

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS *CAMPUS* ARCOS
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Anderson Kennedy Souza Costa

**Desenvolvimento de SOFTWARE de análise e
balanceamento de peso em aeronaves de pequeno porte**

Arcos, MG

2024

ANDERSON KENNEDY SOUZA COSTA

**Desenvolvimento de SOFTWARE de análise e
balanceamento de peso em aeronaves de pequeno porte**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais
– *Campus Arcos* como requisito parcial para obtenção
do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo Gonçalves Leão
Junior

Arcos, MG

2024

Catálogo na Fonte Biblioteca IFMG - Campus Avançado Arcos

C837d Costa, Anderson Kennedy Souza.

Desenvolvimento de SOFTWARE de análise e
balanceamento de peso em aeronaves de pequeno porte. /
Anderson Kennedy Souza Costa. - Arcos, 2024.
41 f. : il. color.

Orientador: Prof. Reginaldo Gonçalves Leão Junior. Trabalho
de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) -
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas
Gerais - *Campus Avançado Arcos*.

1. Aeronaves. I. Leão Junior, Reginaldo Gonçalves (orientador).
III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas
Gerais - *Campus Avançado Arcos*. IV. Título.

CDD 629.433

Catálogo: Meriely Ferreira de Almeida - CRB-6/2760



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Avançado Arcos
Diretoria de Ensino
Docentes Área Básica
Av. Juscelino Kubitschek, 485 - Bairro Brasília - CEP 35588000 - Arcos - MG
3733515173 - www.ifmg.edu.br

ATA DE DEFESA DO TCC

No dia **primeiro** de **Agosto** do ano de 2024, às **dezoito horas e trinta minutos**, sob a presidência do **Prof. Dr. Reginaldo Gonçalves Leão Junior**, o discente do Curso de **Bacharelado em Engenharia Mecânica**, **ANDERSON KENNEDY SOUZA COSTA**, R.A nº **0047188** do IFMG – Campus Arcos, defendeu o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “**DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE DE ANÁLISE E BALANCEAMENTO DE PESO EM AERONAVES DE PEQUENO PORTE**” e foi considerado **APROVADO COM LOUVOR** com a nota **100**.

O discente deverá apresentar o trabalho com as devidas modificações em formato pdf, até **06 de setembro de 2024** ao seu orientador, para revisão e posterior depósito.

Nada mais havendo a tratar a defesa foi encerrada às **dezenove horas e quarenta e cinco minutos** quando eu, **Reginaldo Gonçalves Leão Junior**, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada, foi assinada por todos os avaliadores.

Arcos, 01 de agosto de 2024.



Documento assinado eletronicamente por **Reginaldo Goncalves Leao Junior, Professor**, em 06/08/2024, às 07:47, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Carrasco Carpio, Professor**, em 06/08/2024, às 08:17, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Diego Mello da Silva, Professor**, em 06/08/2024, às 08:29, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **1991667** e o código CRC **F5360A6D**.

23808.000534/2024-21

1991667v1

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me conceder saúde e sabedoria para poder concluir essa jornada.

Aos meus pais, Davidson e Renata, que sempre me incentivaram e apoiaram ao longo da vida, sendo pilares fundamentais para a minha formação pessoal.

A minha noiva Hemilly, que sempre me motivou e me apoiou em todos os momentos.

A minha vó Mereciana, que acreditou em mim e me ensinou que a perseverança e a força de vontade são fatores preponderantes para alcançar os nossos objetivos.

Ao corpo docente do IFMG-Arcos, que me ofereceu todo suporte e infraestrutura. Em especial ao Prof. Reginaldo Leão que aceitou ser meu orientador e me ajudou a concretizar esse objetivo.

Agradeço a todos que de alguma forma me incentivaram, aconselharam e possibilitaram que eu pudesse realizar esse sonho.

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso trata do desenvolvimento da ferramenta *Air Balance*, que consiste em uma aplicação *desktop web* para a realização de análise de peso e balanceamento de aeronaves de pequeno porte. A ferramenta foi desenvolvida com a finalidade de auxiliar pilotos privados e companhia executivas de pequeno porte a realizem a análise de peso e balanceamento de forma eficiente, prática e confiável. O custo elevado para aquisição de *softwares* que realiza esse tipo de análise inviabiliza a utilização dele por empresas de menor porte, sendo assim a proposta do *software Air Balance* é suprir a demanda de empresas que não possuem recursos para destinar a esse tipo de aplicação, possibilitando que o piloto não necessite realizar a análise de forma manual e possa utilizar a ferramenta como forma de otimização das suas tarefas. O *software* foi construído por meio do *framework Django*, sendo este o responsável por disponibilizar bibliotecas integradas, banco de dados e estabelecer conexão/integrar as funcionalidades à interface visual. A arquitetura do software consiste em uma aplicação *desktop web* desenvolvida com *back-end* em Python, linguagem com a qual foram desenvolvidos os cálculos e as funcionalidades da ferramenta. A interface visual foi construída com ferramentas de estilização e estruturação web (*HTML, JavaScript e CSS*). A aplicação é capaz de realizar os cálculos de momento escalar em torno do eixo longitudinal da aeronave com base nas informações de braço e massa alocados em estações de carga, dessa forma, é gerado um envelope de voo no qual delimita as condições ideais e seguras para operação, assim é possível tomar conhecimento do centro de gravidade da aeronave ao longo das fases de voo e evitar situações de risco de acidente e incidente durante todo o voo. O *software* foi comparado com a ferramenta *Garmin Pilot*, que é referência no setor aeroviário, no qual foram realizadas simulações de voo com os mesmos parâmetros, desse modo, o software *Air Balance* demonstrou resultados semelhantes e confiáveis.

Palavras-chaves: Aeronaves, Balanceamento, *Django, Python, Software*.

ABSTRACT

This end-of-course work discusses delves into the development of the Air Balance tool, which is a desktop web application for performing weight and balance analysis on small aircraft. The tool was developed to help private pilots and small business owners perform weight and balance analysis in an efficient, practical, and reliable manner. The high cost of acquiring software to perform this type of analysis makes it infeasible for smaller companies to use it, so the Air Balance software proposal is to meet the demand of companies that do not have resources to dedicate to this type of application, allowing the pilot not to have to perform the analysis manually and to use the tool as a way to optimize their tasks. The software has been developed using the Django framework, which is responsible for providing integrated libraries, databases, and the connection/integration of functionalities into the visual interface. The architecture of the software consists of a desktop web application developed with a backend in Python, the language in which the calculations and functionalities of the tool were developed. The visual interface was built using web styling and structuring tools like HTML, JavaScript and CSS. The application is able to perform scalar moment calculations around the longitudinal axis of the aircraft based on the arm and mass information assigned to the load stations, generating a flight envelope that delimits the ideal and safe conditions for operation, making it possible to be aware of the aircraft's center of gravity during all phases of flight and to avoid situations of accident and incident risk throughout the flight. The software was compared with the Garmin Pilot tool, which is a benchmark in the aviation sector. Flight simulations were performed with the same parameters, so the Air Balance software showed similar and reliable results.

Keywords: *Aircraft, Balancing, Django, Python, Software.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Forças de sustentação aerodinâmicas.....	16
Figura 2: Momento escalar em aeronaves	18
Figura 3: Centro de gravidade de um avião	18
Figura 4: Envelope de segurança.....	20
Figura 5: Arquitetura <i>Django</i>	23
Figura 6: Estrutura de Projeto <i>Django</i>	25
Figura 7: Página de Cadastro - I	26
Figura 8: Página de Cadastro - II	26
Figura 9: Página de Seleção de Aeronaves Cadastradas	27
Figura 10: Tela de Inserção de dados do voo - I	28
Figura 11: Tela de Inserção de dados do voo - II	28
Figura 12: Detalhamento dos parâmetros de voo	29
Figura 13: Envelope gerado	30
Figura 14: Fluxograma da Lógica de programação do <i>software</i>	32
Figura 15: Inserção de dados <i>Garmin Pilot</i>	33
Figura 16: Inserção de dados <i>Air Balance</i>	34
Figura 17: Envelope gerado pelo <i>Garmin Pilot</i>	34
Figura 18: Envelope gerado pelo <i>Air Balance</i>	35
Figura 19: Revalidação de Resultados <i>Garmin Pilot</i>	35
Figura 20: Revalidação de Resultados <i>Air Balance</i>	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Ficha de cálculo de centro de gravidade	20
Tabela 2: Parâmetros usados no algoritmo matemático.....	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AFM - *Airplane Flight Manual*;

CG - Centro de gravidade;

ComAvE - Comando de Aviação do Estado;

DRY - *Don't Repeat Yourself*;

EWCG - *Empty Weight Center Gravity*;

FAA - *Federal Aviation Administration*;

LEMAC - *Leading Edge of Mean Aerodynamic Chord*;

MAC - *Mean Aerodynamic Chord*;

NASA - *National Aeronautics and Space Administration*;

RBAC – Regulamento Brasileiro da Aviação Civil.

SI - Sistema Internacional

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Justificativa	13
1.2 Objetivos	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos	14
1.3 Estrutura do Trabalho	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 Definições Fundamentais para a Análise Estática da Aeronave	16
2.1.1 Massa e Força peso	16
2.1.2 Momento escalar	17
2.1.3 Centro gravidade	18
2.2 Peso e balanceamento de aeronaves	19
2.3 Ferramenta Computacional de Desenvolvimento da Aplicação	21
3 METODOLOGIA	22
3.1 Arquitetura do software	22
3.2 Estrutura do software	23
3.3 Funcionalidades do Air Balance	25
3.4 Algoritmo matemático	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
5 CONCLUSÃO	37
5.1 Sugestão para Trabalhos Futuros	38
REFERÊNCIAS	39

1. INTRODUÇÃO

Os homens buscam desenvolver ferramentas e metodologias que visam maior eficiência nas suas atividades cotidianas, bem como o bem-estar e a otimização de tempo. Nesse sentido, com os avanços científicos e tecnológicos foram desenvolvidos os *softwares*, que nada mais são do que ferramentas que aproveitam a capacidade de processamento computacional para realizar tarefas específicas. Os *softwares* estão inseridos na rotina diária do ser humano, para substituir a necessidade de realização de tarefas repetitivas ou de alta complexidade. Desta maneira, os aplicativos e sistemas computacionais auxiliam na resolução dessas atividades, gerando maior produtividade, aproveitamento de tempo e eficiência.

Segundo Lei Guo e Luying Xu (2021) em um trabalho onde ele discute (...) dados coletados entre 2010 à 2020 mostram que 2254 fabricantes na China, demonstram que a transformação digital tem um impacto direto quanto ao desempenho operacional das empresas estudadas, desse modo, demonstrando que a adequação de ferramentas digitais influenciam de forma positiva na eficiência da empresa.

Segundo a Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO) (2024), a tendência da aviação comercial é que os novos recursos tecnológicos auxiliem no desenvolvimento do setor aeroviário, principalmente com a implementação de *softwares* e tecnologias de automação. Por isso, a ICAO defende que deve haver estudo contínuo em relação as ferramentas de auxílio no aeronavegabilidade e que a implementação desses novos recursos são o futuro da aviação.

Segundo o ex-colaborador do centro de pesquisa da Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA) Spitzer (2007) “À medida que os sistemas analógicos, mecânicos e elétricos foram substituídos ou aprimorados com a eletrônica digital, tem havido uma demanda crescente por dispositivos digitais novos, altamente confiáveis e seguros”.

Nesse cenário, há uma demanda por recursos web que supra a necessidade de otimização de tarefas aeroviárias. As empresas de desenvolvimento de *softwares* aéreos têm buscado criar aplicações que realizem análise para a otimização da operação, a fim de assegurar o conforto e segurança para os tripulantes

e passageiros. Dentre essas análises, é possível destacar a análise e balanceamento de peso da aeronave, que serve para compreender se a aeronave respeita os limites de centro de gravidade e peso máximo durante as etapas do voo.

A análise e balanceamento de peso é indispensável para garantir boa aeronavegabilidade, influenciando desde o taxiamento no solo até o procedimento de voo. Uma aeronave desbalanceada está sujeita a rotacionar em torno do seu centro de massa, resultando em dificuldade de ganho de altitude, risco de estol, maior consumo de combustível e desequilíbrio, ou seja, risco iminente durante o procedimento de pouso e decolagem, além de custos indesejados para as companhias aéreas (FAA, 2016).

Um caso recente de prejuízos provocados pelo desbalanceamento, ocorreu na Groenlândia com um turboélice bimotor da empresa *Air Greenland*. A aeronave teve seu procedimento de decolagem arremetido, uma vez que o piloto identificou que, mesmo atualizando toda a potência dos motores, a aeronave não elevava a parte dianteira. Posteriormente ao ocorrido, a perícia identificou negligência em relação à distribuição de massa da tripulação e bagagem na aeronave, uma vez que o limites dianteiro do centro de gravidade foi extrapolado, resultando em dificuldade de ganho de altitude e elevado nível de risco de acidente (Aeroin, 2019).

Nesse sentido, a utilização de *softwares* capazes de realizar a análise de peso e balanceamento de aeronaves, reduz os riscos de acidentes por desequilíbrio em relação ao centro de gravidade da aeronave e eleva seu desempenho devido à diminuição do consumo de combustível.

1.1 Justificativa

Os sistemas de análise e balanceamento de peso disponíveis no mercado, possuem um custo de aquisição ou licenciamento elevado por conta dos serviços integrados oferecidos, entretanto, há possibilidade de se realizar os cálculos de forma manual através dos dados e especificações técnicas fornecidas no manual da aeronave. Contudo, o processo manual exige que o piloto possua habilidades matemáticas e conhecimento prévio em relação às formas de resolução das eventuais situações adversas.

A utilização de sistemas computacionais para auxiliar na resolução de problemas matemáticos é comum atualmente já que estas aplicações minimizam as probabilidades de erro, fornecem resultados rápidos e podem ser realizadas diretamente de um smartphone.

Dessa maneira, o *software* proposto nesse trabalho busca auxiliar companhias aéreas privadas de pequeno porte e pessoas físicas que possuem aeronaves privadas, na análise e balanceamento de peso de aeronaves. Sendo uma aplicação acessível e confiável.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolvimento de um *software web* para análise e balanceamento de peso em aeronaves de pequeno porte.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Desenvolvimento de classes para o cálculo de peso e balanceamento de aeronave;
- Desenvolvimento da interface gráfica do *software*;
- Desenvolvimento da estrutura *backend* através da linguagem de programação *python*;
- Desenvolvimento da comunicação entre a estrutura da interface gráfica e o *backend* com auxílio do *Java Script*;
- Submissão da aplicação a procedimentos práticos, a fim de obter retorno sobre a funcionalidade e validação do *software*.
- Validação dos resultados de forma comparativa utilizando como padrão de confiabilidade o *software Garmin Pilot*.

1.3 Estrutura do Trabalho

Este trabalho é apresentado na forma de capítulos, conforme descrito a seguir:

Capítulo 1 - Introdução: Apresente um conteúdo introdutório acerca da transformação digital e a praticidade que os sistemas computacionais promovem na realização de tarefas. Além disso, descreve a necessidade da realização da análise de peso e balanceamento de aeronaves.

Capítulo 2 - Fundamentação teórica: Apresenta uma revisão bibliográfica em relação aos conteúdos abordados ao longo do relatório técnico, como controle de limite de peso, estabilidade e balanceamento de aeronaves, determinação do centro de gravidade de aeronaves e ferramentas de desenvolvimento de *software web*.

Capítulo 3 - Metodologia: Descrição dos métodos utilizados durante o processo de desenvolvimento e aplicabilidade do *software*.

Capítulo 4 - Resultados e Discussões: Apresenta dados obtidos por meio dos métodos aplicados e uma resenha sobre os resultados encontrados.

Capítulo 5 - Conclusão: Contêm uma discussão se os objetivos propostos foram alcançados, bem como a proposta de pesquisas futuras para agregar ao presente trabalho e um parecer em relação ao resultado do projeto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Definições Fundamentais para a Análise Estática da Aeronave

2.1.1 Massa e Força peso

“A massa é propriedade intrínseca dos corpos, ou seja, é uma característica própria deles. Independente do lugar que o corpo ocupa no espaço, ou das forças a que está submetido, a sua massa é a mesma” (LEITE, 2017, p. 117). A massa é representada no Sistema Internacional (SI) pela unidade de medida kg (quilograma).

"Peso é a força gerada pela atração gravitacional da Terra para a aeronave" (HALL, 2022). A força peso é uma grandeza vetorial, obtida a partir da relação entre a massa e a força de aceleração da gravidade da Terra. Dessa maneira, é possível compreender que massa e peso são grandezas muito distintas.

A Figura 1, demonstra as forças aerodinâmicas a qual as aeronaves estão sujeitas, sendo *lift* (Sustentação), *weight* (Peso), *drag* (Arrasto) e *thrust* (Empuxo). Onde é demonstrado que para uma aeronave voar, as forças devem manter equilíbrio entre si.

Figura 1: Forças de sustentação aerodinâmicas



Fonte: Próprio Autor, 2024.

É possível notar que a força peso é essencial para a determinação da sustentação de uma aeronave, dessa maneira, é imprescindível que se calcule a massa total da aeronave, a qual pode ser obtida com base no somatório da massa do

combustível, passageiros, bagagens, fuselagem da aeronave e os demais componentes.

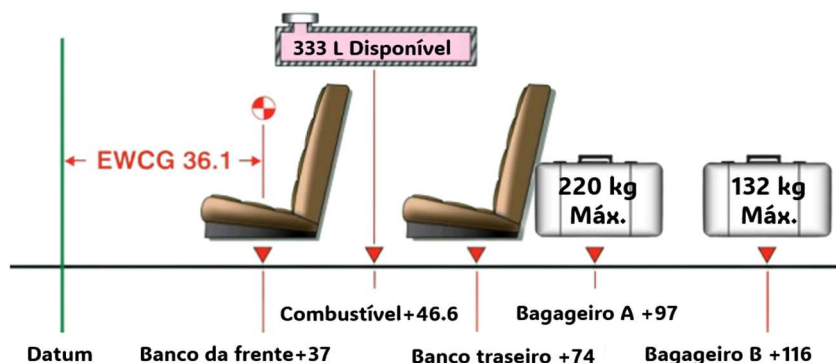
Segundo Verona (2002), as aeronaves passam por um processo de ganho de massa ao longo de sua utilização. Dentre outros motivos isto é provocado por um acúmulo de sujeira em locais de difícil acesso e incremento de componentes a fuselagem da aeronave em razão de reparos, por conta disso é necessário homologar a nova massa da aeronave periodicamente. A realização dessa atualização desta atualização é exigida mesmo que não tenha sido realizado nenhum reparo considerável na aeronave. Esta ação tem a finalidade de assegurar a real força peso que será exercida sobre a aeronave e compreender se ela é capaz de operar com segurança.

2.1.2 Momento escalar

“O momento é uma força em relação a um ponto ou a um eixo que fornece uma medida da tendência dessa força provocar a rotação de um corpo em torno do ponto ou eixo” (HIBBELER, 2005, p. 96). Nesse sentido, é definido um ponto como referência, e a partir dele é realizado o produto das componentes de força perpendiculares ao eixo, pela distância até o ponto. Assim, caso o somatório dos momentos atuantes seja nulo, o corpo não apresentará velocidade angular em relação àquele eixo específico. Contudo, se o valor for diferente de zero, o corpo tenderá a realizar movimento de rotação em torno do eixo de cálculo.

Na Figura 2 é demonstrado um exemplo de como é realizado o processo de cálculo do momento escalar da aeronave, onde é definido um ponto referencial chamado de *Datum* no jargão da aviação, a partir desse ponto é realizado o produto do braço de força com a massa de cada ponto analisado, a fim de obter o momento escalar total. Além disso é demonstrado o *Empty Weight Center Gravity (EWCG)*, que traduzido seria o centro de gravidade de peso vazio, ou seja, o centro de gravidade da aeronave sem tripulante, combustível e fluidos hidráulicos.

Figura 2: Momento escalar em aeronaves



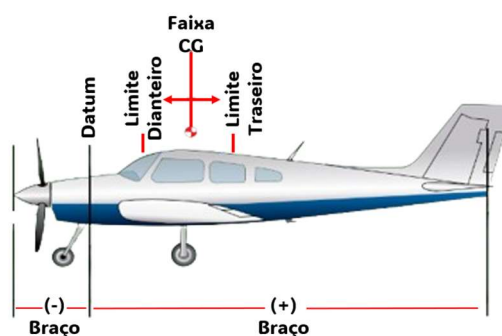
Fonte: Adaptado de *Weight & Balance Handbook* (FAA), 2016.

2.1.3 Centro gravidade

“O centro de gravidade (CG) é um ponto no qual se localiza o peso resultante de um sistema de pontos materiais” (HIBBELER, 2005, p. 371). Dessa maneira, caso fosse realizado um experimento com uma aeronave na qual a mesma fosse tracionada por um cabo, e esse cabo estivesse fixado exatamente no centro de gravidade da aeronave, a mesma não tenderia realizar movimento de giro.

Conforme demonstrado na Figura 3, o CG pode ser encontrado a partir da razão entre o momento escalar total pelo somatório das massas alocadas em cada um dos pontos analisados. Além disso, é estipulado pelo fabricante limites máximos de delimitação do CG da aeronave, sendo assim, o CG da aeronave deve estar dentro dos limites dianteiro e traseiro (*Foward limit e Aft limit*), conforme demonstrado na imagem abaixo.

Figura 3: Centro de gravidade de um avião



Fonte: Adaptado de *Weight & Balance Handbook* (FAA), 2016.

2.2 Peso e balanceamento de aeronaves

Segundo a *Federal Aviation Administration* (FAA) (2016) a determinação do peso e balanceamento de uma aeronave depende de dois fatores vitais, sendo o primeiro fator a força peso máximo suportada pela aeronave – que não estará apta a operar se seu peso total extrapolar o limite especificado no manual de instruções do fabricante. Já o segundo ponto diz respeito à necessidade de se manter o centro de gravidade da aeronave dentro dos limites descritos no manual de operação, conforme demonstrado na Figura 3.

Dessa maneira, nota-se a importância de registrar todas as informações adequadamente em relação às alterações de massa da aeronave, a fim de obter um resultado preciso. “Somente é permitido operar uma aeronave se o peso vazio e o centro de gravidade tiverem sido calculados com valores estabelecidos por pesagem real da aeronave” (ANAC, 2023, item 135.185).

“A partir destes dados, o piloto carrega a aeronave calculando os pesos e os momentos desse carregamento específico, verificando se o C.G. resultante está dentro das restrições aprovadas” (Lôbo, 1999, p. 11). Tais restrições são rotineiramente denominadas “envelope”: trata-se de um gráfico construído a partir de parâmetros extremos no qual a aeronave está autorizada a operar. Qualquer ponto externo a essa delimitação caracteriza uma aeronave desbalanceada e sujeita a riscos de acidentes.

Uma aeronave que não está dentro dos limites de peso e balanceamento está condicionada a duas principais variáveis de voo, sendo elas:

É mais difícil decolar e ganhar altitude em uma aeronave de nariz pesado, e a aeronave tende a abaixar o nariz quando o piloto reduz a aceleração. Isso também requer uma velocidade maior para pousar com segurança. Uma aeronave com cauda pesada é mais suscetível a parar em baixa velocidade, o que é uma preocupação durante a aproximação para pouso (FAA, 2016, p. 1-5).

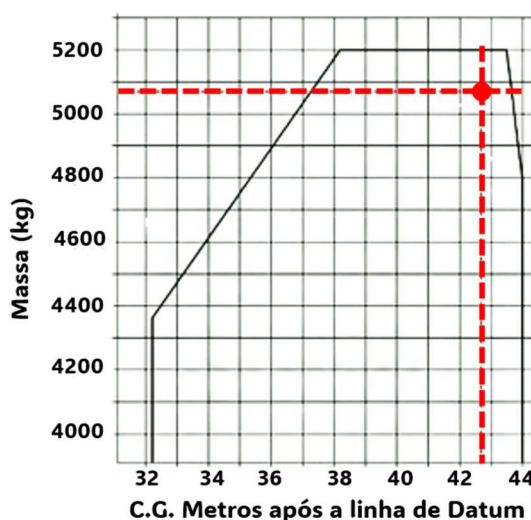
A Tabela 1 demonstra um modelo de ficha de preenchimento para o cálculo do centro de gravidade da aeronave, onde são determinados os momentos no qual a aeronave está sujeita, e é realizado a divisão do momento total pelo peso total, encontrando assim o centro de gravidade da aeronave dada as condições naquele momento.

Tabela 1: Ficha de cálculo de centro de gravidade

Item	Peso (kg) (5200 máx)	Braço (m)	Momento (kg.m)	Centro de Gravidade
Aeronave	3404	35.28	120,093	
Gasolina (140 l)	840	61	51,240	
Assento dianteiro	320	37	11,840	
Fileira 2 assento	310	75	23,250	
Bagageiro	100	-15	-1,500	
Bagageiro traseiro	90	113	10,170	
Total	5,064		215,093	42,47

Fonte: Adaptado de *Weight & Balance Handbook* (FAA), 2016.

Já na Figura 4, é demonstrado um modelo de envelope para o caso calculado na figura acima, onde o envelope contém as delimitações de capacidade operacional da aeronave, sendo associado o peso da aeronave e o centro de gravidade encontrado. Dessa maneira, é possível determinar se a aeronave está dentro do parâmetro ideal de voo, ou não.

Figura 4: Envelope de segurança

Fonte: Adaptado de *Weight & Balance Handbook* (FAA), 2016.

FAA (2023) descreve no capítulo 10 do *handbook* que o cálculo para determinação do envelope depende diretamente da quantidade de massa alocado em cada ponto, sempre que houver uma variação ou realocação de massa ao longo do eixo da aeronave, deve ser realizada uma nova análise para assegurar que nenhum dos

limites do envelope foi ultrapassado e, portanto, afirmar que a aeronave está em plena condição de operação.

2.3 Ferramenta Computacional de Desenvolvimento da Aplicação

Segundo Divyashree e Nandini (2022, p. 119579) “Django é um *web framework* de código aberto, gratuito e de alto nível que funciona em *python* (linguagem de programação) para desenvolvimento web rápido, pragmático, limpo e descomplicado”. O fato de o Django utilizar o Python como linguagem de programação contribui para facilitar o desenvolvimento do projeto, uma vez que a linguagem possui inúmeras bibliotecas, compatibilidade com outras plataformas, recursos de integração a outras linguagens, sintaxe simples, dentre outros.

O Django é um *framework web python*, que possibilita a criação de aplicações web de forma prática, uma vez que ele possui bibliotecas nativas que simplificam o desenvolvimento da aplicação. Além disso, a ferramenta possui seções que são chamadas de “*Batteries Included*”, que são estruturas e ferramentas extras que auxiliam os desenvolvedores durante a construção dos seus projetos.

Outra vantagem de utilizar o *Django* para o desenvolvimento de projeto é o fato de o *framework* seguir a lógica DRY (*Don't Repeat Yourself*), onde é possível construir abstrações ou normalizações de dados para que não seja necessário realizar a repetição de padrões de *software*. Outrossim, é a segurança das aplicações desenvolvidas, já que a ferramenta conta com várias camadas de segurança que protegem os usuários de ataques web.

Desse modo, o desenvolvimento de projetos com *Django* possibilita agilidade e segurança, tanto no desenvolvimento de pequenas aplicações, quanto para aplicações complexas, já que a ferramenta oferece suporte e compatibilidade com diversas bibliotecas e plataformas. Inúmeras aplicações que utilizamos no dia a dia são construídos por meio do Django, devido a sua robustez e escalabilidade, as aplicações famosas que utilizam esse *framework* são: *Instagram*, *Mozilla*, *Pinterest* e *National Geographic*.

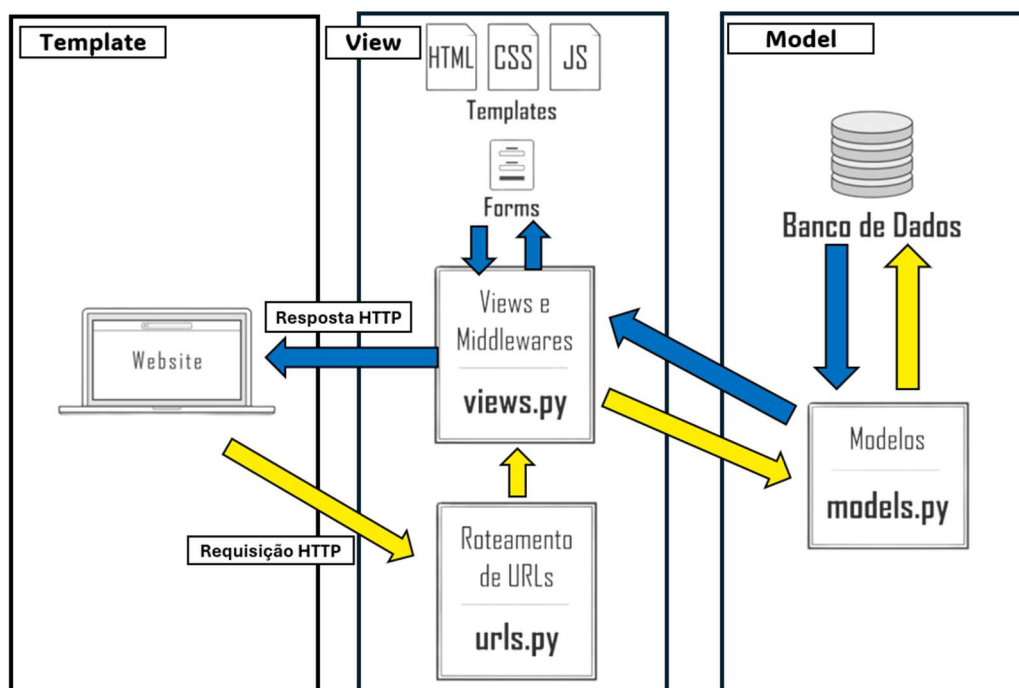
3 METODOLOGIA

3.1 Arquitetura do software

O desenvolvimento do *software* se deu por meio do *framework Django*, sendo este um *framework* que trabalha com a linguagem de programação *Python*. No entanto, foi implementado algumas funcionalidades por meio da linguagem *Java Script*, bem como, a elaboração da estruturação e estilização das páginas renderizadas por meio do *HyperText Markup Language (HTML)* e *Cascading Style Sheets (CSS)*, respectivamente.

O *framework* trabalha com um fluxo de requisição e respostas, onde o usuário da aplicação realiza a requisição da aplicação por meio da URL, dessa maneira é feita uma busca nos diretórios de *urls.py* cadastradas na aplicação e em seguida é realizada a requisição da *views.py* que contém a URL cadastrada, posteriormente, são executados os comandos de requisição de dados nas *models.py* (Que são responsáveis por relacionar as informações do banco de dados e trazer os dados requeridos pelo usuário), dessa maneira, a aplicação renderiza os dados requisitados no *front-end* por meio dos *Templates (HTML, CSS e Java Script)*. O fluxo de funcionamento da aplicação é demonstrado na Figura 5, onde as setas amarelas representam as requisições e as setas azuis representam as respostas.

Figura 5: Arquitetura *Django*



Fonte: Próprio Autor, 2024.

3.2 Estrutura do software

Foram criados dois apps dentro do diretório principal, sendo um app para cadastro e *login* de usuários, e o outro app para registrar e analisar os dados das aeronaves registradas.

O diretório principal foi chamado de “*Air Balance*”, sendo essa pasta a responsável por gerenciar os apps criados, armazenar as configurações base da aplicação e conectar as ferramentas auxiliares com os apps.

O app de reconhecimento de usuários, chamado de “*usuários*”, utiliza a biblioteca nativa de autenticação do Django, chamada de *Auth*. Dessa forma, foram implementadas medidas de segurança como: Revalidação de senha, impossibilidade de usuários com mesmo *username* criarem contas diferentes, impedimento de usuários não logados de fazerem modificação ou uso da aplicação e validação de formulário por meio da implementação do CSRF (*Cross-Site Request Forgery*). Os dados cadastrados são armazenados no banco de dados *db.sqlite3*, que é um banco de dados padrão do Django.

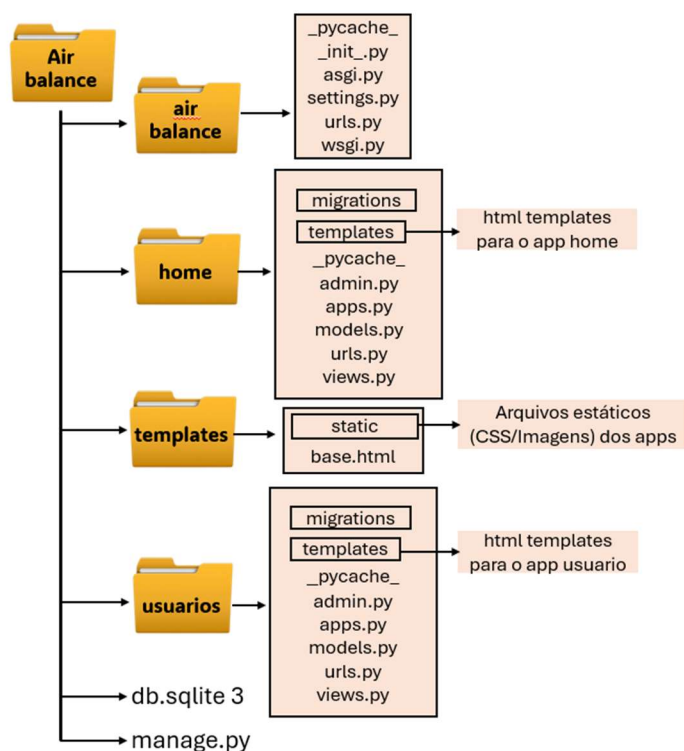
Já o app de registro e análise de dados fornecidos pelo usuário, é chamado de *home*. Nesse app foram criados *Models.py* que são as variáveis que receberão os

dados técnicos das aeronaves e os enviarão para o banco de dado em forma de tabelas, esses dados serão requisitados posteriormente pela *views.py* da aplicação, onde os dados serão tratados e submetidos a equações matemáticas para gerar as tabelas e gráficos com os resultados de peso e balanceamento da aeronave. Além disso, todos os formulários de preenchimento dos usuários contam com o sistema de CSRF *token*, onde é gerado um *token* aleatório para o usuário logado, dessa forma, ao enviar um formulário é comparado o *token* do usuário com o do formulário enviado, sendo considerado uma ação legítima somente se os dois *tokens* forem idênticos.

Foi criado uma pasta chamada “*Template*”, responsável por armazenar a estrutura HTML padrão dos apps, esse arquivo reduz a repetição de códigos e otimiza o funcionamento da aplicação. Além disso, foram criados os arquivos CSS base de cada app, sendo estes os responsáveis pela identidade visual das páginas visualizadas pelos usuários.

Foi criado uma pasta denominada de “*venv*”, sendo esta pasta responsável por permitir a criação de um ambiente virtual na máquina do usuário, bem como uma pasta para armazenar todas as ferramentas auxiliares utilizadas nos apps. A principal funcionalidade dessa pasta é que as ferramentas são implementadas unicamente nela, permitindo que não haja conflito com as ferramentas já baixadas no *desktop*, portanto, caso o *software* utilize uma versão de uma ferramenta ou *framework* diferente daquela que o desenvolvedor possui na sua máquina, não haverá conflito de funcionalidade, já que todos os arquivos necessários para a operação do software estão contidos na pasta *venv*. A Figura 6 demonstra como os diretórios e pastas foram organizados.

Figura 6: Estrutura de Projeto *Django*



Fonte: Próprio Autor, 2024.

3.3 Funcionalidades do Air Balance

O *software* recebeu o nome “Air Balance” e conta com a capacidade analítica de resolução de momento escalar entorno do eixo longitudinal, a fim de determinar o centro de gravidade da aeronave.

A tela de carregamento inicial do software conta com um formulário, onde o usuário deverá preencher os dados técnicos presentes no *datasheet* ou AFM (*Airplane Fligh Manual*) da aeronave. Após o preenchimento dos dados o usuário irá registrar a sua aeronave no banco de dados da aplicação selecionando o botão “*Register Aircraft*”, Figura 7, podendo assim seguir para a página de aeronaves cadastradas, para tal é preciso pressionar o botão “*Weight and Balance Analysis*” na Figura 8.

Figura 7: Página de Cadastro - I

Registrar Dados da Aeronave

Nota:

"RBAC 135 - 135.85: Nenhum comandante pode decolar sem que o peso vazio e o centro de gravidade tenham sido calculados [...] por pesagem real da aeronave dentro dos 36 meses precedentes, desde que a aeronave não sofra qualquer modificação que exija uma pesagem no intervalo menor ao especificado".

Model	Serial number	Prefix	Arm crew
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Arm pilot	Arm first row seats	Arm second row seats	Arm third row seats
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Arm fourth row seats	Arm fifth row seats	Baggage fwd	Baggage aft
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Service cabinet	Wing tank	Fuselage tank	
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	

Fonte: Próprio Autor, 2024.

Figura 8: Página de Cadastro - II

Landing Weight (LDW)	Empty weight (EW)	Ramp weight (RW)	Takeoff weight (TOW)
max. LDW	EW	max. RW	max. TOW
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Zero fuel weight (ZFW)	LEMAC	MAC	
max. ZFW	LEMAC	MAC	
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
EW C.G.	C.G. Point 1	C.G. Point 2	C.G. Point 3
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
C.G. Point 4	C.G. Point 5	C.G. Point 6	C.G. weight point 1
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
C.G. weight point 2	C.G. weight point 3	C.G. weight point 4	C.G. weight point 5
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
C.G. weight point 6	<input type="text"/>		

Register aircraft

Weight and Balance Analysis

Fonte: Próprio Autor, 2024.

Na segunda etapa, o usuário poderá selecionar uma das aeronaves ao qual foi cadastrada na página inicial. As aeronaves são exibidas através do modelo e número de série, dessa forma, mesmo que se tenha inúmeras aeronaves com o mesmo modelo, é possível fazer a seleção correta pelo número de série. Para selecionar a aeronave basta clicar no modelo do avião, conforme a seta demonstrada na Figura 9.

Figura 9: Página de Seleção de Aeronaves Cadastradas

Serial Number
All Serial Numbers

Filter

N/S: 1234
LEARJET 31A

N/S: 1234
LEARJET 31B

N/S: 1234
LEARJET 31B

N/S: 1234
LEARJET 31B

Register the data of New Aircraft

Fonte: Próprio Autor, 2024.

Na terceira etapa o *software* renderiza uma tabela com os dados técnicos preenchidos na página inicial, sendo demonstrados a localização dos braços de força em que é possível agregar massa a aeronave, ou seja, poltronas de passageiros, tanques de combustíveis, bagageiros, entre outros. Após preencher todas as informações do formulário, basta pressionar o botão (resultado) demonstrado nas Figuras 10 e 11.

Figura 10: Tela de Inserção de dados do voo - I

Flight Information			
Fly Number	<input type="text" value="XXXX"/>	Flight Date	<input type="text" value="17/04/202"/>
Origin of Flight	<input type="text" value="CNF"/>	Flight Destination	<input type="text" value="MCZ"/>
Data	Arms (In)	Quantity	
Crew	0,0	<input type="text" value="0"/>	
pilot	129,0	<input type="text" value="2"/>	
Passengers (1° row)	168,0	<input type="text" value="2"/>	
Passengers (2° row)	212,0	<input type="text" value="2"/>	
Passengers (3° row)	245,0	<input type="text" value="1"/>	
Passengers (4° row)	0,0	<input type="text" value="0"/>	
Passengers (5° row)	0,0	<input type="text" value="0"/>	
Service Cabinet	285,0	<input type="text" value="0"/>	

Fonte: Próprio Autor, 2024.

Figura 11: Tela de Inserção de dados do voo - II

---	Arms (in)	Weight (lb)
Wing Tank	167,0	<input type="text" value="1108"/>
Fuselage Tank	131,0	<input type="text" value="817"/>
Taxi burnoff	167,0	<input type="text" value="0"/>
In flight usage	167,0	<input type="text" value="900"/>
Baggage 1	70,0	<input type="text" value="0"/>
Baggage 2	282,0	<input type="text" value="0"/>
Cg -In	---	<input type="checkbox"/>
Cg - %Mac	---	<input type="checkbox"/>
Results		
Change Model of Aircraft		

Fonte: Próprio Autor, 2024.

A quarta etapa da aplicação é onde são apresentados os dados finais da análise de peso e balanceamento da aeronave, os dados são demonstrados em uma tabela com os momentos gerados ao longo do eixo longitudinal, bem como a apresentação do envelope de performance do avião. Através dos pontos gerados no envelope é possível determinar se a aeronave está dentro dos limites de peso e balanceamento. A figura 12 e 13 demonstram respectivamente os dados gerados após os cálculos de momento e o envelope gerado a partir dos dados técnicos e quantidade de massa alocado na aeronave.

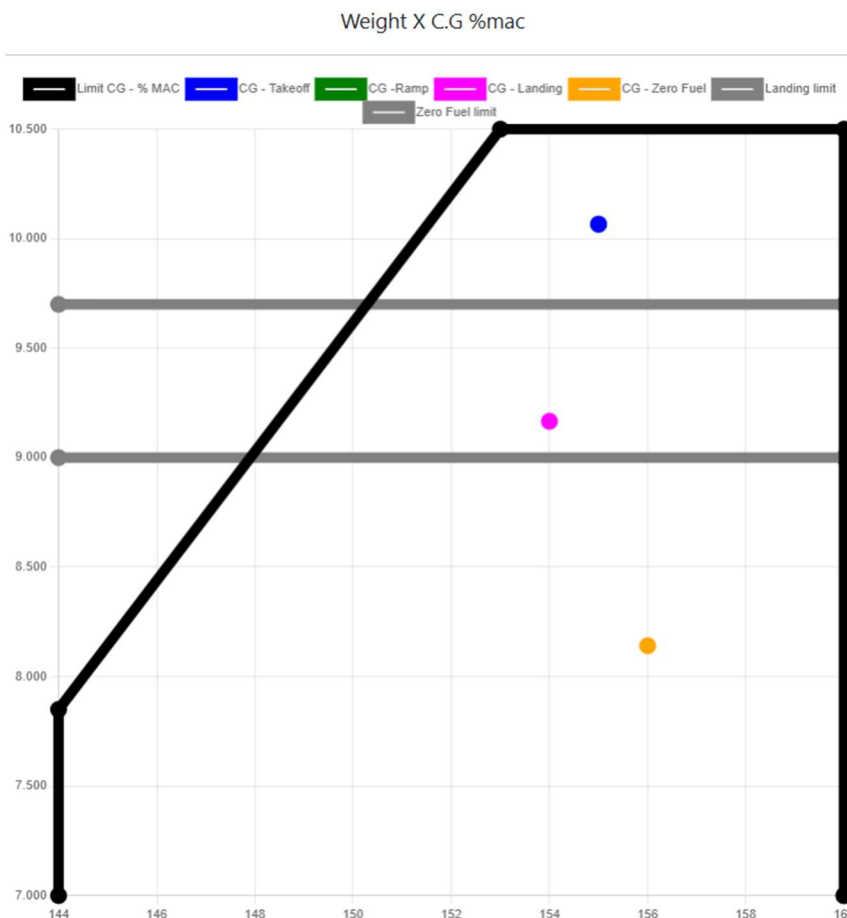
Figura 12: Detalhamento dos parâmetros de voo

Show Detailed Results

Passengers/Cargo			
Description	Arms (in)	weight (lb)	Moment (lb-in)
pilot and copilot	129,0	380,0	49020,0
Crew	0,0	0,0	0,0
Passengers (1° row)	168,0	380,0	63840,0
Passengers (2° row)	212,0	380,0	80560,0
Passengers (3° row)	245,0	190,0	46550,0
Passengers (4° row)	0,0	0,0	0,0
Passengers (5° row)	0,0	0,0	0,0
Service Cabinet	285,0	0,0	0,0
Baggage 1	70,0	0,0	0,0
Baggage 2	282,0	0,0	0,0

Fonte: Próprio Autor, 2024.

Figura 13: Envelope gerado



Fonte: Próprio Autor, 2024.

Além disso, em casos em que os pontos não estejam contidos nos limites de peso e CG, é possível visualizar qual das duas variáveis está extrapolando os limites, realizando uma acomodação da carga ou incrementar lastros em pontos estratégicos. Após realizar a realocação da massa na fuselagem e necessário que o usuário retorne na etapa anterior e altera os valores de massa e/ou quantidade de passageiros que foram alterados e solicite que a aplicação realize o cálculo novamente.

3.4 Algoritmo matemático

O algoritmo do software é baseado no princípio de momento escalar, onde após o usuário registrar os braços de alavanca ao longo do eixo longitudinal da aeronave que são multiplicados pela massa alocado em cada um desses pontos,

obtendo dessa forma o momento em torno do ponto de referência, *Weight and balance* FAA (2023). Os parâmetros são utilizados unidades métricas imperiais (Sistema Americano), dado que esse é o modelo padrão adotado globalmente, salvo algumas exceções. Dessa forma, os braços são medidos em polegadas (in), a massa em libras (lb) e o momento escalar é em libras polegadas (lb-in).

Conforme demonstrado na Tabela 2, onde a segunda coluna demonstra os braços de alavanca, terceira coluna representa a massa alocada no respectivo braço e na quarta coluna temos o produto dessa operação.

Tabela 2: Parâmetros usados no algoritmo matemático

Show Detailed Results			
Passengers/Cargo			
Description	Arms (in)	Weight (lb)	Moment (lb-in)
Pilot and Copilot	204	169,4	34557,6
Crew	222	169,4	37606,8
Passagenrs (1° row)	234,7	0	0
Passagenrs (2° row)	267	338,8	90459,6
Passagenrs (3° row)	281,2	338,8	95270,56
Passagenrs (4° row)	302	677,6	204635,2
Passagenrs (5° row)	362,4	677,6	245562,24
Service Cabinet	221,6	50	11080
Baggage 1	234,7	0	0
Baggage 2	402	400	160800

Fonte: Próprio Autor, 2024.

No caso específico dos momentos gerado pelos passageiros é inserido apenas a quantidade de passageiros na fileira de assento, dado que em recente estudo do FAA (2019) a média da massa de passageiros aeroviários é de 83,4 kg (190 lb) por passageiro. Dessa forma, a aplicação realiza o produto da média da massa do passageiro com o braço de avalanche e a quantidade de passageiro naquele eixo transversal, assim obtendo o momento escalar de cada fileira de assento.

Dessa maneira, com os momentos escalares gerados em cada fase do voo (rampa, decolagem e pouso) é realizado a divisão entre o momento total e o peso total, definindo o centro de gravidade em polegadas da linha de Datum. Na Tabela 1 se vê uma representação de como é realizado o cálculo.

No entanto, nem todos os fabricantes fornecem os pontos do envelope e centro de gravidade da aeronave através das medidas por polegadas. Nesses casos,

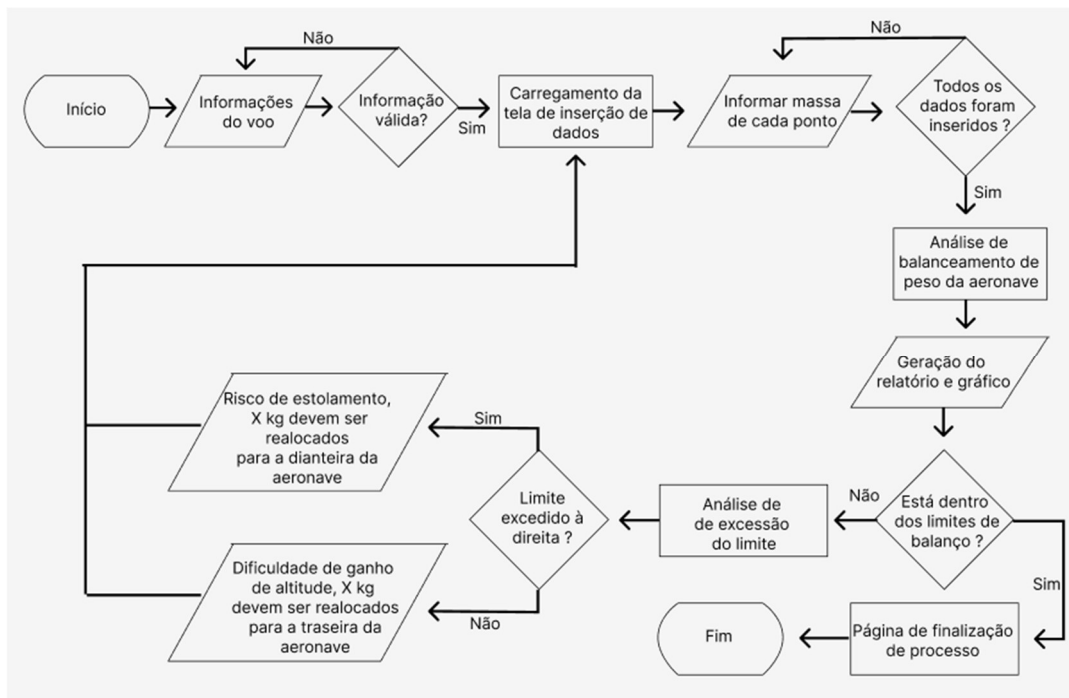
o fabricante determina o centro de gravidade em %MAC (definir sigla no texto), que nada mais é do que a porcentagem em relação aos limites do C.G.. Em outras palavras, é dado um intervalo em polegadas do limite anterior e posterior do C.G. ideal, e após encontrar o C.G. real para o voo, é realizado um cálculo para compreender se o ponto encontrado está dentro da porcentagem ideal dos limites do C.G. Sendo assim, é preciso encontrar o C.G. em polegadas e aplicá-lo na equação para obter o valor em %MAC.

A fórmula utilizada para terminação do C.G. em %MAC está expressa pela Equação 1, na qual os valores de LEMAC (*Leading Edge of Mean Aerodynamic Chord*) e MAC (*Mean Aerodynamic Chord*) são determinados pelo fabricante da aeronave.

$$CG_{\%MAC} = \frac{(CG_{in} - LEMAC) * 100}{MAC} \quad (1)$$

A Figura 14 demonstra em forma de fluxo como é composta a lógica de programação do *software*.

Figura 14: Fluxograma da Lógica de programação do *software*



Fonte: Próprio Autor, 2023.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

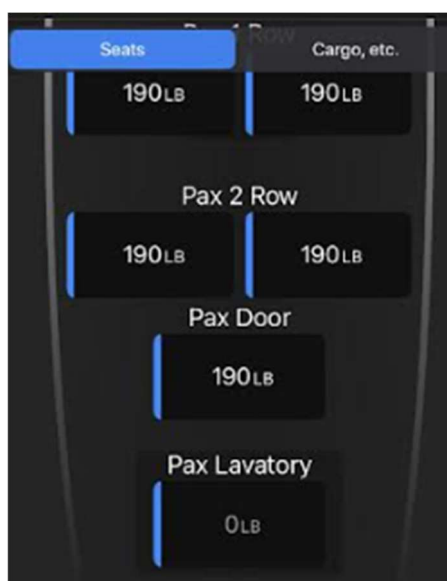
A validação dos resultados gerados pelo software foi realizada por meio de comparação com outros dois amplamente utilizados no meio e devidamente homologados para realizarem esse tipo de análise.

O teste contou com a ajuda do Comando de Aviação do Estado (ComAvE), que, segundo o governo estadual de Minas Gerais, é “responsável pela gestão centralizada das aeronaves das secretarias e dos órgãos autônomos do Poder Executivo” (Governo Estadual de Minas Gerais, 2017). A visita ao hangar da ComAvE foi realizada com o acompanhamento do major, comandante e o sargento da companhia.

O software utilizado para comparação foi o *Garmin Pilot*, sendo esta uma aplicação paga que oferece ferramentas de auxílio para a navegação de aeronaves, onde é possível realizar a análise de peso e balanceamento das aeronaves, Garmin (2024).

Para o teste comparativo, a aeronave registrada no banco de dados foi o *Beech Aircraft C90A*. Os dados foram retirados do *datasheet* do AFM da aeronave, sendo descritos parâmetros de peso máximo para cada fase do voo, distância dos braços em relação à linha de Datum e todos os pontos possíveis de alocação de massa ao longo da fuselagem. Portanto, em ambos os softwares foram inseridos os dados da aeronave, conforme demonstrado nas Figuras 15 e 16.

Figura 15: Inserção de dados *Garmin Pilot*



Fonte: *Garmin Pilot*, 2024.

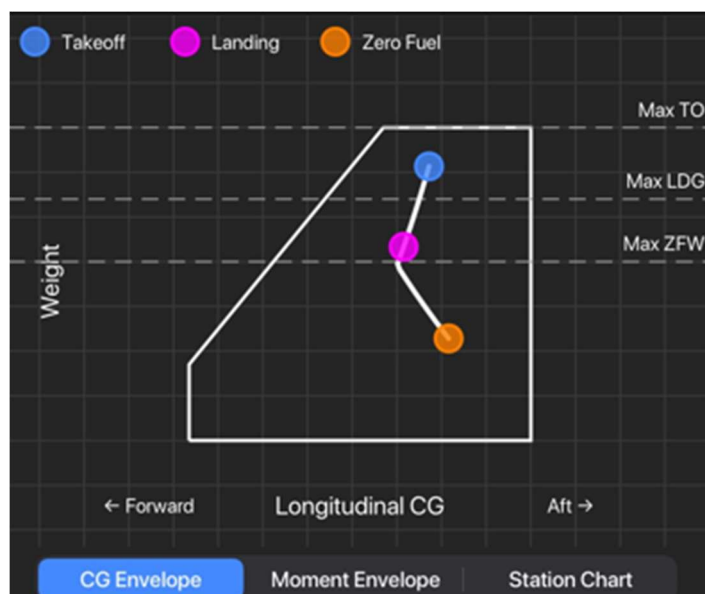
Figura 16: Inserção de dados *Air Balance*

Flight Information			
Fly Number	XXXX	Flight Date	17/04/202
Origin of Flight	CNF	Flight Destination	MCZ
Data	Arms (In)	Quantity	
Crew	0,0	0	
pilot	129,0	2	
Passengers (1° row)	168,0	2	
Passengers (2° row)	212,0	2	
Passengers (3° row)	245,0	1	
Passengers (4° row)	0,0	0	
Passengers (5° row)	0,0	0	
Service Cabinet	285,0	0	

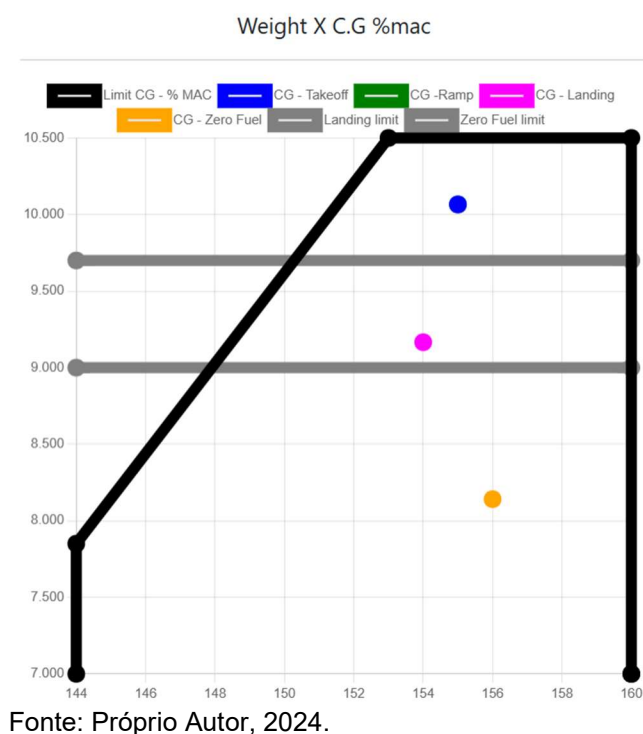
Fonte: Próprio Autor, 2024.

Por fim, foram inseridos os dados de massa alocados nos pontos e gerado os resultados. Sendo possível observar que a análise de dados de ambos os softwares apresentou os mesmos valores, bem como os mesmos pontos de cada fase do voo dentro do envelope da aeronave. Conforme demonstrado nas Figuras 17 e 18.

Figura 17: Envelope gerado pelo *Garmin Pilot*



Fonte: *Garmin Pilot*, 2024.

Figura 18: Envelope gerado pelo *Air Balance*

Para fins de validação, foram comparados os cálculos descritivos de ambos os *softwares* a fim de validar os valores encontrados, conforme demonstrado nas Figuras 19 e 20.

Figura 19: Revalidação de Resultados *Garmin Pilot*

FLIGHT PHASES			
Phase	Weight	CG	Moment
Empty	6,811 LB	151.61 IN	1,032,615 LB-IN
Ramp	10,066 LB	155.44 IN	1,564,648 LB-IN
Takeoff	10,066 LB	155.44 IN	1,564,648 LB-IN
Landing	9,166 LB	154.3 IN	1,414,348 LB-IN
Zero Fuel	8,141 LB	156.32 IN	1,272,585 LB-IN

Fonte: *Garmin Pilot*, 2024.

Figura 20: Revalidação de Resultados *Air Balance*

Phases	Weight (Lb)	C.G (In)	Moment (Lb-In)
EMPTY	6811,0	151,61	1032615,7
RAMP	10066,0	155,44	1564648,7
TAKEOFF	10066,0	155,44	1564648,7
LANDING	9166,0	154,3	1414348,7
ZERO FUEL	8141,0	156,32	1272585,7

Fonte: Próprio Autor, 2024.

Conforme visto nas figuras acima, os valores de momento (lb-in) para cada fase do voo em ambos os *softwares* estão idênticos, demonstrando que os cálculos do *software* estão coerentes.

Algumas diferenças foram notadas na utilização dos *softwares*: no *Garmin Pilot* é possível realizar a alteração de dados e os resultados são gerados instantaneamente, sem necessidade de atualização da página. Isso permite que o usuário consiga realizar a alteração das cargas dispostas na aeronave e já visualizar o impacto de cada mudança sem que seja necessário solicitar uma nova análise.

Outra funcionalidade que permite uma análise mais simplificada é o fato de que é possível adicionar somente as fileiras que vão acomodar passageiros, isso faz com que não seja necessário processar os dados das fileiras sem passageiros. Outrossim, é possível implementar o valor exato da massa corporal de cada um dos passageiros, a fim de obter um valor mais preciso.

Portanto, foram obtidos valores de momento escalar e pontos de envelope similares em ambas as aplicações, validando assim a usabilidade do software e demonstrado que os resultados apresentados para o piloto são confiáveis, sendo possível realizar a análise de peso e balanceamento por meio do *Air Balance*.

5 CONCLUSÃO

O objetivo inicial de desenvolver e validar um software de cálculo de peso e balanceamento para aeronaves de asas fixas foi atendido com sucesso, haja visto que foi construído um software totalmente gratuito com a capacidade de realizar um procedimento indispensável para o tráfego aéreo, além disso, a ferramenta apresentou resultados idênticos a outras ferramentas já homologada para essa mesma função disponível no mercado. Dessa forma, os pilotos privados que se utilizam do meio manuscrito para realizar os cálculos e obter a análise de peso e balanceamento das suas aeronaves poderão utilizar-se da ferramenta para obter um resultado mais rápido e confiável.

Segundo o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC) Nº 91, EMENDA Nº 13 (2024), determina as diretrizes de peso e balanceamento que as aeronaves devem ser regidas, sendo um item obrigatório para qualquer voo. Dessa forma, o *Air Balance* tem aplicabilidade no mercado de aeronaves de pequeno porte, devido à capacidade de auxiliar os pilotos em uma tarefa imprescindível a qualquer voo, bem como, garantir precisão e agilidade para os comandantes. Além disso, a ferramenta não demanda alto nível de processamento do desktop, o que permite a utilização em praticamente qualquer máquina. Outrossim, é o fato de que a aplicação conta com banco de dados gerenciável, sendo possível cadastrar inúmeras aeronaves e realizar a análise independentemente da configuração de assentos disposta na fuselagem do avião.

A utilização do *framework Django* contribui diretamente para a escalabilidade da aplicação, uma vez que é uma ferramenta que oferece excelentes recursos de segurança e elevado potencial de tratamento de dados. Outro fator é a possibilidade de implementação de diversas bibliotecas virtuais e a compatibilidade com ferramentas de desenvolvimento *web (HTML, CSS e Java Script)*.

Os conhecimentos prévios na matéria de estática e computação aplicada, permitiram que fosse possível realizar a integração interdisciplinar e dar o primeiro passo na idealização do projeto. Desta maneira, foi necessário o aprofundamento na área de desenvolvimento de softwares para integrar o conteúdo teórico ao prático, permitindo assim a construção de uma ferramenta robusta e que auxilie na resolução

de uma tarefa comum para a comunidade de comandantes de aeronaves de pequeno porte.

5.1 Sugestão para Trabalhos Futuros

Uma das principais sugestões para futuras integrações da ferramenta seria a criação de uma versão *mobile*, dado que as ferramentas disponíveis no mercado oferecem essa possibilidade e o uso por meio de celulares gera maior dinamismo e amplifica a utilização do usuário.

Outra sugestão seria a implementação de funcionalidades que ofereça maior dinâmica ao usuário, como por exemplo, a implementação de solicitar dados apenas dos locais que serão alocadas as massas, a fim de evitar que o usuário preencha com zero os campos aos quais não serão utilizados.

Por fim, uma funcionalidade muito interessante é a possibilidade de gerar arquivos .pdf, no qual os pilotos poderão gerar esses arquivos para impressão ou até mesmo para manter o arquivo como comprovação da análise. Uma ideia seria atrelar ao arquivo pdf a data e horário do arquivo gerado como se fosse uma marca d'água, dessa maneira, fica comprovado o horário em que o arquivo foi gerado e não permite que os dados serão alterados posteriormente para uma falsificação de documentos, a fim de não acobertar uma possível negligência em relação a análise de peso e balanceamento.

REFERÊNCIAS

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). *Aircraft Weight and Balance Handbook*. 2016. Disponível em: [Weight & Balance Handbook \(FAA-H-8083-1B\) \(primeusascals.com\)](http://primeusascals.com). Acesso em: 28 abr. 2023.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). *Aircraft Weight and Balance Handbook*. 2023. Disponível em: https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/faq-h-8083-25c.pdf. Acesso em: 29 jun. 2024.

ADMINISTRAÇÃO FEDERAL DE AVIAÇÃO (FAA). *Aircraft Weight and Balance Control*. 2019. Disponível em: [AC 120-27E - Aircraft Weight and Balance Control \(Cancelled\) \(faa.gov\)](http://faa.gov). Acesso em: 16 mar. 2024.

Agência Nacional de Aviação Civil. **RBAC Nº 91, EMENDA Nº 13**. Brasília, DF: ANAC, 2023. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-91/@@display-file/arquivo_norma/rbac91emd03.pdf. Acesso em: 29 jun. 2024.

BASSETO, Murillo. **Erro de distribuição de peso fez o avião Dash 8 não conseguir decolar em maio**. Brasil: São Paulo, 2019. Disponível em: <https://aeroin.net/erro-distribuicao-de-peso-fez-aviao-dash-8-nao-decolar/>. Acesso em: 12 mai. 2023.

GARMIN. *Garmin Pilot App*. 2024. Disponível em: <https://www.garmin.com/pt-BR/aviation/garminpilot/overview/>. Acesso em: 29 jun. 2024.

Governador Do Estado De Minas Gerais. **DECRETO Nº 47.182, DE 8 DE MAIO DE 2017**. Belo Horizonte; Caderno 1 – Diário do Executivo, 2017. Disponível em: <https://www.jornalminasgerais.mg.gov.br/index.php?dataJornal=2017-05-09>. Acesso em: 05 abri. 2024.

Guo, L.; Xu, L. **The Effects of Digital Transformation on Firm Performance: Evidence from China's Manufacturing Sector**. *Sustainability* 2021, 13, 12844. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su132212844>. Acesso em: 16 maio. 2023.

HALL, Nancy. **Airplane Cruise – Balanced Forces**. Glenn Research Center, 2022. Disponível em: <https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/airplane-cruise-balanced-forces/>. Acesso em: 17 jun. 2023.

HALL, Nancy. **What is Weight?**. Glenn Research Center, 2022. Disponível em: <https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/what-is-weight/>. Acesso em: 01 nov. 2022.

HIBBELER, Russell Charles. **Estática: Mecânica para engenharia**. 10° ed. São Paulo: Person. 2005.

International Civil Aviation Organization (ICAO). **Future of Aviation**. 2024. Disponível em: <https://www.icao.int/Meetings/FutureOfAviation/Pages/default.aspx>. Acesso em: 01 jul. 2024.

LEITE, Álvaro Emílio. **Física: Conceito e aplicações de mecânica**. 1° ed. Curitiba: intersaberes. 2017.

LÔBO, José Francisco. **Peso e balanceamento de aeronaves de pequeno porte**. Fórum de Simulações Aéreas – FSA.1999. Disponível: <https://svn.fe.up.pt/attachments/download/3308/Calculo%20CG%20Aeronave%20Peq%20Porte.pdf> . Acesso em: 15 mai. 2023.

N. Divyashree; K. S. Nandini Prasad. **Design and Development of We-CDSS Using Django Framework: Conducing Predictive and Prescriptive Analytics for Coronary Artery Disease**. *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Índia*, v. 10, p. 119575 – 119592, nov. 2022.

SPITZER, C. R. **Digital avionics handbook**. 2 nd Ed. CRC Press 2007. Pág. 38-2.

GLOSSÁRIO

Acessar / Login - Quando tem que fazer a autenticação para usar um determinado sistema ou serviço.

Arrastar / Drag - é uma força que age oposta ao movimento relativo de qualquer objeto em movimento.

Bordo de Ataque da Corda Aerodinâmica Média / LEMAC (Leading Edge of Mean Aerodynamic Chord) – Delimitação inicial para se mensurar a corda aerodinâmica da asa de uma aeronave.

Corda Aerodinâmica Média / MAC - Mean Aerodynamic Chord – É a distância média entre o bordo de ataque e o bordo de fuga da asa da aeronave.

Datum – Linha imaginária que é usada como referencial para o cálculo do centro de gravidade.

Estrutura / Framework – É uma ferramenta que contempla várias bibliotecas para facilitar a construção de um app.

Folha de dados / Datasheet - folha de dados ou folha de especificações.

Frontal / Front-end - Parte visual de sites e aplicações.

Impulso / Thrust - é a grandeza física que mede a variação da quantidade de movimento de um objeto. É causado pela ação de uma força F , atuando durante um intervalo de tempo.

Limite dianteiro / Forward limit – Limite dianteiro do centro de gravidade da aeronave.

Limite de poupa / Aft limit - Limite traseiro do centro de gravidade da aeronave

Manual de voo do avião / *Airplane Flight Manual* - Manual relacionado com o certificado de aeronavegabilidade, que contém limitações dentro das quais o avião pode ser considerado aeronavegável, assim como as instruções e informações de que necessitem os membros da tripulação para operação segura do avião.

Modelo / Template - refere-se a um modelo pré-formatado que serve como base para a criação de diferentes tipos de conteúdo.

Peso / Weight: - força gravitacional que qualquer corpo que apresenta massa exerce sobre outro corpo também dotado de massa.

Programas / Software - As instruções que controlam o que um computador faz; programas de computador.

Processo interno / Backend – o Backend é a parte de um aplicativo que realiza o processamento de dados ou requisição de comandos previamente programados, sendo uma parte ao qual o usuário não possui acesso.

Sustentação / Lift - Força que surge em virtude do diferencial de pressão entre o intradorso e o extradorso do aerofólio.