

DIMENSIONAMENTO DA LONGARINA PRINCIPAL COM REDUÇÃO DE SEÇÃO TRANSVERSAL PARA UM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT).

Clinton Noberto Silva Araújo^[1] e Daut de Jesus Nogueira Peixoto Couras^[2]

^[1] UFERSA, Engenharia Mecânica; Clinton Noberto Silva Araújo; clinton_noberto@hotmail.com

^[2] UFERSA, Engenharia Mecânica; Daut de Jesus Nogueira Peixoto Couras; dautcouras@ufersa.edu.br

Data da defesa: 15/06/2022;

Resumo: Esse trabalho aborda o dimensionamento da longarina principal de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) voltado a competição SAE BRASIL AeroDesign, visando principalmente a redução de massa comparado a dimensionamentos feitos em anos anteriores. Para isso foram feitos cálculos analíticos e modelo numérico, e por fim, comprovando sua resistência com um ensaio estático. O modelo analítico da longarina foi feito utilizando equações que abrangem o campo da resistência dos materiais e implementado no *software SciLab®* visando a maior eficiência e agilidade na obtenção das dimensões dela. Posteriormente, foi possível modelar a estrutura em um *software* de desenho e simulação 3D para análise numérica, utilizado o *software SolidWorks®*. A estrutura já dimensionada foi construída para verificar o deslocamento de flexão sofrida pela mesma para validação dos métodos utilizados, assim comparar a massa de dimensionamentos anteriores sem as modificações implementadas nesse trabalho. Desta forma, este trabalho contribui para o conhecimento da aplicação da teoria do cálculo estrutural, para o aprimoramento de competências e habilidades nas áreas de engenharia mecânica e aeronáutica. Ao final foi possível obter valores bem satisfatórios de redução de massa, onde as longarinas de 2019, 2020 e 2021, tiveram uma redução percentual que variam aproximadamente de 18 à 21%. Além disso, as deflexões da simulação computacional em comparação com a experimental deram valores com erros percentuais variando aproximadamente de 12 à 21%.

Palavras-chave: Dimensionamento; Longarina; Elementos finitos; AeroDesign.;

1. INTRODUÇÃO

A equipe PegAzuls Aerodesign é um projeto de extensão cujo objetivo principal é projetar e construir uma aeronave rádio controlada não tripulada para a competição SAE BRASIL AeroDesign. O projeto conta com a participação de docentes e discentes de alguns cursos voltados à engenharia e ciência e tecnologia vinculados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), campus Mossoró. O principal objetivo da competição é projetar e construir um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) que possua uma elevada eficiência para que possa carregar a maior carga útil (peso da aeronave acrescida da carga transportada). Em [1], é explicado que a competição oferece aos alunos a oportunidade de conectar a teoria vista em sala de aula com a prática e ajudar a desenvolver habilidades e competências importantes para os futuros profissionais da engenharia.

Para [2], o maior desafio de uma equipe que participa da competição SAE BRASIL AeroDesign é o projeto estrutural da asa, em que se busca uma combinação de material e formato geométrico que minimize o seu peso de forma a não comprometer a segurança da aeronave. Ao contrário das asas de aeronaves tradicionais, que são estruturalmente projetadas com sistemas à prova de falhas, com longarinas primárias e secundárias, as asas para esta competição são projetadas sem esses sistemas de segurança. Como resultado, as asas possuem apenas uma longarina principal e nenhum sistema redundante em caso de falhas, fazendo com que se tenha o máximo cuidado na hora de fazer o dimensionamento.

De acordo com [3], para a melhor eficiência resistência/peso, a longarina deve ser dimensionada com o maior raio de giração possível, e ao mesmo tempo ter uma alta tensão de escoamento para evitar fenômenos causados pelo estresse de flexão. As seções das vigas são frequentemente usadas nos projetos de asas e devem ser de tal forma para que permitam o afunilamento ou redução eficiente da seção à medida que a viga se estende para fora.

A longarina é o componente mais importante que integra a estrutura da asa de uma aeronave, por isso a maioria delas são fabricadas utilizando metais robustos, em processos de fusão. Assim como, é responsável por transmitir à fuselagem da aeronave praticamente toda a força de sustentação gerada aerodinamicamente pela asa. Atualmente um dos componentes que mais influenciam na massa final da asa da equipe PegAzuls é a longarina, por ser feita usando uma metodologia de baixa eficiência, onde sua seção transversal tem uma mesma forma por toda envergadura da asa.

Tendo em vista, como objeto de estudo geral o dimensionamento de longarinas das asas utilizadas nas competições de 2019, 2020 e 2021 na classe regular a partir das restrições impostas pelo regulamento [1], por meio de cálculos analíticos e ensaios estruturais. O seguinte trabalho tem como objetivos específicos: O dimensionamento da longarina representada como uma viga em balanço; modificar a seção transversal da longarina afim de reduzir sua massa, utilizando de equações que tangem a área de Resistência dos materiais aplicado ao *software SciLab®*; ensaio da estrutura, utilizando esforços obtidos analiticamente; comparar resultados obtidos por cálculos, análise em elementos finitos e valores experimentais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 FLUXOGRAMA DE IMPLEMENTAÇÃO DE PROJETO

Para facilitar a compreensão do projeto, foi elaborado um fluxograma que representa todas as etapas seguidas para a concepção final da longarina com reduções de sua seção transversal, como mostrado na Figura 1.

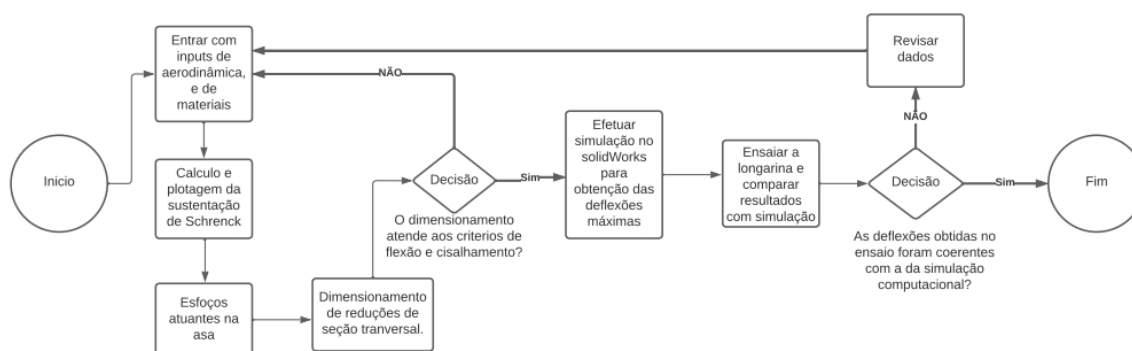


FIGURA 1. Fluxograma de processos para concepção da longarina com reduções na sua seção transversal. (Autoria própria)

Primeiramente é adicionado os *inputs* a rotina feita no *software SciLab®* como: a Equação 3 (distribuição de Schrenk), tensão de escoamento e cisalhamento do material, fator de segurança utilizado no projeto, envergadura da asa, diâmetro de tubos e o módulo de elasticidade do material. Após a inserção dos dados na rotina, o sistema efetua os cálculos e plotagem do momento fletor e do esforço cortante, que são utilizados para o cálculo do dimensionamento dos diâmetros dos tubos que serão utilizados.

Após passar por essa primeira etapa de concepção da longarina e das reduções de seção transversal, é realizado a modelagem e simulação computacional da longarina no *software SolidWorks®*, afim de se obter as deflexões máximas para a realização do ensaio estático da longarina. Após ter as deflexões máximas obtidas no *SolidWorks®* e feito o ensaio estático, que consiste em colocar massas para simular a carga distribuída na asa, é feito a comparação das deflexões experimentais com as obtidas por simulação.

2.2 DISTRIBUIÇÃO DE SUSTENTAÇÃO DE SCHRENK

Segundo [4], a distribuição de sustentação de Schrenk é normalmente utilizada durante a fase de projeto preliminar de uma nova aeronave com baixo enflechamento e alongamento moderado a alto. O método basicamente representa uma média aritmética entre a distribuição de carga originada pelo modelo de asa em questão e uma distribuição elíptica para uma asa de mesma área e mesma envergadura.

De acordo com [4], a aproximação de Schrenk não se aplica a plataformas que utiliza o método de fluxo de vórtices. O fluxo de vórtices tende a aumentar muito as cargas nas pontas das asas. A carga para tal forma deve ser estimada usando análises computacionais ou túneis de vento.

O método em questão é válido para qualquer modelo de asa em estudo, e fornece dados confiáveis do ponto de vista de distribuição de sustentação ao longo da envergadura de uma asa. Na Figura 2, são mostrados dois casos utilizando a aproximação de Schrenk, para uma asa retangular e uma asa trapezoidal.

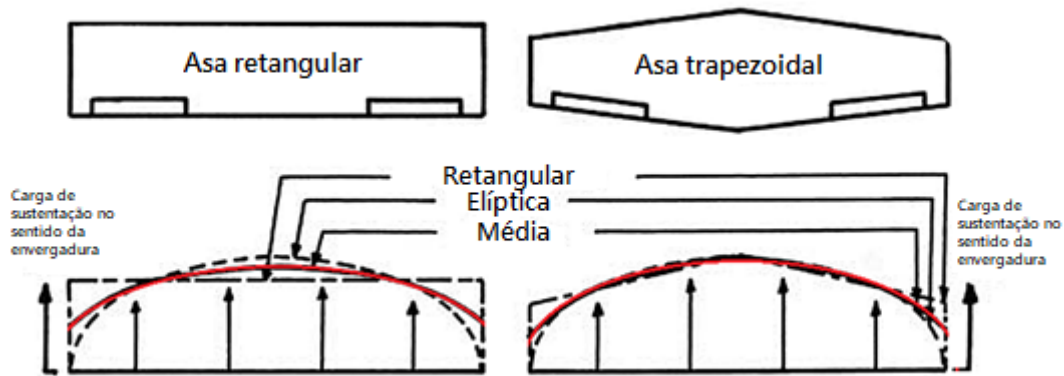


FIGURA 2. Distribuição de Sustentação de Schrenk em dois tipos de asa (Adaptado de [4])

Nas Equações 1, 2 e 3, temos a sustentação (L) em função da envergadura da asa (y), para asas elíptica, trapezoidal e a média entre as duas que representa a aproximação de Schrenk, respectivamente.

$$L(y)_E = \frac{4 \cdot L}{b \cdot \pi} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot y}{b}\right)^2} \quad (1)$$

$$L(y)_T = \frac{2 \cdot L}{(1 + \lambda) \cdot b} \cdot \left[1 + \left(\frac{2 \cdot y}{b} \cdot (\lambda - 1) \right) \right] \quad (2)$$

$$L(y)_{TS} = \frac{L(y)_T + L(y)_E}{2} \quad (3)$$

onde:

$L(y)_E$ = Distribuição de sustentação asa elíptica (N.m)

$L(y)_T$ = Distribuição de sustentação asa trapezoidal (N.m)

$L(y)_{TS}$ = Distribuição aproximada de Schrenk (N.m)

L = Sustentação (N)

λ = relação de (c_t/c_r), corda na ponta e corda na raiz respectivamente

b = Envergadura (m)

y = Posição em relação a envergadura (m)

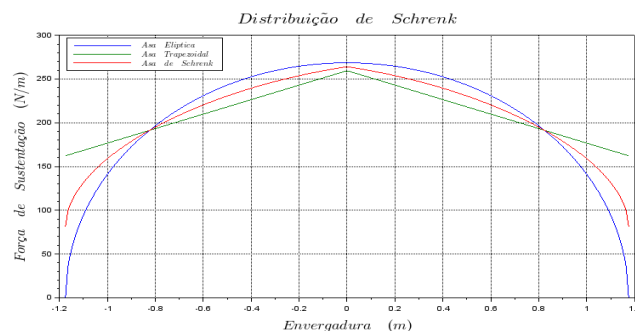


FIGURA 3. Distribuição de Sustentação pela aproximação de Schrenk. (Autoria própria)

Após a plotagem dos gráficos, como mostrado na Figura 3, com as Equações 1, 2 e 3, utilizando o *SciLab*®, é possível extrair os dados da Asa de Schrenk e com o software *WebPlotDigitizer*®, conjuntamente com o *Excel*®, obter a interpolação da curva para a semi-envergadura da asa, como mostra a Figura 4.

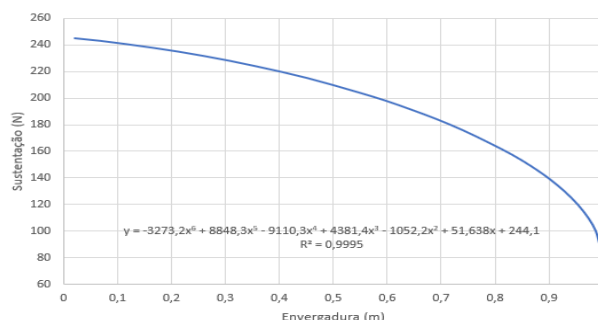


FIGURA 4. Interpolação da distribuição de Schrenk. (Autoria própria)

2.3 CONDIÇÕES DE CONTORNO

De acordo com [5], as condições de contorno são restrições no qual o sistema está submetido. Nesse trabalho foi considerado a fixação da asa na fuselagem. Como a asa não pode rotacionar nem transladar foi considerado o apoio como um engaste.

Para o projeto foram analisados três casos de longarina, a semi-envergadura dos anos de 2019, 2020 e 2021 possuem o comprimento respectivamente de 1100mm, 1000mm e 1000mm. A Figura 5, mostra a longarina discretizada para análise.

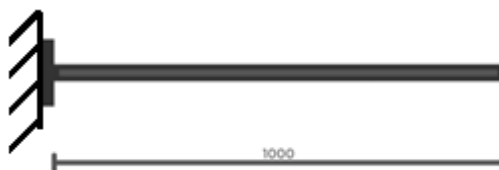


FIGURA 5. Semi-envergadura de longarina simplificada para análise. (Autoria própria)

Para que as condições para flexão pura fossem atendidas foram desconsideradas a força de arrasto, o torque e a força normal gerada na longarina.

2.4 ESCOLHAS DO MATERIAL E SEÇÕES DOS TUBOS

O material escolhido para o dimensionamento foi o tubo de alumínio, por já ter sido muito utilizado pela equipe em várias edições da competição suportando as cargas impostas, e por sua facilidade de compra na região. As propriedades mecânicas no alumínio 6061, mostradas na Tabela 1, foram obtidas a partir de catálogo de fabricante [6]. Esses dados já são utilizados pela equipe e representam informações confiáveis, pois já foram testados e implementados a projetos anteriores sem problemas estruturais.

TABELA 1. Propriedades físicas e mecânicas do alumínio 6061.

Propriedades	Valor
Densidade (ρ)	2,71 g/cm ³
Modulo de Elasticidade (E)	69000 MPa
Limite de Resistencia ($\sigma_{m\acute{a}x}$)	200 MPa
Limite de Escoamento (σ_f)	172 MPa
Tensão de Cisalhamento (τ)	125 MPa

Fonte: [6]. (2022)

Para encontrar a envergadura de cada seção foi tomado como base uma longarina totalmente solicitada pelo momento fletor, o que representaria uma longarina ideal, porém, pelas dificuldades da fabricação de

longarinas desse tipo, foi escolhido fazer o seccionamento. Foi introduzido na rotina de códigos 5 diâmetros comerciais de tubos de alumínio, com espessura de 1mm, após essa etapa tem-se a envergadura que corresponde a cada diâmetro. Na Figura 6, temos a representação da semi-envergadura da longarina com reduções de seção transversal.

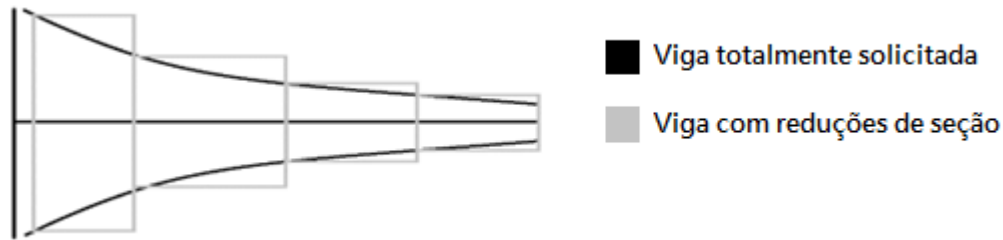


FIGURA 6. Disposição das seções em relação a viga totalmente solicitada. (Autoria própria)

2.5 CÁLCULO DO ESFORÇO CORTANTE E MOMENTO FLETOR NA LONGARINA ATRAVÉS DE MÉTODO ANALÍTICO

Modelando a longarina da asa como uma viga engastada na fuselagem da aeronave, e com a Equação 3, que representa a distribuição de Schrenk, é possível obter os valores de esforço cortante e momento fletor integrando a mesmas em relação a envergadura como mostrado nas Equações 4 e 5.

De acordo com [7]:

$$V(x) = \int -L(x)dx \quad (4)$$

$$M(x) = \int V(x)dx \quad (5)$$

Após efetuar as integrações e com auxílio de um *software* de plotagem de gráficos, é possível obter o esforço cortante e o momento fletor máximos, que são utilizados no dimensionamento pela flexão e pelo cisalhamento.

2.6 TENSÃO DE FLEXÃO E CISALHAMENTO

2.6.1 Tensão de Flexão

Após a plotagem do gráfico de momento fletor é encontrado o momento máximo gerado pela carga distribuída na viga, e assim, é possível efetuar o dimensionamento da longarina. Utilizando as Equações 6, 7 e 8, dadas por [7], é possível dimensionar a longarina e verificar se a mesma falha por flexão.

$$\sigma_{adm} = \frac{M \cdot c}{I} \quad (6)$$

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_f}{FS} \quad (7)$$

$$I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) \quad (8)$$

Onde:

σ_{adm} = Tensão admissível

σ_f = Tensão de flexão do material

M = Momento Máximo

c = Distância da linha neutra até a fibra mais externa da longarina

I = Momento de Inércia da longarina

FS = Fator de segurança

D = Diâmetro externo

d = Diâmetro interno

Colocando a equação em função do diâmetro, fixando a espessura em 1mm (espessura encontrada geralmente em tubos de alumínio da região) é possível através de iterações obter o diâmetro ideal para que a longarina suporte os esforços gerados pela flexão.

2.6.2. Tensão de cisalhamento

Utilizando o esforço cortante máximo obtido pelo gráfico de esforço cortante foi feito o dimensionamento para verificar se a longarina falha por cisalhamento. Tendo em vista que o esforço por flexão é muito maior que por cisalhamento, foi calculado apenas como forma de garantir que a longarina seja resistente tanto a flexão como cisalhamento. Utilizando as Equações 9 e 10, dadas por [7], é possível dimensionar a longarina e verificar se a mesma falha por cisalhamento.

$$\tau_{adm} = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t} \quad (9)$$

$$\tau_{adm} = \frac{\tau_f}{FS} \quad (10)$$

Onde:

τ_{adm} = Tensão de cisalhamento admissível

τ_f = Tensão de cisalhamento do material

Q, t = Propriedades geométricas da seção

Da mesma forma como foi feito anteriormente pelo dimensionamento pela flexão foi feito por cisalhamento, colocando a equação em função do diâmetro é possível através de iterações obter o diâmetro ideal para que a longarina suporte os esforços gerados pelo cisalhamento. Foi observado a partir de simulações que o diâmetro obtido pelo dimensionamento por cisalhamento será sempre menor que por flexão, diante disso, o diâmetro utilizado será o obtido no dimensionamento pela flexão.

2.7 ENSAIO ESTATICO

O ensaio estático consiste em aplicar cargas pontuais na longarina da asa afim de simular as cargas aerodinâmicas sofridas em voo pela asa, com isso, verificar-se se ela suportará os esforços solicitados sem nenhuma falha estrutural, garantindo assim um voo seguro.

A metodologia escolhida foi determinar a quantidade de forças em 5 distâncias iguais, para a carga distribuída de Schrenk, como mostrado na Figura 7. Utilizando as Equações 11 e 12, encontradas em [8], é obtido os valores das forças e suas localizações em torno da longarina.

$$F_R = \int_{x_0} L(x) dx \quad (11)$$

$$\bar{x} = \frac{\int_x x \cdot L(x) dx}{\int_x L(x) dx} \quad (12)$$

Onde:

F_R = Força resultante

$\bar{x}$ = Localização do centroide da área do carregamento distribuído

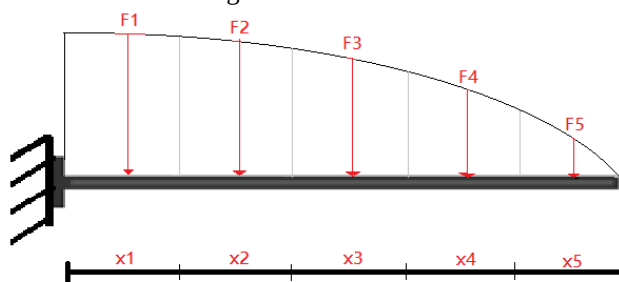


FIGURA 7. Representação de localização das forças em relação a curva de Schrenk. (Autoria própria)

3. RESULTADOS

3.1. DIMENSÕES E CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DA ASA

As dimensões das asas utilizadas, foram dos relatórios [9], [10] e [11], onde elas tem as seguintes dimensões mostradas na Figura 8.

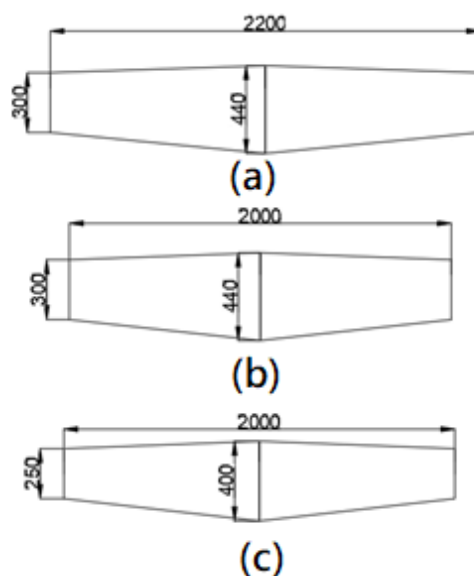


FIGURA 8. Dimensões das asas dos anos de 2019, 2020 e 2021. (Autoria própria)

Na Tabela 2, temos as características das aeronaves dos anos de 2019, 2020 e 2021, que foram implementadas nas rotinas de cálculos analíticos.

TABELA 2. Características das aeronaves.

Características	2019	2020	2021
Máximo peso de decolagem (MTOW)	140,42	170,20 N	210,91 N
Fator de carga	2,35	2,35	2,35
Envergadura (b)	2,20 m	2,00 m	2,00 m
Corda na raiz (c_r)	0,44	0,44 m	0,40 m
Corda na ponta (c_t)	0,30	0,30 m	0,25 m

Fonte: Autoria própria.

3.2 RESULTADOS DAS ROTINAS EM SCILAB

Primeiramente, conseguiu-se os gráficos da distribuição de Schrenk, como mostrado na Figura 9.

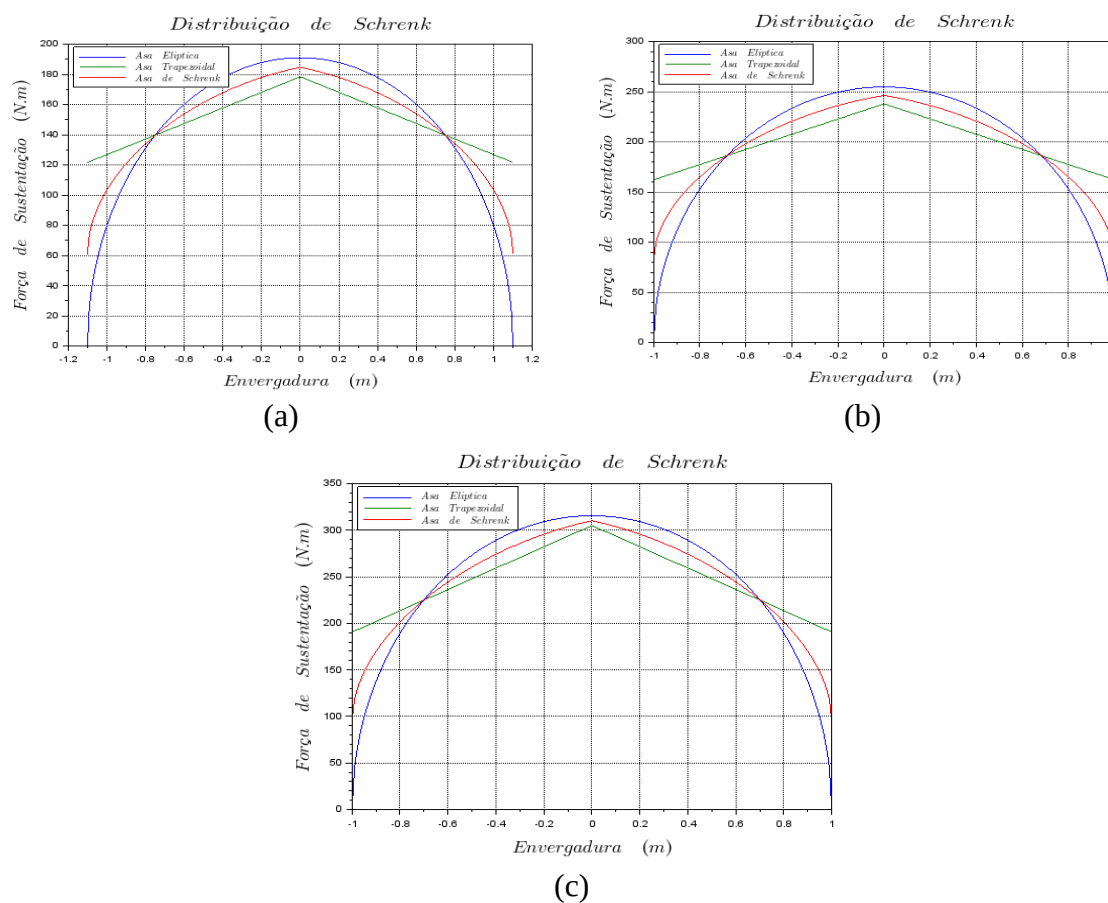


FIGURA 9. Distribuição de sustentação para as asas dos anos de (a)2019, (b)2020, (c)2021. (Autoria própria)

Posteriormente, utilizando os softwares *WebPlotDigitalize*® e *Excel*®, são extraídas as curvas de distribuição de Schrenk para a interpolação para obtenção das equações das curvas. Na Figura 10, tem-se os gráficos com as equações interpoladas.

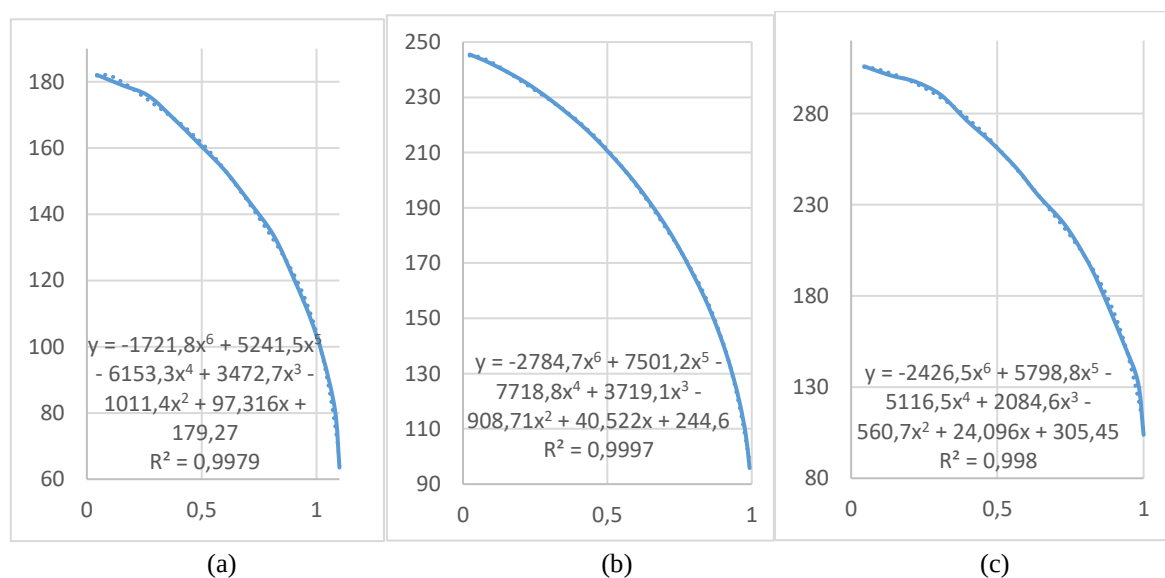


FIGURA 10. Interpolação da Distribuição de sustentação de Schrenk para as asas dos anos de (a)2019, (b)2020, (c)2021. (Autoria própria)

A próxima etapa da rotina é receber os dados da interpolação da curva e efetuar as devidas integrações para a obtenção do esforço cortante e momento fletor. Na Figura 11, temos as curvas de esforço cortante e momento fletor.

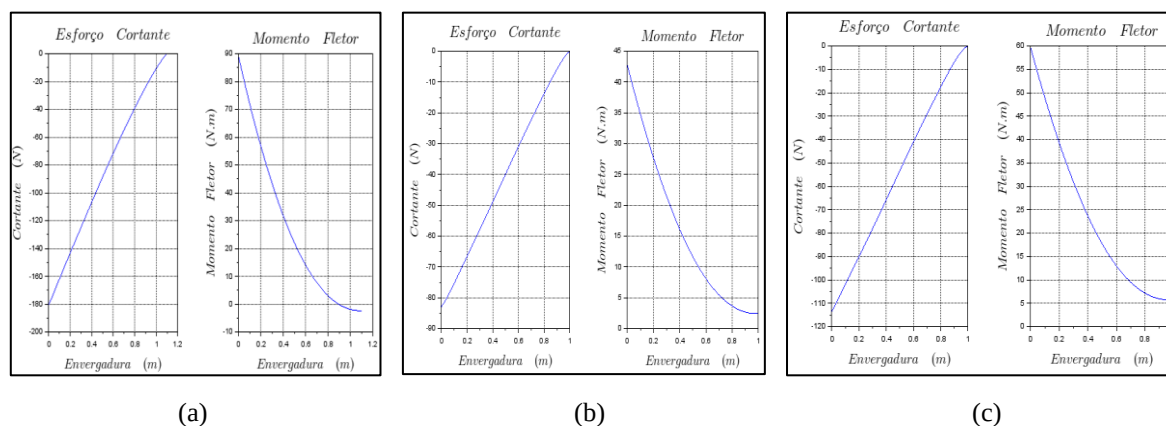


FIGURA 11. Gráficos de esforço cortante e momento fletor para os anos de (a)2019, (b)2020, (c)2021. (Autoria própria)

Após essa primeira etapa onde é encontrado a distribuição de Schrenk, esforços cortantes e momento fletor, é feito o dimensionamento das envergaduras que serão utilizadas para simulação computacional e para confecção das longarinas para ensaio. Na Tabela 3, é mostrado as dimensões das envergaduras e diâmetros de tubos que foram dimensionadas.

TABELA 3. Envergaduras das seções das asas.

Descrição	Seção 1 (31,75 x 29,35) [mm]	Seção 2 (25,4 x 23,4) [mm]	Seção 3 (22,22 x 20,22) [mm]	Seção 4 (15,87 x 13,87) [mm]
Longarina 2019	200	100	200	600
Longarina 2020	-	-	300	700
Longarina 2021	-	200	300	500

Fonte: Autoria própria.

Segue na Figura 12, as dimensões das envergaduras das longarinas e tubos obtidos na rotina em SciLab®.

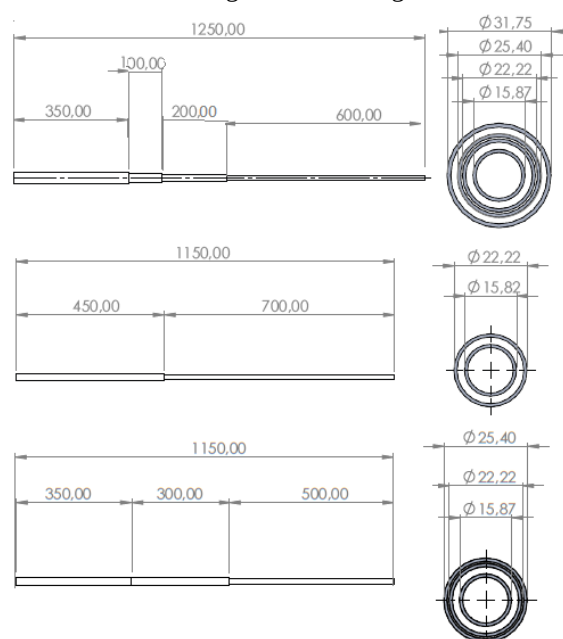


FIGURA 12. Dimensões das longarinas e seus respectivos diâmetros. (Autoria própria)

3.3. SIMULAÇÃO DE DEFLEXÃO COMPUTACIONAL

Nessa etapa foram feitas as simulações computacionais utilizando o *software SolidWorks®*, essa ferramenta foi utilizada a fim de simplificar os cálculos analíticos de deflexão. As cargas utilizadas tanto para a simulação computacional, como no experimento estão apresentadas na Tabela 4.

TABELA 4. Cargas aplicadas na longarina para simulação computacional

Descrição	Massa 1 (kg)	Massa 2 (kg)	Massa 3 (kg)	Massa 4 (kg)	Massa 5 (kg)
Longarina 2019	4,19	4,09	3,91	3,54	2,79
Longarina 2020	3,81	3,74	3,61	3,34	2,93
Longarina 2021	3,94	3,85	3,74	3,42	2,81

Fonte: Autoria própria.

Na Figura 13, é visto as deflexões máximas sofridas por cada longarina com as forças pontuais aplicadas ao longo de sua envergadura.

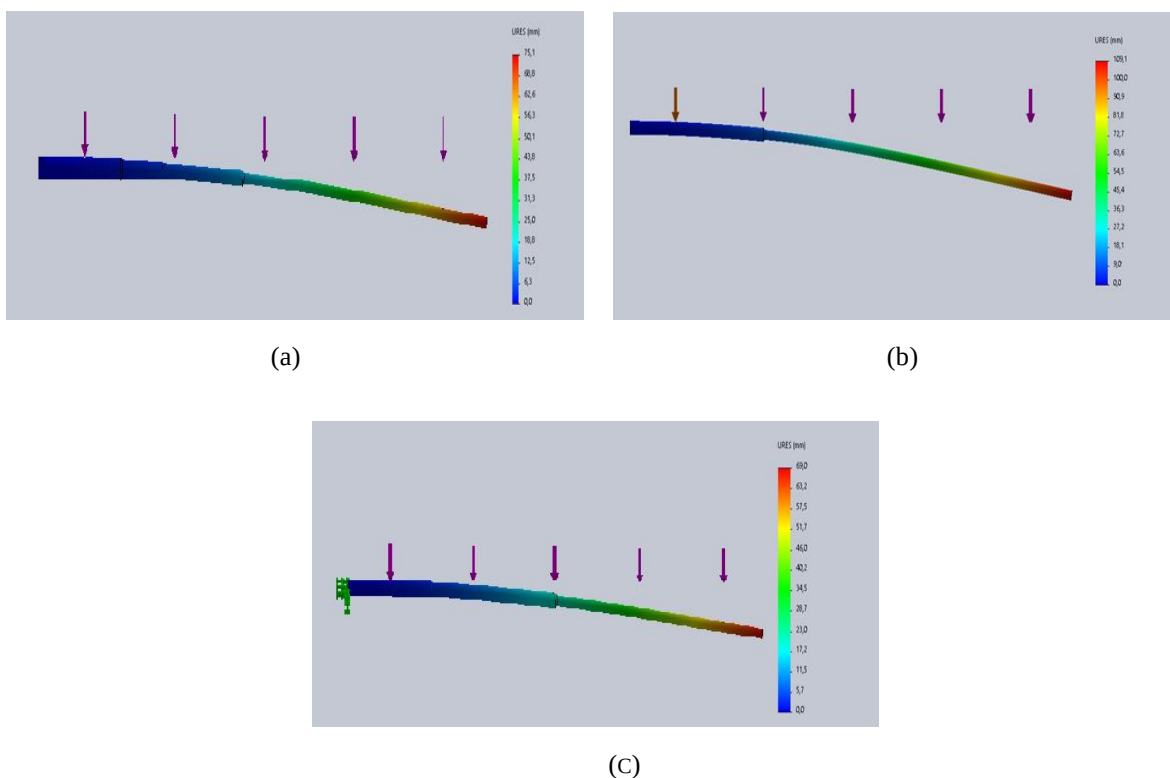


FIGURA 13. Simulação em *SolidWorks®* da deflexão máxima das longarinas do ano de (a) 2019, (b) 2020, (c) 2021. (Autoria própria)

3.4. ENSAIO ESTRUTURAL

Como explicado na Seção 2.7, foi feito o ensaio estrutural da longarina, para a verificar se elas atendiam as forças que as asas sofreriam em voo. Na Figura 14, é mostrado os ensaios de deflexão nas longarinas.



(a)



(b)



(c)

FIGURA 14. Ensaio de deflexão de longarinas (a) longarina com as cargas de 2019, (b) Longarina com as cargas de 2020, (c) Longarina com as cargas de 2021. (Autoria própria)

Um dos pontos principais nesse ensaio é verificar se a estrutura dimensionada não irá falhar por flexão ou cisalhamento e aferir o deslocamento sofrido pela longarina, comparando assim, com resultados obtidos por meio de simulação computacional. Na Tabela 5, podemos observar os deslocamentos sofridos pela longarina no ensaio e visto que as mesmas em comparação com a simulação computacional têm um erro associado.

TABELA 5. Comparação de deflexão obtidas por simulação computacional e experimental.

Descrição	Deflexão Computacional (mm)	Deflexão experimental (mm)	Erro percentual (%)
Longarina 2019	75,10	88,00	17,18
Longarina 2020	109,05	132,00	21,04
Longarina 2021	68,62	77,00	12,21

Fonte: Autoria própria.

Este erro associado pode ter relação com a estrutura em que a longarina foi ensaiada, não garantindo a perfeita fixação do engaste, também, por desconsiderar alguns efeitos como a concentração de tensão na flexão, que é causado pela redução de seção transversal na envergadura da longarina. Alguns erros ainda podem ser associados, como a falta de instrumentação correta para conseguir valores exatos de deflexão, onde ele foi executado com uma régua graduada.

3.5 ANÁLISE DE VIABILIDADE E REDUÇÃO DE MASSA

Após terem sido feitos todas as simulações e ensaios, foi possível verificar uma considerável redução de massa em relação a métodos utilizados anteriormente, onde não se utilizava reduções nas seções transversais da longarina. Mesmo sendo utilizados processos de fabricação um pouco mais complexos que exigem um grau maior de experiência, pois se utiliza do processo de soldagem, se torna viável por ter um custo acessível. Na Tabela 6, é mostrada as diferenças entre as massas das longarinas com e sem as reduções de seção transversal.

TABELA 6. Comparação de massa de longarinas de anos anteriores.

<i>Descrição</i>	<i>Sem redução de seção (g)</i>	<i>Com redução de seção (g)</i>	<i>Redução de massa (%)</i>
Longarina 2019	476,04	389,00	18,28
Longarina 2020	301,38	250,85	16,77
Longarina 2021	355,00	279,00	21,41

Fonte: Autoria própria.

4. CONCLUSÃO

Foi feito o dimensionamento com reduções na seção transversal utilizando a metodologia apresentada, e analisando os resultados, foi encontrado valores bastantes satisfatórios de deflexão e redução de massa em relação a metodologias utilizadas anteriormente pela equipe PegAzuls.

Com a realização dos ensaios estáticos, é possível concluir que as deflexões das longarinas apresentaram valores bem próximos, em comparação as deflexões obtidas por simulação computacional, além disso, foi observado que todas as longarinas dimensionadas suportam todos os esforços mecânicos sem falha, o que garante confiabilidade a metodologia utilizada.

5. AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por sempre estar comigo, nas horas em que mais pensei em desistir e começar algo novo ele me deu forças para continuar a caminhada.

Aos meus pais, Hélio Noberto de Araújo e Francisca Leomar da Silva Araújo, que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste sonho, sem dúvidas eles foram de grande importância para a formação da minha educação e caráter.

Ao meu Orientador, Daut de Jesus Nogueira Peixoto Couras, além de professor e orientador de trabalho de conclusão de curso e projeto de extensão, tornou-se um grande amigo, me dando conselhos e direcionando meu aprendizado.

Aos amigos, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período em que me dediquei a UFERSA.

A todos do Projeto PegAzuls Aerodesign, que foram minha família e apoio, nas brincadeiras de laboratórios e nos momentos que era necessário seriedade. Ao longo desses anos de graduação esse me manteve focado e inspirado a seguir na área de engenharia mecânica, mostrando aptidões e habilidades não aprendidas nas cadeiras regulares do curso.

6. REFERÊNCIAS

- [1] SAE. SAE BRASIL AeroDesign. Regulamento. 23ª COMPETIÇÃO SAE BRASIL AERODESIGN 2021, São José dos Campos - SP, ano 2021, p. 1 - 154, 27 out. 2021.
- [2] MACHADO, Lucas Costa. OTIMIZAÇÃO ESTRUTURAL DE LONGARINAS PARA AERONAVES SAE AERODESIGN. 2018. 56 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Aeroespacial) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <http://www.aeroespacial.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2019/03/OTIMIZA%C3%87%C3%83O-ESTRUTURAL-DE-LONGARINAS-PARA-AERONAVES-SAE-AERODESIGN.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2022.
- [3] NIU, M.C.Y. Airframe Structural Design. Technical Book Company, 1995.
- [4] RAYMER, Daniel P. **Aircraft Design: A conceptual Approach**. 2ª. ed. California: AIAA Education Series, 2004. 745 p. ISBN 0-930403-51-7.
- [5] BUENO, Yago Pablo Rodrigues. DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE RESISTÊNCIA A FLEXÃO DE LONGARINA TUBULAR PARA A ASA DE UMA AERONAVE RADIO CONTROLADA. **XXVI Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica, CREEM 2019**, Bahia, ano 2019, p. 1-8, 19 ago. 2019.
- [6] ALUMÍNIO 6061. In: **Alumínio 6061**. São Paulo: Império dos metais, 2021. Disponível em: https://www.imperiodosmetais.com.br/pdf/download_ficha_tecnica/aluminio/6101.pdf. Acesso em: 22 mar. 2022.
- [7] HIBBLER, R.C. Resistência dos materiais. 7ª Edição. ed. São Paulo: Person Prentice, 2010. 659 p. ISBN 978-85-7605-373-6.
- [8] HIBBELER, R.C. **Statics: Engineering mechanics**. 12. ed. [S. l.]: PEARSON, 2011. ISBN 978-85-4301-376-3
- [9] EQUIPE PEGAZULS AERODESIGN. Relatório subsistema de Aerodinâmica: relatório técnico. Mossoró/RN, 2019.
- [10] EQUIPE PEGAZULS AERODESIGN. Relatório subsistema de Aerodinâmica: relatório técnico. Mossoró/RN, 2020.
- [11] EQUIPE PEGAZULS AERODESIGN. Relatório subsistema de Aerodinâmica: relatório técnico. Mossoró/RN, 2021.

ATA DE DEFESA DO PROJETO FINAL DE CURSO II

As 09:00 horas do dia **15 de junho de 2022**, no Centro de Engenharias I – Sala de Reuniões, reuniu-se a banca examinadora de defesa do Projeto Final de Curso de autoria de **CLINTON NOBERTO SILVA ARAÚJO**, aluno do curso de Engenharia Mecânica desta instituição, com o título **“DIMENSIONAMENTO DA LONGARINA PRINCIPAL COM REDUÇÃO DE SEÇÃO TRANSVERSAL PARA UM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)”**. A Banca Examinadora foi constituída pelos professores Dr. Daut de Jesus Nogueira Peixoto Couras, presidente da banca e Orientador; Dr. Victor Wagner Freire de Azevedo (membro) e Dr. Rômulo Pierre Batista dos Reis. Foram registradas as seguintes ocorrências: Foi apresentado o trabalho pelo discente, houve arguição por parte dos membros da Banca Examinadora. As sugestões de alterações textuais foram entregues ao aluno que se comprometeu em fazê-las na sua totalidade. Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da Banca Examinadora verificou-se que o **aluno foi APROVADO cumprindo as exigências para a aprovação da disciplina Projeto Final de Curso II**. E, para constar, eu, Daut de Jesus Nogueira Peixoto Couras, presidente da Banca Examinadora e Orientador do Trabalho de Conclusão de Curso do aluno **CLINTON NOBERTO SILVA ARAÚJO**, lavrei a presente ata que, após lida e considerada conforme, segue assinada pelos professores membros da banca examinadora.

Mossoró 15 de junho de 2022

DAUT DE JESUS
NOGUEIRA PEIXOTO
COURAS:87794624304

Assinado digitalmente por DAUT DE JESUS NOGUEIRA
PEIXOTO COURAS:87794624304
DN: CN=DAUT DE JESUS NOGUEIRA PEIXOTO COURAS:
87794624304, OU=UFERSA - Universidade Federal Rural do
Semi-Árido, O=ICPEdu, C=BR
Razão: Eu estou aprovando este documento
Localização: sua localização de assinatura aqui
Data: 2022.06.15 15:43:21 -03'00'
Foxit PDF Reader Versão: 11.2.2

Prof. Dr. Daut de Jesus Nogueira Peixoto Couras
Presidente e Orientador



Assinado de forma digital por ROMULO
PIERRE BATISTA DOS REIS:02351281470
Dados: 2022.06.15 15:48:34 -03'00'

Prof. Dr. Rômulo Pierre Batista dos Reis
Membro

VICTOR WAGNER
FREIRE DE
AZEVEDO:06133279427

Assinado de forma digital por
VICTOR WAGNER FREIRE DE
AZEVEDO:06133279427
Dados: 2022.06.15 18:47:47 -03'00'

Prof. Dr. Victor Wagner Freire de Azevedo
Membro