UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CAMPUS AGRESTE
NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE
CURSO DE FÍSICA – LICENCIATURA

CÍCERO VINÍCIUS DA SILVA

A DINÂMICA DA AVIAÇÃO: uma proposta de contextualização do Princípio de Bernoulli no Ensino Médio

Caruaru/PE
2024

CÍCERO VINÍCIUS DA SILVA

A DINÂMICA DA AVIAÇÃO: uma proposta de contextualização do Princípio de Bernoulli no Ensino Médio

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Licenciatura em Física do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade de monografia, como requisito parcial para a obtenção do grau de Licenciado em Física.

Área de concentração: Ensino de Física.

Orientador (a): Profª. Drª Tassiana Fernanda Genzini de Carvalho

Caruaru/PE

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

SILVA, Cícero Vinícius da.
A DINÂMICA DA AVIAÇÃO: uma proposta de contextualização do Princípio de Bernoulli no Ensino Médio / Cícero Vinícius da SILVA. - Caruaru, 2024.
86 p. : il.

Orientador(a): Tassiana Fernanda Genzini de CARVALHO
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Física - Licenciatura, 2024.
Inclui referências, apêndices.

1. Aviação. 2. Ensino de Física no Ensino Médio. 3. Princípio de Bernoulli. 4. Sequência Didática. I. CARVALHO, Tassiana Fernanda Genzini de. (Orientação). II. Título.

530 CDD (22.ed.)

CÍCERO VINÍCIUS DA SILVA

A DINÂMICA DA AVIAÇÃO: uma proposta de contextualização do Princípio de Bernoulli no Ensino Médio

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Licenciatura em Física do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade de monografia, como requisito parcial para a obtenção do grau de Licenciado em Física.

Aprovada em: 14/10/2024

BANCA EXAMINADORA

_____

Profª. Drª. Tassiana Fernanda Genzini de Carvalho (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

_____

Prof. Dr. João Eduardo Fernandes Ramos (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

_____

Profª. Drª. Diana Patrícia Gomes de Almeida (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho ao grandioso Deus, à minha família e ao meu cunhado, Flávio de Godoy Alves (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que fizeram parte dessa caminhada, primeiramente ao bom Deus que nunca me deixou desistir, a minha família que me apoiou, aos meus professores da universidade que contribuíram para a minha formação e aos meus amigos, Felipe Rafael, Gabriel Cavalcante, Guilherme Feitosa, Jonnas Gabriel, João Victor, Maiara Gomes e Thaís Gomes, que foram companheiros nessa caminhada com alegria e boas energias.

Um agradecimento muito especial também a minha professora e orientadora, Tassiana Carvalho, que não só me ajudou a desenvolver este trabalho, mas também me auxiliou no desenvolvimento acadêmico e humano com sua paciência, amizade e solidariedade, sou eternamente grato.

Quero agradecer também aos meus professores do Ensino Médio, Leidijane Ferreira, Luciele de Holanda e Renato Souza que torceram por mim e me incentivaram a escolher o curso de Física.

De maneira geral agradeço a todos que estiveram presentes em minha vida universitária e que puderam contribuir para a minha formação acadêmica e transformação de ser humano.

‘‘O Senhor Jesus Cristo esteja convosco para vos proteger, à vossa frente para vos conduzir, Acima de vós para vos iluminar, atrás de vós para vos guardar, ao vosso lado, para vos acompanhar.’’

Benção de São Judas Tadeu

RESUMO

Tendo em vista os desafios no Ensino de Física e a necessidade de novas metodologias para a melhoria desse ensino, este trabalho apresenta uma sequência didática que tem como objetivo relacionar conceitos do Princípio de Bernoulli com a aviação, para o ensino médio. A pesquisa parte de uma revisão bibliográfica dos primeiros dados na história da aviação, como as primeiras tentativas de voo, os primeiros estudos e contribuições para a construção de aeronaves, até a aviação moderna e seus avanços tecnológicos. O conceito físico do Princípio de Bernoulli é explorado para justificar sua importância conceitual e sua aplicação na Física e no dia a dia. Também é feita a análise de trabalhos que envolvem estudos sobre aviação voltados para o ensino médio a fim de averiguar o potencial didático da aviação para o Ensino de Física. A sequência didática foi aplicada no terceiro ano do Ensino Médio de uma escola pública do agreste de Pernambuco e buscou contribuir para o conhecimento dos alunos com uma forma de aprendizagem contextualizada. A participação e comentários dos alunos foram expressivos em diversas atividades como: aula expositiva-dialogada, experimentação e atividade impressa. A sequência didática mostrou que sua aplicação foi positiva para o ensino e a aprendizagem.

Palavras-chave: Aviação; Ensino de Física no Ensino Médio; Princípio de Bernoulli; Sequência Didática.

ABSTRACT

Taking into account the challenges of Physics Teaching and the need for new methodologies to improve this teaching, this work presents a proposal for a didactic sequence that aims to relate concepts from Bernoulli's Principle with aviation for high school. The research starts from a bibliographical review of the first data in the history of aviation, such as the first flight tests, the first studies and contributions to the construction of aircraft, up to modern aviation and its technological advances. The physical concept of Bernoulli's Principle is explored to understand its conceptual importance and its application in Physics and everyday life. An analysis of works involving studies on special aviation for high school is also carried out in order to evaluate the didactic potential of aviation for Physics Teaching. The didactic sequence was applied in the third year of high school at a public school in rural Pernambuco and sought to contribute to students' knowledge with a contextualized form of learning. Student participation and comments in activities such as: expository-dialogue class, experimentation and printed activity showed that the application was positive for teaching-learning.

Keywords: Aviation; Bernoulli's principle; Didactic Sequence; Teaching Physics in High School.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Helicóptero de Leonardo da Vinci…….. 19
Quadro 1 - Sequência didática……... 46
Figura 2 - Ornitóptero de Leonardo da Vinci…….. 19
Figura 3 - Passarola de Bartolomeu de Gusmão…….. 20
Figura 4 - Irmãos Wright…… 21
Figura 5 - Alberto Santos Dumont e o 14-bis……. 22
Figura 6 - Boeing 707, primeiro avião de passageiros com motor a reação……. 25
Figura 7 - Ilustração do livro Física Conceitual 12º edição…….. 38
Figura 8 - Descrição dos fenômenos na asa do avião……. 39
Figura 9 - Comportamento do ar na asa do avião……. 40
Figura 10 - As quatro forças de voo…….. 41
Figura 11 - Imagem do pombo de madeira utilizada na aula…… 48
Figura 12 - Atividade final: resposta da questão 1 do grupo 1…….. 53
Figura 13 - Atividade final: resposta da questão 1 do grupo 4…….. 53
Figura 14 - Atividade final: resposta da questão 2 do grupo 3…….. 53
Figura 15 - Atividade final: resposta da questão 2 do grupo 4…….. 54
Figura 16 - Atividade final: resposta da questão 3 do grupo 4…….. 54
Figura 17 - Atividade final: resposta da questão 4 do grupo 2…….. 55
Figura 18 - Atividade final: resposta da questão 4 do grupo 4…….. 55
Figura 19 - Atividade final: resposta da questão 5 do grupo 4…….. 56
Figura 20 - Atividade final: resposta da questão 5 do grupo 3…….. 56
Figura 21 - Atividade final: resposta da questão 6 do grupo 3…….. 57
Figura 22 - Atividade final: resposta da questão 6 do grupo 1…….. 57

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO.....**	**13**
1.1	OBJETIVOS.....	15
1.2	OBJETIVO GERAL.....	15
1.2.1	**Objetivos específicos.....**	**15**
2	**HISTÓRICO INICIAL DA AVIAÇÃO.....**	**17**
2.1	LEONARDO DA VINCI.....	18
2.2	PADRE BARTOLOMEU DE GUSMÃO……	19
2.3	OS IRMÃOS WRIGHT…….	20
2.4	ALBERTO SANTOS DUMONT……..	21
2.4.1	**A morte de Santos Dumont……**	**24**
2.5	AVIAÇÃO MODERNA……..	24
3	**POTENCIAL DIDÁTICO DA AVIAÇÃO PARA O ENSINO DE FÍSICA……**	**28**
3.1	TRABALHOS E PESQUISAS SOBRE O ENSINO DE AERODINÂMICA E AVIAÇÃO NO ENSINO MÉDIO……..	28
3.1.1	**Trabalhos que propõem estudos sobre aviação voltados ao Ensino Médio……**	**28**
3.1.2	**Comparação de propostas e resultados……...**	**33**
3.2	AERODINÂMICA……...	34
3.2.1	**Fundamentos teóricos da aviação……**	**35**
4	**PRINCÍPIO DE BERNOULLI……..**	**37**
5	**METODOLOGIA……**	**43**
6	**DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS……**	**46**
6.1	OBSERVAÇÕES EM SALA DE AULA……...	47
7	**CONSIDERAÇÕES FINAIS……**	**58**
	REFERÊNCIAS……	**60**
	APÊNDICE A - PLANO DE AULA……...	**63**
	APÊNDICE B - ATIVIDADE FINAL ……..	**64**
	APÊNDICE C - FIGURAS DAS AERONAVES UTILIZADAS NA ATIVIDADE FINAL……...	**66**
	APÊNDICE D - SLIDES DAS AULAS……	**67**

APÊNDICE E - IMAGENS DO EXPERIMENTO CONFECCIONADO …… 86

1 INTRODUÇÃO

Voar, desde os primórdios, sempre foi um desejo do ser humano, isso porque o mesmo começou a observar o voo das aves e o sentimento de liberdade fez com que o homem buscasse maneiras de também poder voar. Fernandes (2018) diz que por muito tempo, o ser humano acreditou que, para voar, bastava adicionar asas ao seu corpo e imitar o movimento dos pássaros.

A vontade do ser humano de voar fez com que diversos estudiosos procurassem formas de como fazer o homem alcançar voo. De acordo com Pereira *et al.* (2018, p. 2), ‘‘os primeiros dados concretos datam de 1493, quando Leonardo da Vinci, o gênio do renascentismo, desenha a primeira máquina voadora inspirada no voo dos pássaros.’’. Em 19 de abril de 1709, na cidade de Lisboa, o padre Bartolomeu de Gusmão pediu patente para um invenção chamada de ‘‘Passarola’’, que hoje é conhecido como ‘‘aeróstato’’ ou ‘‘balão’’. Mesmo que os balões não tenham contribuído significativamente para os estudos das aeronaves, eles foram o pontapé inicial para que os estudiosos daquela época pudessem realizar pesquisas mais aprofundadas, a fim de construir um instrumento de voo que realmente voasse de forma efetiva. Com o passar do tempo, os estadunidenses, irmãos Wright construíram o ‘‘Flyer’’ e o brasileiro, Alberto Santos Dumont, o ‘‘14-bis’’ que realizaram seus primeiros voos com sucesso em 17 de dezembro de 1903 e 23 de dezembro de 1906, respectivamente. A construção desses modelos de aeronaves significou o início do desenvolvimento da aviação.

De acordo com o vídeo de Costa (2013), ‘‘ADN da Engenharia - O Airbus A380 (Documentário)’’ da National Geographic, o Airbus A380 foi inspirado no voo da águia, e teve em seu projeto estrutural o acréscimo de um dispositivo inserido em suas asas que ajudaria em sua sustentação no ar e na economia de combustível, esse dispositivo é chamado de ‘‘Winglet’’, é uma espécie de ponta de metal vertical para cima localizada no final de cada asa. Durante os testes no túnel de vento, na Universidade de Kinston, Londres, houve um problema relacionado ao comprimento das asas, pois em suas pontas acontecia um fenômeno chamado: *wake turbulence* ou vórtice da ponta da asa, fenômeno aerodinâmico que cria um movimento de ar giratório no final das asas do avião quando o ar passa por elas, e acontece porque o ar em diferentes velocidade e pressão se encontram no final da asa, que exerce uma pressão na parte de cima, acarretando na diminuição da sustentação da

aeronave durante o voo. Para resolver esse problema, os engenheiros observaram o voo da águia e constataram que a ave levantava as penas das pontas das asas para um voo mais eficiente, assim puderam utilizar dessa informação para construir o dispositivo “Winglet” no Airbus A380.

As aeronaves revolucionaram a sociedade, tanto em relação às possibilidades de viagem, quanto como o transporte de cargas. Com a criação das companhias aéreas, facilitou o transporte de mercadorias e pessoas em escala global e conectou o mundo de maneiras que antes eram inimagináveis, em termos de transportes aéreos de cargas e passageiros, além de impulsionar o desenvolvimento econômico ao criar empregos e facilitar as relações comerciais internacionais. Smith Jr (2002) fala que o progresso tecnológico, o investimento governamental, o incentivo à iniciativa privada e a inspiração de indivíduos visionários desencadearam uma revolução no comércio global através do desenvolvimento da aviação.

Um dos determinantes fundamentais para que os aviões possam voar são os fluidos, para isso, com auxílio de outros componentes estruturais do avião, eles têm sua velocidade aumentada variando características como sua pressão, dessa forma a aeronave ganha velocidade e o ar que passa por suas asas gera a sustentação necessária para que ela possa vencer a força de arrasto e levantar voo. No contexto da educação, a relação entre a mudança de pressão em um fluido, podendo aumentar a sua velocidade ou não, é descrito pelo Princípio de Bernoulli, um fenômeno físico estudado na área de Mecânica dos Fluidos.

A Física no Ensino Médio deveria despertar no aluno o interesse e a curiosidade pela Ciência, já que a disciplina preocupa-se também em estudar fenômenos que ocorrem no cotidiano. Há uma dificuldade nos alunos de assemelhar os conteúdos de sala de aula e aplicações cotidianas àqueles conhecimentos que eles já detêm. Na maioria das vezes, a abordagem do professor é feita a partir de cálculos e fórmulas que nem sempre trazem um significado com clareza de importância e aplicação, fazendo com que os estudantes tenham dificuldade de compreender os conceitos e também o que é ou para que serve a Física. Moreira (2018, p. 76) fala que “conceitos são muito mais importantes do que fórmulas, aprender a perguntar em Física é mais importante do que saber respostas corretas’’.

É notório, que quando se olha para o ensino de Física, a Hidrodinâmica é pouco ou nada explorada, e pude perceber esse fato durante o Ensino Médio e

também na graduação. Como estudante de Licenciatura em Física, decidi contribuir com o ensino trazendo um trabalho onde pudesse unir dois temas que tenho muita afinidade: aviação e Mecânica dos Fluidos. Minha motivação pessoal para escolher este tema vem de uma paixão pela aviação e um interesse em métodos educacionais inovadores e um ensino contextualizado. Meu interesse pela aviação surgiu durante a pandemia de Covid-19, onde por estarmos isolados, muitas das vezes estávamos suscetíveis a procurar outras maneiras de entretenimento. Foi nesse momento que encontrei os canais de YouTube: “Aviões e Músicas” e “Aero por trás da aviação”, e me identifiquei com os canais e seus vídeos e decidi trazer o tema para este Trabalho de Conclusão de Curso, a fim de levar ao Ensino Médio uma possível maneira de ensinar a partir da contextualização entre Aviação e Física, especificamente o Princípio de Bernoulli.

Trabalhar esse princípio através da aviação não só pode ajudar os alunos a entenderem um conceito importante da Física, como também pode tornar a aprendizagem mais atraente, especialmente para estudantes que se interessem por aviação. Ao relacionar o conteúdo teórico com aplicações práticas, os estudantes são capazes de ver uma utilidade no que aprendem. Este trabalho apresenta uma proposta de sequência didática focando na contextualização do Princípio de Bernoulli utilizando como meio a dinâmica da aviação, fazendo com que sejam relacionadas às dinâmicas de voo com esse princípio físico de uma forma conceitual. Essa sequência didática visa contextualizar e relacionar o Princípio de Bernoulli, a fim de mostrar que temas trabalhados em sala de aula podem ser vivenciados despertando curiosidade e novos conhecimentos.

1.1 OBJETIVOS

1.2 Objetivo geral

Diante disso, o objetivo geral deste trabalho é: produzir uma sequência didática que relacione conceitos do Princípio de Bernoulli com a aviação para o Ensino Médio.

1.2.1 Objetivos específicos

a) Relacionar o conteúdo da Mecânica dos Fluidos contextualizando com aviação;

b) Relacionar o Princípio de Bernoulli com variáveis importantes para o voo, como: velocidade, pressão e altitude;

c) Aplicar a sequência didática no Ensino Médio;

d) Trazer um breve relato histórico da aviação;

e)Relacionar os princípios hidrodinâmicos com a aerodinâmica das asas das aeronaves;

f) Analisar exemplos práticos de aeronaves e suas características aerodinâmicas.

2 HISTÓRICO INICIAL DA AVIAÇÃO

Nesta seção abordaremos sobre algumas pessoas que contribuíram para o desenvolvimento da aviação, que são: Leonardo da Vinci, o padre Bartolomeu de Gusmão, os irmãos Wright e Alberto Santos Dumont.

Como já mencionado, o voo dos pássaros foi uma das inspirações para que o ser humano pudesse um dia chegar a voar. Desde a pré-história, artes rupestres eram desenvolvidas desenhando esses voos, e pensava-se se era possível voar imitando o formato das asas dos pássaros. Segundo Lima (2020, p. 13), ‘‘Tem-se registrado o primeiro voo realizado pelo homem em 400 a.C., por Archytas, um estudioso da Grécia Antiga, o qual desenvolveu um pombo de madeira que conseguia alcançar até 180 metros do chão’’. Esse pombo foi considerado a primeira tentativa de voar e era movido por um jato de ar que servia como sustentação durante o voo.

Um conto da mitologia grega relata muito bem princípios que descrevem o obsessivo sonho de voar, trata-se da lenda de Ícaro, filho de Dédalo. Dédalo, um habilidoso artesão, criou asas de penas e cera para ele e seu filho escaparem do labirinto de Creta. Ele advertiu Ícaro a não voar muito alto para que o Sol não derretesse a cera, nem muito baixo para que o mar não molhasse as suas asas. Deslumbrado pela sensação de voar, Ícaro desobedeceu e subiu alto demais, resultando em sua queda fatal no mar. Essa narrativa tem grande relevância para a aviação, simbolizando o antigo desejo humano de ultrapassar os limites terrestres e conquistar os céus. A história reflete a inovação e os riscos envolvidos nas primeiras tentativas de voo, lembrando a importância da prudência e segurança. A tragédia de Ícaro sublinha a necessidade de respeitar as limitações tecnológicas, um princípio fundamental na aviação moderna, onde a segurança é prioridade.

Muitas pessoas mantiveram esse sonho de voar aceso, e com o desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia, alguns cientistas e engenheiros passaram a estudar e montar estruturas para o voo. Mencionaremos apenas alguns dos nomes mais importantes a seguir.

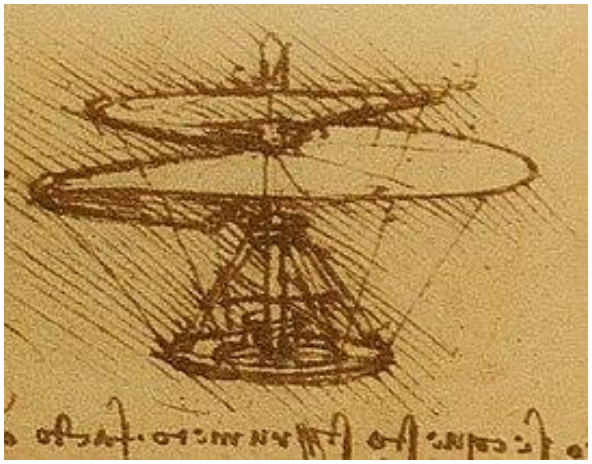
2.1 Leonardo da Vinci

Leonardo da Vinci teve pioneirismo na aviação, fascinado pelos pássaros, ele foi fundamental para os estudos da aerodinâmica e em 1408 desenhou o primeiro modelo de aeronave tripulada. De acordo com Lima (2020), registros indicam que, entre os anos de 1480 e 1505, houve um estudo minucioso do voo dos pássaros e dos planadores, focando especialmente na estrutura anatômica dos pássaros. Considerado como o homem do Renascimento e grande gênio da história, Da Vinci era autodidata em diversas áreas do conhecimento e tinha vários projetos de arquitetura e engenharia, tanto que estudou o voo dos pássaros e a partir disso, projetou o ‘‘Ornitóptero’’, que era máquina com asas que deveriam bater, assim, imitando o movimento das asas dos pássaros. Ele acreditava que, se pudesse replicar o mecanismo natural do voo das aves, os humanos também poderiam voar.

Da Vinci também projetou um helicóptero, desenhado no ano de 1493, em sua estrutura, umas das asas giratórias ligadas ao rotor tinha dois metros de diâmetro e era unida ao restante do corpo por uma estrutura também desenvolvida por Da Vinci. De acordo com Lima (2020), a invenção do helicóptero teve seu principal fundamento nos estudos e observações das sementes das árvores. Leonardo da Vinci notou que, ao se desprender das árvores, as sementes exibiam um movimento característico ao cair, o que inspirou seu conceito para a criação do helicóptero. Da Vinci tinha obsessão pela natureza e sempre se baseava na natureza para o desenvolvimento de seus projetos, como por exemplo, o planador que era baseado perfeitamente nas asas de um morcego.

Junto a todos esses fatores, o desenvolvimento do voo na aviação foi uma conquista colaborativa ao longo da história. Leonardo da Vinci explorou conceitos da aerodinâmica. Em 1498, ele construiu e desenvolveu uma primeira tentativa de máquina voadora. Posteriormente, em 1505, ele escreveu e ilustrou o "Codex sobre o Voo dos Pássaros", marcando os primeiros passos na Engenharia Aeronáutica ao conceber projetos para um planador, modelado a partir de aves.

Figura 1 - Helicóptero de Leonardo da Vinci



Fonte: Wikipédia (2020)

Figura 2 - Ornitóptero de Leonardo da Vinci

Fonte: Blog aerosngcanela (2015)

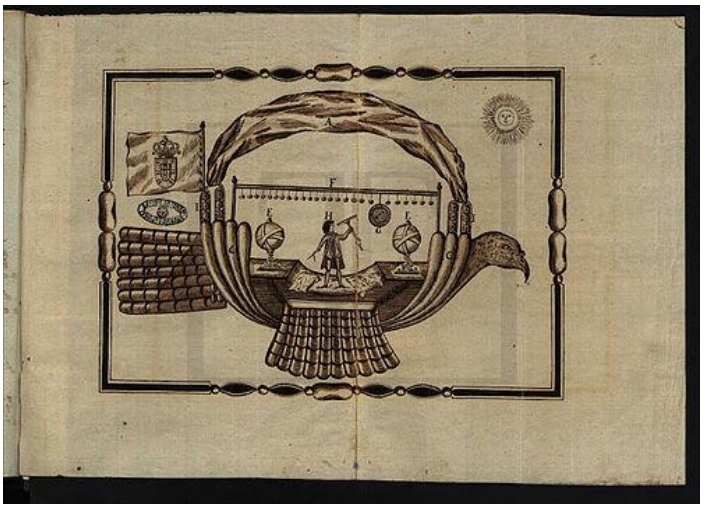
2.2 Padre Bartolomeu de Gusmão

"No Brasil, o Padre Bartolomeu de Gusmão obteve grande sucesso, nos seus voos com balões tripulados, consolidando ainda mais a tendência destes engenhos no início da era do voo" (Palhares, 2002, p.100). O ''Padre voador'', como era conhecido, Gusmão foi crucial para o desenvolvimento dos instrumentos de voar, ficou conhecido por seus projetos de um dirigível mais leve que o ar e pelo primeiro projeto de um aeróstato. Ele apresentou o projeto de um balão de ar quente que era impulsionado por uma vela, seu voo obteve um alcance de quatro metros, o sucesso e confiança do projeto fez com que ele atravessasse gerações, sendo utilizado até os dias de hoje. A Passarola de Gusmão foi concebida no início do século XVIII.

Esse balão usava os mesmos princípios de ar aquecido, que é mais leve que o ar frio e, portanto, sobe. Em 1709, Bartolomeu de Gusmão realizou uma demonstração de seu balão diante da corte portuguesa, em Lisboa. Embora os detalhes exatos do voo não sejam completamente claros, essa demonstração atraiu muita atenção e estabeleceu Gusmão como um dos principais contribuintes para o desenvolvimento da aviação.

> Enfim, podemos afirmar, sem sombra de dúvida e com imenso orgulho, que Bartolomeu de Gusmão foi um visionário no seu tempo; foi um sonhador que procurou transformar seus sonhos em realidade e tornar-se o primeiro homem que vislumbrou nos céus o domínio do ar para a conquista da terra, portanto, com justa razão, o precursor da Aeronáutica no mundo. (Brasil, 2009 apud Lima, 2020).

Figura 3 - Passarola de Bartolomeu de Gusmão



Fonte: Wikipédia (2023)

2.3 Os irmãos Wright

O homem sempre teve fascínio e paixão por voar. A humanidade teria seus primeiros registros de voo a partir de cientistas e inventores que deram os primeiros passos para o desenvolvimento da maneira de voar. Os irmãos Wright (Wilbur e Orville), começaram a estudar o voo por volta da década de 1890, inspirados em Otto Lilienthal, conhecido como ‘‘o pai do voo planado’’ (Kelly, 1969). Eles, de início, construíram planadores e realizaram testes para entender a aerodinâmica que facilitava ou dificultava o voo deles. Um passo fundamental foi a construção de um túnel de vento em 1901, no qual realizaram experimentos para melhorar o design e a aerodinâmica das asas. Após várias tentativas e aperfeiçoamentos, os irmãos Wright construíram o ‘‘Wright Flyer I’’.

> Nos Estados Unidos, na cidade de Dayton, no Estado de Ohio, os irmãos Wilbur (1867-1912) e Orville (1871-1948) Wright, pesquisaram durante anos os fatores básicos de vôo obtidos a partir de planadores projetados por eles próprios. No dia 17 de dezembro de 1903, finalmente, na cidade de Kittyhawak, no Estado da Carolina do Norte, conseguiram realizar, com sucesso, seu primeiro vôo de modelo motorizado mais pesado do que o ar, veículo que levava o nome de Flyer. O primeiro vôo durou cerca de doze segundos e, incentivados por este resultado, Wilbur e Orville, alternando-se no comando do Flyer, acabaram realizando mais quatro vôos neste mesmo

> dia, totalizando cerca de cinqüenta e nove segundos no ar.” (Palhares, 2002, p. 102).

Após o sucesso inicial, os irmãos Wright continuaram com a melhoria do design de suas aeronaves. Em 1904, eles construíram o ‘‘Wright Flyer II" e, em 1905, o ‘‘Wright Flyer III". Eles também elaboraram um sistema de controle tridimensional que contribuiu para o desenvolvimento futuro de aeronaves mais modernas. Os irmãos Wright ganharam reconhecimento após demonstrações públicas na França e nos Estados Unidos nos anos de 1908 e 1909. Também há o fato de que as aeronaves dos Wright decolavam com o auxílio de outro transporte, como é o caso do Flyer III, de 1905.

Eles fundaram a empresa, ‘‘Wright Company’’, e continuaram a contribuir para o desenvolvimento da aviação até Wilbur falecer no ano de 1912, e Orville vender a empresa em 1915. Wilbur e Orville, os irmãos Wright, são considerados como um dos pioneiros da aviação, suas contribuições enriqueceram os estudos e ideias para o desenvolvimento da aviação.

Figura 4 - Irmãos Wright

Fonte:Terravista Brasil (2020)

2.4 Alberto Santos Dumont

Brasileiro, Alberto Santos Dumont, teve destaque no pioneirismo acerca dos métodos de voo, revolucionou a aviação com a construção do ‘‘14-bis’’ e foi intitulado

de ‘‘pai da aviação’’, esse título foi concedido a ele por sua participação e demonstração em solo francês, na presença de uma comissão oficial, mas muito além da criação dessa aeronave, Santos Dumont já trabalhava outros meios de alcançar voo. Segundo Fernandes (2018), Santos Dumont foi o responsável pelo projeto, construção e pilotagem do primeiro balão dirigível, e também foi pioneiro na criação de um modelo impulsionado por motor a explosão.

A aviação no Brasil teve início em 1911, no Rio de Janeiro, por Edmond Plauchut. De acordo com Miranda (2014), o aviador, que havia trabalhado como mecânico de Santos Dumont em Paris, decolou da Praça Mauá, sobrevoou a Avenida Central e acabou caindo no mar, a uma altura de 80 metros. Apesar das controvérsias entre Santos Dumont e os irmãos Wright, quanto ao pioneirismo das maneiras de voar, pode-se considerar que as contribuições deles alavancaram o progresso da aviação de modo surpreendente com o início dos novos meios de voar. O desenvolvimento desses novos modelos teve ainda mais contribuição durante os anos de 1914 e 1918, período da Primeira Guerra Mundial, nesse momento da história, os aviões passaram por melhorias e aperfeiçoamento de novas ideias, pois eram precisos artefatos aéreos para os ataques e bombardeios, desse modo, os engenheiros tiveram que recorrer à projeção e criação de modelos direcionados para a essa necessidade.

Figura 5 - Alberto Santos Dumont e o 14-bis

Fonte: Aventuras na História (2023)

A aviação moderna representa uma união de esforços e parcerias significativas que foram sendo construídos através de muitos estudos e pesquisas em conexão com a aerodinâmica ao longo da história. Ligado a isso, os avanços tecnológicos também contribuíram para esse desenvolvimento. A aviação nos dias de hoje, de modo geral, é fundamental para as transformações sociais e econômicas da humanidade. Com a modernização do setor aéreo, os transportes de cargas e passageiros se tornaram cada vez mais facilitados, tendo em vista que antes disso esse deslocamento era realizado a partir de transportes terrestres e marítimos, desse modo, dificultava o transporte intercontinental, por conta do longo tempo das viagens.

Existem algumas controvérsias entre Alberto Santos Dumont e Os irmãos Wright pelo título de "pai da aviação", essa é uma questão histórica complexa e envolta em polêmica, refletindo diferentes critérios sobre o que constitui o primeiro voo bem-sucedido de uma aeronave mais pesada que o ar. A disputa entre os defensores de Santos Dumont e dos irmãos Wright se baseia em diferentes critérios sobre o que constitui o "primeiro voo". Os irmãos Wright são elogiados por sua capacidade de controlar e sustentar o voo, utilizando um sistema de controle inovador que se tornou padrão na aviação. Seus voos, apesar de inicialmente pouco visíveis ao público, foram posteriormente demonstrados de maneira que confirmaram suas realizações. Santos Dumont é valorizado por ter realizado um voo público e independente, sem necessidade de dispositivos externos para decolagem, e por ter obtido reconhecimento imediato e internacional.

A realização de Dumont foi um marco importante para a autonomia das aeronaves e para a popularização da aviação. Os irmãos Wright enfrentaram ceticismo e, em certa medida, rejeição inicial por parte da comunidade científica e do público em geral, em parte porque mantiveram muitos de seus testes em segredo. Essa abordagem contrastava com a de outros pioneiros da aviação, como Santos Dumont, que realizavam seus voos em público e buscavam reconhecimento imediato. Os irmãos Wright estavam preocupados com a proteção de suas invenções e queriam garantir que suas patentes fossem devidamente registradas antes de expor publicamente suas descobertas. ‘‘Um grande temor da dupla era que seu projeto fosse roubado e copiado por outra pessoa, por isso eles mantinham sigilo em seus testes e experimentos.’’ (Lima, 2020, p. 37).

Enquanto os Wrights trabalhavam em segredo, Santos Dumont realizava seus voos em público, especialmente em Paris, o centro da atividade aeronáutica na época. Seus voos, como o famoso voo do 14-Bis em 1906, foram divulgados e aceitos imediatamente pela comunidade científica e pelo público, o que lhe garantiu reconhecimento imediato. Também há o fato de que as aeronaves dos Wright decolavam com o auxílio de outro transporte, como é o caso do Flyer III, de 1905. O Flyer III, não possuía trem pouso, então era preciso que um transporte acompanhasse a trajetória da aeronave para ir ao encontro dela, para que ela pudesse aterrissar. Eram precisos ventos fortes de proa, para que as asas gerassem sustentação; com ventos calmos os voos não poderiam ser realizados. (Chant, 2002).

A abordagem mais secreta dos Wrights contribuiu para o debate contínuo sobre quem merece o título de "pai da aviação". Enquanto suas contribuições técnicas são inegáveis, o fato de não terem buscado publicidade inicialmente levou a um atraso no reconhecimento de suas realizações.

3.4.1 A morte de Santos Dumont

O que se sabe é que a saúde mental de Santos Dumont começou a declinar após uma série de decepções pessoais e profissionais. A desilusão com o uso militar da aviação, que ele via como um instrumento de paz e progresso, e o declínio de sua saúde física e mental levaram-no a se retirar cada vez mais da vida pública. Em 1932, ele retornou ao Brasil, onde viveu seus últimos anos em reclusão.

A morte de Santos Dumont, em 23 de julho de 1932, oficialmente registrada como suicídio, foi um evento trágico que marcou o fim da vida de um dos maiores pioneiros da aviação. Hoje, Santos Dumont é lembrado não apenas como um heroi nacional no Brasil, mas como uma figura de importância global no desenvolvimento da aviação. Seus feitos continuam a inspirar gerações de cientistas, inventores e amantes da aviação ao redor do mundo

2.5 Aviação Moderna

No passado, os primeiros aviões eram feitos de madeira e tecido. Com o tempo, o alumínio se tornou o material principal devido à sua leveza e resistência à

corrosão, especialmente a partir das décadas de 1930 e 1940. Hoje, usam-se materiais compósitos, como a fibra de carbono e a fibra de vidro, que são amplamente utilizados por serem mais leves e mais fortes do que o alumínio, o que melhora a eficiência de combustível e a durabilidade.

No design aerodinâmico, os primeiros aviões tinham superfícies de voo simples e design robusto, resultando em maior arrasto e menor eficiência de voo. Os motores de pistão eram menos eficientes e limitavam a capacidade de carga e alcance. Atualmente, utiliza-se a modelagem por computador e túneis de vento para otimizar o design aerodinâmico, reduzindo o atrito com o ar e aumentando a economia de combustível. Os motores a reação, especialmente os turbofans modernos, são muito mais eficientes do que os motores de pistão, permitindo voos mais rápidos e econômicos. Houve um crescimento considerável no transporte aéreo e na aviação comercial entre 1930 e 1940, aumentou também o número de voos intercontinentais e transoceânicos.

> [...] as encomendas de aviões civis para transporte de passageiros aumentaram consideravelmente. O tempo de vôo foi reduzido, além da queda nas tarifas das passagens aéreas e de carga, com o fim do conflito todos os serviços comerciais internacionais voltaram a operar. (Silva, 2009, p. 4).

O primeiro avião de passageiros lançado com motor a reação foi o Boeing 707, ele foi desenvolvido nos Estados Unidos e começou os serviços em 1960.

Figura 6 - Boeing 707, primeiro avião de passageiros com motor a reação

Fonte: Wikipédia (2024)

A partir daí, a Boeing passou a ser a maior fabricante de aeronaves do mundo. Anos depois, vieram a ser lançados outros modelos para também atuarem como aviões comerciais. Segundo “A evolução das aeronaves” (2015), em 1960, entravam em serviço, o Boeing 720 e dois anos depois o Douglas DC-8 e o Convair 880.

No Brasil, a primeira empresa aérea do Brasil foi a Condor Syndikat, fundada em 1927 como uma subsidiária da companhia aérea alemã, Deutsche Luft Hansa. A Condor Syndikat iniciou suas operações com voos de carga. A empresa foi estabelecida em 1 de fevereiro de 1927, e o primeiro voo ocorreu em 15 de fevereiro do mesmo ano, realizando o trecho Rio de Janeiro e Porto Alegre. Para essas operações, a empresa utilizava aviões Junkers F.13, aeronaves monomotoras de fabricação alemã.

A Condor Syndikat focava em voos de carga, mas com o tempo, começou a operar voos comerciais. A empresa expandiu sua malha aérea, incluindo rotas para várias cidades brasileiras e para países vizinhos na América do Sul. A Condor Syndikat introduziu práticas operacionais e técnicas de manutenção que contribuíram positivamente para outras companhias aéreas que surgiram logo após. Em 1941, a empresa foi nacionalizada pelo governo brasileiro e passou a operar sob o nome de Serviços Aéreos Condor (SAC). Pouco depois, em 1943, a SAC foi incorporada pela Viação Aérea Rio-Grandense (Varig), que se tornou uma das principais companhias aéreas do Brasil.

Os aeroportos no mundo começaram com os primeiros campos de aviação, utilizados principalmente para fins militares, e evoluíram até os modernos aeroportos internacionais que conhecemos hoje, com infraestrutura avançada e tecnologia de ponta. Um dos primeiros aeródromos do mundo foi o Campo de Voisin, na França, utilizado para testes de voo e demonstrações em 1909. O Aeroporto de Hamburgo, inaugurado em 1911 na Alemanha, é um dos mais antigos em operação contínua, servindo inicialmente como base para voos de dirigíveis e aviões. Já o College Park Airport, localizado em Maryland, Estados Unidos, é o aeroporto mais antigo do mundo ainda em operação, fundado pelos Irmãos Wright em 1909 para treinamento de pilotos militares. Os aeroportos modernos, como o Aeroporto Internacional de Incheon em Seul, o Aeroporto Internacional de Atlanta Hartsfield-Jackson e o Aeroporto de Hamad em Doha, são conhecidos por suas instalações de alta tecnologia, serviços de luxo e eficiência operacional. Além disso, muitos aeroportos

estão adotando práticas sustentáveis, como o uso de energia solar, sistemas de reciclagem de água e iniciativas para reduzir as emissões de carbono.

Atualmente, os combustíveis mais utilizados por aviões, são o Jet A, Jet A-1 e o Jet B, conhecidos como Querosene de aviação, são derivados do petróleo e são pouco sustentáveis, o que fez com que fossem procurados outros tipos de combustíveis menos poluentes e mais eficientes. De acordo com o canal “Aviões e Músicas” (2024), estão sendo feitos estudos e pesquisas para a implementação do Sustainable Aviation Fuel (SAF), que é um tipo de combustível feito a partir de óleos vegetais. É uma alternativa de combustível sustentável e que pode ser usada na frota das aeronaves sem nenhuma restrição ou adaptação, garantindo economia às empresas para a sua implementação e mais sustentabilidade ao meio ambiente.

Em tese, com o passar das décadas, a aviação se reinventou, modernizou aeronaves e trouxe conforto e praticidade para os passageiros e se consagrou como um dos principais meios de transportes do mundo atual, de fato contribui de maneira positiva e significativa para o avanço social. A aviação e os transportes aéreos são fundamentais para o funcionamento eficiente e globalizado do mundo contemporâneo, facilitando o turismo e a circulação de pessoas e mercadorias em escala global. As viagens aéreas facilitam o intercâmbio cultural e a cooperação entre países, promovendo o diálogo intercultural e representando também um dos maiores triunfos da engenharia e da inovação humana. Sua importância ultrapassa fronteiras, conectando pessoas, mercadorias e culturas, desde encurtar distâncias até impulsionar o comércio e o desenvolvimento econômico. A aviação e os transportes aéreos são aceleradores do progresso social, desenhando e desenvolvendo o presente e o futuro da sociedade globalizada.

3 POTENCIAL DIDÁTICO DA AVIAÇÃO PARA O ENSINO DE FÍSICA

Neste tópico faremos uma análise de trabalhos e pesquisas sobre o ensino de aerodinâmica e aviação no Ensino Médio, discutiremos comparando suas propostas e resultados, falaremos da aerodinâmica em seus estudos primordiais, aplicações na aviação e em outros meios e sobre os fundamentos teóricos da aviação. Vamos explorar o conteúdo científico que pode ser aproveitado nas aulas de Física.

3.1 Trabalhos e pesquisas sobre o ensino de aerodinâmica e aviação no Ensino Médio

Nesta seção serão apresentados alguns trabalhos que propõem estudos sobre aerodinâmica e aviação, voltados ao Ensino Médio.

Os trabalhos foram pesquisados na ferramenta de busca: Google Acadêmico, nessa busca foram utilizadas as palavras-chave: Dinâmica da aviação, Ensino Médio e Física do voo. Durante a pesquisa, houve muita dificuldade de achar trabalhos que tratassem da temática da aviação voltada ao Ensino Médio. Apenas 3 trabalhos com a proposta de contextualizar a aviação com o ensino foram encontrados, mas somente dois foram selecionados pelo fato de que somente eles tratavam dessa contextualização no Ensino Médio.

Esses trabalhos são: um artigo e uma dissertação de mestrado. Após essa apresentação, serão analisadas as propostas e seus resultados.

3.1.1 Trabalhos que propõem estudos sobre aviação voltados ao Ensino Médio

- A dinâmica da aviação como forma de contextualizar os conceitos de hidrodinâmica com ênfase em Bernoulli no ensino da Física.
  Autores: Vinícius de Assis Silva, Samuel Henrique da Silva Andrade, Leonardo Bruno Ferreira de Souza.
  Anais III CONAPESC
  Ano da publicação: 2018

Este trabalho apresenta proposta didática para uma aula sobre os princípios de voo de uma aeronave, utilizando uma abordagem interativa e baseada no

conhecimento prévio dos alunos. A aula começa com a pergunta "como voa um avião?" para avaliar o conhecimento prévio dos alunos sobre o tema. Antes de aprofundar nos conceitos técnicos, há uma introdução histórica que abrange os principais pioneiros da aviação, como Leonardo da Vinci, George Cayley, os irmãos Wright e Santos Dumont, destacando a relevância dos estudos e contribuições desses inventores.

A partir das respostas dos alunos, a aula continua relacionando suas ideias iniciais com os conceitos corretos que explicam o voo de uma aeronave. Em seguida, são introduzidos os conceitos de hidrodinâmica, com foco em pressão, massa específica e os princípios de Bernoulli, integrando esses conceitos à compreensão das quatro forças básicas necessárias para que uma aeronave voe (empuxo, arrasto, sustentação e peso).

Além disso, há uma discussão sobre os componentes da aeronave que são cruciais para a sustentação, como dispositivos hipersustentadores (flaps e slats) e spoilers/speedbrakes, explicando suas funções e importância. No final da apresentação, os alunos são novamente questionados sobre "como voa um avião?" para verificar a assimilação do conteúdo e a evolução no entendimento dos conceitos discutidos. A proposta do trabalho busca integrar teoria e prática, aproveitando o conhecimento prévio dos alunos e enriquecendo-o com informações técnicas e históricas, além de promover uma aprendizagem ativa através de questionamentos e discussões.

Os resultados obtidos com a proposta didática descrita foram satisfatórios, conforme os objetivos delineados. A metodologia aplicada conseguiu despertar nos alunos um interesse pelo assunto abordado, que neste caso era a Física do voo das aeronaves. Primeiramente, ao utilizar uma abordagem dinâmica e didática, que integrava conhecimento prévio dos alunos, conceitos técnicos e históricos, e atividades interativas, foi possível criar um ambiente de aprendizado onde os alunos podiam usar sua imaginação e entender de forma prática como uma lei da Física contribui para o voo de um avião.

No caso da aula sobre aviação, as condições internas como motivação e interesse foram claramente atendidas, assim como as condições externas, através de métodos, técnicas e recursos pedagógicos apropriados. Os resultados práticos observados incluíram a permanência voluntária de alguns alunos na aula mesmo após seu término, indicando um alto nível de interesse. É destacado também que,

ao longo do ano letivo, alguns alunos revisitaram o tema em discussão, após terem realizado suas próprias pesquisas. Isso mostra que o aprendizado foi significativo e contínuo, indo além do simples cumprimento de uma tarefa escolar.

Portanto, a proposta conseguiu atingir seus objetivos principais: criar um sentido e relevância para o que estava sendo ensinado, estimular a curiosidade e a vontade de aprender dos alunos, e promover um entendimento mais duradouro e aplicado do conteúdo.

- Alberto Santos Dumont e a FÌsica do Voo: Uma Experiência no Ensino Médio.
  Autor: Paulo dos Santos Correia.
  Tipo de trabalho: Dissertação de Mestrado
  Universidade: Universidade Federal da Bahia
  Ano de publicação: 2008

O texto descreve uma proposta educativa para um curso sobre a Física do voo, com ênfase em métodos experimentais e históricos para envolver os alunos e despertar seu interesse. O curso começou com a distribuição de quatro roteiros de atividades experimentais sobre o conceito de pressão e as leis de Newton, com o objetivo de estimular a curiosidade dos alunos. Em seguida, foi apresentada a história de Alberto Santos Dumont, utilizando um PowerPoint em uma sala climatizada, justificando a importância de conhecer a história da aviação antes de analisar fisicamente o voo.

A maioria dos alunos aceitou bem essa abordagem, embora alguns tenham estranhado a inclusão de história em um curso de Física. Durante a apresentação, surgiram várias perguntas dos alunos, tanto sobre aspectos técnicos (como a construção de balões) quanto pessoais (como as razões do suicídio de Santos Dumont). Essas discussões mantiveram os alunos interessados. Um grupo trouxe uma explicação baseada no Princípio de Bernoulli, o que levou o instrutor a reformular o planejamento para incluir e contrastar essa teoria com as Leis de Newton.

O curso sobre a dinâmica do voo então passou a apresentar as explicações do voo, tanto pelo Princípio de Bernoulli quanto pelas Leis de Newton, mostrando a evolução e a dinâmica da ciência. Relatórios individuais eram solicitados para manter o foco dos alunos, que responderam bem, com muita participação em aula e

trazendo pesquisas adicionais. O curso despertou um grande interesse, refletido em perguntas e discussões contínuas, tanto durante quanto fora das aulas. Havia planos para realizar uma Feira de Ciências com a construção de um Barracão da Aviação e uma visita ao aeroporto, mas isso não foi possível devido a limitações de tempo e segurança. O curso terminou com a apresentação dos experimentos construídos pelos alunos, que demonstraram grande interesse e fascínio.

A conclusão tirada foi que a sustentação no voo pode ser explicada satisfatoriamente pelas Leis de Newton, especialmente a primeira e a terceira lei. O material instrucional preparado foi muito bem recebido pelos alunos. A história de Santos Dumont serviu como motivação inicial, e a liberdade para questionar sobre o tema fascinante do voo foi um dos fatores-chave para o sucesso do curso. A experiência foi nova e empolgante tanto para o instrutor quanto para os alunos, que expressaram o desejo de montar um avião completo. Em resumo, a proposta deste curso mostrou-se capaz de despertar o interesse dos alunos pela Física do voo, através de uma combinação de atividades experimentais, contexto histórico e discussões interativas. O curso conseguiu inserir os alunos profundamente, levando-os a pesquisar e questionar o conteúdo, refletindo um aprendizado ativo e significativo.

A análise dos resultados do curso sobre a Física do voo foi baseada em relatórios individuais dos alunos, observação participativa do autor e um questionário de avaliação final. Foram coletados 134 relatórios individuais, que abordavam tanto a validade da apresentação da história de Santos Dumont quanto a parte dinâmica do voo. A maior parte dos alunos (92%) considerou que a discussão histórica trouxe novas perspectivas para a compreensão da Física, servindo como um elemento motivador. Apenas 8% acharam indiferente, mas 80% desses não frequentaram todas as aulas, indicando que sua opinião pode não ser representativa. Em relação à dinâmica do voo, 402 relatórios foram analisados e apresentaram diversos pontos positivos, como:

- **Compreensão da importância da asa**: 85% dos alunos entenderam que a asa é o elemento principal que possibilita o voo, sendo essencial para a estabilidade.

- **Correção do tempo de trânsito igual**: 70% dos alunos reconheceram que o princípio do tempo de trânsito igual é incoerente, observando que o ar que passa por baixo da asa não se encontra com o ar que passa por cima.

- **Aplicação equivocada do Princípio de Bernoulli**: 75% dos alunos perceberam que o Princípio de Bernoulli, embora correto, foi aplicado de forma incorreta na descrição do voo.

- **Reconhecimento das descrições do voo**: 90% dos alunos mencionaram as diferentes descrições sobre o voo discutidas em sala de aula.

- **Diferença de pressão gerando diferença de velocidade**: 97% dos alunos entenderam que a diferença de pressão gera a diferença de velocidade, e não o contrário.

- **Persistência do Princípio de Bernoulli nos meios de informação**: os alunos compreenderam por que o Princípio de Bernoulli permanece nos meios de informação, devido à sua apresentação elegante e simples.

- **Explicação correta pelo uso das Leis de Newton**: 92% dos alunos reconheceram que as Leis de Newton explicam corretamente o aparecimento da força de sustentação.

- **Força de sustentação como reação**: 89% dos alunos entenderam a força de sustentação como uma reação da ação da asa sobre o ar.

Outros pontos positivos mencionados nos relatórios incluíram a satisfação com um curso teórico sem cálculos matemáticos (60%), a surpresa com o estudo da Física do voo (40%) e o aumento da curiosidade sobre o tema (55%). Também foram observadas referências ao ângulo de ataque (70%), velocidade de estol (50%), ângulo de ataque crítico (75%) e a relação entre sustentação e força peso (50%). Entre os pontos negativos, 1,5% dos relatórios continham a errônea menção de que Bernoulli estudou e inventou o avião, e outro 1,5% apresentou uma interpretação incorreta da descrição do voo baseada na descrição aerodinâmica da

sustentação. O questionário de avaliação, aplicado 15 dias após o término do curso, confirmou a compreensão dos alunos sobre os conceitos básicos de voo e serviu como um complemento aos relatórios, ajudando a consolidar os resultados obtidos.

A análise dos relatórios e do questionário mostrou que a abordagem do curso, que combinou história e teoria, foi eficaz em dedicar os alunos e proporcionar uma compreensão profunda e crítica da Física do voo. A maioria dos alunos reconheceu a importância dos conceitos apresentados e demonstrou um entendimento claro das leis físicas que governam o voo, destacando a validade das Leis de Newton, em contraste com a aplicação incorreta do Princípio de Bernoulli.

3.1.2 Comparação de propostas e resultados

Os trabalhos apresentam propostas educativas sobre a Física do voo, mas com abordagens e métodos diferentes. No Trabalho 1, a ênfase é na integração de conhecimento prévio dos alunos, conceitos técnicos e históricos desde o início da aula. A metodologia dinâmica e interativa desperta interesse e mantém os alunos comprometidos, resultando em aprendizado significativo e contínuo ao longo do ano letivo. Por outro lado, o Trabalho 2 opta por uma abordagem mais progressiva, começando com atividades experimentais sobre pressão e leis de Newton para estimular a curiosidade dos alunos.

A apresentação da história de Santos Dumont é utilizada para contextualizar o tema, gerando discussões e questionamentos que mantêm os alunos empenhados. O curso combina atividades experimentais, contexto histórico e discussões interativas para proporcionar um aprendizado profundo e crítico sobre a Física do voo. Ambos os trabalhos alcançam resultados satisfatórios, com os alunos demonstrando interesse e compreensão dos conceitos abordados. O fato de contextualizar a Física com outro assunto de fora do ambiente escolar também chamou a atenção dos alunos, pois é muito importante trabalhar o cotidiano em sala de aula. A diferença principal está na abordagem inicial e na progressão das atividades, mas os objetivos finais de despertar o interesse, estimular a curiosidade e proporcionar um entendimento profundo são alcançados em ambas as propostas.

Para a produção da sequência didática, é importante levar todos esses pontos em consideração. Utilizar de uma ferramenta importante que é a história da da aviação, desde o marco inicial, passando por um acervo histórico de estudiosos e

contribuintes, até os dias de hoje. Com relação à Física, é interessante utilizar os recursos didáticos experimentais para quebrar o método tradicional de aula e mostrar aos estudantes como os fenômenos funcionam na prática. Um dos trabalhos não destacou muito bem os seus resultados. Em sua discussão, utilizou-se bem mais argumentos teóricos para explicar a visão dos alunos a respeito do que foi trabalhado em sala de aula. Faltou citar melhor quais foram as visões dos alunos a respeito da temática e do que foi exposto durante a aula.

3.2 Aerodinâmica

A Aerodinâmica é o ramo da Física que estuda o comportamento do ar (e outros gases) em movimento e a interação entre o ar e os corpos sólidos que se movem através dele ou em corpos estacionários imersos em uma corrente de ar. O termo aerodinâmica é derivado da combinação de duas palavras gregas: “AER”, significando ar; e "DYNE", significando força (de potência). Assim, quando juntamos aero e dinâmica, temos aerodinâmica, significando o estudo dos objetos em movimento através do ar e as forças que produzem ou mudam tal movimento (Abreu, 2015).

Aerodinâmica é uma subárea da Mecânica dos Fluidos, fundamental para determinar o design e análise de aeronaves, como aviões, helicópteros, drones e foguetes. Um dos principais aspectos da aerodinâmica é o estudo do fluxo de ar ao redor de um objeto, que pode ser laminar ou turbulento. Esse fluxo de ar gera forças aerodinâmicas que são essenciais para o movimento das aeronaves e veículos que utilizam esse princípio para ter eficiência em seu projeto.

No passado, pensadores como Aristóteles e Arquimedes já tinham ideias rudimentares sobre o movimento dos fluidos. No entanto, foi apenas no Renascimento que cientistas começaram a realizar estudos mais sistemáticos. Leonardo da Vinci, por exemplo, fez desenhos e estudos detalhados sobre o voo de pássaros e máquinas voadoras, estabelecendo fundamentos importantes para a aerodinâmica.

O desenvolvimento da aerodinâmica moderna começou a tomar forma no século XVII, com os trabalhos de Isaac Newton, que desenvolveu suas leis fundamentais da dinâmica, que incluíam o movimento dos fluidos. No século XVIII, Daniel Bernoulli introduziu a equação que leva seu nome, a qual descreve a relação

entre pressão e velocidade de um fluido. Esta equação é necessária para entender como a sustentação é gerada em asas de aviões.

O século XIX viu avanços significativos com o engenheiro George Cayley. De acordo com Fernandes (2018, p. 20), “o engenheiro e inventor inglês George Cayley (1773-1857) foi um dos personagens mais importantes da história da aviação”. Cayley identificou e diferenciou as principais forças atuantes no voo: sustentação, arrasto, empuxo e peso. Ele construiu modelos de planadores e realizou experimentos que estabeleceram os princípios básicos do voo de objetos mais pesados que o ar.

A aplicação da aerodinâmica vai além da aviação, conforme Matos e Botelho (2007, p. 186), ‘‘a aerodinâmica foi um dos principais marcos na evolução dos veículos automotores de todos os tempos’’. Esse ramo também abrange estudos sobre a engenharia automotiva, como por exemplo nos carros de Fórmula 1, onde são utilizados esses conceitos para melhorar a eficiência de combustíveis e a velocidade dos carros. A construção civil utiliza conhecimentos dessa área para projetar edifícios que resistam melhor aos ventos. E, até em esportes, o conhecimento aerodinâmico é usado para otimizar a performance de atletas e equipamentos. Como é o caso da bola da Copa do Mundo de 2022, a ‘‘Al Rihla’’, que segundo o canal Manual do Mundo (2022), possui ranhuras capazes de dar mais aerodinâmica para ela durante sua trajetória pelo ar, criando uma região de baixa pressão atrás dela, fazendo com que ela deslize melhor pelo ar aumentando seu tempo de voo.

3.2.1 Fundamentos teóricos da aviação

Antes das contribuições fundamentais de Bernoulli para a Física da aviação, é essencial compreender alguns conceitos-chave que são importantes na análise e na compreensão do voo. A física da aviação envolve o estudo detalhado das forças que atuam sobre um objeto em movimento através do ar, seja este objeto um avião, um pássaro ou até mesmo um projétil. As variáveis que influenciam o comportamento de um objeto em voo incluem a velocidade do ar em relação ao objeto (ou velocidade relativa), a densidade do ar e a geometria aerodinâmica do corpo. A velocidade relativa é indispensável porque determina a magnitude das forças aerodinâmicas, como a sustentação e o arrasto, que agem sobre a aeronave.

A densidade do ar é significativa na capacidade de sustentação, pois afeta diretamente a quantidade de massa de ar que é deslocada pela aeronave em movimento. Em altitudes elevadas, onde a densidade do ar é menor, a sustentação gerada também é reduzida, o que impõe limitações ao desempenho de aeronaves. Já se sabia também que a forma aerodinâmica do objeto determina a eficiência com que ele pode se mover através do ar.

Um ponto importante também é que a Física da aviação inclui as Leis de Newton, que descreve como as forças atuam sobre um corpo e os movimentos que são gerados a partir delas. No século XVII, o matemático e filósofo inglês Sir Isaac Newton (1643-1727) propôs as três leis básicas do movimento, sem ter a mínima ideia que três séculos depois, estas leis seriam amplamente aplicadas à teoria de voo de uma aeronave (Bianchini, 2017).

Portanto, antes das teorias revolucionárias de Bernoulli, que ajudaram a aprimorar nossa compreensão da Física da aviação, é essencial entender conceitos básicos que formam a base do estudo do voo.

4 PRINCÍPIO DE BERNOULLI

Esse conceito físico foi desenvolvido pelo matemático suíço, Daniel Bernoulli, o princípio está intrinsecamente ligado à aviação, seus fundamentos desenham e explicam como uma aeronave pode ser capaz de voar. O Princípio de Bernoulli estabelece que: “quando um fluido, passando por um tubo, atinge uma restrição ou estreitamento desse tubo, a velocidade do fluido que passa por essa restrição é aumentada e sua pressão reduzida” (Abreu, 2015, p. 9).

Imagine um rio que flui através de um vale largo e depois entra em um estreito desfiladeiro. No vale largo, o rio se move lentamente porque há muito espaço. Quando o rio entra no desfiladeiro, ele deve acelerar porque o espaço é menor e a mesma quantidade de água deve passar por uma área menor. De acordo com o princípio de Bernoulli, onde a água flui mais rapidamente (no desfiladeiro), a pressão é menor. Onde ela flui mais lentamente (no vale largo), a pressão é maior.

> O movimento de um fluido em fluxo estacionário segue linhas de corrente imaginárias, representadas pelas linhas finas (...) e nas outras que a seguem. As linhas de fluxo são as trajetórias contínuas de minúsculas partes do fluido. Elas são mutuamente mais próximas em regiões mais estreitas, onde a velocidade do fluxo é maior. (As linhas de corrente são visíveis quando fumaça ou outros fluidos visíveis atravessam aberturas apertadas, como em um túnel de vento.) (Hewitt, 2015, p. 273).

Hewitt (2015, p. 273) explica visualmente como a pressão interna afeta bolhas no interior de um cano.

> O volume de uma bolha de ar depende da pressão da água circundante. Onde a água é mais veloz, a pressão é reduzida e as bolhas tornam-se maiores. Na água mais lenta, a pressão aumenta e as bolhas são comprimidas e se tornam menores.

Figura 7 - Ilustração do livro Física Conceitual 12º edição

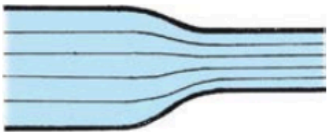


FIGURA 14.17
A água torna-se mais rápida quando flui através das partes mais estreitas de um cano. A aproximação das linhas de corrente indica o crescimento da rapidez do líquido e a diminuição de sua pressão interna.

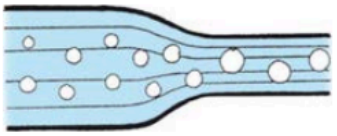


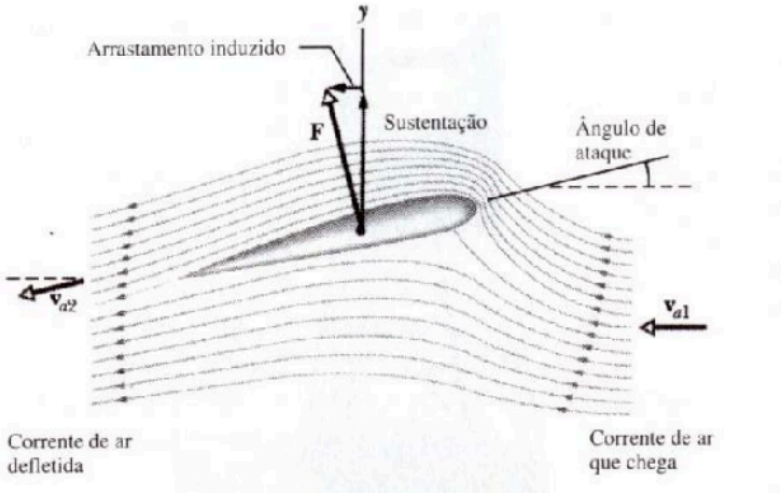
FIGURA 14.18
A pressão interna é maior na parte mais larga do cano, onde a água se movimenta com menor rapidez, como fica evidente a partir da diminuição do tamanho das bolhas de ar. Elas são maiores na parte mais estreita do cano, porque aí a pressão interna é menor.

Fonte: Hewitt, 2015.

De acordo com Hewitt (2015), o princípio de Bernoulli é uma consequência da conservação da energia, apesar de ter sido desenvolvido muito antes de o conceito de energia ser formulado. Além disso, ele também deriva da segunda lei de Newton do movimento. De qualquer forma, o princípio de Bernoulli é aplicável a todo fluxo suave e estacionário (conhecido como fluxo laminar) de um fluido com densidade constante.

Nas asas de um avião, podemos entender melhor a força de sustentação que mantém a aeronave pesada no ar. Uma maior pressão sob a asa empurra-a para cima, onde a pressão é menor. As asas têm diversos formatos, mas todas compartilham o princípio de que o ar flui mais rápido sobre a superfície superior da asa do que abaixo dela. Isso é principalmente conseguido pela inclinação da asa em relação à horizontal, conhecida como ângulo de ataque. Dessa forma, o ar se move mais rapidamente sobre a superfície superior da asa, semelhante ao que ocorre em um estreitamento de tubo ou qualquer outra região contraída. Frequentemente, mas não sempre, as diferenças na velocidade do ar acima e abaixo da asa são aumentadas pelas diferentes curvaturas das superfícies superior e inferior da asa (o perfil aerodinâmico).

Figura 8 - Descrição dos fenômenos na asa do avião



Fonte: IF/UFRGS

Como resultado, as linhas de corrente ficam mais próximas na superfície superior da asa do que na inferior. Multiplicando a diferença média de pressão na asa por sua área superficial, obtemos uma força resultante para cima - a sustentação. A sustentação aumenta com uma maior área da asa e com a velocidade do avião. Os planadores têm asas com uma área grande em relação ao seu tamanho, permitindo que voem lentamente e ainda assim obtenham sustentação suficiente. Por outro lado, aviões de combate, projetados para alta velocidade, têm asas pequenas em relação ao seu peso, exigindo altas velocidades para decolar e aterrissar.

Aplicações do Princípio de Bernoulli

1. **Asas de Aviões**: As asas dos aviões são projetadas para que o ar passe mais rápido sobre a parte superior da asa e mais devagar por baixo. Isso cria uma área de baixa pressão acima da asa e alta pressão abaixo, gerando sustentação que mantém o avião no ar.
2. **Chaminés e Ventiladores**: Em chaminés, o ar quente sobe e cria uma corrente ascendente que reduz a pressão no topo da chaminé, ajudando a puxar mais ar para cima. Em ventiladores e exaustores, a movimentação

rápida do ar também pode criar áreas de baixa pressão que ajudam na ventilação.

3. **Tubos de Venturi**: Estes tubos são usados em várias aplicações industriais e laboratoriais para medir a velocidade de um fluido ou para misturar líquidos e gases. Quando o fluido passa pela parte estreita do tubo, ele acelera e a pressão diminui, e essa mudança pode ser medida para calcular a velocidade do fluido.

Nas aeronaves, o princípio é utilizado para que ela adquira sustentação e possa levantar voo, como já mencionado, a construção da geometria da asa do avião é o que define a aplicação efetiva desse fenômeno aerodinâmico. À medida que o ar passa pela asa do avião, duas regiões com diferentes configurações de ar são criadas nas partes superior e inferior das asas, conforme a Fig. 8:

Figura 9 - Comportamento do ar na asa do avião

Fonte: Fenômenos da Engenharia (2017)

Por intermédio do formato da asa do avião, o ar se comporta da maneira descrita na figura, resultando no ganho de sustentação por parte do avião e permitindo que ele possa levantar voo. Abreu (2015), explica que nas aeronaves, existem quatro forças atuantes durante o seu voo, essas forças são:

- A sustentação - *"...força que empurra a aeronave para cima."* Abreu (2015, p.10). Essa força atua perpendicularmente à direção do movimento e permite que aviões voem.

- O arrasto - *"...a força que exerce a ação de um freio."* Abreu (2015, p. 10.) É a resistência ao movimento no ar e age na direção oposta ao deslocamento.

- A tração ou empuxo - *"...força que move a aeronave para frente."* Abreu (2015, p. 10). É a força que impulsiona o objeto para frente, geralmente gerada por motores ou propulsores.

- Peso - *"...que puxa a aeronave para baixo."* Abreu (2015, p .10). Força que age devido à força gravitacional que atua para baixo.

Figura 10 - As quatro forças de voo

Fonte: Asas de ferro (2015)

Para explicar como o avião adquire sustentação, é preciso que o Princípio de Bernoulli atue. A sustentação é gerada exclusivamente pelo aerofólio chamado de ‘‘asa’’, que é designado para suportar o peso do avião no ar. A asa do avião possui uma formação geométrica desigual ou assimétrica, para que possa usar do Princípio de Bernoulli. ‘‘[...] uma vez que uma maior curvatura no extradorso (parte superior das asas) faz com que o ar tenha a sua velocidade aumentada e a pressão estática reduzida em relação ao intradorso (parte inferior da asa).’’ (Gomes, 2021, p. 35).

O Princípio de Bernoulli é fundamental para a aviação, pois a partir dessa contribuição, é possível projetar aeronaves eficientes e seguras. Na Física, é fundamental para entender a dinâmica dos gases e líquidos e como os fluidos em

movimento se comportam. Ele oferece uma base teórica para explorar fenômenos naturais e tecnológicos presentes no mundo, e a aplicação prática desse princípio pode tornar a aprendizagem mais interessante, ajudando os estudantes a visualizar e compreender melhor os conceitos abstratos da Física.

No capítulo análise e discussão da Dissertação de Correia (2008), há uma parte em que os alunos observam a aplicação do Princípio de Bernoulli em uma aeronave específica, eles notaram que havia uma porção de ar que vai por cima e outra que vai por baixo da asa e essas porções de ar se separaram na frente da asa. Dessa forma, eles concluíram que o ar teve um comportamento diferente do que prega o Princípio de Bernoulli, que durante o deslocamento do ar por cima e por baixo da asa, há o encontro de correntes de ar em diferentes pressões, causando o vórtice. Podemos até mencionar a utilização do Winglet para diminuir esse movimento do ar na asa das aeronaves.

5 METODOLOGIA

Para este trabalho, foi construída inicialmente uma pesquisa de caráter bibliográfico, adotando uma abordagem qualitativa, exploratória e descritiva para investigar a relação entre o Princípio de Bernoulli, a dinâmica da aviação e o seu potencial para o ensino de Física. De acordo com Severino (2007), a pesquisa bibliográfica é uma pesquisa realizada através de estudos em documentos anteriores, em livros, revistas, artigos e etc. É um método de pesquisa importante para a graduação, como traz Andrade (2010, p. 25):

> A pesquisa bibliográfica é habilidade fundamental nos cursos de graduação, uma vez que constitui o primeiro passo para todas as atividades acadêmicas. Uma pesquisa de laboratório ou de campo implica, necessariamente, a pesquisa bibliográfica preliminar. Seminários, painéis, debates, resumos críticos, monográficas não dispensam a pesquisa bibliográfica. Ela é obrigatória nas pesquisas exploratórias, na delimitação do tema de um trabalho ou pesquisa, no desenvolvimento do assunto, nas citações, na apresentação das conclusões [...].

Para realizar essa pesquisa, foi adotado um método de busca centrado em textos e trabalhos acadêmicos, que foram usados como base para a sua construção. A busca de artigos retornou poucas propostas, mas outros caminhos de pesquisa podem retornar mais trabalhos, apesar disso, foram explorados os textos e trabalhos selecionados. Dois desses trabalhos foram selecionados para a análise e comparação entre si, foram comparadas suas propostas e discussões, que deram como base para a discussão de pontos que foram aproveitados para a organização da sequência didática.

Na sequência didática desenvolvida foram tratados diversos aspectos da aviação, que são eles: os primeiros pensamentos de como a humanidade poderia voar, o surgimento dos primeiros instrumentos de voo, a construção das primeiras aeronaves, o desenvolvimento dos primeiros aviões com motores a jato, chegando até a análise da aviação moderna. Na interface com o ensino de Física, foi trazida a importância de se estudar Física a partir dos temas tratados no trabalho, que são: o estudo da hidrodinâmica, o estudo da aviação como objeto para a contextualização

e compreensão do princípio de Bernoulli e dos fenômenos aerodinâmicos e a importância da aerodinâmica para entender o voo das aeronaves.

Desse modo, esta pesquisa não apenas contribui para o entendimento histórico e técnico da aviação, mas também enfatiza a significância de abordagens interdisciplinares e contextualizadas no ensino de Física para os estudantes do Ensino Médio.

A sequência didática será apresentada no próximo capítulo e para a sua construção, foi realizada a partir da junção de diversas ideias. Primeiramente, foi pensado que seria importante introduzir o tema aos alunos com perguntas iniciais que despertam a curiosidade deles, e também, fazendo com que esses questionamentos pudessem trazer uma discussão acerca do assunto e que permitissem ao professor levantar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre os temas.

Posteriormente, foi escolhido falar da história da aviação, para que eles pudessem saber como os estudos para o desenvolvimento de qualquer coisa passam por diversos aprimoramentos de ideias, e que nada é construído do nada e por apenas uma única pessoa, mas sim por muitas contribuições, isso pode ser relacionado a muitos estudos e teorias da Física, que foram desenvolvidos pela gradativamente com a colaboração de muitos estudiosos.

Foi pensado que após as etapas anteriores, fosse feita a contextualização do voo com o Princípio de Bernoulli, pois estimularia os alunos do ponto de vista Físico referente ao voo e também para sanar as dúvidas que ficaram pelas perguntas iniciais. O uso do experimento também foi pensado para que atraísse a curiosidade e o interesse deles, mas também que toda aquela explicação teórica fosse contextualizada com um exemplo prático, o que ajudaria eles a entenderem o que foi anteriormente estudado.

A atividade final buscaria expressar deles, através de texto ou desenhos, o que aprenderam em momentos da aula, por isso as questões puxavam e estimulavam que apresentassem diversificados temas trabalhados. De modo geral, as etapas da sequência didática foram pensadas para melhor desenvolver os conteúdos, despertar curiosidade, gerar discussões e sobretudo, buscar a participação para que eles pudessem aprender sobre os temas trabalhados.

A sequência didática foi aplicada em uma Escola de Referencia em Ensino Médio, instituição pública e localizada no Agreste de Pernambuco, foi realizada no 3º

ano e foram utilizadas três aulas seguidas, na turma havia em torno de 35 alunos. Após ter estudado nesta escola, durante o Ensino Médio, ela foi escolhida pelo reconhecimento da qualidade de ensino, que é desenvolvida nas aulas pelos professores e pelo empenho da gestão para que isso aconteça.

A escola e o professor cederam as 3 aulas para que a sequência fosse aplicada pelo autor deste trabalho. Os dados foram coletados a partir da observação da interação dos alunos, em que ia se tomando nota, bem como as respostas dadas por escrito na atividade final. Assim sendo, a análise da aplicação dessa sequência didática será discorrida no capítulo seguinte.

6 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Quadro 1 - Sequência didática

UFPE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE - NFD
LICENCIATURA EM FÍSICA

PLANO DE AULA

1. IDENTIFICAÇÃO

Professor(a):	**Disciplina:**	**Tema:**	**Quantidade de aulas:**
Cícero Vinícius da Silva	Física	Contextualização do Princípio de Bernoulli e aviação	3 aulas

2. PLANO

	OBJETIVOS	**CONTEÚDOS**	**RECURSOS**
GERAL	Relacionar conceitos do Princípio de Bernoulli com a aviação para o Ensino Médio.	✓ O Princípio de Bernoulli; ✓ Hidrodinâmica: Pressão e velocidade de um fluido; ✓ História da aviação; ✓ Dinâmica da aviação; ✓ Tipos de aviões.	✓ Projetor multimídia; ✓ Impressões em papel; ✓ Computador com *software* de apresentação e de slides; ✓ Pincel para quadro branco; ✓ Apagador; ✓ Quadro branco.
ESPECÍFICOS	1. Relacionar o conteúdo da Mecânica dos Fluidos contextualizando com aviação; 2. Relacionar o Princípio de Bernoulli com variáveis importantes para o voo, como: velocidade, pressão e altitude; 3. Relacionar os princípios hidrodinâmicos com a aerodinâmica das asas das aeronaves; 4. Analisar exemplos práticos de aeronaves e suas características aerodinâmicas.		

3. PROCEDIMENTOS

INTRODUÇÃO	**DESENVOLVIMENTO**	**CONCLUSÃO**
A aula começará com algumas perguntas iniciais, que terão a finalidade de discutir conceitos e familiarizar o tema aos alunos, a apresentação desses conceitos servirão como pré-requisitos para o desenvolvimento da aula.	1. Primeiramente serão tratadas as concepções iniciais da aviação através de uma aula dialogada, com os seguintes questionamentos: "como você acha que um avião voa?" "você acha que tem alguma força envolvida nesse voo?" "por que para que o avião decole, ele tem que se deslocar na pista? "você acha que a Física está envolvida no voo e na decolagem do avião?". Além desses, também terão outras perguntas que poderão ser levantadas, inclusive por eles, e a intenção é saber os conhecimentos e opiniões sobre o tema. 2. Breve relato sobre a história da aviação: o que, primordialmente, se pensava sobre o voo, os primeiros desejos de voar, primeiros modelos de avião e o contexto de contribuições para a invenção do avião. Para auxiliar, haverá uma apresentação de slide, onde serão utilizados slides com fotos e textos curtos que descrevem cada parte dos temas elencados, ao final, passar um vídeo sobre as primeiras tentativas de voo. 3. Estimular eles do ponto de vista físico de como um avião voa, relacionando as forças e as variáveis importantes para o voo. Após a discussão, relacionar os conceitos ao Princípio de Bernoulli e a dinâmica da aviação, apresentando os componentes aerodinâmicos do avião. 4. Nessa parte será exemplificado como funciona o Princípio de Bernoulli através de um experimento, o experimento do cone de folha de jornal. Esse experimento se trata de um cone feito com folha de jornal que tem um furo maior na base e um menor no vértice. Com a boca, é soprado no furo do vértice, fazendo com que a abertura da base do cone se feche, isso exemplifica como funciona a relação entre velocidade e pressão, que é descrita pelo Princípio de Bernoulli.	Ao final, a sala será dividida em quatro grupos e cada um receberá um tipo de aeronave, a ideia é descrever algum aspecto que chamaram a atenção, como cada uma consegue voar, analisar os componentes aerodinâmicos, como os motores atuam naquele caso específico, como o Princípio de Bernoulli age nesse modelo e qual o entendimento acerca dele.

4. INDICAÇÕES BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, Alex. PRINCÍPIO DE BERNOULLI - EXPERIMENTO DE FÍSICA. YouTube, 11 de junho de 2014. 51s. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=edQ9S3IzZxg. Acesso em: 15 de agosto de 2024.

BIANCHINI, D. Teoria de Voo: aviões. 6. ed. São Paulo: Editora Bianch, 2017.

FERNANDES, E. História da aviação. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2018.

SILVA, Vinícius De Assis et al. **A dinâmica da aviação como forma de contextualizar os conceitos de hidrodinâmica com ênfase em bernoulli no ensino da física**. Anais III CONAPESC... Campina Grande: Realize Editora, 2018. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/42830>. Acesso em: 07 de junho de 2024.

6.1 Observações em sala de aula

Nesta seção, será falado sobre aplicação da sequência didática no ensino médio. Mediante o caráter qualitativo da pesquisa, os resultados e as discussões serão expostos, a partir das aulas aplicadas em sala de aula. Para as discussões serão explicitados os diálogos, os questionamentos e impressões dos alunos.

A aplicação dessa sequência didática foi feita em uma turma do 3° ano do Ensino Médio de uma escola estadual do agreste de Pernambuco. Seguindo a ordem dos slides da aula (Apêndice C), eles foram questionados a partir de perguntas constantes nos slides. Haviam quatro perguntas iniciais para começar a aula e introduzir o tema. Inicialmente foi perguntado:

> Professor: *Como você acha que um avião voa?*
> [No começo muitos deles responderam:]
> Aluno 1: *Com as asas.*
> Aluno 2: *Com as asas.*
> [Mas logo foram dando respostas mais elaboradas, como por exemplo:]
> Aluno 2: *Com as asas e utilizando o impulso do motor.*
> Aluno 3: *O impulso do motor faz com que o avião voe.*
> [Eles também relacionaram o voo dos aviões com o voo dos pássaros.]

A partir desses diálogos iniciais, eles conseguiram se entrosar com o tema e com os caminhos que a aula tomaria. Após essa discussão, foi feita a segunda pergunta:

> Professor: *Você acha que tem alguma força envolvida nesse voo?*
> *Aluno 1: Sim, a força dos motores.*
> *Aluno 2: A força do vento.*
> *Aluno 3: A força da Física.*

A terceira pergunta:

> Professor: *Por que para que o avião decole, ele tem que se deslocar na pista?*
> Aluno 1: *Para pegar impulso.*
> Aluno 2: *Para pegar o vento e conseguir voar.*
> Aluno 3: *Para o vento passar pelas asas.*

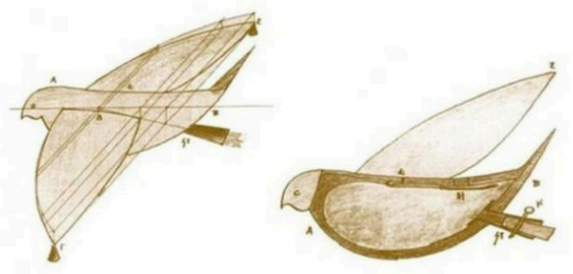
A quarta pergunta:

> Professor: *Você acha que a Física está envolvida no voo e na decolagem do avião?*
> [Eles responderam:]
> Aluno 1: *A Física está em tudo.*
> Aluno 2: *Tudo é Física, então também está envolvida aí.*
> Aluno 3: *Está envolvida na velocidade.*

O momento desses questionamentos trouxe muita participação, eles mostraram que realmente estavam interessados no tema. Foi percebido que em alguns casos, mesmo sem saber responder corretamente, eles faziam questão de dar as respostas, apresentando o seu conhecimento ou as suas impressões sobre o tema. Também foi observado que algumas respostas foram ficando mais elaboradas, introduzindo conceitos da Física. Além do diálogo com os alunos trazer um aporte de troca de conhecimentos, também estimula o desenrolar da aula, abrindo caminhos positivos que, muitas vezes, não estavam descritos no plano da sequência didática e que contribuem para o processo de ensino e de aprendizagem.

Na segunda parte do slide, foi explicitado um breve relato sobre a história da aviação. No slide do pombo de madeira desenvolvido na Grécia antiga, houveram alguns diálogos e comentários:

Figura 11 - Imagem do pombo de madeira utilizada na aula



Fonte: Pozzebom (2015)

A partir dela, tem-se a seguinte interação, proposta a partir da pergunta do professor:

> Professor: *Um avião seria capaz de voar sem asa ou sem motor?*

> Aluno 1: *Não poderia voar sem motor porque é ele que dá um impulso.*
> Aluno 2: *Não, o motor é o que empurra ele pra frente.*
> Professor: *E sem asa, ele seria capaz de voar?*
> [Eles falaram que não, mas não souberam explicar o por quê.]

Durante a apresentação dos contribuintes para o desenvolvimento da aviação, alguns alunos falaram que já ouviram falar do 14-bis, de Alberto Santos Dumont, e que o conheciam pela sua aparência. Foi perguntado também, se eles sabiam o que era um motor à reação, eles que era o da imagem que estava no slide e que conheciam o motor do avião quando ouviam falar das hélices. Após isso, foi feita novamente a pergunta inicial:

> Professor: *Como um avião voa?*
> [A resposta foi:]
> Aluno 1: *O motor dá impulso e o avião vai para a frente.*

Nota-se que até esse momento, eles não sabiam como funcionava e para que serviam as asas do avião. Isso foi importante para mostrar a necessidade de contextualizar o voo, antes de mencionar propriamente o Princípio de Bernoulli, pois ele explica fisicamente como o ar se comporta nas asas da aeronave.

Posteriormente, foi explicado teoricamente o Princípio de Bernoulli e a sua relação com o voo, e para exemplificar melhor a diferença de pressão, foi dado o exemplo da tampa da geladeira, que ao abrir, fechar e tentar abrir novamente, ela não abre facilmente porque o movimento de abrir e fechar causou uma diferença na pressão interna e externa à geladeira, dificultando a sua abertura.

Haviam slides específicos para falar sobre os dispositivos responsáveis por manter o avião no ar. No caso do motor, foi falado sobre o seu funcionamento e durante um momento da explicação, um aluno fez um comentário sobre o funcionamento do motor do avião com o ventilador, ele falou que a hélice do ventilador suga o ar da parte de trás e joga-o para a frente, comparando com o motor do avião. Já sobre as asas, foi perguntado:

> Professor: *Vocês sabem como a asa do avião ajuda para que ele possa voar?*
> [Resposta:]

> Aluno 1: *Na asa tem uma pecinhas que se movimentam e ajudam ele a voar.*
> Aluno 2: *O vento passa pela asa e dá força para o avião voar.*
> Aluno 3: *A asa tem um formato que ajuda ele a voar.*

Após isso, foi falado dos componentes aerodinâmicos de voo: Ailerons, Flaps, Slats, Spoilers Profundores e compensadores, presentes nas asas e nos estabilizadores vertical e horizontal do avião. Foi trabalhado um experimento de um cone que se fechava ao soprar, para demonstrar o Princípio de Bernoulli. Durante o experimento, foi questionado a eles sobre como o cone se fechava ao soprar, a resposta deles foram as seguintes:

> Aluno 1*: Ele se fecha porque cria um vácuo.*
> Aluno 2: *Fecha porque tá tirando todo o ar de dentro do cone.*
> Aluno 3: *Acho que tem a ver com pressão.*

Depois de muitos questionamentos, fizeram relação com velocidade e pressão e falaram que a pressão dentro era menor que a de fora, por isso que o cone se fechava. Após o experimento, para melhor compreensão dele, foi importante que o professor problematizasse e fizesse a relação entre o que os alunos observaram e o voo do avião, porque não necessariamente isso será feito de imediato pelos estudantes.

Ao final da aula, foi aplicada uma atividade para fazer um levantamento sobre os entendimentos deles a respeito dos temas trabalhados na aula. Nessa atividade, havia seis questões que tinham relação com os temas trabalhados durante a aula. A sala foi dividida em quatro grupos, e a cada grupo foi dada uma imagem com um modelo de aeronave específico, a partir disso, eles teriam que analisar a aeronave designada e responder às questões da atividade. As questões presentes na atividade eram: ‘‘Ao conhecer as histórias das aeronaves, destaque algum aspecto que lhe chamou atenção?’’, ‘‘De que forma essa aeronave voa?’’, ‘‘Qual(is) componente(s) de voo que foram falados durante a aula você observa nessa aeronave?’’, ‘‘Como o motor dessa aeronave age para que ele possa ter propulsão para alcançar voo?’’, ‘‘Como o princípio de Bernoulli é aplicado durante o voo?’’ e ‘‘Dê uma breve explicação sobre o que você entendeu por princípio de Bernoulli?’’.

A aplicação da sequência didática revelou um interesse significativo por parte dos alunos ao explorar conceitos de física relacionados ao voo. As discussões iniciadas com perguntas simples evoluíram para respostas melhores, indicando uma certa compreensão sobre o tema, na medida em que conseguiam relacionar a questão do voo com conceitos já estudados anteriormente, como velocidade e pressão. Os alunos não apenas identificaram características envolvidas no voo, mas também estabeleceram conexões entre teoria e prática, como é o caso do estudante que mencionou o exemplo do ventilador.

Uma das análises acerca da aplicação da sequência didática foi que alguns alunos já tinham uma certa noção de como os aviões voavam, ao citar que voavam com as asas, eles tinham um conhecimento prévio de que as asas eram importantes para o voo. Ao relacionar o voo dos aviões com o dos pássaros, foi observado que eles citaram intuitivamente a principal inspiração do homem para voar, antes mesmo disso ser mencionado pelo professor. Outro conhecimento prévio que eles tinham era com relação aos motores, ao citar que o motor faz com que o avião voe, eles mostraram entendimento da função dos motores, e foi notada a constante utilização da palavra ‘‘impulso’’, ainda que não necessariamente com o sentido físico adequado. Esses aspectos são importantes, pois foi percebido que, de alguma forma, eles já tinham uma familiaridade com esse termo que está ligado à Física. Quando perguntado se havia alguma força envolvida no voo, eles citaram a força dos motores, a força do vento e a força da Física, essas respostas confirmaram mais uma vez que havia um conhecimento prévio deles a respeito do assunto.

Os alunos entenderam que havia uma relação entre o vento e as asas para a decolagem, pois eles responderam que o avião se deslocava na pista para levantar voo e esse deslocamento era justificado para que o vento passasse pelas asas e ele pegasse “impulso”. Ao serem questionados sobre a presença da Física no voo e na decolagem, eles afirmaram que a Física estava presente em tudo que existe, e portanto, também estava envolvida nesse processo, afirmaram também que estaria envolvida na velocidade. Essas respostas, mesmo que um pouco vagas, realçaram que eles detinham entendimento suficiente para enxergar que a Física estaria presente ali, mesmo que não soubessem ao certo em que momento.

Quando questionados sobre a possibilidade de um avião voar sem motor, eles deram respostas que citaram que o motor dá impulso e que ele empurra o avião para a frente, o que está correto. No entanto, até esse momento, apesar de

reconhecerem que não seria possível o voo sem as asas, eles não souberam falar o porquê, e isso evidenciou um conhecimento que eles não tinham por completo.

No momento em que foi trabalhado a história da aviação, foi notado que eles não tinham conhecimento prévio algum sobre, e nesse momento a participação foi quase zero. Lembrando que nas perguntas e diálogos anteriores, eles estavam bastante participativos. Com isso, foi sentido a dificuldade deles em discutir ou comentar, tanto que não houve quase nenhum comentário além de falarem que conheciam o 14-bis por sua estrutura e aparência.

Na sequência, quando foi explicado o conceito do Princípio de Bernoulli e a sua relação com as asas do avião, a fim demonstrar como ele atuava e qual era o papel das asas durante o voo, além de esperar questionamentos por parte deles, nessa parte também era esperado que todo entendimento sobre o Princípio de Bernoulli e a aviação fosse expressado por meio da atividade final. Foi preciso falar das asas e de sua estrutura para que pudessem entender melhor os efeitos do ar para que o avião alçasse voo, tanto é que comentaram sobre os componentes aerodinâmicos de voo, citando que haviam uma pecinhas nas asas, tais quais ajudavam o avião a voar. Durante as discussões a respeito desses componentes cruciais de voo, o comentário sobre o ventilador foi relevante, porque mostrou que o aluno entendeu o princípio básico de funcionamento do motor e conseguiu relacionar com outro objeto do seu cotidiano.

O experimento despertou muita curiosidade, mas também dificuldade em compreensão, eles ficaram surpresos quando o cone fechou, questionavam como aquilo podia acontecer, mas não faziam ideia qual era a explicação. Ficou evidenciado que o experimento atraiu a atenção e possibilitou a discussão. Respostas variadas surgiram e, ao final, lembraram da explicação sobre o Princípio de Bernoulli e associaram a diferença de pressão ao fechamento do cone, com o auxílio do professor nessa condução.

Na atividade final foi analisada questão por questão, de maneira conclusiva, e pôde ser notado que eles conseguiram aprender alguns conceitos a partir da proposta didática. A primeira questão dizia: ‘‘Ao conhecer as histórias das aeronaves, destaque algum aspecto que lhe chamou atenção?’’, de forma geral, eles tiveram respostas variadas, falaram que os tipos de aviões e a história das aeronaves lhes chamou atenção, a forma como a hélice do motor trabalha, o

desenvolvimento e o avanço da aviação moderna, chamou atenção também, saber o nome correto do motor e poder entender como o avião decola e pousa.

Figura 12 - Atividade final: resposta da questão 1 do grupo 1

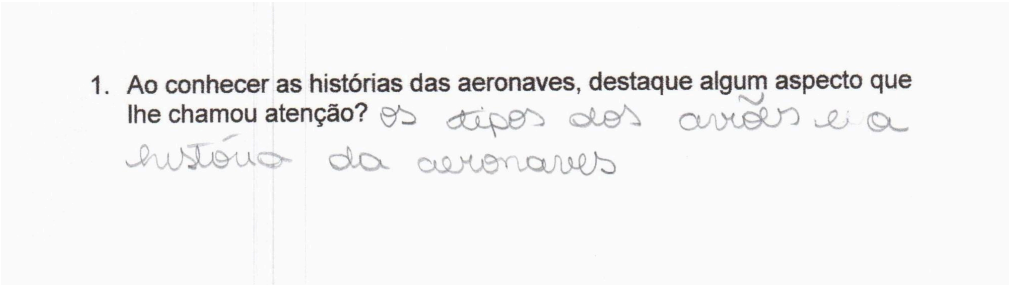
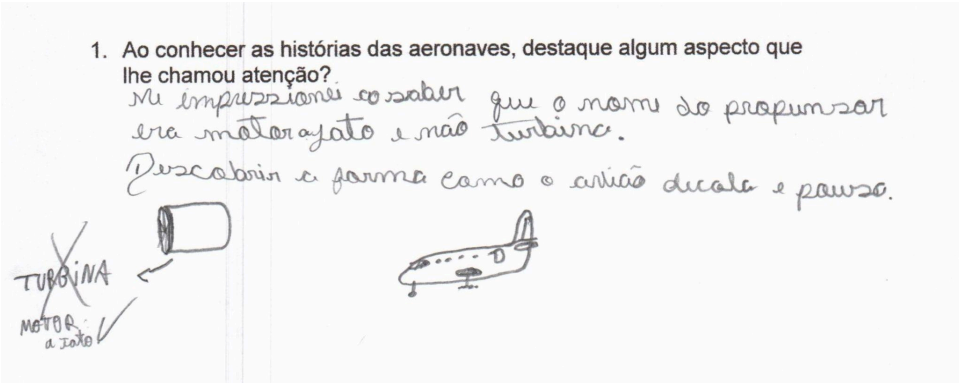


Figura 13 - Atividade final: resposta da questão 1 do grupo 4



Na segunda questão, ‘‘De que forma essa aeronave voa?’’, ficou claro que eles continuaram o entendimento da atuação do motor, mas apenas um grupo citou a atuação da asa e seus componentes neste voo e ainda assim, de forma indireta.

Figura 14 - Atividade final: resposta da questão 2 do grupo 3

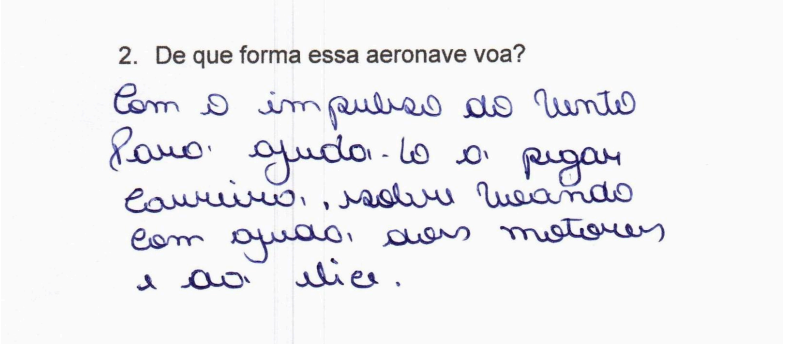
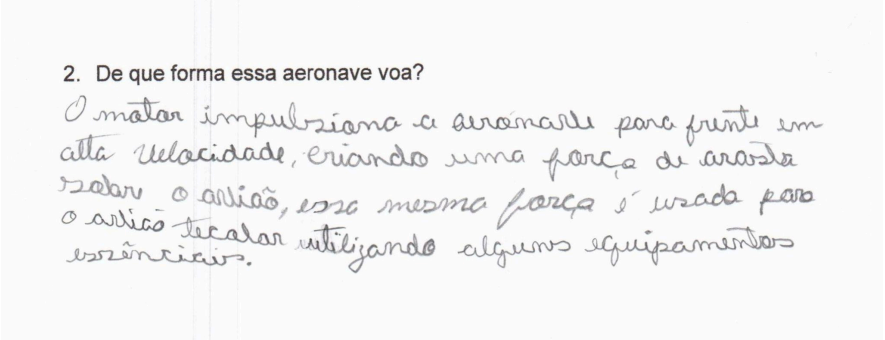
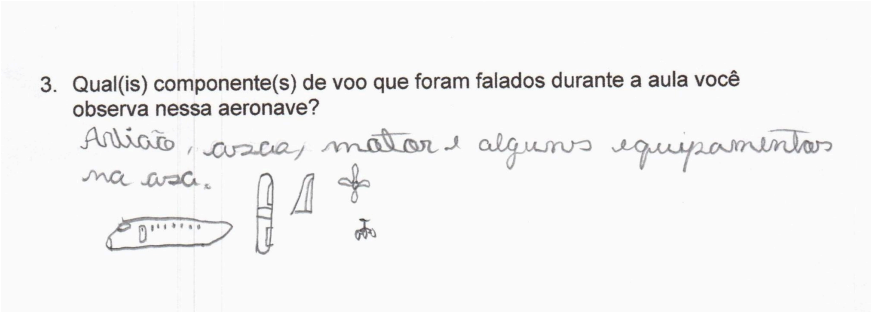


Figura 15 - Atividade final: resposta da questão 2 do grupo 4



Na terceira questão: "Qual(is) componente(s) de voo que foram falados durante a aula você observa nessa aeronave?", o motor e as asas foram os mais citados, mas percebeu-se que os outros componentes só conseguiram ser identificados através da visualização da aeronave por parte deles.

Figura 16 - Atividade final: resposta da questão 3 do grupo 4



A quarta questão dizia: "Como o motor dessa aeronave age para que ele possa ter propulsão para alcançar voo?", no geral, eles entenderam perfeitamente como o motor age, isso foi notado desde o início da aula, quando eles demonstraram que já tinham um conhecimento prévio, embora não tão preciso, sobre a importância dos motores para o voo. Mas, na atividade final, eles mostraram que compreenderam, de maneira mais científica, o trabalho do motor da aeronave.

Figura 17 - Atividade final: resposta da questão 4 do grupo 2

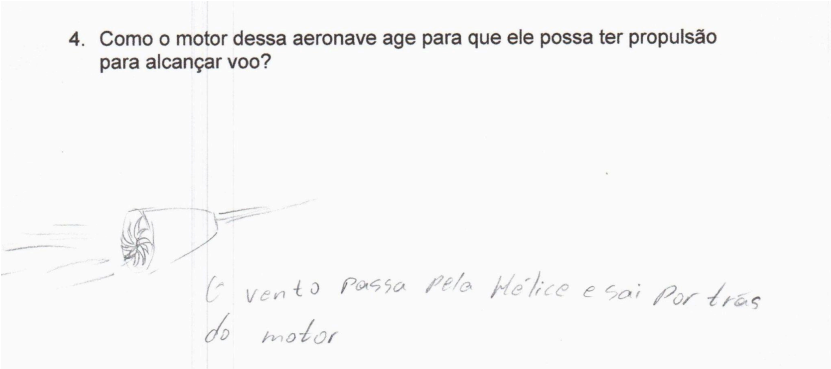
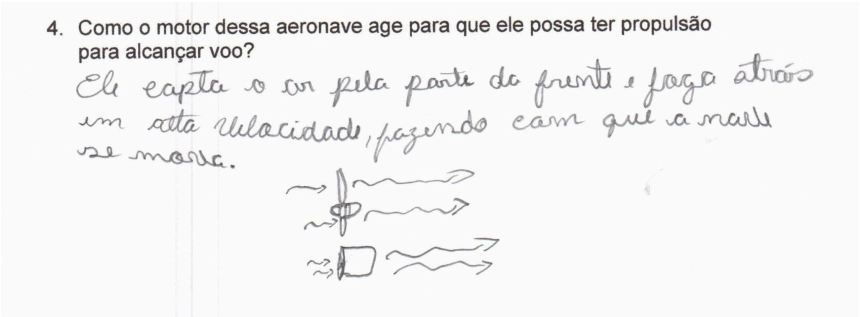


Figura 18 - Atividade final: resposta da questão 4 do grupo 4



Na quinta questão: ‘‘Como o princípio de Bernoulli é aplicado durante o voo?’’, apenas um grupo soube responder de maneira correta essa aplicação, outros dois grupos citaram aerodinâmica na resposta, mas não deram respostas precisas.

Figura 19 - Atividade final: resposta da questão 5 do grupo 4

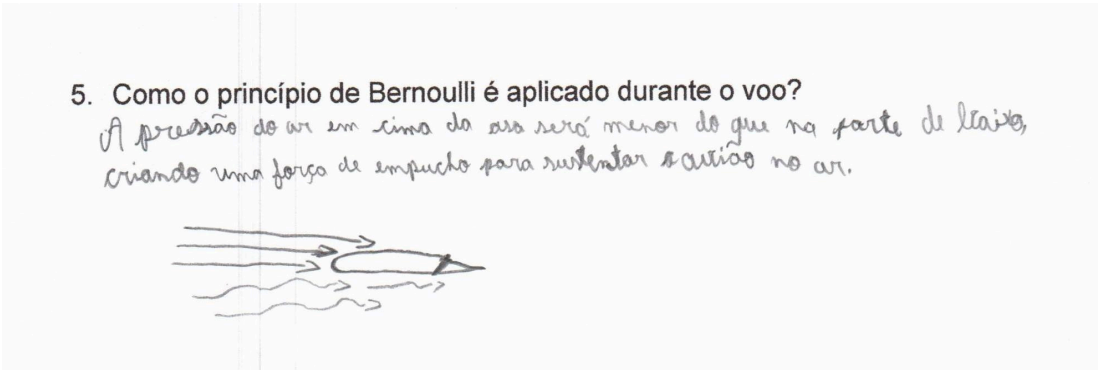
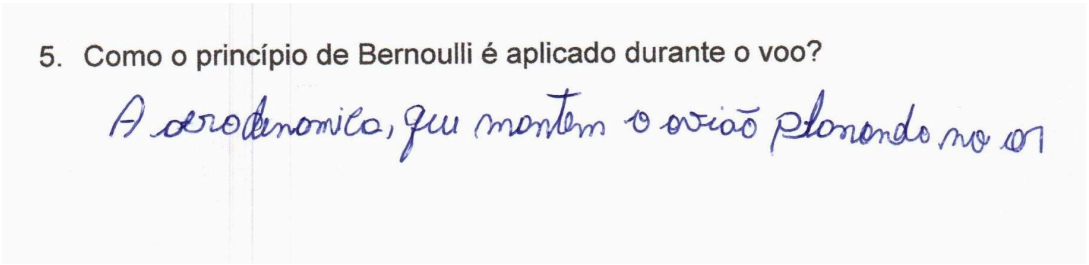


Figura 20 - Atividade final: resposta da questão 5 do grupo 3



Na sexta questão: ‘‘Dê uma breve explicação sobre o que você entendeu por princípio de Bernoulli?’’, no geral eles tiveram um entendimento correto, as respostas descreveram corretamente o conceito físico-teórico do Princípio de Bernoulli e estavam de acordo com a explicação dada em aula.

Sobre a quinta e sexta questões, evidenciou-se que eles entenderam o Princípio de Bernoulli na sua relação entre velocidade e pressão, mas não entenderam muito bem como relacioná-lo ao fenômeno, tanto é que apenas um grupo soube expressar a sua aplicação durante o voo.

Figura 21 - Atividade final: resposta da questão 6 do grupo 3

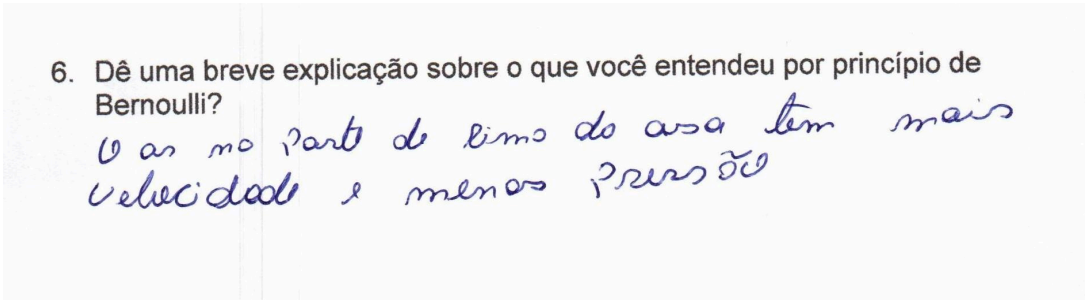
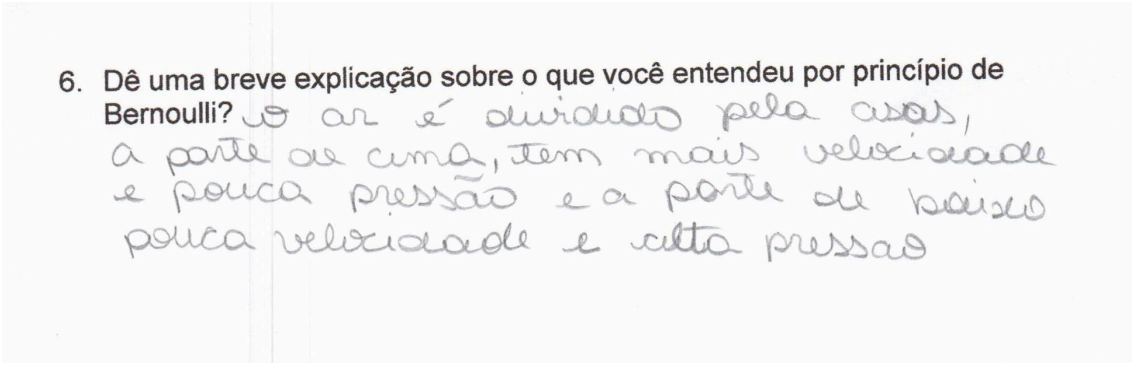

6. Dê uma breve explicação sobre o que você entendeu por princípio de Bernoulli?
O ar na parte de cima da asa tem mais velocidade e menos pressão

Figura 22 - Atividade final: resposta da questão 6 do grupo 1


6. Dê uma breve explicação sobre o que você entendeu por princípio de Bernoulli? O ar é dividido pela asas, a parte de cima, tem mais velocidade e pouca pressão e a parte de baixo pouca velocidade e alta pressão

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta seção, será apresentado a conclusão e as reflexões acerca da aplicação e desenvolvimento da sequência didática. O objetivo geral desta pesquisa era produzir uma sequência didática que relaciona conceitos do Princípio de Bernoulli com a aviação para o Ensino Médio.

A pesquisa foi desenvolvida inicialmente com uma pesquisa bibliográfica sobre temas relativos ao Ensino de Física e aviação, foi fundamentada uma seção para tratar da história da aviação que se mostrou muito importante para que pudessem ser expressados os avanços da aviação até os dias de hoje, não deixando de citar também alguns dos colaboradores para esse desenvolvimento. Para a pesquisa, também foi selecionado o conceito físico do princípio de Bernoulli, o qual era o ponto chave para ser contextualizado nessa sequência didática.

Após os estudos bibliográficos, foi construída uma estrutura para a produção da sequência didática, apresentada no Quadro 1, que conta com descrição e organização das aulas e o plano de aula, presente no Quadro 1 e que está detalhado no Apêndice A, com os materiais que seriam utilizados para a realização da sequência didática, que foi aplicada no Ensino Médio, em uma escola pública.

As atividades da sequência didática foram escolhidas para seguir uma ordem de pensamento e determinar a organização da aula. As perguntas iniciais serviram para discutir conceitos cruciais para o desenrolar da aula e inserir os alunos no tema. Optou-se por abordar a história da aviação para mostrar que o desenvolvimento de qualquer invenção passa por diversas melhorias de ideias e que nada surge do nada ou é fruto do esforço de uma única pessoa. Isso pode ser relacionado a vários estudos e teorias da Física, que evoluíram gradualmente com a colaboração de diversos estudiosos.

Também foi planejado fazer a conexão entre o voo e o Princípio de Bernoulli, uma vez que isso estimula os alunos do ponto de vista físico em relação ao voo e ajudaria a esclarecer as dúvidas surgidas nas perguntas iniciais. Mostrar os componentes aerodinâmicos de voo foi importante para mostrar a relação entre a Física e o movimento do ar que passa por eles. A aplicação de um experimento foi proposta para despertar a curiosidade e o interesse dos alunos, além de garantir que a explicação teórica fosse contextualizada por meio de um exemplo prático, facilitando a compreensão do que havia sido estudado anteriormente. A atividade

final foi escolhida a fim de permitir que os alunos expressassem, por meio de textos ou desenhos, o que aprenderam ao longo da aula. Assim, as questões foram elaboradas para incentivar a apresentação de diversos temas abordados. De maneira geral, as etapas da sequência didática foram planejadas para aprimorar os conteúdos, despertar a curiosidade, fomentar discussões e, principalmente, buscar a participação dos alunos.

Os resultados alcançados foram positivos, foi notado que os alunos se envolveram de maneira participativa durante as explicações, buscaram se integrar na aula e durante o experimento, com respostas e opiniões. O experimento, por sua vez, revelou a curiosidade e o interesse deles no assunto. Na atividade final, ficou evidenciado que as aulas contribuíram para o aprendizado deles, a maioria das respostas às questões da atividade mostraram que as aulas foram importantes para a construção de novos conhecimentos, e por permitir que eles relacionassem conceitos de física, já estudados anteriormente, com o tema da aviação. Também poderia ter sido abordadas discussões sobre temáticas mais sociais, como o impacto ambiental e a desigualdade de acesso aos transportes aéreos. Além disso, a história da aviação poderia ser explorada por meio de outros recursos, como textos históricos ou até documentários.

De maneira geral, a proposta da sequência didática e sua aplicação, se mostraram positivas, pois leva para sala de aula um tema contextualizado, curioso e, normalmente, pouco vivenciado na Educação Básica. A educação e a sala de aula são vivas, por isso é importante sempre haver melhorias quando se trata de ensino. O aprimoramento da sequência didática pode ser dado por uma elaboração de mais tempo de aula, e com maior estímulo para participação dos alunos, levando mais experimentos, o que também pode contribuir para que aquele ensino seja contextualizado e para que compreendam como os fenômenos acontecem e podem ser mostrados de forma mais variada, aplicados em diferentes atividades em cada etapa, o que também pode ser favorável para aprendizagem, outra limitação aparente do trabalho foi não ter abordado diretamente referenciais pedagógicos, sendo que o objetivo foi trazer o relato de uma experiência.

Portanto, a pesquisa mostrou que temas pouco discutidos podem ser desafiadores e trabalhados em sala de aula, contribuindo assim para a educação e para que o Ensino de Física se torne mais interessante e contextualizado.

REFERÊNCIAS

ABREU, H, L, C. Aerodinâmica. AERO TD: Escola de Aviação Civil. Florianópolis – SC, 2015. Disponível em: https://aerotd.com.br/decoleseufuturo/wp-content/uploads/2015/05/AERODIN%C3%82MICA-.pdf. Acesso em: 01 de junho de 2024.

A Família católica orações, 2010. Bênção de São Judas Tadeu. Disponível em: http://afamiliacatolicaoracoes.blogspot.com/2008/10/bno-de-so-judas-tadeu.html. Acesso em 20 de set. de 2024.

ANDRADE, M. M. Introdução à metodologia do trabalho científico: elaboração de trabalhos na graduação. São Paulo, SP: Atlas, 2010.

BIANCHINI, D. Teoria de Voo: aviões. 6. ed. São Paulo: Editora Bianch, 2017.

CHANT, Christopher. A Century of Triumph: The History of Aviation. Toronto: Simon And Schuster, 2002. 388 p.

CORREIA, Paulo dos Santos. Alberto Santos Dumont e a física do vôo: uma experiência no ensino médio. 2008. Dissertação (Mestrado acadêmico) - Faculdade de educação, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2020.

COSTA, Edgar. ADN da Engenharia - O Airbus A380 (Documentário). YouTube, 13 de setembro de 2013. 47min28s. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=kirNZfCB3MU>. Acesso em: 20 de agosto de 2024.

FERNANDES, E. História da aviação. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2018.

GOMES, Maria Fernanda Cardoso. Construindo a alfabetização científica utilizando os princípios básicos da física na aviação. 2022. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal do Pampa, Itaqui, 2021.

HANGAR 33. A evolução das aeronaves. 2015. Disponível em: <http://blog.hangar33.com.br/a-evolucao-das-aeronaves/>. Acesso em maio de 2024.

HEWITT, P. G. Física Conceitual. 12 ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2015.
KELLY, Fred. C. The Wright Brothers: a biography authorised by Orville Wright. New York: Ballantine Books, 1969.

LIMA, Vitor Oliveira Simão de. História da aviação e desenvolvimento do avião. 2020. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências Aeronáuticas) - Universidade do Sul de Santa Catarina. Palhoça, 2020.

MATOS, Cynthia; BOTELHO, Róber. A influência da aerodinâmica no design. Diseño en Palermo. II Encuentro Latinoamericano de Diseño 2007, Palermo, Universidad de Palermo. pp. 141-216. ISSN 1850-2032. Disponível em: <https://dspace.palermo.edu/ojs/index.php/actas/article/view/3268/3829>. Acesso em: 03 de junho de 2024.

MIRANDA, Maria Bernadete. Aspectos Históricos da Aviação Civil Brasileira. Revista Virtual Direito Brasil – Volume 8 – no 2 - 2014

MOREIRA, Marco Antônio. Uma análise crítica do ensino de Física. Estudos Avançados. Porto Alegre, v. 32, n. 94, p. 73-80, 2018.

MUNDO, Manual do. O que tem DENTRO da BOLA oficial da COPA 2022. YouTube, 28 de outubro de 2022. 12min40s. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=Lk8g9fkPHt8. Acesso em: 01 de junho de 2024.

MÚSICAS, aviões. ÓLEO DE COZINHA como combustível no avião | EP. 1216. YouTube, 28 de fevereiro de 2024. 16min36s. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=2FrLDZnUa3Q. Acesso em: 31 de maio de 2024.

PALHARES, Guilherme Lohmann. Transportes Turísticos. São Paulo, Aleph, 2002.

PEREIRA, Marina *et al.* Um relato sobre a evolução histórica da aviação. in: SEMINÁRIO INTERINSTITUCIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, XXIII., 2018, Cruz Alta. **Pesquisa** [...] Cruz Alta: 2018. p. 1 - 12. Acesso em: 22 mai. 2024.

SEVERINO, Antonio Joaquim. Metodologia do trabalho científico. São Paulo: Cortez, 2007.

SILVA, Odair Vieira da. Trajetória histórica da aviação mundial. Revista Científica Eletrônica de Turismo. ISSN: 1806-9169, Ano VI, n°11. Periódicos Semestral. Garça, 2009.

SILVA, Vinícius De Assis et al.. **A dinâmica da aviação como forma de contextualizar os conceitos de hidrodinâmica com ênfase em bernoulli no ensino da física**. Anais III CONAPESC... Campina Grande: Realize Editora, 2018. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/42830>. Acesso em: 07 de junho de 2024.

SMITH, M. JR. The airline encyclopedia, 1909–2000. Lanham: The Scarecrow Press, 2002.

SOUZA, J. V. **Utilização da experimentação no ensino de física**: formação profissional e motivação no trabalho docente. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 278. 2018. Disponível em <http://repositorio.ufes.br/handle/10/4802>. Acesso em 23 fev. 2021.

APÊNDICE A - PLANO DE AULA

UFPE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE - NFD
LICENCIATURA EM FÍSICA

PLANO DE AULA

1. IDENTIFICAÇÃO

Professor(a):	**Disciplina:**	**Tema:**	**Quantidade de aulas:**
Cícero Vinícius da Silva	Física	Contextualização do Princípio de Bernoulli e aviação	3 aulas

2. PLANO

	OBJETIVOS	**CONTEÚDOS**	**RECURSOS**
GERAL	Relacionar conceitos do Princípio de Bernoulli com a aviação para o Ensino Médio.	✓ O Princípio de Bernoulli; ✓ Hidrodinâmica: Pressão e velocidade de um fluido; ✓ História da aviação; ✓ Dinâmica da aviação; ✓ Tipos de aviões.	✓ Projetor multimídia; ✓ Impressões em papel; ✓ Computador com *software* de apresentação e de slides; ✓ Pincel para quadro branco; ✓ Apagador; ✓ Quadro branco.
ESPECÍFICOS	1. Relacionar o conteúdo da Mecânica dos Fluidos contextualizando com aviação; 2. Relacionar o Princípio de Bernoulli com variáveis importantes para o voo, como: velocidade, pressão e altitude; 3. Relacionar os princípios hidrodinâmicos com a aerodinâmica das asas das aeronaves; 4. Analisar exemplos práticos de aeronaves e suas características aerodinâmicas.		

3. PROCEDIMENTOS

INTRODUÇÃO	**DESENVOLVIMENTO**	**CONCLUSÃO**
A aula começará com algumas perguntas iniciais, que terão a finalidade de discutir conceitos e familiarizar o tema aos alunos, a apresentação desses conceitos servirão como pré-requisitos para o desenvolvimento da aula.	1. Primeiramente serão tratadas as concepções iniciais da aviação através de uma aula dialogada, com os seguintes questionamentos: "como você acha que um avião voa?" "você acha que tem alguma força envolvida nesse voo?" "por que para que o avião decole, ele tem que se deslocar na pista? "você acha que a Física está envolvida no voo e na decolagem do avião?". Além desses, também terão outras perguntas que poderão ser levantadas, inclusive por eles, e a intenção é saber os conhecimentos e opiniões sobre o tema. 2. Breve relato sobre a história da aviação: o que, primordialmente, se pensava sobre o voo, os primeiros desejos de voar, primeiros modelos de avião e o contexto de contribuições para a invenção do avião. Para auxiliar, haverá uma apresentação de slide, onde serão utilizados slides com fotos e textos curtos que descrevem cada parte dos temas elencados, ao final, passar um vídeo sobre as primeiras tentativas de voo. 3. Estimular eles do ponto de vista físico de como um avião voa, relacionando as forças e as variáveis importantes para o voo. Após a discussão, relacionar os conceitos ao Princípio de Bernoulli e a dinâmica da aviação, apresentando os componentes aerodinâmicos do avião. 4. Nessa parte será exemplificado como funciona o Princípio de Bernoulli através de um experimento, o experimento do cone de folha de jornal. Esse experimento se trata de um cone feito com folha de jornal que tem um furo maior na base e um menor no vértice. Com a boca, é soprado no furo do vértice, fazendo com que a abertura da base do cone se feche, isso exemplifica como funciona a relação entre velocidade e pressão, que é descrita pelo Princípio de Bernoulli.	Ao final, a sala será dividida em quatro grupos e cada um receberá um tipo de aeronave, a ideia é descrever algum aspecto que chamaram a atenção, como cada uma consegue voar, analisar os componentes aerodinâmicos, como os motores atuam naquele caso específico, como o Princípio de Bernoulli age nesse modelo e qual o entendimento acerca dele.

4. INDICAÇÕES BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, Alex. PRINCÍPIO DE BERNOULLI - EXPERIMENTO DE FÍSICA. YouTube, 11 de junho de 2014. 51s. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=edQ9S3IzZxg. Acesso em: 15 de agosto de 2024.

BIANCHINI, D. Teoria de Voo: aviões. 6. ed. São Paulo: Editora Bianch, 2017.

FERNANDES, E. História da aviação. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2018.

SILVA, Vinícius De Assis et al. **A dinâmica da aviação como forma de contextualizar os conceitos de hidrodinâmica com ênfase em bernoulli no ensino da física**. Anais III CONAPESC... Campina Grande: Realize Editora, 2018. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/42830>. Acesso em: 07 de junho de 2024.

APÊNDICE B - ATIVIDADE FINAL

Contextualização do Princípio de Bernoulli e aviação
Cícero Vinícius da Silva

Atividade final

Nesta atividade, a ideia é responder aos questionamentos da maneira mais detalhada possível. Pode desenhar, escrever... Use a criatividade!

1. Ao conhecer as histórias das aeronaves, destaque algum aspecto que lhe chamou atenção?

2. De que forma essa aeronave voa?

3. Qual(is) componente(s) de voo que foram falados durante a aula você observa nessa aeronave?

4. Como o motor dessa aeronave age para que ele possa ter propulsão para alcançar voo?

5. Como o princípio de Bernoulli é aplicado durante o voo?

APÊNDICE C - FIGURAS DAS AERONAVES UTILIZADAS NA ATIVIDADE FINAL

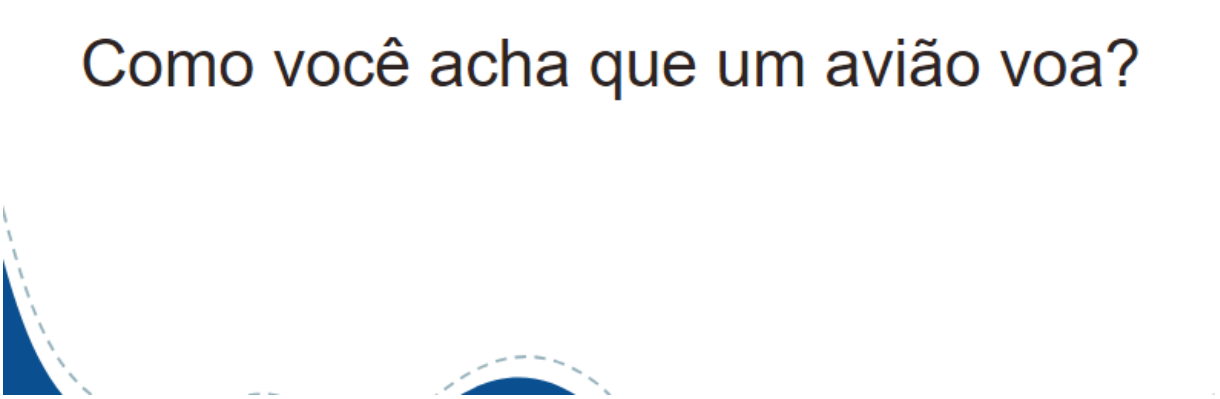
Grupo 1

Grupo 2

Grupo 3

Grupo 4

APÊNDICE D - SLIDES DAS AULAS



Você acha que tem alguma força envolvida nesse voo?

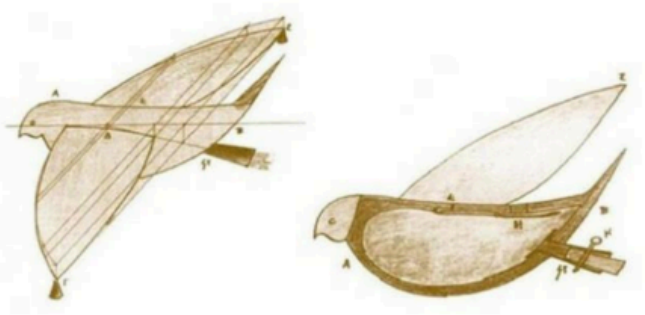
Por que para que o avião decole, ele tem que se deslocar na pista?

Você acha que a Física está envolvida no voo e na decolagem do avião?

Um breve relato sobre a história da aviação

O voo dos pássaros foi uma das inspirações para que o ser humano pudesse um dia chegar a voar. Desde a pré-história, artes rupestres eram desenvolvidas desenhando esses voos, e pensava-se se era possível voar imitando o formato das asas dos pássaros. Tem-se registrado o primeiro voo realizado pelo homem em 400 a.C., por Archytas, um estudioso da Grécia Antiga, o qual desenvolveu um pombo de madeira que conseguia alcançar até 180 metros do chão. Segundo os historiadores da época, o pombo tinha como propulsão um jato de ar para se sustentar em voo, e essa foi considerada a pioneira tentativa da arte de voar.

Um breve relato sobre a história da aviação



Fonte: Pozzebom (2015)

Um breve relato sobre a história da aviação

Um conto da mitologia grega relata muito bem princípios que descrevem o obsessivo sonho de voar, trata-se da lenda de Ícaro, filho de Dédalo. Dédalo, um habilidoso artesão, criou asas de penas e cera para ele e seu filho escaparem do labirinto de Creta. Ele advertiu Ícaro a não voar muito alto para que o Sol não derretesse a cera, nem muito baixo para que o mar não molhasse as suas asas. Deslumbrado pela sensação de voar, Ícaro desobedeceu e subiu alto demais, resultando em sua queda fatal no mar.

Um breve relato sobre a história da aviação

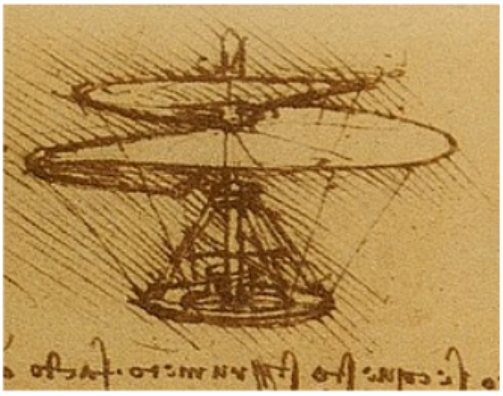
Fonte: Piombo (2015)

Grandes contribuintes para o desenvolvimento da aviação

Leonardo da Vinci

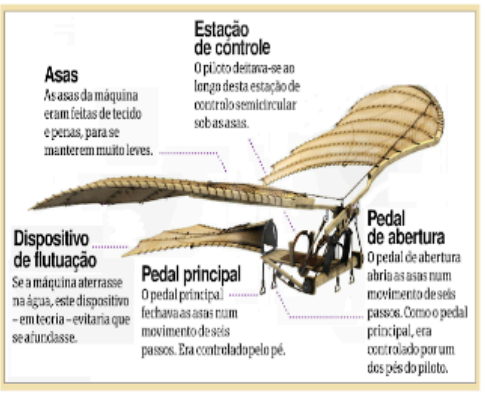
Leonardo da Vinci teve pioneirismo na aviação, fascinado pelos pássaros, ele foi fundamental para os estudos da aerodinâmica e em 1408 desenhou o primeiro modelo de aeronave tripulada. Registros indicam que, entre os anos de 1480 e 1505, houve um estudo minucioso do voo dos pássaros e dos planadores, focando especialmente na estrutura anatômica dos pássaros.

Helicóptero de Leonardo da Vinci



Fonte: Wikipédia (2020)

Ornitóptero de Leonardo da Vinci



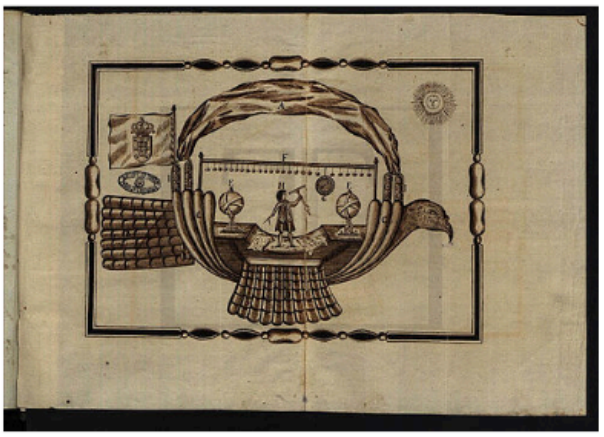
Fonte: Blog aerosngcanela (2015)

Grandes contribuintes para o desenvolvimento da aviação

Padre Bartolomeu de Gusmão

O "Padre voador", como era conhecido, Gusmão foi crucial para o desenvolvimento dos instrumentos de voar, ficou conhecido por seus projetos de um dirigível mais leve que o ar e pelo primeiro projeto de um aeróstato. Ele apresentou o projeto de um balão de ar quente que era impulsionado por uma vela, seu voo obteve um alcance de quatro metros, o sucesso e confiança do projeto fez com que ele atravessasse gerações, sendo utilizado até os dias de hoje.

Passarola de Bartolomeu de Gusmão



Fonte: Wikipédia (2023)

A Passarola de Gusmão foi concebida no início do século XVIII. Esse balão usava os mesmos princípios de ar aquecido, que é mais leve que o ar frio e, portanto, sobe. Em 1709, Bartolomeu de Gusmão realizou uma demonstração de seu balão diante da corte portuguesa, em Lisboa.

Grandes contribuintes para o desenvolvimento da aviação

Os irmãos Wright

Os irmãos Wright, começaram a estudar o voo por volta da década de 1890, inspirados em Otto Lilienthal, conhecido como "o pai do voo planado. Eles, de início, construíram planadores e realizaram testes para entender a aerodinâmica que facilitava ou dificultava o voo deles. Um passo fundamental foi a construção de um túnel de vento em 1901, no qual realizaram experimentos para melhorar o design e a aerodinâmica das asas. Após várias tentativas e aperfeiçoamentos, os irmãos Wright construíram o "Wright Flyer I".

Os Irmãos Wright

Fonte:Terravista Brasil (2020)

No dia 17 de dezembro de 1903, finalmente, no Estado da Carolina do Norte, conseguiram realizar, com sucesso, seu primeiro voo de modelo motorizado mais pesado do que o ar, veículo que levava o nome de Flyer. O primeiro voo durou cerca de doze segundos e, incentivados por este resultado, os irmãos, alternando-se no comando do Flyer, acabaram realizando mais quatro voos neste mesmo dia, totalizando cerca de cinquenta e nove segundos no ar.

Grandes contribuintes para o desenvolvimento da aviação

Alberto Santos Dumont

Brasileiro, Alberto Santos Dumont, teve destaque no pioneirismo acerca dos métodos de voo, revolucionou a aviação com a construção do "14-bis" e foi intitulado de "pai da aviação", esse título foi concedido a ele por sua participação e demonstração em solo francês, na presença de uma comissão oficial, mas muito além da criação dessa aeronave, Santos Dumont já trabalhava outros meios de alcançar voo.

Alberto Santos Dumont e o 14-bis

Fonte: Aventuras na História (2023)

Aviação Moderna

No passado, os primeiros aviões eram feitos de madeira e tecido. Com o tempo, o alumínio se tornou o material principal devido à sua leveza e resistência à corrosão, especialmente a partir das décadas de 1930 e 1940. Hoje, usam-se materiais compósitos, como a fibra de carbono e a fibra de vidro, que são amplamente utilizados por serem mais leves e mais fortes do que o alumínio, o que melhora a eficiência de combustível e a durabilidade.

Boeing 707, primeiro avião de passageiros com motor a reação

Fonte: Wikipédia (2024)

Como um avião voa?

Componentes essenciais para que um avião voe:

Motor

Fonte: Uol (2017)

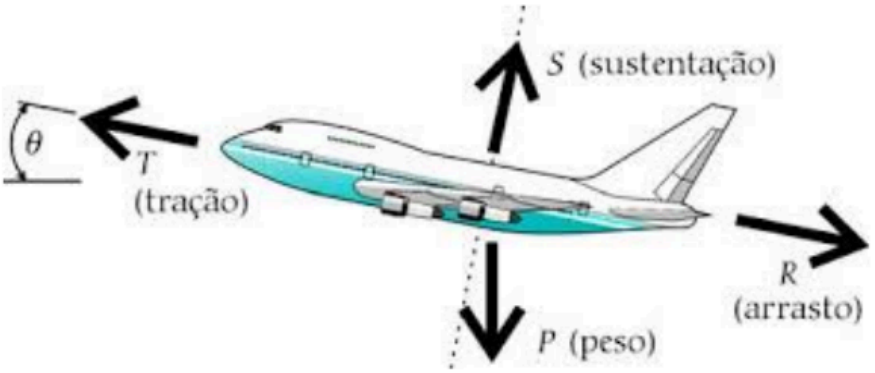
Fonte: Aeromagazine (2014)

Asa

Fonte: Wikipédia (2012)

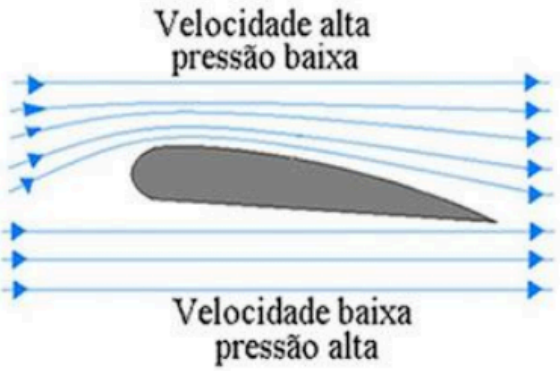
Fundamentos físicos determinantes durante o voo:

As quatro forças de voo



Fonte: Studart e Dahmen (2024)

Comportamento do ar na asa do avião

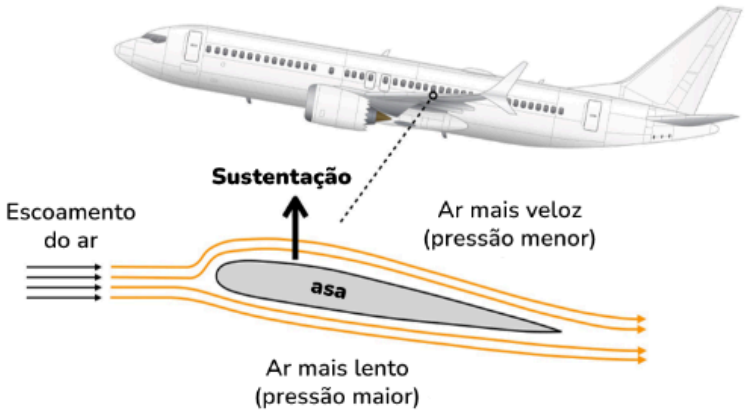


Fonte: Fenômenos da Engenharia (2017)

O princípio de Bernoulli

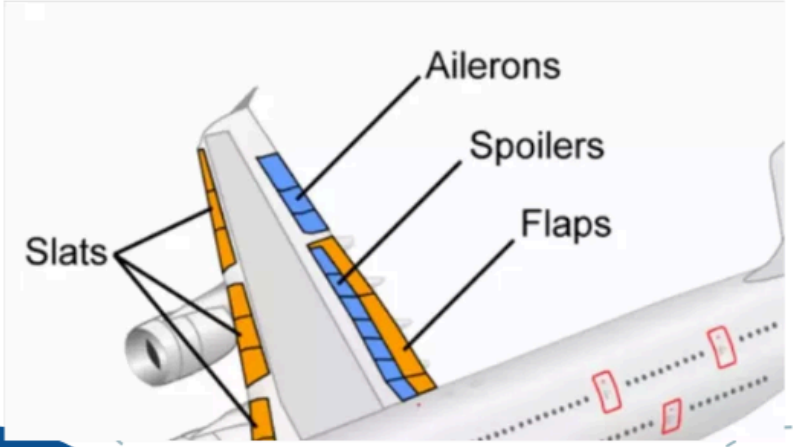
Em um fluxo de fluido, a pressão é inversamente proporcional à velocidade: quando o fluxo acelera, a pressão diminui e vice-versa. Em termos simples, isso significa que, à medida que a velocidade de um fluido aumenta, a pressão dentro desse fluido diminui. Essa relação é fundamental na explicação de fenômenos como a sustentação em asas de aviões

O princípio de Bernoulli nas asas do avião



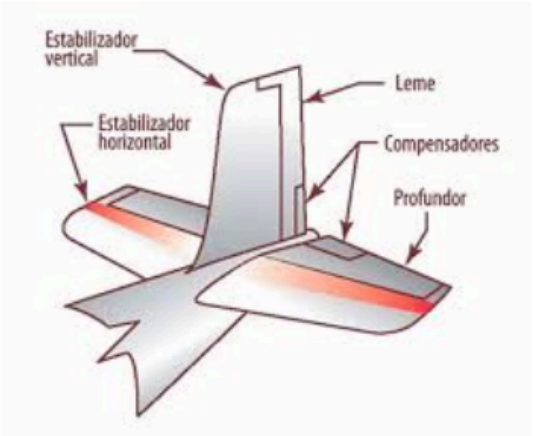
Fonte: Aprova total (2023)

Os componentes aerodinâmicos do avião



Fonte: Guia do aviador (2018)

Os componentes aerodinâmicos do avião



Fonte: Hangar 33 (2016)

Zona de estol

A zona de estol é a faixa de velocidade de um avião abaixo da qual ele não consegue gerar sustentação suficiente para manter o voo nivelado. Em outras palavras, é a velocidade mínima na qual o fluxo de ar sobre as asas não é mais suficiente para suportar o peso da aeronave, levando a uma perda de controle e um potencial risco de queda. É um conceito crucial na aviação, pois pilotos devem evitar operar o avião dentro dessa zona para garantir a segurança do voo.

A turbulência

1. **Correntes de Jato**: Fluxos de ar rápidos e estreitos nas altas altitudes podem gerar turbulência quando o avião passa por eles.
2. **Convecção**: O ar quente que sobe pode criar correntes ascendentes e descendentes, especialmente em áreas com grandes formações de nuvens.
3. **Frentes e Sistemas Meteorológicos**: Mudanças bruscas na temperatura e na pressão do ar entre diferentes massas de ar podem causar turbulência.
4. **Topografia**: Montanhas e outras elevações podem desviar e perturbar o fluxo de ar, gerando turbulência.
5. **Vórtices de Rotor**: Gerados pela passagem de aeronaves sobre áreas de vento turbulento

Hora do experimento!

Procedimento experimental

Procedimento experimental

Referências

AMORIM, Alex. PRINCÍPIO DE BERNOULLI - EXPERIMENTO DE FÍSICA. YouTube, 11 de junho de 2014. 51s. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=edQ9S3lzZxg. Acesso em: 15 de agosto de 2024.

BIANCHINI, D. Teoria de Voo: aviões. 6. ed. São Paulo: Editora Bianch, 2017.

FERNANDES, E. História da aviação. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2018.

SILVA, Vinícius De Assis et al. **A dinâmica da aviação como forma de contextualizar os conceitos de hidrodinâmica com ênfase em bernoulli no ensino da física**. Anais III CONAPESC... Campina Grande: Realize Editora, 2018. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/42830>. Acesso em: 07 de junho de 2024.

APÊNDICE E - IMAGENS DO EXPERIMENTO CONFECCIONADO