Asa



b) Primeira da interfase com o carro



c) Primeira Concepção interface com a
balança

Figura 5. Primeira Concepção da Torre.

Com as informações iniciais obtidas no projeto informacional desenvolvido, determinou-se que a compra de uma barra de metalon (6 metros) de seção transversal de 40x20x1.5mm seria suficiente para a fabricação. Na concepção final resultante apresentada na Figura 6, foi considerada distribuição de esforços de 63.34% no eixo longitudinal do carro, e 36.60% no eixo transversal, dando lugar ao dimensionamento de uma coluna conformada por dois cortes de barras de 120 centímetros, uma base inferior de fixação também conformada por dois cortes de barras de 100 cm em uma angulação de 90 graus entre elas (Figura 6).

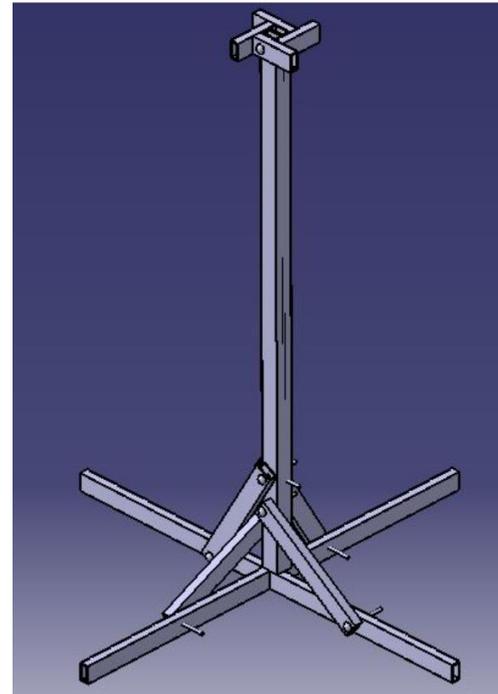
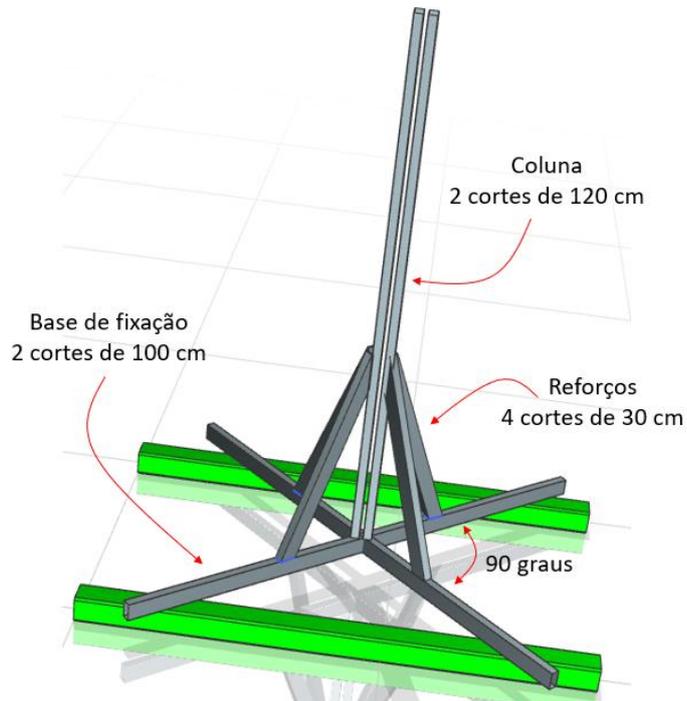


Figura 6. Concepção Final.

Os reforços superiores e inferiores, foram dimensionados com base no restante de material.

Visando a facilidade de construção e uma distribuição de carga muito maior na parte inferior da estrutura, o comprimento resultante dos reforçadores inferiores ficou com 75% e os superiores com 25% do material restante. Definindo assim, as dimensões de 30 cm e 10 cm respectivamente.

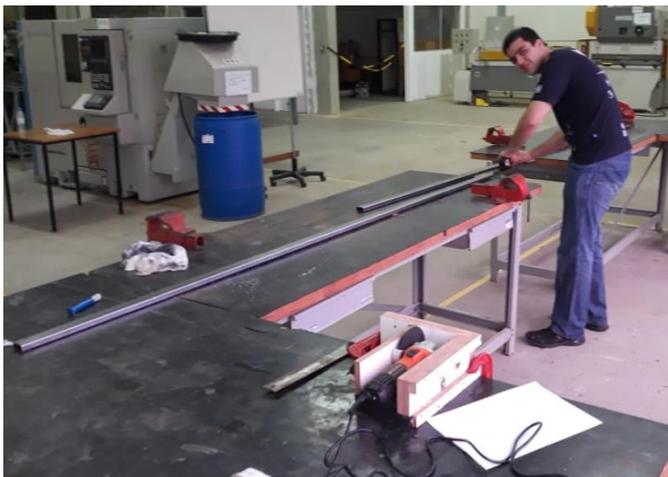


Figura 7. Realização da Marcação e dos Cortes do Metalon.

Foram efetuadas as medições iniciais na barra de metalon e realizados todos os cortes utilizando um esmeril (Figura 7). Após os cortes, foi efetuado o processo de limagem para acabamento a fim de evitar danos físicos. Depois de apresentada a disposição da torre, concluiu-se que a melhor opção de fixação para montagem seria com parafusos ao invés de solda, possibilitando uma melhora significativa na logística e no armazenamento. Outra grande melhoria implementada na montagem

foi na base inferior da estrutura, como se apresenta na Figura 8. Foi desenvolvido um encaixe por meio de rebaiços facilitando em grande medida a montagem da base. A fixação entre a base e a coluna foi feita mediante o uso de cantoneiras e parafusos a fim de deixá-la mais firme. Nas barras da base foi efetuado o rebaixo utilizando arco-serra, furos e lima. Para a fixação da base e reforçadores foram utilizados parafusos M10 e nas cantoneiras, parafusos M4.

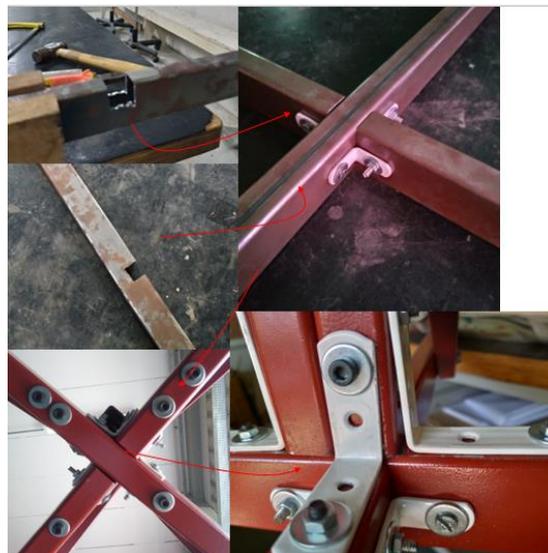


Figura 8. Montagem da Base Inferior da Estrutura.

Outro desafio encontrado na fabricação da torre se deu na montagem dos reforçadores inferiores devido ao fato de eles serem desmontáveis. Os reforços traseiros foram posicionados com uma angulação estratégica entre a base e a torre de 45° por serem responsáveis de suportar a maior carga no eixo longitudinal do movimento do ensaio.



Figura 9. Reforços Inferiores.

Os reforços superiores, por questão de facilidade de construção, foram soldados e fixados na torre por meio de dois parafusos M10. Tais reforços são compostos por 4 barras de 0.1m todos

soldados de forma que abraçam a torre, e foram feitos dois furos passantes para mantê-lo na posição correta. Os reforçadores apenas foram furados obedecendo a melhor disposição na estrutura conforme mostra a Figura 10



Figura 10. Reforços Superiores.

Após a confecção de todas as peças, a estrutura foi montada para verificar a presença de falhas. Em seguida, foi desmontada e pintada com tinta antiferrugem. Foram utilizadas duas demãos de tinta para metais e se deixou repousar por uma semana para cura total. Por fim, a estrutura foi montada; foi feita a identificação de cada peça.



Figura 11. Fixação da torre no carro.

4. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Com apenas 6 metros de barra metalon foi concebido um projeto de alto valor agregado e de baixo custo em comparação a utilização de um túnel de vento apropriado. Uma distribuição geométrica, topológica e ergométrica foi alcançada com um grau de satisfação razoável para com a equipe. O projeto apresenta também uma integração teórico-prática envolvendo: pesquisa, concepção e detalhamento.



Para verificar a resistência da estrutura quanto a vibrações providas do movimento do carro e arrasto do ar em diferentes velocidades, foi efetuado uma série de testes no total de 6. Foi determinado três velocidades fixas constantes por um período de 10 segundos (20, 40 e 60km/h), os três primeiros testes foram realizados com apenas a estrutura desenvolvida explícita nesta publicação e os demais testes foram realizados utilizando uma carga simbólica de 3,0kg simulando uma bancada de testes para a qual será desenvolvida visando utilização nesta estrutura.

Dentre os testes efetuados, podemos observar que a estrutura se manteve firme sem nenhum dano ou defeito identificado e que a solução de fixação no carro atingiu as expectativas sem apresentar ameaça à segurança e integridade da estrutura e nem do próprio carro. Sinal de que a estrutura se encontra em condições de receber bancadas de ensaios aerodinâmicos.

Os resultados técnicos do projeto estão associados a outros trabalhos que vêm sendo realizados simultaneamente, tais como: a balança aerodinâmica, a laminação da asa, a balança da bancada do grupo motopropulsor, a construção do protótipo do aeromodelo e entre outros. São razões pelas quais não poderão ser apresentados resultados mais precisos nesta publicação, mas deixam a possibilidade para a sua apresentação em trabalhos futuros junto com os aprimoramentos e otimizações da torre.

5. REFERÊNCIAS

Céu Azul Aeronaves. Disponível em <https://www.facebook.com/ceuazulaeronaves/>. Acesso em: 03/05/2019

Caboclo Aerodesign UFRPE. Disponível em <https://www.facebook.com/aerodesignufrpe/>. Acesso em: 03/05/2019

BRUHN, E.F. *Analysis and design of light vehicle structures*. U.S.A, Jacobs Publishing, 1973.

N.E DOWLING, *Mechanical Behavior of Materials*, Virginia, Person, 2013

ANAC. *Reparos Estruturais em aeronaves CAP 5*. ANAC

BISPLINGHOFF, R. L. *Aeroelasticity*. Mineola, Addison Wesley publishing, 1955.

NIU, M. *Airframe Stress Analysis and Sizing*, New York, Conmilet Press Ltd, 2nd Edition, 2005.