

QUAIS CONCEITOS E APLICAÇÕES DA FÍSICA PODEM ATUAR PARA QUE UM AVIÃO VOE¹

Sérgio Luiz Marques Fraga²

Hualan Patrício Pacheco³

RESUMO: A aviação sempre nos trouxe muita paixão e nos perguntamos como é possível um aparelho com mais de 100 toneladas conseguir voar. A explicação veio através da Física pelas Leis de Newton e o princípio de Bernoulli. Assim, este trabalho teve como objetivo analisar os conceitos da Física aplicados na aviação e sua utilização para manter o avião no ar. A pesquisa é de cunho teórico, sendo empregada a pesquisa bibliográfica, buscando através dos dados informações, contradições e respostas. O resultado encontrado foi a contradição do voo ter como causa o Princípio dos tempos de trânsitos iguais e concluindo que Newton e Bernoulli não individualmente, mas que ambos se complementam para que esse fenômeno aconteça. Na realização da pesquisa foi possível verificar que a explicação das forças atuantes no voo passam tanto por Newton como por Bernoulli, além de destacar a importância do efeito coanda para a aviação.

Palavras-chave: Força. Sustentação. Newton. Bernoulli. Efeito Coanda

ABSTRACT: Aviation has always brought us a lot of passion and we wonder how it is possible for a device with more than 100 tons to be able to fly. The explanation came through Physics by Newton's Laws and the Bernoulli principle. Thus, this work aimed to analyze the concepts of Physics applied in aviation and its use to keep the plane in the air. The research is of a theoretical nature, using bibliographic research, searching through the data for information, contradictions and answers. The result found was the contradiction of the flight having as a cause the principle of equal transit times and concluding that Newton and Bernoulli are not individually, but that both complement each other for this phenomenon to happen. In carrying out the research it was possible to verify that the explanation of the forces acting on the flight pass through both Newton and Bernoulli, in addition to highlighting the importance of the coanda effect for aviation.

Key-words: Strength. Lift. Newton. Bernoulli. Coanda Effect.

¹ Artigo requisito parcial para obtenção do título de Graduado em Licenciatura em Física pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia.

² Discente do curso de Licenciatura em Física do IFRO - Campus Porto Velho Calama.

³ Mestre em ensino de física. Licenciado em Física. Docente do Curso de Licenciatura em Física IFRO campus Porto Velho Calama. Orientador de TCC.

1 INTRODUÇÃO

Durante muito tempo o homem buscou formas de alçar voo e por meio disso o aperfeiçoamento de técnicas foi se fazendo cada vez mais intenso, com o passar do tempo as questões teóricas eram as que mais contribuíam para o avanço da aviação, no entanto, nos dias atuais devemos nos preocupar com as questões didáticas para a nova geração, que consistem em *explicar como os conceitos desenvolvidos na Aerodinâmica permitem a continuidade do voo do avião?*

Este artigo se propõe a colher informações sobre a influência que os conceitos e aplicações da Física podem atuar para que um avião possa voar, utilizando as Leis de Newton e o Princípio de Bernoulli.

A necessidade do homem de voar levou diversos cientistas e estudiosos aos questionamentos sobre como fazer para que o homem alçasse voo. Leonardo da Vinci fundamentou os primeiros princípios da aerodinâmica e formulou a base científica para o voo humano, observando os pássaros. Bartolomeu de Gusmão idealizou e construiu o balão. Augusto Severo apresentou um projeto de dirigível ao Instituto Politécnico Brasileiro em 1881, dando o nome de Bartolomeu de Gusmão. Conde Zeppelin, Otton de Lilienthal, Irmãos Wright, Santos Dumont, entre outros, foram fundamentais para o progresso da aviação. No entanto, foram os cientistas e estudiosos que puderam elucidar os mecanismos por trás do voo de uma aeronave e o quanto da importância do estudo da Física e seus feitos para que isso acontecesse.

Muito dos avanços tecnológicos que dispomos hoje são frutos dos estudos e trabalhos de físicos que dedicaram suas vidas uma contribuição para que a nossa se tornasse mais fácil. Como acadêmico do curso de Licenciatura em Física, este tema “Física na aviação”, visa uma familiaridade com a ciência do voo e as tecnologias utilizadas para que um avião alce o voo, pois a temática contribui para que alunos possam aprender um pouco mais sobre os conceitos da aviação e como a física pode explicá-los.

O meu interesse sobre o voo do avião aconteceu quando ingressei em uma escola de aviação, uma matéria introdutória sobre a mesma explicava que o motivo de um avião voar era o “O Princípio dos tempos de trânsito iguais” originado do

Princípio de Bernoulli. Esta explicação era aceita por mim até que necessitei fazer um trabalho de pesquisa e que para minha surpresa, aquilo que eu achava ser correto não condizia com a realidade. Assim, enquanto estudante de física, acredito que essa pesquisa possa colaborar com o meio acadêmico, considerando as dúvidas que permeiam a temática. Por isso, o problema de pesquisa estabelecido foi: Como os conceitos desenvolvidos na Aerodinâmica permitem a continuidade do voo do avião? Definido o problema, temos como objetivo geral identificar os conceitos da Física aplicados na aviação e sua aplicação para manter o avião no ar e como objetivos específicos: a) estudar os conceitos das Leis de Newton, Princípio de Bernoulli, do Efeito Coanda e aplica-los na aviação; b) buscar explicação científica que auxilie o entendimento do processo do voo de uma aeronave. Como hipótese propomos: i) O Princípio dos tempos de trânsito iguais, utilizando o Princípio de Bernoulli, quando o ar ao entrar em contato com asa se divide em duas porções para chegar ao bordo de fuga ao mesmo tempo. Como o extradorso⁴ tem uma angulação, a velocidade é maior na parte de cima, causando uma diminuição da pressão em cima e aumento da pressão em baixo, fazendo com que o avião alce voo. ii) A explicação da sustentação em que um fluxo de ar é empurra um aerofólio para baixo ao ser acelerado, provocando uma reação que é a sustentação.

Para isso, apresentamos neste artigo o referencial teórico que retoma a história do voo, através do voo de Ícaro da mitologia grega passando pelo voo do balão e até Santos Dumont. Esse trabalho nos orienta a respeito da importância de Bernoulli e Newton tiveram para elucidar os mecanismos e as forças existentes em um voo de uma aeronave. A metodologia em que destacamos a opção metodológica da pesquisa bibliográfica, utilizando principalmente artigos específicos da aviação, pois essa é uma área incipiente em nosso país e são poucas as faculdades que ensinam sobre a aviação, principalmente engenharia aeronáutica. Os resultados e discussões faz uma analogia entre os defensores de Newton e os de Bernoulli, nos mostrando ao final que ambas as correntes tem sua parte de certeza, mas concluímos que ambas se complementam e por fim as considerações finais.

⁴ Parte superior da asa

Nosso objetivo é estudar os conceitos das Leis de Newton, do Princípio de Bernoulli, do Efeito Coanda⁵ e aplicá-los na aviação, buscando uma explicação científica que auxilie o entendimento do processo do voo de uma aeronave.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O homem sempre teve um fascínio por voar. Na mitologia grega, Dédalo, um dos homens mais criativos e habilidosos de Atenas, foi colocado juntamente com seu filho, em um labirinto construído pelo próprio Dédalo, na Ilha de Creta de onde era impossível sair por terra ou mar, pois o Rei Minos, controlava a terra e o mar. Dédalo disse: “Minos controla a terra e o mar, mas não controla o ar”. Assim, Dédalo inventou asas feitas de cera e penas de aves de diversos tamanhos. Dédalo e seu filho Ícaro conseguiram sair do labirinto, utilizando suas asas, mas Dédalo alertara a Ícaro para que o mesmo não voasse muito próximo do sol. Ícaro o desobedecera e ao se aproximar do sol, a cera derreteu e Ícaro caiu no mar. A mitologia grega é muito rica e esse pequeno relato foi baseado no site saber cultural.

A paixão por voar sempre esteve presente no homem. E dois brasileiros ilustres davam seus primeiros saltos para o sonho virar realidade. O Padre Bartolomeu Lourenço de Gusmão, conhecido como o ‘Padre Voador’ inventou o Aeróstato ou Balão que deu o nome Passarola. Alberto Santos Dumont projetou e construiu o 14 Bis. O mundo ficou admirado quando no campo de Bagatelle, em Paris, no ano de 1906, Santos Dumont levantou voo com um aparelho mais pesado que o ar, percorrendo 220 metros a uma altura de 6 metros.

Para Barros e Barros (2006), um aspecto importante na invenção do avião é a quase completa ausência de um corpo de trabalho científico. Os inventores eram, na vasta maioria, leigos mecanicamente talentosos, com pouco conhecimento de princípios básicos bem estabelecidos. Isso pode ser visto, por exemplo, na ausência de consideração do torque das diversas forças envolvidas, ao passo que o balanço das forças recebia a atenção devida.

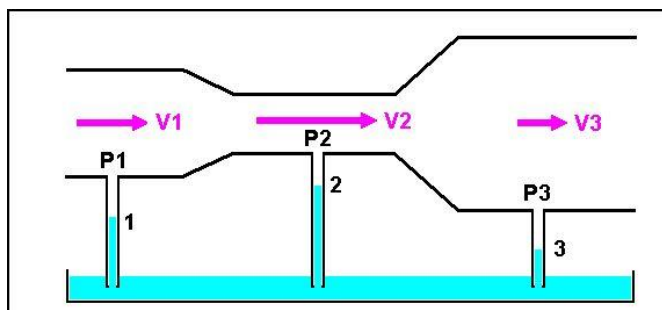
Com todo o trabalho experimental e toda dificuldade, sabia-se que o voo de um avião estava perto, conforme o artigo da revista Science de 1885:

⁵ Consiste no fato de um jato de fluido, neste caso o ar, permanece colado à superfície de um corpo sólido quando soprado sobre este (Soares, 2001)

Chega-se à conclusão de que a arte da aerostação está muito mais próxima de um estágio de aplicação prática do que os cientistas geralmente supõem. Os objetivos agora buscados são o alcance de formas melhores e mais estáveis, o arranjo mais efetivo das partes, a invenção de motores mais leves, invariáveis em peso, e de garantir uma maior eficiência dos instrumentos de propulsão. Agora mesmo, com a experiência do passado, é possível construir uma máquina desta classe capaz de se locomover a pelo menos dez metros por segundo em relação ao meio circundante.

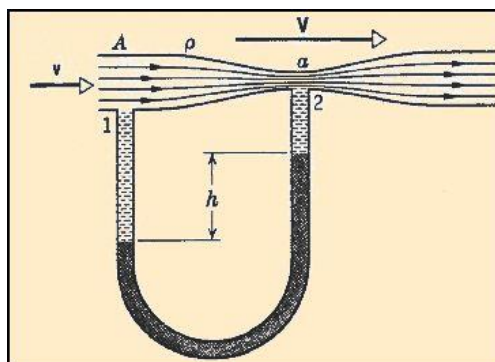
De acordo com Barros (2006) nenhum dos inventores foi capaz de explorar os resultados em mecânica dos fluidos obtidos por Bernoulli no século XVIII (figura 1 e 2). Isso teria simplificado enormemente as coisas. Assim, inventores e engenheiros começaram a buscar soluções para que aparelhos mais pesados do que o ar se tornasse mais rápidos e seguros. Com isso, a física, através da aerodinâmica, foi e continua sendo muito importante para o desenvolvimento dos aviões e hoje muitos deles voam muito mais rápido quando comparados a velocidade do som e são estatisticamente, considerados o segundo meio de transporte mais seguros, perdendo apenas para os elevadores.

Figura1: Princípio de Bernoulli



Fonte: Colarejo (2001)

Figura 2: Medidor de Vazão Tipo Venturi



Fonte: Fox, Pritchard e McDonald (2010)

Pelas pesquisas estatísticas, as chances de uma pessoa sofrer um acidente aéreo é de apenas 1 em 8 milhões — menores do que as de ser atacado por um tubarão. Para fins de comparação: as chances de acidentes de carro são de cerca de 1 em 18.800; de bicicleta, 1 em 341.000; e de barco, 1 em 402.000. Estes números fazem do avião o meio de transporte mais seguro que existe, ficando atrás apenas do elevador, pois devemos levar em conta que ninguém irá de uma cidade a outra de elevador. Martins (2015).

E como os aviões voam? Segundo Anderson e Eberhardt (2006). Atualmente muitas pessoas já andaram de avião e muitos se perguntaram como é que um avião voa. A resposta que normalmente se obtém ou é enganosa ou simplesmente errada. Respostas foram buscadas por diversos engenheiros e físicos que começaram a decifrar os mecanismos da sustentação de um aerofólio. Um dos métodos para explicar a razão dos aviões voarem é o princípio de Bernoulli⁶ (Princípio dos Tempos de Trânsitos Iguais). Para Anderson e Eberhardt (2006), a maior vantagem desta descrição é que ela é fácil de ser entendida e tem sido ensinada há anos. Devido a sua simplicidade, ela é usada na maioria dos manuais de treinamento de voo para explicar a sustentação de uma asa.

No avião existem os principais componentes aerodinâmicos (figura 3) e são essenciais para o entendimento das forças que atuam no voo.

A asa é um aerofólio⁷ e é dividida em quatro partes, a sua frente é o bordo de ataque, pois é ele que ataca o ar; a sua parte traseira o bordo de fuga; a parte superior é o extradorso e o intradorso a parte inferior. Existem outros aerofólios como a hélice, os estabilizadores vertical e horizontal, o profundor e o leme. Existem dois tipos de asas (figura 4), com perfis assimétricos em que o extradorso é maior em relação ao intradorso e apresenta uma certa angulação. Os perfis simétricos são aqueles que o extradorso e o intradorso são iguais. A linha que divide a asa entre extradorso e intradorso é conhecida como *corda* que inicia no bordo de ataque e termina no bordo de fuga.

⁶ A Equação de Fundamental da Hidrodinâmica de Bernoulli é uma relação entre a pressão, a velocidade e a altura em pontos de uma linha de corrente. $P_1 + \rho gy + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{constante}$

⁷ São superfícies aerodinâmicas que provocam reações úteis ao voo.

Figura 3: Principais Componentes Aerodinâmicos



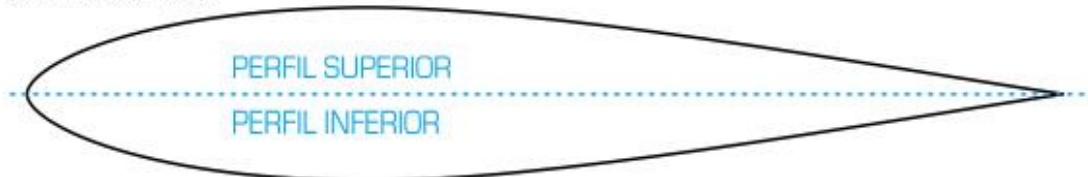
Fonte: Fontes - Instituto de Física – UFRGS. (S.D)

Figura 4: Perfis da Asa

ASA ASSIMÉTRICA



ASA SIMÉTRICA



Fonte: Viana (2015)

Nos aerofólios de perfis assimétricos, alguns pesquisadores utilizam conceitos errôneos e que são comumente propagados como verdadeiros, como o chamado “Princípio dos Tempos de Trânsito Iguais”. O ar ao passar pelo bordo de ataque da aeronave se divide em dois e chegam ao bordo de fuga no mesmo tempo, demonstrado na figura 5. Isso acontece em razão da velocidade do ar no extradorso ser maior do que no intradorso e assim, consegue chegar ao mesmo tempo. Como estamos tratando de ar, que é um fluido, podemos aplicar o Princípio de Bernoulli, que diz "Se a velocidade de uma partícula de um fluido aumenta enquanto ela se escoar ao longo de uma linha de corrente, a pressão do fluido deve diminuir e vice-versa". Como a velocidade é maior no extradorso, pelo princípio, sua pressão será menor, fazendo que asa seja puxada para cima e assim, permitindo que o avião levante voo.

Figura 5: Princípio dos Tempos de Trânsitos Iguais.



Fonte: Instituto de Física (S.D)

O Princípio dos Tempos de Trânsito Iguais apresenta duas falhas principais. A primeira, o ar não chega ao mesmo tempo no bordo de fuga, mostrado na figura 6. A segunda, no aerofólio de perfil simétrico, ao ar até chega ao mesmo tempo, porém as velocidades são iguais, que resultaria na mesma pressão.

Figura 6: A dinâmica dos fluidos complementada e a sustentação da asa.

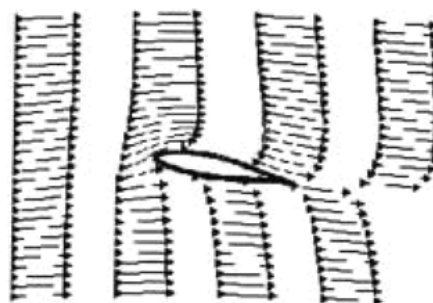


Figura 2b. Escoamento calculado teoricamente [6].

Fonte: Anderson; Eberhardt (2006)

Se o Princípio dos tempos de Trânsitos Iguais não explica como acontece o voo, qual seria a explicação, então?

Para Studart e Dawmen (2006), a força aerodinâmica total pode ser decomposta em duas componentes: a sustentação e o arrasto. Segundo Oliveira (2017 apud Neves; Pereira, 2006) um dos grandes desafios superados foi entender as forças que atuam durante o voo. Hoje sabemos que a sustentação do voo de um avião vem da ação da força resultante aerodinâmica (Figura 7). Esta força, com direção perpendicular à superfície do aerofólio e sentido para cima, surge devido ao escoamento de ar nas asas do avião e também pelo terceiro princípio fundamental da dinâmica, conhecida como a 3^o lei de Newton ou Lei da ação e reação, pois o avião age sobre o vento, aplicando uma ação na parte inferior do aerofólio que empurra o vento, e o vento reage sobre ele na parte superior do aerofólio, empurrando o avião.

Figura 7: Força resultante da Sustentação e do arrasto



Fonte: Abreu (2015)

Além desta, atuam sobre o avião a força peso e a força de tração (ou propulsão). Podemos definir mais especificamente as quatro forças envolvidas na física do voo como: Arrasto, Peso, Avanço (tração) e Sustentação (Figura 8).

Figura 8: As forças que atuam em um avião



Fonte: <https://nascidosparavooar.files.wordpress.com/2016/08/aviao.jpg?w=640>

- Arrasto é essencialmente uma força de atrito. O ar é um fluido e como qualquer fluido cria uma resistência ao movimento e quanto maior a velocidade maior será o arrasto. É a componente da força aerodinâmica paralela à direção de voo. Essa força depende de alguns fatores como a forma do corpo, a sua rugosidade e o efeito induzido resultante da diferença de pressão entre a parte inferior e superior da asa. Abaixo temos a equação da força de arrasto e podemos afirmar que qualquer variação das componentes afetará diretamente ao arrasto, mas o aumento da velocidade implica em um aumento exponencial do arrasto.

$$F_a = \frac{1}{2} \rho v^2 C A$$

F_a é a força de arrasto aerodinâmico, ρ é a densidade do ar, V é a Velocidade relativa do ar (velocidade da aeronave), C é o coeficiente de arrasto e A é a Área total das superfícies em contato com o ar.

- O peso é a força da gravidade ($P=mg$) atuando sobre o avião e dirigida para o centro da Terra;
- Tração é a força produzida pelo motor e é dirigida ao longo do eixo longitudinal do avião. Normalmente, nos dias de hoje a aviação está servida de motores convencionais, a quatro tempos e motores a reação, utilizando-se de turbo-jatos e turbo-fan;

- Sustentação é a componente da força aerodinâmica perpendicular à direção do movimento do voo. A equação da sustentação é praticamente idêntica ao arrasto.

$$L = \frac{1}{2} \rho v^2 C_L S$$

L é a força de sustentação (LIFT), ρ é a densidade do ar, V é a Velocidade relativa do ar (velocidade da aeronave), C_L é o coeficiente de sustentação e S é a área da superfície da asa.

Segundo Pleffker (2021), O fato do ar ser um gás nos faz subestimar sua força. A água também é mole e podemos facilmente mover nossas mãos calmamente em uma piscina, mas quanto mais rápido você move sua mão, a força necessária para vencer a água aumenta com o quadrado da velocidade até chegar a ponto de te machucar. É bem fácil imaginar uma asa se sustentando ao se mover embaixo d'água, mas como o ar é bem menos denso é preciso compensar com bem mais velocidade.

Já sabemos das forças que atuam, agora a explicação de como se procede o voo. Existem correntes que atribuem a Bernoulli e outros que atribuem a Newton, porém para Studart e Dawmen (2006) ambas estão corretas e se complementam.

O fluxo de ar ou linhas correntes ao passar pelo bordo de ataque se divide fazendo com que o ar no extradorso chegue primeiro ao bordo de fuga em relação ao ar que passa pelo intradorso, conforme a Figura 9. Segundo Eastlake “as linhas de corrente são espremidas umas contra as outras à medida que o fluxo se divide no bordo de ataque, causando um aumento da velocidade local de acordo com o princípio de conservação de massa. O aumento de velocidade diminui a pressão estática local, que é também a pressão sobre a superfície do aerofólio, de acordo com a lei de Bernoulli que, se você se recordar, é a lei de conservação de energia. Então na parte posterior da região mais grossa da asa as linhas de corrente se espalham novamente. O fluxo é reduzido, e a pressão estática local aumenta. Isto acontece em boa medida no extradorso e intradorso da asa, mas é muito mais pronunciado na parte anterior do extradorso, de modo que o extradorso acaba levando os créditos como sendo o principal gerador da sustentação”.

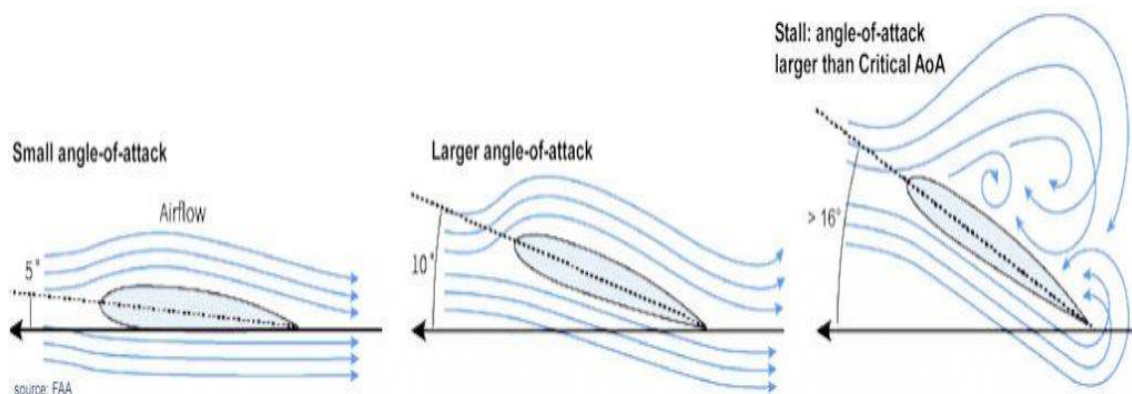
A explicação do porque o ar passa mais rapidamente no extradorso é em razão de uma angulação projetada entre a asa do avião com o solo, assim que o avião começa a ganhar velocidade, em razão do empuxo ou tração, o ângulo formado pelo bordo de ataque e o solo aumenta e o princípio de Bernoulli começa a atuar. Vemos que os espaçamentos nas linhas de corrente de ar localizadas no extradorso são menores quando comparadas ao intradorso, figuras 6, 9, 10 e 11. Por este motivo, o ar do extradorso chega primeiro ao bordo de fuga que o ar que passa pelo intradorso.

Figura 9: Ilustração de como o avião voa



Fonte: Sorbille, Rodrigo (2018)

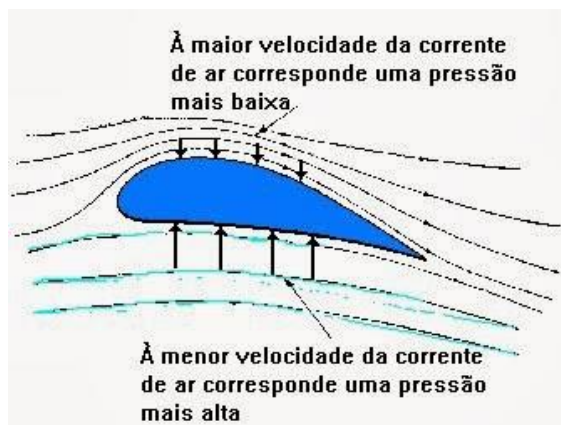
Figura 10: Ilustração de como o avião voa



Um ângulo de ataque exagerado faz com que a camada de ar no extradorso da asa se desprenda e se torne turbulento. O *stall* pode ocasionar a queda de uma aeronave.

Fonte: Pleffker, Brunno (2021)

Figura 11: Escoamento do ar em torno da asa



Fonte: Guia do Aviador (2017)

Falamos de Bernoulli, porém Newton tem sua importância quando tratamos de um voo de uma aeronave. As três leis de Newton, a primeira lei, também conhecida como a lei da inércia, trata a respeito das condições de equilíbrio das partículas. Na segunda lei⁸, Newton analisou a relação que existe entre a força aplicada em um corpo e a mudança na velocidade que ele sofre. Terceira lei, lei da ação e reação. De acordo com Newton, não existe força que seja capaz de agir sozinha, pois, para cada força considerada ação, existe outra chamada de reação.

Segundo Weltner, Ingelman-Sundberg, Esperidião e Miranda (2000), as leis de Newton demonstram coerentemente a sustentação que se origina na aceleração do ar para baixo pela asa. A velocidade do fluxo de ar acima da asa é maior do que abaixo dela. Isaac Newton (1642 – 1727) Físico, Matemático e Astrônomo em sua obra *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica (Princípios Matemáticos da Filosofia Natural)* considerada por muitos a sua obra mais importante e influente na história da ciência, enunciou três leis fundamentais do movimento, conhecidas como As Leis de Newton.

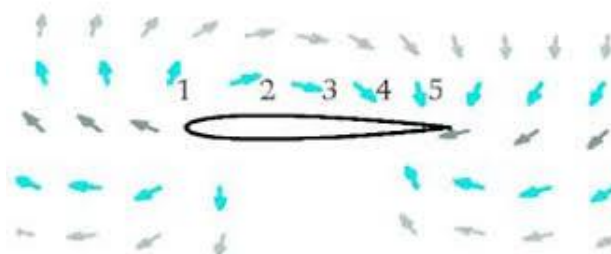
A Primeira Lei ou Princípio da Inércia, diz “Todo corpo continua em seu estado de repouso ou movimento retilíneo e uniforme (MRU), a menos que seja forçado a mudar aquele estado por uma força resultante não nula aplicada sobre ele”. A Segunda Lei ou Princípio Fundamental da Dinâmica, diz “A resultante das forças aplicadas a um ponto material é igual ao produto de sua massa pela aceleração adquirida”. A Terceira e última lei, Princípio da Ação e Reação, diz que

⁸ $F = m \cdot a$

“Toda ação sempre provoca uma reação oposta de igual intensidade, ou seja, as ações mútuas de dois corpos são sempre iguais, mas de sentidos opostos”.

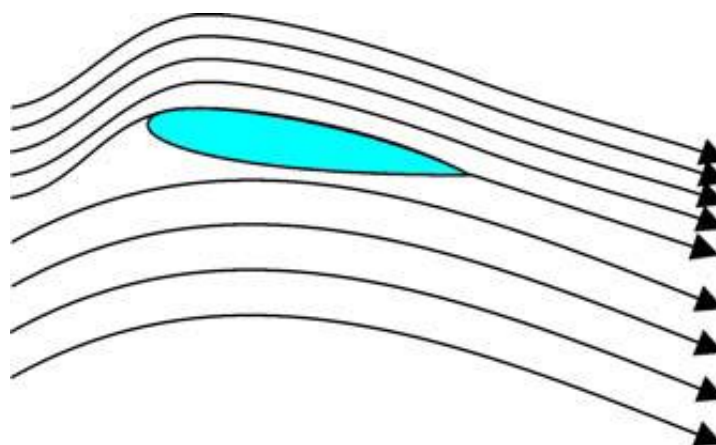
Partindo das ideias de Newton, a primeira lei se apresenta ao iniciar o movimento do avião, a força de tração começa a atuar e a aeronave inicia o seu movimento. A segunda lei fala da aceleração da aeronave. Nas figuras 9, 10, 11 e 12, mostramos o fluxo de ar colidindo com o bordo de ataque e a sua movimentação. Em razão dessa movimentação intensa no extradorso, não se deve colocar nenhuma superfície nela, o mesmo não ocorre no intradorso que principalmente em aviões militares utilizam tanques reservas para abastecimentos, conhecidos como sub-alaes. A terceira lei fica evidente nas figuras 12 e 13, podemos notar que o fluxo de ar ao final do bordo de fuga ele tende a pressionar o aerofólio para baixo, provocando uma reação contrária, isto é, a ação de pressionar a asa para baixo, que provocará na mesma uma reação que o faz empurrar para cima, permitindo assim que o avião voe.

Figura 12: Movimentação do fluxo de ar



Fonte: Anderson; Eberhardt (2006)

Figura 13. Distribuição esquemática das linhas de corrente através de uma asa.



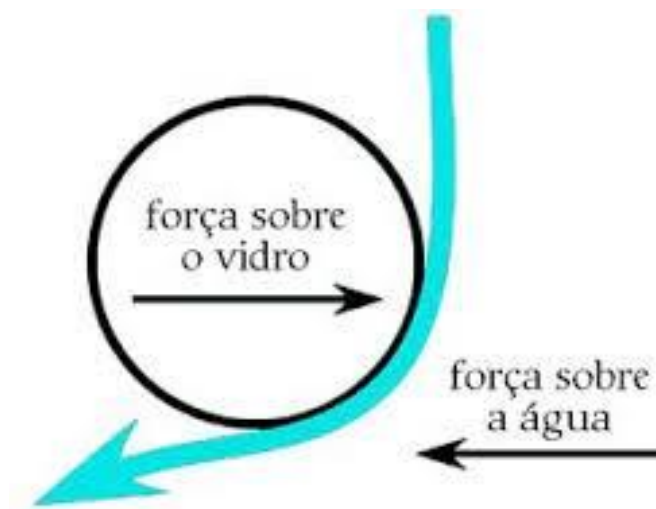
Fonte: Studart e Dawmen (2006)

Segundo Soares (2001) “Dentre os vários entusiastas do voo do mais pesado que o ar, que efetivamente contribuíram para a idealização do avião, sem dúvida, se destacou em várias razões Henry Coanda (1886 – 1972) um jovem engenheiro romeno que contribuiu para esta nova ciência que tratava desse novo tipo de voo.”

Para Anderson e Eberhardt (2006), um outro fator muito importante, pois sem ele não existiria o voo é o efeito Coanda. Efeito Coanda é a tendência de um filete de um fluido permanecer unido a uma superfície curva adjacente. Outra característica importante dos fluidos é a sua viscosidade. Percebemos isso quando a poeira no para-brisa do carro não sai se simplesmente jogarmos água. E isso é muito importante, pois o ar adere a superfície do aerofólio. Em temperaturas muito baixas e com muita umidade é normal a formação do gelo e quando isso ocorre nas asas põe em risco o voo, pois o ar não consegue a aderência necessária que dê sustentação a aeronave. Por isso vemos nos aeroportos procedimentos que evitam a formação do gelo chamado de-icing.

Na figura 14, temos um outro exemplo do efeito Coanda. Ao colocarmos uma garrafa embaixo de um filete de água podemos ver que a água não cai imediatamente pela lei da Gravidade, mas ela tende a acompanhar a forma da garrafa.

Figura 14: Efeito Coanda.



Fonte: Anderson; Eberhardt (2006)

3 METODOLOGIA

Com objetivo de identificar os conceitos da Física aplicados na aviação e sua aplicação para manter o avião no ar, realizou-se Pesquisa Bibliográfica. Segundo Fonseca (2002, p. 32), é realizada:

A partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites. Qualquer trabalho científico inicia-se com uma pesquisa bibliográfica, que permite ao pesquisador conhecer o que já se estudou sobre o assunto. Existem, porém pesquisas científicas que se baseiam unicamente na pesquisa bibliográfica, procurando referências teóricas publicadas com o objetivo de recolher informações ou conhecimentos prévios sobre o problema a respeito do qual se procura a resposta.

Para Gil (2007, p. 44), os exemplos mais característicos desse tipo de pesquisa são sobre investigações sobre ideologias ou aquelas que se propõem à análise das diversas posições acerca de um problema.

A Pesquisa Bibliográfica embasa explicações sobre: Quais conceitos da Física são aplicados na aviação. Analisar como a aplicação desses conceitos podem corroborar para manter o avião no ar, dando o suporte necessário ao trabalho, sendo utilizados artigos e dissertações a respeito do tema.

A pesquisa irá estabelecer diferenciações, similaridades e comparações entre as teorias de Anderson, David; Eberhardt, Scott (2006); Studart, Nelson; Dawmen, Silvio R. (2006); Itner, Klaus; Ingelman-Sundberg, Martin; Esperidião, Antonio Sergio; Miranda, Paulo (2002) e de como eles divergem sobre a maneira como ocorre um voo de uma aeronave. Assim, através das pesquisas podemos explorar todo o conhecimento dos autores e achar os aspectos positivos e negativos de cada um, para estabelecer uma conclusão mais precisa sobre o tema.

Este estudo busca fornecer aos estudiosos e também porque não dizer aos curiosos sobre como a física elucida os mistérios do voo de uma aeronave, levando em conta a atuação das forças que agem sobre a mesma. A pesquisa partirá da leitura e análise de autores que abordam o tema, sendo eleito quatro trabalhos para o desenvolvimento deste projeto.

A pesquisa considerou os trabalhos realizados por Anderson; Eberhardt (2006), Studart; Dahmen (2006) e Itner; Ingelman-Sundberg; Esperidião; Miranda (2002) utilizando tanto as Leis de Newton quanto o Princípio de Bernoulli. Soares (2001) faz um estudo do Efeito Coanda e a sua importância na aviação, principalmente na sustentação.

O estudo de cada autor tem em comum a explicação de como acontece o voo de um avião. Os primeiros autores levam em consideração As Leis de Newton e a importância do Efeito Coanda. Para Studart; Dahmen (2006) as Leis de Newton e o Princípio de Bernoulli se complementam. Itner; Ingelman-Sundberg; Esperidião; Miranda (2002) levam em consideração apenas Newton.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O objetivo deste estudo sendo, os conceitos da Física aplicados na aviação e sua aplicação para manter o avião no ar e os objetivos específicos, estudos dos conceitos das Leis de Newton, Princípio de Bernoulli, buscando neles um entendimento científico para o voo de uma aeronave, assim como o Problema: Como os conceitos desenvolvidos na Aerodinâmica permitem a continuidade do voo do avião? Nos leva a uma análise criteriosa sobre os elementos que explicam como esses fenômenos acontecem.

Ao analisarmos as forças que influenciam o voo de uma aeronave, percebemos que tanto Newton como Bernoulli se complementam. Suas Leis e Princípios esclarecem conjuntamente a mecânica do voo, porém outros fatores são importantes para que esse evento ocorra. Tanto no aspecto científico ao incluirmos as Equações de Euler e Equações de Navier-Stokes, como funcional ao falarmos das estruturas aerodinâmicas, entre elas os flaps, spoilers, estabilizadores e a própria fuselagem em uma escala menor, mas também é responsável pela sustentação.

Foi comentado o “Princípio dos trânsitos de tempos iguais” baseado no princípio de Bernoulli como um meio de explicar o processo de voo de uma aeronave, no entanto, foi provado que o ar dividido pelo bordo de ataque das asas não chega ao mesmo tempo ao bordo de fuga e sim mesmo tendo de percorrer um

caminho maior, o ar que passa por cima das asas chegam primeiro. Esse é o fator que invalida o “princípio do trânsito de tempos iguais”.

Assim, essa pesquisa ajuda a derrubar uma teoria que alguns autores e estudiosos espalham sobre a força de sustentação, que ela é gerada pelo Princípio dos Tempos de Trânsitos iguais, uma falácia que sobrevive até hoje graças a sua facilidade de entendimento.

Para Pleffker (2021), os detalhes reais de como uma asa de avião gera sustentação são muito complexos e não se prestam à extrema simplificação. Para um gás, temos que conservar simultaneamente a massa, o momento e a energia no fluxo. As leis do movimento de Newton são declarações relativas à conservação do momento. A equação de Bernoulli é derivada considerando a conservação de energia. Portanto, ambas as equações são satisfeitas na geração de sustentação; ambos estão corretos.

Assim, o Princípio de Bernoulli, as Três Leis de Newton e o Efeito Coanda explicam como ocorre a principal força que permite uma aeronave alçar voo, a sustentação. Os autores abaixo têm em seus estudos uma explicação lógica de como acontece o voo de uma aeronave, partindo dos estudos de Newton e Bernoulli. Além da importância de Newton e Bernoulli, Soares (2001) nos faz refletir sobre a importância do efeito Coanda para a aviação.

1. Anderson, David; Eberhardt, Scott. Como os aviões voam: A descrição Física do Voo (2006).
2. Studart, Nelson; Dahmen, Silvio R. A Física do Voo na Sala de Aula (2006).
3. Itner, Klaus; Ingelman-Sundberg, Martin; Esperidião, Antonio Sergio; Miranda, Paulo. A Dinâmica dos Fluidos Complementada e a Sustentação da Asa (2002).
4. Soares, João Marcos. Variação da Distribuição de Pressão em um Aerofólio Devido ao Efeito Coanda (2001)

Para análise dos dados propõem-se a utilização do quadro abaixo, etapa em que serão analisados *conceitos, diferenças e similaridades* entre os estudos dos autores.

Quadro 1 – Apresentação dos conceitos, diferenças e similaridades encontrados entre os autores

	Conceitos	Diferenças	Similaridades
Anderson; Eberhardt (2006)	Leis de Newton e o Efeito Coanda	Os autores utilizam as Três Leis de Newton para explicar as forças que atuam no voo de uma aeronave em conjunto com o Efeito Coanda	A utilização de errônea do Princípio dos tempos de trânsitos iguais para explicar por que os aviões voam.
Studart; Dahmen (2006)	Princípio de Bernoulli e as Leis de Newton	Os autores partem da premissa que tanto o Princípio de Bernoulli quanto as Leis de Newton se complementam.	A utilização de errônea do Princípio dos tempos de trânsitos iguais para explicar por que os aviões voam. Utilização do efeito Coanda
Itner; Ingelman-Sundberg; Esperidião; Miranda (2002)	Leis de Newton	Os autores partem do princípio que a sustentação é uma reação. Na aceleração de uma aeronave, surge uma força vertical que empurra a asa de cima para baixo, tendo como efeito uma contraforça chamada sustentação.	A utilização de errônea do Princípio dos tempos de trânsitos iguais para explicar por que os aviões voam. Utilização do Efeito Coanda.
Soares (2001)	Efeito Coanda	O autor destaca a importância científica do Efeito Coanda nos voos das aeronaves. Ele enfatiza que pode ter o Princípio de Bernoulli ou as Leis de Newton, mas se não houvesse o Efeito Coanda, não haveria sustentação.	Não há.

Fonte: Fraga (2021)

Outro fator preponderante para a sustentação de uma aeronave e como consequência, o voo, é o Efeito Coanda, que nos ensina a viscosidade do ar e como ele se comporta nas superfícies curvas, isto é, se não fosse esse efeito de nada adiantaria o Princípio de Bernoulli ou as Leis de Newton que não teria como as aeronaves levantarem voo.

A aerodinâmica é uma ciência que pode estimular o aluno a conhecer um pouco mais sobre a física, principalmente nos ensinamentos de Newton, Bernoulli, Euler, Navier-Stokes, o efeito Coanda, entre outros. Seu campo de estudo é amplo e desafiador, fora o interesse de muitos pela aviação que se torna um atrativo a mais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os fatores que possibilitam o voo de uma aeronave são muito variáveis, alguns desses fatores pudemos mostrar neste trabalho. A Física nos possibilita entender todas essas variáveis permitindo que desde o primeiro voo até os dias atuais, o avião tivesse um salto grandioso em tecnologia, permitindo voos cada vez mais rápidos, com aumento da capacidade de carga, autonomia, economia de combustível e a diminuição dos ruídos dos motores.

Este trabalho evidencia que o voo de uma aeronave não é explicada unicamente pelas Leis de Newton ou pelo princípio de Bernoulli, mas por ambas levando ainda em consideração o efeito Coanda, pois sem ele é impossível a sustentação de uma aeronave.

Ao finalizarmos, devemos levar em consideração o princípio de Bernoulli na área da aviação, tendo o cuidado necessário se realmente as explicações são de fatos verdadeiras, pois o Princípio dos Tempos de Trânsitos Iguais é muito utilizado em razão do seu fácil entendimento e compreensão, mas não condiz com a realidade. Ao elaborar este projeto nos deparamos com vários artigos na WEB mostrando de forma errônea com a utilização deste princípio. Devemos ter o cuidado de sempre procurar mais de uma fonte para realmente termos convicção se o conteúdo estudado reflete a realidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Hélio Luis Camões de. **Aerodinâmica**. AeroTD Escola de Aviação Civil. Florianópolis. 2015. Disponível em: <<https://aerotd.com.br/decoleseufuturo/wp-content/uploads/2015/05/AERODIN%C3%82MICA-.pdf>>. Acesso em: 20 jul 2020.

ANDERSON, David; EBERHARDT, Scott. **Como os aviões voam: A descrição Física do Voo**. Física na Escola. V. 7 N. 2. 2006. Disponível em: <<http://www1.fisica.org.br/fne/edicoes/category/22-volume-07-n-2-outubro>>. Acesso em: 18 mar 2020.

Colarejo, José. **Por que voa um avião**. Clube de Aeromodelismo de Lisboa. 2001. Disponível em: <http://www.clubeaerolisboa.pt/aerodinamica/aerodinamica1.htm>. Acesso em: 08 mai 2020.

EASTLAKE, Charles N. **A visão de um engenheiro aeronáutico acerca da sustentação, Bernulli e Newton**. Física na Escola. V. 7 N. 2. 2006. Disponível em: <<http://www1.fisica.org.br/fne/edicoes/category/22-volume-07-n-2-outubro>>. Acesso em: 18 mar 2020.

FERRARO, Nicolau Gilberto; TORRES, Carlos Magno A.; PENTEADO, Paulo Cesar M. **Física, volume único**. 1 ed – São Paulo: Moderna, 2012.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

FOX, Robert W.; PRITCHARD, Phiplip J.; MCDONALD, Alan T. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2010.

FONTES, André. **O que faz um avião voar**. Instituto de Física – UFRGS. (S.D) Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20031/Andre/#5.%20>>. Acesso em: 18 mar 2020.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. Ed - São Paulo: Atlas, 2007.

ILTNER, Klaus; INGELMAN-SUNDBERG, Martin; ESPERIDIÃO, Antonio Sergio; MIRANDA, Paulo. **A Dinâmica dos Fluidos Complementada e a Sustentação da Asa**. 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172001000400009>. Acesso em: 08 mai 2020.

MARTINS, João Paulo. **Qual o meio de transporte mais seguro?** (2015). Disponível em: <http://sites.correioweb.com.br/app/noticia/encontro/atualidades/2015/01/07/interna_atualidades,1959/qual-o-meio-de-transporte-mais->

seguro.shtml#:~:text=O%20avi%C3%A3o%20%C3%A9%20considerado%20o,Co
nd%C3%A9%20Nast%20nos%20Estados%20Unidos.> Acesso em: 05 jul 2020.

NEVES, Marcos Cesar Danhoni; PEREIRA, Ricardo Francisco. **Divulgando a Ciência: de brinquedos, jogos e do voo humano**. Maringá: Massoni, 2006.

OLIVEIRA, Mayara Ricardo de. **Leonardo da Vinci e o estudo do voo: Uma abordagem para o ensino de ciências**. 2017. 43 p. Dissertação (Mestre em Educação para a Ciência e a Matemática) – Universidade Estadual de Maringá, 2017. Disponível em: <<http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/4460/1/000225816.pdf>>. Acesso em: 23 jan 2021.

PLEFFKER, Brunno. **Como os aviões realmente voam?** Disponível em: <<https://www.espacotempo.com.br/como-os-avioes-realmente-voam/>> Acesso em: 21 jan 2021.

SOARES, João Marcos. **Variação da Distribuição de Pressão em um Aerofólio Devido ao Efeito Coanda**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18135/tde-12042017-164149/publico/Dissert_Soares_JoaoS_cor.pdf>. Acesso em: 06 mai 2020.

STUDART, Nelson; DAHMEN, Silvio R. **A Física do Voo na Sala de Aula**. Física na Escola. V. 7 N. 2. 2006. Disponível em: <<http://www1.fisica.org.br/fne/edicoes/category/22-volume-07-n-2-outubro>>. Acesso em 18 mar 2020.