

INSTITUTO FEDERAL

Minas Gerais

Campus Avançado Arcos

Henrique Martins Fideles

Lucas Souza Camargos

Rafael Moreira Soares

Trabalho Acadêmico Integrador I: Protótipo de Planador Não Tripulado

Arcos - MG

2018

Henrique Martins Fideles
Lucas Souza Camargos
Rafael Moreira Soares

Trabalho Acadêmico Integrador I: Protótipo de Planador Não Tripulado

Trabalho Acadêmico Integrador - TAI, apresentado às disciplinas referentes ao primeiro período do curso de Engenharia Mecânica ministrado no Instituto Federal de Minas Gerais, *Campus Arcos*.

Instituto Federal de Minas Gerais – IFMG
Campus Avançado Arcos
Graduação em Engenharia Mecânica

Orientador: Niltom Vieira Junior

Arcos - MG
2018

Resumo

O presente trabalho fundamenta-se no estudo e montagem de um protótipo de planador não tripulado, construído a partir do procedimento para integração das disciplinas de Engenharia Mecânica, no Instituto Federal de Minas Gerais, *Campus Arcos*, com o intuito de obtenção de conhecimento sobre esse assunto abrangente, para adquirir uma compreensão maior sobre o voo de um planador. Planadores são aeronaves sem força motriz, leves e semelhantes aos aviões, que aproveitam das correntes atmosféricas para se manterem em voo, no qual precisam de vários fatores para tal fato, como pode ser citados sua fuselagem, asas, caudas e assim por diante, possivelmente pode-se explicar sobre determinados acontecimentos e componentes referentes ao planador, aplicando conceitos básicos do aeromodelismo para construção do protótipo utilizando madeira balsa e pinus como materiais principais. Destarte esperando como resultado experimental por seu funcionamento utilizando os conhecimentos já obtidos.

Palavras-chave: Planador. Protótipo. Funcionamento. Asas.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Projetos de aeromodelos criados por Leonardo Da Vinci	8
Figura 2 – Otto Lilienthal em um de seus voos	8
Figura 3 – Exemplo da Estrutura de uma Asa	11
Figura 4 – Perfil Aerodinamico da Asa	11
Figura 5 – Cauda do Planador	12
Figura 6 – Tipos de Asas	14
Figura 7 – Efetuando a Montagem do Protótipo	16
Figura 8 – Tabela para criar o modelo Clark Y	18
Figura 9 – Efetuando a Montagem do Protótipo	19
Figura 10 – Representação da Inclinação da Asa	24
Figura 11 – Retângulo Presente na Asa	25
Figura 12 – Triângulo Presente na Asa	26
Figura 13 – Representação da Inclinação da Asa no Matlab	27
Figura 14 – Representação da Inclinação da Asa no Matlab	27
Figura 15 – Retângulo e Triângulo Encontrado na Asa no Matlab	28
Figura 16 – Retângulo e Triângulo Encontrado na Asa no Matlab	28
Figura 17 – Encontrando a Função da Curva da Asa no Matlab	29
Figura 18 – Plotagem Encontrada no Matlab	29
Figura 19 – Desenho Técnico Computacional	32

Lista de tabelas

Tabela 1 – Tabela de Preços	19
Tabela 2 – Cronograma TAI I - 2018	23

Sumário

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	Justificativa	7
2	OBJETIVOS	9
2.1	Objetivos Gerais	9
2.2	Objetivos Específicos	9
3	REFERENCIAL TEÓRICO	10
3.1	Planadores	10
3.2	Componentes e Sistemas	10
3.2.1	Fuselagem	10
3.2.2	Asas	10
3.2.2.1	Aerofólio	11
3.2.3	Cauda do Planador	12
3.2.3.1	Estabilizador Horizontal e Vertical	12
3.2.3.2	Profundor	12
3.2.3.3	Leme	12
3.2.3.4	Trim	12
3.2.4	Diedro	13
3.2.5	Centro de Gravidade	13
3.2.6	Corda da Asa	13
3.2.7	Tipos de Asas Usadas em Planadores	14
3.3	Forças Atuantes	14
3.3.1	Sustentação	14
3.3.2	Peso	14
3.3.3	Arrasto	15
3.3.3.1	Arrasto de Atrito	15
3.3.3.2	Arrasto de Forma	15
3.3.3.3	Arrasto Induzido	15
3.3.4	Tração	15
4	METODOLOGIA	16
4.1	Métodos Utilizados	16
4.2	Materiais Utilizados	17
4.2.1	Madeira Balsa	17
4.2.2	Madeira <i>Pinus</i>	17

4.2.3	Cola Fórmica	18
4.2.4	Verniz	18
4.3	Montagem do Protótipo	18
5	CONCLUSÃO	20
	REFERÊNCIAS	21
	APÊNDICE A –	23
	APÊNDICE B –	24
B.1	Obtenção do Diedro e Áreas Compostas na Asa	24
B.1.1	Inclinação do Diedro da Asa	24
B.1.2	Área Parcial da Asa	25
B.1.3	Retângulo Encontrado na Asa	25
B.1.4	Triângulo Encontrado na Asa	26
	APÊNDICE C –	27
C.1	Aquisição da Função da Curva da Asa e Resolução das Áreas dos Tópicos Anteriores	27
C.1.1	Inclinação do Diedro da Asa no Matlab	27
C.1.2	Retângulo e Triângulo Encontrado na Asa no Matlab	28
C.1.3	Plotagem da curva do Gráfico	29
	APÊNDICE D –	30
D.1	Cálculo da Integral (Oposto da Derivada)	30
	APÊNDICE E –	31
E.1	Influência do Planador na Sociedade	31
	APÊNDICE F –	32
F.1	Desenho Representativo do Projeto	32

1 INTRODUÇÃO

Planadores são aeronaves não motorizadas que possuem densidade maior que a do ar, e estrutura semelhante a de um avião, o que faz com que este seja capaz de manter voo com a ajuda de correntes atmosféricas por um certo período (FBVV, 2012). Possui um desempenho de voo abaixo de uma aeronave motorizada pela falta deste mecanismo, seu uso é restringido apenas à esportes, como o voo a vela, e no treinamento de pilotos iniciantes que não possuem experiência em voo, como por exemplo os cadetes da academia de força aérea brasileira (AMORIM, 2013).

Embora os planadores não possuam motores, alguns utilizam de propulsor próprio, sendo ele retrátil ou não, para se ter capacidade de decolagem única. Por conseguinte, o mesmo contrai o propulsor, que deixa de atuar em seu sistema, passando a voar como um planador tradicional (FBVV, 2012).

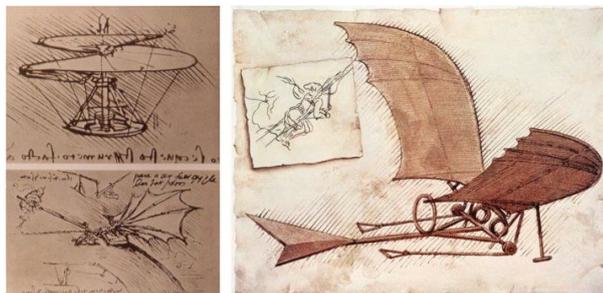
Por seu caráter extremamente furtivo, os planadores tiveram grande destaque durante a Segunda Guerra Mundial, uma vez que estes permitiam a invasão de territórios sem que as tropas inimigas notassem sua presença. No entanto, o fato destas aeronaves serem muito lentas, seu uso para fins bélicos se tornou brando, assim, perdeu espaço para aviões, monomotores e helicópteros (AMORIM, 2013).

Dessa forma, o presente estudo consiste em apresentar um protótipo de planador, abordando alguns conceitos sobre sua aerodinâmica, estrutura física, e seu desempenho em voo, além de aplicar neste, conhecimentos obtidos nas disciplinas referentes ao primeiro semestre do curso de Engenharia Mecânica, ministrados pelo Instituto Federal de Minas Gerais, *Campus Avançado Arcos*.

1.1 Justificativa

Tendo seu início no século XV, a partir de esboços criados por Leonardo Da Vinci, os conceitos de aviação foram aprimorados com o tempo, e os primeiros aeromodelos foram tomando forma aos poucos. No entanto, o desejo do ser humano em explorar “o infinito e desconhecido céu azul” já se mostrava presente muito antes das invenções criadas pelo polímata italiano (AMORIM, 2013).

Figura 1 – Projetos de aeromodelos criados por Leonardo Da Vinci



Fonte: <https://www.pinterest.pt/pin/384354149427465055/?lp=true> (Acesso em: 04 mai. 2018)

Segundo Amorim (2013), na antiguidade, a exploração do ar resumia-se a dois tipos de iniciativas, sendo a de inventores que buscavam criar artefatos capazes de planar, no qual obtiveram como destaque as primeiras pipas, criadas por volta de 600 a.C., e o pombo de madeira criado pelo físico grego Árquitas, 200 anos depois, capaz de voar por até 180 metros. E a de pessoas, que tentavam levantar voo utilizando engenhocas que imitavam movimentos de pássaros sem a obtenção de grandes sucessos.

Logo percebe-se, que a principal vertente para a aviação é o planeio, e a partir que este objetivo é alcançado, iniciam-se estudos voltados ao melhoramento da eficiência do mesmo, por meio da implantação de recursos como as máquinas motoras. Deste modo, conclui-se que, o verdadeiro pai da aviação planada foi o alemão Otto Lilienthal, ao se consagrar o primeiro homem a conseguir fazer voos planados com sucesso (AMORIM, 2013).

Figura 2 – Otto Lilienthal em um de seus voos



Fonte: <http://www.touraine-planeur.org/Site-Touraine-Planeur/index.php/le-vol-a-voile/historique> (Acesso em: 04 mai. 2018)

Assim, o presente projeto terá por objetivo, maximizar os conhecimentos sobre aviação adquiridos pelo grupo, contribuindo para o seu desenvolvimento durante a passagem pelo curso, e ampliando suas vertentes para o mundo do trabalho futuramente.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

O objetivo principal deste trabalho consiste em mostrar como se comporta um planador e quais forças físicas que atuam sobre ele durante o voo, além de desenvolver um protótipo do mesmo, aplicando conceitos relativos ao aerodelismo, e as matérias do primeiro período do curso de Engenharia Mecânica ministrados no Instituto Federal de Minas Gerais – IFMG – Campus Arcos.

2.2 Objetivos Específicos

Este projeto tem por objetivo apresentar o desenvolvimento de um protótipo de planador não tripulado, utilizando conceitos estudados até agora no curso de Engenharia Mecânica, além de:

- Analisar e compreender termos e teorias relacionados a planadores e suas aplicações.
- Identificar os principais componentes de um planador.
- Explicar conceitos aplicados na estruturação de um planador.
- Elaborar um protótipo em escala reduzida para demonstração de seu funcionamento.
- Analisar o desempenho de voo do protótipo.
- Aprimorar, se necessário o modelo em questão.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Planadores

Planadores são aeronaves similares aos aviões pelo seu formato, contudo possuem características distintas, como não possuem força motora, são mantidos no ar pela força de correntes atmosféricas, ou seja, o vento cria correntes que ao entrarem em contato com as asas do planador sustentam-o para que não caia, assim precisando de atenção em seu modelo aerodinâmico para que com o auxílio das leis da física conserve-se no ar (FBVV, 2010).

3.2 Componentes e Sistemas

3.2.1 Fuselagem

Os planadores são leves e pequenos na medida do possível, basicamente dimensionados por meio da carga que transportam. Estes, como quaisquer outras aeronaves são desenvolvidas para serem mais lisas possíveis podendo deslizar no ar com maior facilidade. A fabricação dos primeiros aeroplanos se constituíam de madeira, posteriormente para alumínio, mas como possuíam rebites, acabavam por produzir um arrasto adicional, chegando assim na fabricação por fibra de vidro ou carbono, deixando sua superfície mais homogênea (ALDKINS; BRAIN, sd.).

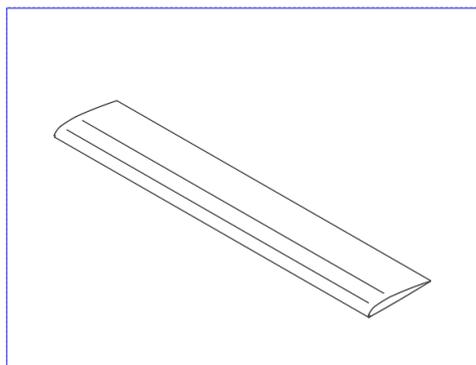
Assim a fuselagem é a parte do avião, planador ou de qualquer aeronave, no qual o piloto se aloja, além de acoplar as asas e caudas para dar o detalhe final do aeroplano (AMORIM, 2013).

3.2.2 Asas

Sendo uma parte fundamental, as asas geram estabilidade ao planador, e graças a elas, o planado desenvolve a reação aerodinâmica em que a sustentação prevalece sobre a força de gravidade, fazendo com que este consiga planar. O ar começa a circular na raiz da asa onde se encontra o bordo de ataque, e passa a sua ponta que situa-se no bordo de fuga (HANGAR 33, 2015).

Existem diversos modelos de asas, cada uma com sua respectiva função, sempre buscando por melhorias para o planador, das quais podem ser citadas, a busca por maior sustentação, balanceamento, melhor estabilidade, entre outras (HANGAR 33, 2015). Nisso o planador possui dois principais sistemas de controle, determinados por *Ailerons* e *Spoilers*.

Figura 3 – Exemplo da Estrutura de uma Asa



Fonte: AutoCad - Autoria Própria

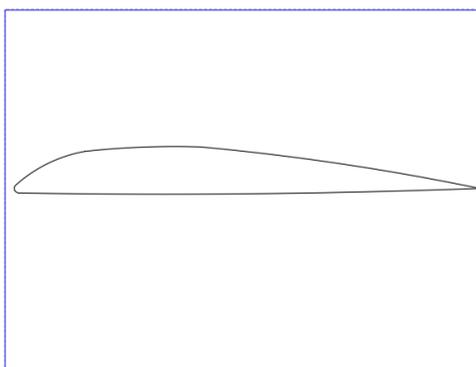
De acordo Amorim (2013), os *Ailerons* são detectados no bordo de fuga das asas e aproximados de suas pontas, sendo assim responsáveis pelo movimento longitudinal do planador, onde estão contidos nas duas asas e se movimentam de maneiras opostas.

Já os *Spoilers* são instrumentos de ausência de sustentação, ou seja, são utilizados para perda de altitude, para fazer uma aterrissagem ou devido algum contratempo que possa ocorrer durante o voo (AMORIM, 2013).

3.2.2.1 Aerofólio

Aerofólio é a estrutura de modelo aerodinâmico capaz de criar sustentação para o planador, no qual tem o intuito de não gerar arrasto em excesso para a aeronave quando atravessa o ar (AMORIM, 2013), como pode ser visto abaixo está um exemplo de um aerofólio.

Figura 4 – Perfil Aerodinamico da Asa

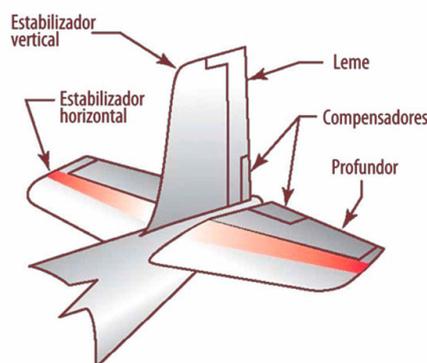


Fonte: AutoCad - Autoria Própria

3.2.3 Cauda do Planador

A cauda do planador é composta por três componentes móveis, como o Profundor, Trim e o Leme, e nas partes imóveis, como estabilizador horizontal e vertical (AMORIM, 2013), onde cada um desses componentes será explicado a seguir.

Figura 5 – Cauda do Planador



Fonte: <http://blog.hangar33.com.br/o-que-sao-para-que-servem-e-os-tipos-de-asas-de-uma-aeronave/> (Acesso em: 05 jun. 2018)

3.2.3.1 Estabilizador Horizontal e Vertical

Os estabilizadores compostos no planador são responsáveis pela estabilidade vertical e longitudinal, o que faz com que a aeronave mantenha-se no ar sem grandes turbulências (GUIA DO AVIADOR, 2017).

3.2.3.2 Profundor

O Profundor conhecido também como arfagem, é o componente do planador responsável por subir ou descer a aeronave, tendo sua localização na parte posterior do estabilizador horizontal, onde consegue levantar ou abaixar o nariz do avião (AMORIM, 2013).

3.2.3.3 Leme

Segundo Amorim (2013), o Leme responsável pelo movimento de rotação no eixo vertical do planador, sendo assim utilizado para manobras, acompanhado dos *Ailerons* e o Profundor. Sua localização está presente na parte posterior do estabilizador vertical.

3.2.3.4 Trim

O Trim é o componente necessário para que o piloto não precise exercer uma força extrema para conseguir fazer uma manobra durante o voo, diminuindo assim a pressão perante os controladores (AMORIM, 2013).

3.2.4 Diedro

Diedro é a angulação da inclinação da asa em associação a um plano horizontal, podendo ser citado três comportamentos diferentes, como positivo, negativo e neutro (AEROFLAP, 201-).

Segundo a Aeroflap (201-), quando o diedro definido como positivo, pode-se observar a teoria do autonivelamento, pois tem presença na conduta de estabilidade lateral na aeronave, ou seja, caso ocorrendo uma mudança na angulação, as forças começam a ficar diferentes, assim a asa que está mais próxima do ângulo zero no plano horizontal sofre um torque fazendo o aeroplano voltar para seu posicionamento normal.

Já o diedro negativo, ocorre uma desestabilização, pois o torque que tinha intuito de nivelar a aeronave, agora tem o intuito de piorar o feito de rolagem, agindo assim como um intensificador de manobras (AEROFLAP, 201-).

E quando ocorre o fato de ser neutra, a asa é indiferente, pode-se fazer curvas para a direita ou esquerda que a inclinação será a mesma, a não ser que um vento ou algo parecido tire-a de seu movimento (AEROFLAP, 201-).

Para calcular a inclinação do diedro, um exemplo é utilizar uma relação trigonométrica ou fórmulas encontradas em geometria analítica, entre outras maneiras.

$$\text{Sen} = \frac{\text{Cateto Oposto}}{\text{Hipotenusa}} \quad \text{Cos} = \frac{\text{Cateto Adjacente}}{\text{Hipotenusa}} \quad \text{Tan} = \frac{\text{Cateto Oposto}}{\text{Cateto Adjacente}} \quad \cos \theta = \frac{\vec{h}\vec{f}}{|\vec{h}||\vec{f}|}$$

3.2.5 Centro de Gravidade

A necessidade de descobrir o centro de gravidade do planador se faz para manter o equilíbrio do mesmo sem pender para ambos os lados durante o voo. Sendo encontrado em um ponto que o próprio se mantenha nivelado cauda e nariz, se faz necessário o uso de um espaço sem interferência de vento, devendo estar apoiado por este local inexistindo rotação. Após este procedimento, estará encontrado o C.G. (Centro de Gravidade) (VERONA, sd.).

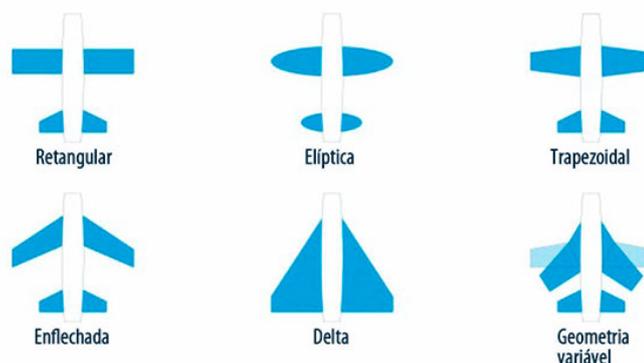
3.2.6 Corda da Asa

As cordas das asas são suas medidas, sendo divididas em três partes chamadas corda da ponta, no qual mede a ponta da asa entre o bordo de fuga e o bordo de ataque, corda da raiz que segue o mesmo contexto da corda da ponta, mas é usada na raiz da asa associada a fuselagem (CUNHA, 2006), e a corda média, sendo esta a mais importante, no qual se faz para calculá-la tendo em base o comprimento da mesma que multiplicada com a área e pressão dinâmica dando origem ao coeficiente do momento ao redor do centro aerodinâmico, tendo como resultado um valor numérico no instante do local calculado (RODRIGUES, 2014).

3.2.7 Tipos de Asas Usadas em Planadores

Dentre as asas mais usadas para os planadores, a elíptica é a que possui maior performance, pois gera menor arrasto induzido, no entanto sua fabricação é complicada pelo fato de exigir uma atenção maior em sua confecção, ou seja, acaba se tornando mais cara do que as outras (AMORIM, 2013).

Figura 6 – Tipos de Asas



Fonte: <<http://blog.hangar33.com.br/o-que-sao-para-que-servem-e-os-tipos-de-asas-de-uma-aeronave>>//(Acesso em: 18 jun. 2018)

Dentre essa asa, existem mais três bastantes comuns como a trapezoidal, retangular e a de enflechamento, porém produzem mais arrasto que o desejado, ou seja, dessas a mais usada é a trapezoidal (AMORIM, 2013).

3.3 Forças Atuantes

3.3.1 Sustentação

Através do escoamento incidente do ar sobre as asas ocorre uma diferença de pressão, gerando então a famosa força de sustentação, sendo das três forças impostas no planador, a mais primordial para o voo gerada pelas asas em reação ao peso. No caso do planador, esse dinamismo é estimulado pelo fato deste aeroplano conter asas bastante eficientes, nisso quanto mais rápido o planador se deslocar, maior será a sustentação sobre ele (ALDKINS; BRAIN, sd.).

3.3.2 Peso

Refere-se a uma força de gravidade, sempre comandada ao centro da terra, o peso está contido em todas as partes do avião, onde pode-se imaginar como atuante em um único ponto do aeroplano, chamado CG denominado Centro de Gravidade (MORAIS et al. 2011).

O peso influencia extremamente no planador, podendo trabalhar contra ou a favor do mesmo, interferindo no seu período de permanência ou distância. Muitos destes possuem tanques de lastros que podem ser enchidos com água antes da decolagem, no qual esse peso adicional gera maior velocidade para a aeronave, onde se o piloto pretender conter a velocidade, poderá exaurir o tanque (ALDKINS; BRAIN, sd.).

3.3.3 Arrasto

Arrasto é a força gerada através do atrito entre o ar e o corpo do planador sendo consequência do escoamento do ar em sua superfície, onde cria diferenças de pressão sobre o mesmo puxando-o para traz (DAHMEN; STUDART, 2006). Esta força se divide em três tipos:

3.3.3.1 Arrasto de Atrito

Arrasto de atrito se relaciona com a superfície do planador, é a força que atua com o escoamento do ar, tendo o conceito de quanto mais liso for a superfície, melhor será a passagem do ar sobre o mesmo, melhorando seu desempenho, e quão mais rugosa ou áspera for, menor será a defluência do ar, no qual ocorrerá um fluxo turbilhonado aumentando a força de arrasto, assim afetando no seu rendimento (DAHMEN; STUDART, 2006).

3.3.3.2 Arrasto de Forma

Arrasto de forma, se relaciona com a área de choque com o ar, ocorrendo a deflexão (quando o ar se desloca em torno do corpo forçando um desvio). Leva o conceito aerodinâmico, que para um desempenho melhor necessita que a área de choque incidente seja uma extremidade arredondada ou em formato triangular para originar menor resistência (DAHMEN; STUDART, 2006).

3.3.3.3 Arrasto Induzido

Arrasto induzido se relaciona com a diferença de pressão exercida entre a parte de baixo da asa (intradorso) e a parte de cima (extradorso), criando na ponta da asa uma turbulência e desestabilizando o mesmo. Para a correção deste problema, foi criado os “Winglets”, que atuam na ponta da asa impedindo a troca de ar estabilizando a pressão (DAHMEN; STUDART, 2006).

3.3.4 Tração

Tração é uma força que exerce um torque para que a aeronave possa decolar e manter-se em voo, vencendo assim a força de arrasto, gerando então uma sustentação para o aeroplano (DOMINGOS, 2011).

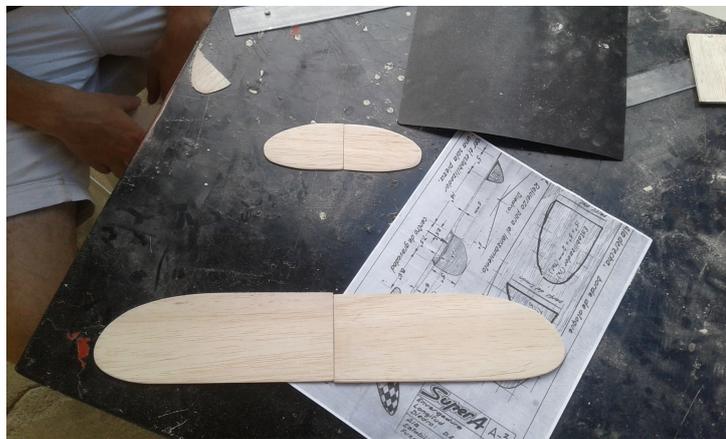
4 METODOLOGIA

4.1 Métodos Utilizados

Em primeira análise, cabe frisar que a ideia do projeto do planador surgiu através de discussões do grupo de TAI I (Trabalho Acadêmico Integrador) integração de conteúdos em prol da consolidação de projetos da engenharia incentivada por professores do Instituto Federal de Minas Gerais, *Campus Arcos*, destinados aos alunos do primeiro período do curso de engenharia Mecânica.

Em busca de pesquisas exploratórias e na construção parcial do projeto, o grupo buscou obter um prévio conhecimento sobre essa área extremamente vasta, onde desenvolveu diversos protótipos em isopor, onde vale destacar a razão da escolha de lançamento manual do protótipo. Muitos planadores, chegam até os ares com o auxílio de outro avião motorizado, que os arrasta com o guincho e, em seguida, os solta. Entretanto, por motivo de o modelo produzido não ocupar um grande espaço e possuir baixo peso, tornou-se capaz de lança-lo manualmente aos ares.

Figura 7 – Efetuando a Montagem do Protótipo



Fonte: Autoria Própria

No entanto, depois da apresentação parcial do projeto, um dos professores apresentou a ideia de optar para o lado do aeromodelismo, onde o grupo se reuniu e discutiu sobre esse assunto, chegando a conclusão de ocorrer essa mudança, pelo fato do isopor ser extremamente desagradável de se manusear, além de ser um material prejudicial ao meio ambiente e gerar uma força de arrasto maior que o pretendido.

Com a decisão tomada, os integrantes conseguiram uma planta de um planador disponibilizada pelo professor Ricardo Carrasco, onde o material a ser utilizado são chapas

de madeira balsa e pinus, própria para a área do aerodelismo, assim aprimorando os assuntos já pesquisados.

Outro aspecto a salientar é como se deu a união das ideias, bem como essas foram aplicadas. Diante de reuniões realizadas nas casas dos integrantes, no *Campus* nos dias dispostos a discussão sobre o TAI I, realizou-se a parte física e teórica do projeto.

Podendo realçar que nessas reuniões nas casas dos integrantes e no próprio *campus* foram possíveis de aplicar as matérias e discutir o local de compra dos materiais a serem utilizados na montagem do protótipo, parte que obteve o maior problema pelo fato de ser extremamente difícil de encontrar tais chapas de madeira balsa, onde os integrantes foram em cidades como Betim, Belo Horizonte, Contagem, Divinópolis, Carmo do Cajuru, Carmo da Mata e Arcos, não obtendo sucesso em nenhum desses municípios, optando assim pela compra via *internet*.

4.2 Materiais Utilizados

Foram utilizados necessariamente quatro materiais principais como a madeira balsa, madeira pinus, cola fórmica e o verniz, onde será explicado um pouco sobre eles a seguir.

4.2.1 Madeira Balsa

O principal material utilizado no projeto é a madeira balsa, uma madeira encontrada desde o Sul do México ao norte da Venezuela, oeste da América do sul até a Bolívia e Amazônia Brasileira, tendo como um dos maiores produtores mundiais a Costa Rica (CALDEIRA, 2017).

Constantemente utilizada para o aerodelismo, maquetes e outros trabalhos, essa madeira possui baixa densidade, e grandes resistências à tensões, sendo assim fácil de trabalhar, e ideal para a construção naval, aérea e civil, também extremamente usadas por suas qualidades isolantes contra o calor ou frio, sua eficácia de flutuar sobre a água, e sua eficiência de minimizar o som ou vibrações mecânicas (CALDEIRA, 2017).

4.2.2 Madeira *Pinus*

A madeira *Pinus* utilizada na fuselagem do planador teve seu molde cortado a laser, tal madeira foi conduzida para o Brasil por volta de 1970, e cultivada nas regiões sul e sudeste do país, onde há muitas áreas destinadas ao reflorestamento. A escolha do grupo por esse material é pelo fato da madeira possuir características que facilitam na montagem do protótipo. Entre as vantagens que este material apresenta, está a fácil maleabilidade, aderência e resistência a impactos que é necessária para suportar quedas e garantir o sustento das asas, estabilizadores e leme. Ademais, o *Pinus* é uma madeira cultivada

exclusivamente para a extração, desde que o seu plantio tem o intuito de preservar as outras espécies de árvores da natureza, evitando assim o desmatamento (MAINA, 2017).

4.2.3 Cola Fórmica

A cola adesiva utilizada na união entre as asas e a fuselagem do planador foi a cola fórmica Adesivo Amazonas, tal produto fora escolhido por apresentar boa aderência e resistir à quedas. O pai de um integrante do grupo doou o material para a conclusão do projeto.

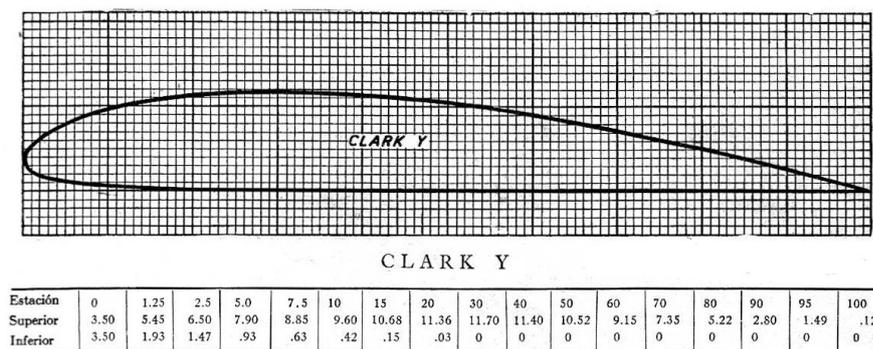
4.2.4 Verniz

O verniz é uma camada de tinta utilizada para dar acabamento visual em objetos e também pode ser utilizado para reduzir o atrito. No nosso projeto, a aplicação do verniz foi com a intenção de reduzir a influência de atrito nas asas do planador, e então o verniz *spray* da marca Colore foi usado para diminuir a rugosidade superficial da madeira, pois esse cobrirá os poros da mesma.

4.3 Montagem do Protótipo

Para efetuar a montagem do protótipo, foi escolhido o modelo de aerofólio Clark Y, onde o mesmo é baseado em dados de tabelas usadas na corda do seu perfilamento para chegar a seu formato aerodinâmico .

Figura 8 – Tabela para criar o modelo Clark Y



Fonte: <http://airbis.blogspot.com/> (Acesso em: 18 jun. 2018)

Sabendo deste detalhe, foi possível começar a montagem do planador através do seu desenho técnico, podendo assim cortar e modular seus componentes.

Sua fuselagem teve corte a *laser* em uma marcenaria localizada na cidade de Carmo do Cajuru, enquanto suas asas e estabilizadores teve corte manual a estilete e

detalhamento na lixa, onde que depois de todas as partes cortadas foi possível efetuar a montagem, usando cola fórmica e deixando secar durante uma noite, depois finalizado teve sua superfície coberta por uma fina camada de verniz estando pronto para voar.

Figura 9 – Efetuando a Montagem do Protótipo



Fonte: Autoria Própria

Tabela 1 – Tabela de Preços

MATERIAIS	QTDE	PREÇO	TOTAL
Chapa Madeira Balsa	01	R\$ 29,66	R\$ 29,66
Madeira <i>Pinus</i>	01	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Lixa	04	R\$ 2,00	R\$ 8,00
Cola Fórmica	01	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Verniz	01	R\$ 8,40	R\$ 8,40
Depron	08	R\$ 0,25	R\$ 2,00
Tubo de Cola Quente	03	R\$ 0,50	R\$ 1,50
			R\$ 49,56

Fonte: Autoria Própria

5 CONCLUSÃO

Assim, conhecendo um pouco sobre os planadores que são aeronaves sem força motriz, pode-se entender que a razão de seu planeio é devido ao seu leve peso, grandes asas, e pequena incidência de atrito, fazendo com que o mesmo tenha um aproveitamento melhor de voo. Portanto a ideia desse trabalho é mostrar o funcionamento deste aeroplano de maneira sucinta e causar o interesse das pessoas em entender o verdadeiro motivo desta aeronave não motorizada conseguir se manter no ar por um tempo considerável.

Referências

AEROFLAP. Tipos de asa e sua aerodinâmica-Diedro. Disponível em: <http://www.aeroflap.com.br/_tiposdesasa_diedro/>. Acesso em: 09 jun. 2018.

ALDKINS, B; BRAIN, M. **Como funcionam os planadores**. Traduzido pela Associação de Vôo à Vela da Carolina do Norte. Belo Horizonte: Vento Norte - BH, sd. 9 p.

AMORIM, B. H. S. **Estudo de desempenho do planador astir III classe standard pelo método da colocação a partir da teoria da linha de sustentação de prandtl**. 2013. 113f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

CALDEIRA, R.A.P.F. **Propriedade da Madeira Pau-de-Balsa em Duas Idades**. 2017. 24f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal)-Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

CUNHA, L.N. **Análise Aerodinâmica Parametrizada Para Aviões de Pequeno Porte**. 2006. 127f. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Computação)-Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia, Centro Universitário de Brasília, Brasília.

DAHMEN, S; STUDART, N. A física do voo na sala de aula. **Física na Escola**. Brasil, v.7, n.2, p. 36-42, 14 out. 2006.

DOMINGOS, Fernando. *Manual do Piloto: Forças que atuam no avião*. Disponível em: <<http://manualdopiloto.blogspot.com/2011/02/forcas-que-atuam-no-aviao.html>> Acesso em: 09 jun. 2018.

GUIA DO AVIADOR. *Partes do Avião*. Disponível em: <<https://guiadoaviador.wordpress.com/2017/03/30/partes-do-aviao-parte-1/>>. Acesso em: 09 jun. 2018.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE VOO A VELA. *O que é voo a vela?*. Disponível em: <<http://www.planadores.org.br/index.php/o-esporte/o-que-e.html>>. Acesso em: 03 mai. 2018.

HANGAR 33. *O que são, para que servem e os tipos de asas de uma aeronave*. Disponível em: <<http://blog.hangar33.com.br/o-que-sao-para-que-servem-e-os-tipos-de-asas-de-uma-aeronave/>>. Acesso em: 04 mai. 2018.

MAINA, Alex. **Avaliação da Resistência Mecânica e Influência na Cor da Madeira Pinus sp. Sob Ação de Intempéries**. 2017. 26f. Trabalho de Conclusão de Curso

II (Coordenação de Engenharia Florestal) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2013.

MORAIS, V; JÚNIOR, A; FILHO, J; AMARAL, R. Projeto de construção de um aeromodelo como auxílio nos estudos de engenharias. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE DINÂMICA, CONTROLE E APLICAÇÕES, 10, 2011, São Carlos. **anais...**São Carlos: Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional, 2011. p. 659 - 662.

RODRIGUES, Luiz Eduardo Miranda José. **Fundamentos da Engenharia Aeronáutica com Aplicações ao Projeto SAE-AeroDesign: Aerodinâmica e Desempenho**. 1. ed. Salto/SP: www.engbrasil.eng.br, 2014. 320p.

VENTURI, Jaci. J. Álgebra Vetorial e Geometria Analítica. 9^a. ed. Curitiba: Infante, 1949. 242p.

VERONA, Luis Antonio. **Escola de Aviação Civil**. Florianópolis, sd. (Apostila).

APÊNDICE A –

Para se desenvolver o trabalho em questão, foi criado um cronograma de tarefas a serem cumpridas distribuída por meses, no qual teve o intuito de organizar as mesmas necessárias para conclusão do projeto.

Tabela 2 – Cronograma TAI I - 2018

ETAPAS DO PROJETO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO
Levantamento de Referências Bibliográficas	X	X	X	X	X
Estudo sobre o Planador	X	X	X		
Relatório Parcial		X			
Discussão sobre objetos a serem usados	X	X			
Aquisição dos itens para montagem			X	X	
Montagem do Planador				X	
Relatório Final				X	
Apresentação Final					X

Fonte: Autoria Própria

APÊNDICE B –

B.1 Obtenção do Diedro e Áreas Compostas na Asa

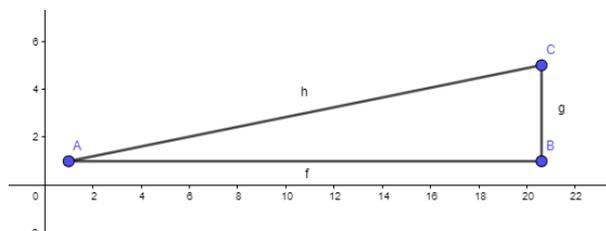
Para calcular o diedro e as áreas compostas na asa, utilizou-se da geometria analítica que é o estudo de pontos em um plano ou espaço extremamente usada na engenharia, onde pode-se utilizá-la através do sistema de coordenadas cartesianas, no intento de manipular equações em planos, círculos, retas e assim por diante (VENTURI, 2015).

Destarte, pode-se utilizá-la neste trabalho para encontrar a angulação do diedro e uma parte da área da asa, sendo demonstrado a seguir.

B.1.1 Inclinação do Diedro da Asa

Sabendo que a altura de uma parte da asa é de cinco centímetros e seu comprimento é de vinte centímetros, é possível criar um gráfico utilizando tais valores, como pode ser visto na figura abaixo, onde h terá comprimento de vinte, e f será a altura de cinco.

Figura 10 – Representação da Inclinação da Asa



Fonte: Geogebra - Autoria Própria

Assim através dos vetores formados no sistema de coordenadas cartesianas, é capaz de se encontrar o ângulo formado através da equação abaixo.

$$\cos \theta = \frac{\vec{h}\vec{f}}{|\vec{h}||\vec{f}|}$$

$$\vec{h}(19, 6 : 5)$$

$$\vec{f}(19, 6 : 0)$$

$$\vec{h}\vec{f} = (19, 6 * 19, 6) + (5 * 0) = 384, 16$$

$$|\vec{h}| = \sqrt{19,6^2 + 5^2} = \sqrt{409,16}$$

$$|\vec{f}| = \sqrt{19,6^2 + 0^2} = \sqrt{384,16}$$

$$|\vec{h}||\vec{f}| = \sqrt{409,16} * \sqrt{384,16} = \sqrt{157.182,9056}$$

$$\cos \theta = \frac{384,16}{\sqrt{157.182,9056}}$$

$$\cos \theta \simeq 0,9689 \text{ rad}$$

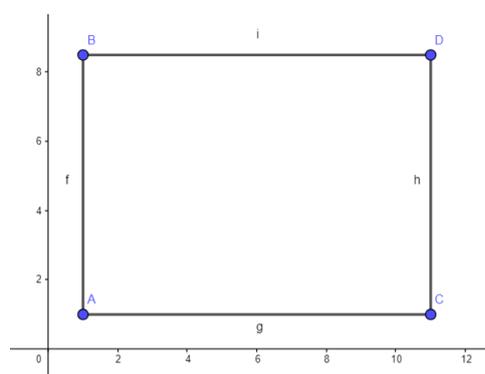
$$\cos^{-1} \theta \simeq 14,4^\circ$$

B.1.2 Área Parcial da Asa

Observando a asa do planador é possível enxergar figuras geométricas contidas na mesma que se tornam possível chegar a uma área estimada de uma parte de suas asas e calculá-las através da Geometria Analítica.

B.1.3 Retângulo Encontrado na Asa

Figura 11 – Retângulo Presente na Asa



Fonte: Geogebra - Autoria Própria

A(1,1)

B(1:8,5)

C(11,1)

$$D(11;8,5)$$

$$\vec{BA} = (1 - 1 : 8,5 - 1) = (0 : 7,5)$$

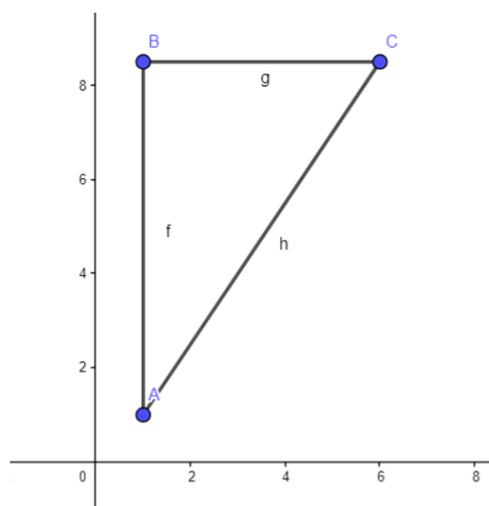
$$\vec{CA} = (11 - 1, 1 - 1) = (10, 0)$$

$$A = \vec{CA} \times \vec{BA} = |D|$$

$$A = \begin{vmatrix} 10 & 0 \\ 0 & 7,5 \end{vmatrix} = 75 \text{ cm}^2 \text{ ou } 7.500 \text{ mm}^2$$

B.1.4 Triângulo Encontrado na Asa

Figura 12 – Triângulo Presente na Asa



Fonte: Geogebra - Autoria Própria

$$A(1,1)$$

$$B(1;8,5)$$

$$C(6;8,5)$$

$$\vec{BA} = (1 - 1 : 8,5 - 1) = (0 : 7,5)$$

$$\vec{CB} = (6 - 1 : 8,5 - 8,5) = (5, 0)$$

$$A = \frac{\vec{CB} \times \vec{BA}}{2} = \frac{|D|}{2}$$

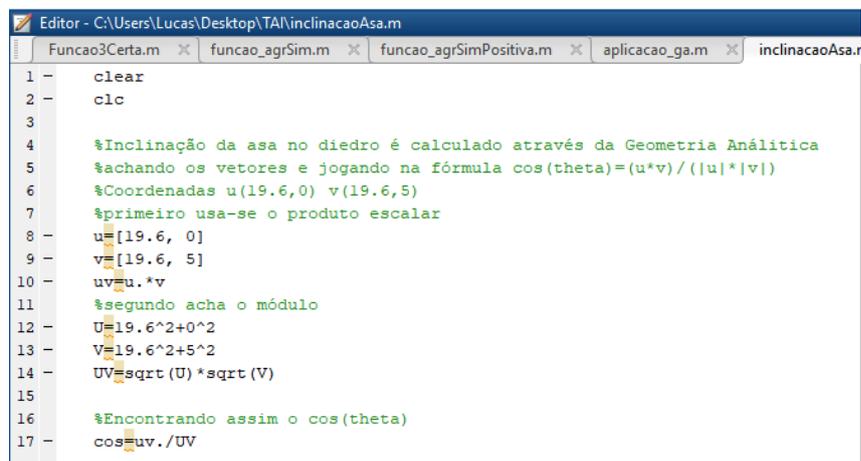
$$A = \frac{5 \ 0}{0 \ 7,5} = \frac{37,5}{2} = 18,75 \text{ cm}^2 \text{ ou } 1.875 \text{ mm}^2$$

APÊNDICE C –

C.1 Aquisição da Função da Curva da Asa e Resolução das Áreas dos Tópicos Anteriores

C.1.1 Inclinação do Diedro da Asa no Matlab

Figura 13 – Representação da Inclinação da Asa no Matlab



```

Editor - C:\Users\Lucas\Desktop\TA\InclinacaoAsa.m
Funcao3Certa.m x funcao_agrSim.m x funcao_agrSimPositiva.m x aplicacao_ga.m x inclinacaoAsa.r
1 - clear
2 - clc
3
4 %Inclinação da asa no diedro é calculado através da Geometria Análítica
5 %achando os vetores e jogando na fórmula cos(theta)=(u*v)/(|u|*|v|)
6 %Coordenadas u(19.6,0) v(19.6,5)
7 %primeiro usa-se o produto escalar
8 - u=[19.6, 0]
9 - v=[19.6, 5]
10 - uv=u.*v
11 %segundo acha o módulo
12 - U=19.6^2+0^2
13 - V=19.6^2+5^2
14 - UV=sqrt(U)*sqrt(V)
15
16 %Encontrando assim o cos(theta)
17 - cos=uv./UV
  
```

Fonte: Matlab - Autoria Própria

Figura 14 – Representação da Inclinação da Asa no Matlab



```

Command Window
19.6000    5.0000

uv =
384.1600    0

U =
384.1600
|
V =
409.1600

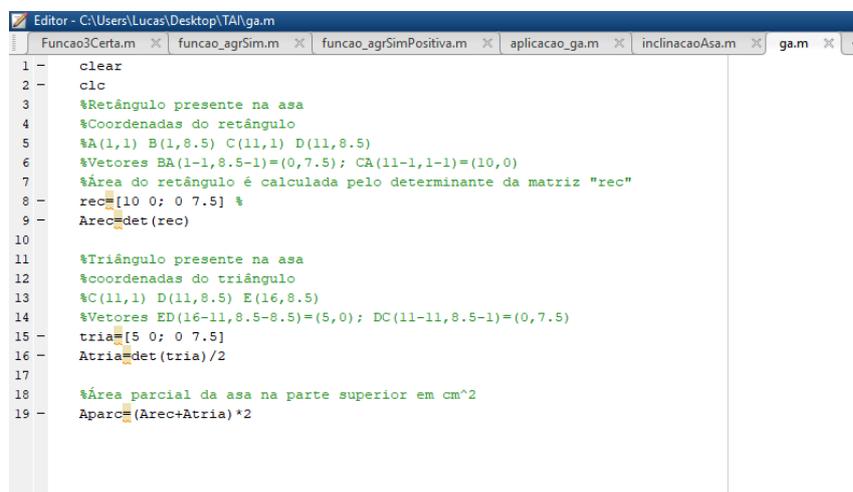
UV =
396.4630

cos =
0.9690    0
  
```

Fonte: Matlab - Autoria Própria

C.1.2 Retângulo e Triângulo Encontrado na Asa no Matlab

Figura 15 – Retângulo e Triângulo Encontrado na Asa no Matlab

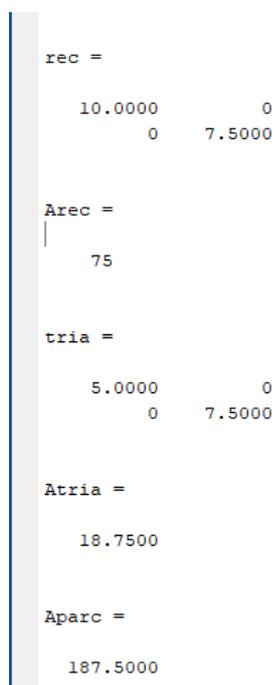


```

Editor - C:\Users\Lucas\Desktop\TA\ga.m
Funcao3Certa.m x funcao_agrSim.m x funcao_agrSimPositiva.m x aplicacao_ga.m x inclinacaoAsa.m x ga.m x +
1 - clear
2 -clc
3 %Retângulo presente na asa
4 %Coordenadas do retângulo
5 %A(1,1) B(1,8.5) C(11,1) D(11,8.5)
6 %Vetores BA(1-1,8.5-1)=(0,7.5); CA(11-1,1-1)=(10,0)
7 %Área do retângulo é calculada pelo determinante da matriz "rec"
8 - rec=[10 0; 0 7.5] %
9 - Arec=det(rec)
10
11 %Triângulo presente na asa
12 %coordenadas do triângulo
13 %C(11,1) D(11,8.5) E(16,8.5)
14 %Vetores ED(16-11,8.5-8.5)=(5,0); DC(11-11,8.5-1)=(0,7.5)
15 - tria=[5 0; 0 7.5]
16 - Atria=det(tria)/2
17
18 %Área parcial da asa na parte superior em cm^2
19 - Aparc=(Arec+Atria)*2
  
```

Fonte: Matlab - Autoria Própria

Figura 16 – Retângulo e Triângulo Encontrado na Asa no Matlab



```

rec =
    10.0000     0
         0    7.5000

Arec =
    75

tria =
    5.0000     0
         0    7.5000

Atria =
    18.7500

Aparc =
    187.5000
  
```

Fonte: Matlab - Autoria Própria

C.1.3 Plotagem da curva do Gráfico

Figura 17 – Encontrando a Função da Curva da Asa no Matlab

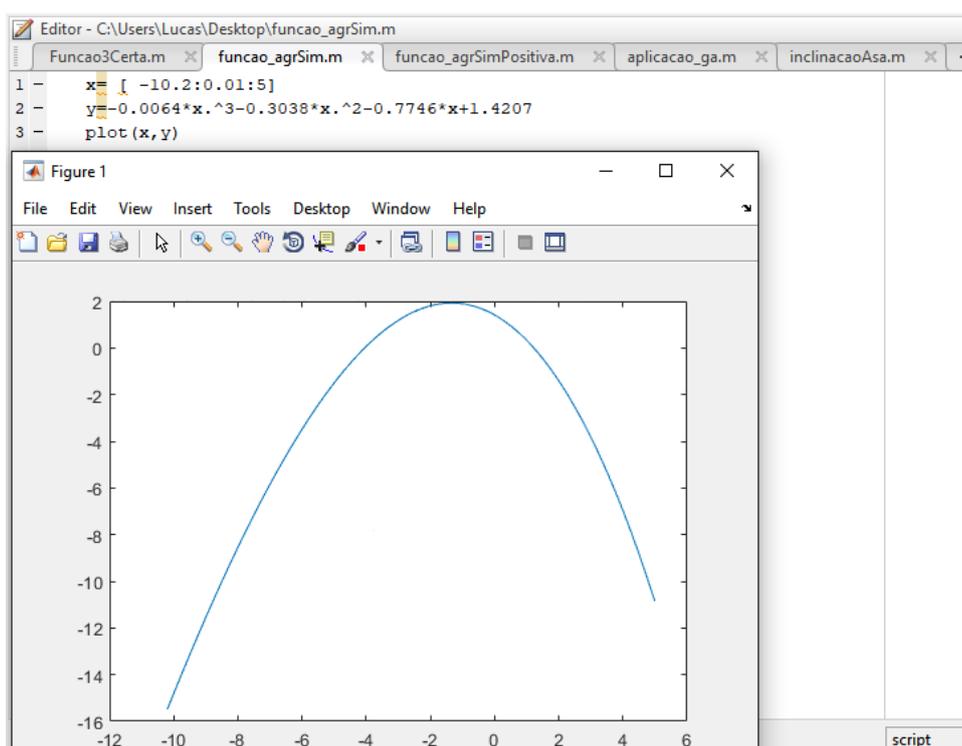
```

Funcao3Certa.m x funcao_agrSim.m x funcao_agrSimPositiva.m x aplicacao_ga.m x inclinacaoAsa.m x +
1 - clear
2 - clc
3
4 %Através das coordenadas traçadas (X,Y) pode-se achar a função da curva da asa com a utilização do MatLab usando o comando PolyFit.
5
6 x = [-10.2 -10 -9.7 -9.6 -9.4 -9.2 -8.8 -8.6 -8.4 -8 -7.5 -7 -6.3 -5.6 -4.8 -3.2 -2 -1 0 2.2 3.2 3.4 3.8 4 4.2 4.5 4.6 4.8 5 5 5 5 ]
7 y = [ 19 17 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0.1 0.05 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 14 19 ]
8 p = polyfit(x,y,3)
9
10 tabelaAP(:,1)=x';
11 tabelaAP(:,2)=y';
12
13 disp(' X Y')
14 disp(' ')
15 disp(tabelaAP)
16
17 %Inserindo o intervalo em X com o valor 0.01, obtemos uma curva suave na
18 %função encontrada.
19 %pode-se plotar o gráfico da função gerando a curva.
20 x = [-10.2:0.01:5]
21
22 y = -0.0064*x.^3-0.3038*x.^2-0.7746*x+1.4207
23 plot(x,y)

```

Fonte: Matlab - Autoria Própria

Figura 18 – Plotagem Encontrada no Matlab



Fonte: Matlab - Autoria Própria

APÊNDICE D –

D.1 Cálculo da Integral (Oposto da Derivada)

Para calcular a área superficial da asa do planador, foi preciso utilizar o método de integral, que é o oposto da derivada, assim depois da função integrada foi possível obter a determinada região.

$$\int_a^b f(x) dx = F(b) - F(a)$$

$$\int_{-102}^{50} (-0,0064x^3 - 0,3038x^2 - 0,7746x + 1,4207) dx = ?$$

$$\frac{-0,0064x^4}{4} - \frac{0,3038x^3}{3} - \frac{0,7746x^2}{2} + \frac{1,4207x}{1} \Big|_{-102}^{50}$$

$$-0,0016x^4 - 0,101267x^3 - 0,3873x^2 + 1,4207x \Big|_{-102}^{50}$$

$$-0,0016(50)^4 - 0,101267(50)^3 - 0,3873(50)^2 + 1,4207(50) = -1.623,7375 \text{ mm}^2$$

$$-0,0016(-102)^4 - 0,101267(-102)^3 - 0,3873(-102)^2 + 1,4207(-102) = 3.536,060394 \text{ mm}^2$$

$$\int_a^b f(x) dx = 3.536,060394 - (-1.623,7375) = 5.159,797894 \text{ mm}^2$$

$$\int_{-10,2}^5 (-0,0064x^3 - 0,3038x^2 - 0,7746x + 1,4207) dx = 5.159,797894 \text{ mm}^2$$

Somando a área encontrada através da integral com a área do retângulo encontrada em Geometria Analítica e multiplicando por dois, pode-se obter a área completa da asa.

$$(5.159.797894 + 7.500)2 = 25.319,595788 \text{ mm}^2$$

APÊNDICE E –

E.1 Influência do Planador na Sociedade

Desde a antiguidade vários cientistas já buscavam uma maneira de voar como os pássaros, buscando vários conhecimentos e evoluindo ciências para tal fato, até chegar ao almejado planador como foi visto no trabalho. Tais planadores foram muito utilizados na Segunda Guerra Mundial com o intuito de chegar em terras inimigas para guerrilhar, um exemplo foi a Alemanha que se especializou na construção destes aeroplanos, mas com o passar do tempo sua utilização tendeu para o lazer e o treinamento de pilotos iniciantes.

Vale frisar também, que o projeto do planador vem com a proposta de voo sem a necessidade de motor, eximindo assim, a eliminação de gases poluentes na atmosfera, tendo sua matéria prima retirada de árvores próprias para este consumo, reduzindo o desmatamento e preservando nosso ecossistema. Contudo, pode-se observar que os planadores tiveram um grande intuito no avanço dos aviões em geral, sendo usado inclusive para testes, pelo fato deste aeroplano ser de fácil montagem em relação a um avião convencional.

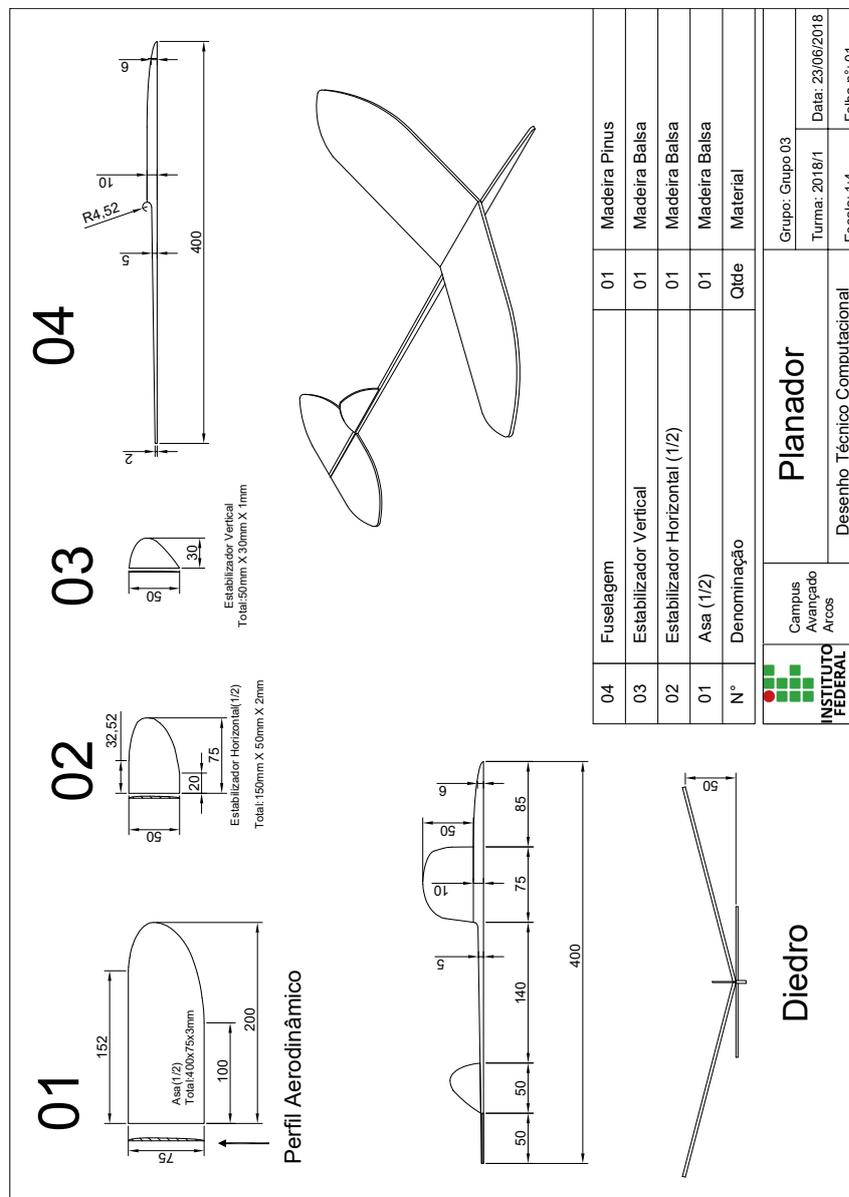
Salientando assim, que todo o processo desde a coleta do material utilizado até a montagem, era manufaturada, pelo fato de atualmente a maioria de suas peça serem distribuídas com tamanhos e formas padrão sendo confeccionadas em fábricas, continuando o trabalho manualmente apenas para montar o protótipo.

APÊNDICE F –

F.1 Desenho Representativo do Projeto

O desenho técnico computacional possui suas medidas todas em milímetros, onde pode-se observar suas vistas e perspectiva a seguir.

Figura 19 – Desenho Técnico Computacional



Fonte: AutoCad - Autoria Própria