

Guilherme Lenon da Silva

**NAVEGAÇÃO AEROESPACIAL: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA  
DIFERENCIADA PARA O ENSINO DE FÍSICA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Curso de Graduação em Física da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Nelson Canzian da Silva

Florianópolis

2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
través do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silva, Guilherme Lenon da  
NAVEGAÇÃO AEROSPAACIAL: : UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA  
DIFERENCIADA PARA O ENSINO DE FÍSICA / Guilherme Lenon da  
Silva ; orientador, Nelson Canzian da Silva -  
Florianópolis, SC, 2016.  
54 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências  
Físicas e Matemáticas. Graduação em Física.

Inclui referências

1. Física. 2. Ensino de Física. 3. Aeronavegação. 4.  
Experimentação. I. Silva, Nelson Canzian da. II.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Física.  
III. Título.

Guilherme Lenon da Silva

**NAVEGAÇÃO AEROESPACIAL: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA  
DIFERENCIADA PARA O ENSINO DE FÍSICA.**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Licenciado em Física, e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Física.

Florianópolis, 15 de agosto de 2016.

---

Prof. Celso Yuji Matuo, Dr.

Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Nelson Canzian da Silva, Dr.

Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof.<sup>a</sup> Débora Peres Menezes, Dr.<sup>a</sup>  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Mestrando Túlio Falconi da Gama Leite  
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado à minha família, em especial,  
minha esposa Danielle.

## AGRADECIMENTOS

À Deus por me proporcionar essa oportunidade.

Ao meu pai Jair, à minha mãe Clea e aos meus irmãos Daniel, Juliano e Gabriel, pelo incentivo, carinho e compreensão em todos os momentos dessa longa caminhada.

A minha esposa Danielle, pela compreensão, principalmente nos momentos de ausência.

À Força Aérea Brasileira por me proporcionar experiências e informações sem as quais esse material não poderia ser escrito/ a meus chefes Tenente Daniel Alves, Tenente Carvalho, Tenente Alikí e Tenente Alves pelo apoio e dedicação nas horas difíceis.

Ao professor Dr. Nelson Canzian da Silva pela orientação e dedicação.

A professora Dra. Débora Peres Menezes e pelo mestrando Túlio Falconi da Gama Leite pela honra e disponibilidade de participar da banca avaliadora.

À Universidade Federal de Santa Catarina, pela oportunidade de cursar uma graduação pública e de qualidade.

Por fim, aos meus familiares, amigos e a todos que contribuíram direta e indiretamente à realização deste trabalho, por acreditarem que essa conquista seria possível.

“O caminho da maioria é fácil. O nosso é penoso.  
Caminhemos.”

(Demian - Hermann Hesse)

## **NAVEGAÇÃO AEROESPACIAL: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA DIFERENCIADA PARA O ENSINO DE FÍSICA.**

### **RESUMO**

No ensino de física é de fácil percepção o desinteresse dos alunos pela forma como os conteúdos normalmente são apresentados, bem como a sua dificuldade de compreender as relações matemáticas utilizadas no ensino de física nas escolas brasileiras. Em vista disso, há uma incessante busca por meios que incentivem os alunos a se apropriarem dos conhecimentos físicos de forma a relacioná-los com o mundo à sua volta. Esse trabalho propõe uma abordagem diferenciada para o ensino de física que alia um tema de importante relevância para a sociedade, a aviação, com uma apresentação matemática simples e objetiva. Além disso, alinha-se com a Lei de Diretrizes e Base da educação Brasileira, que preconiza o estímulo à compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos através da associação da teoria com a prática no ensino de todas as disciplinas.

**Palavras-chave:** Ensino de Física. Aeronavegação. Experimentação.

## **NAVIGATION AEROSPACE: A DIDACTIC SEQUENCE DIFFERENTIATED FOR PHYSICS TEACHING.**

### **ABSTRACT**

In physics teaching it is easy to realize the lack of interest of students by how the contents are usually presented, as well as their difficulty in understanding mathematical relationships used in physics education in Brazilian schools. Therefore, there is a constant search for ways to encourage students to take ownership of physical knowledge in order to relate them to the surrounding world. This paper proposes a differentiated approach to physical education that combines a major important issue for society, aviation, with a simple and objective mathematical presentation. Moreover, it aligns with the Law of Guidelines and Basis of Brazilian education, which calls for the encouragement of understanding the scientific and technological foundations of production processes through the association of theory with practice in the teaching of all subjects.

**Keywords:** Physics Teaching. Air navigation. Experimentation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Mapa com escala ESC 1: 500.000 cm.....	19
Figura 02 – Representação gráfica da rotação das correntes metálicas no interior da terra .....	20
Figura 03 – Linhas do campo magnético.....	21
Figura 04 – Campo magnético terrestre representado por um dipolo magnético.....	22
Figura 05 – Inclinação do dipolo magnético da Terra.....	22
Figura 06 – Linhas de campo magnético e polos magnéticos .....	23
Figura 07 – Intersecções de um terreno com retas paralelas ao plano .....	23
Figura 08 – Linhas imaginárias representando longitude.....	25
Figura 09 – Linhas representativas de latitudes .....	26
Figura 10 – Mapa mundo .....	26
Figura 11 – Forças sobre um avião.....	27
Figura 12 – Ângulo de subida de um avião .....	28
Figura 13 – Representação errônea das linhas de corrente de uma asa .....	29
Figura 14 – Representação correta das linhas de corrente através de uma asa .....	30
Figura 15 – Composição de vetores. ....	31
Figura 16 – Composição de vetores .....	31
Figura 17 – Camadas da Terra.....	36
Figura 18 – Representação gráfica de alguns azimutes marcados em um plano cartesiano .....	37
Figura 19 – Altímetro analógico utilizado em aeronaves.....	37
Figura 20 – Carta de navegação aérea de Florianópolis.....	39
Figura 21 – Carta de navegação aérea com traçado Florianópolis-Rancho Queimado.....	39
Figura 22 – Transferidor.....	40
Figura 23 – Carta de navegação com indicação de declinação magnética .....	41
Figura 24 – Carta de navegação aérea de Florianópolis .....	42
Figura 25 – Modelo Representativo do vetor aeronave.....	43
Figura 26 – Modelo representativo do vetor vento.....	43
Figura 27 – Decomposição do vetor aeronave .....	44
Figura 28 – Triângulo formado pelos vetores .....	44
Figura 29 – Vetor resultante .....	45
Figura 30 – Carta de navegação aérea de Florianópolis .....	47

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Grandezas físicas não-SI.....	32
Tabela 2 – Queima aproximada de combustível por aeronave específica.....	48

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT–Associação Brasileira de Normas Técnicas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NBR – Norma Brasileira de Regras

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	133
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. Objetivo geral .....	15
2.2. Objetivos específicos.....	15
3. A PROPOSTA.....	166
3.1. Módulo 1: Análise cartográfica .....	17
3.2. Módulo 2: Análise do voo .....	27
3.2.1. O avião.....	27
3.2.2. O que é necessário para o voo? .....	29
3.2.3. Velocidade do voo .....	30
3.2.4. Velocidade relativa.....	31
3.2.5. Unidade de medida para velocidade.....	32
3.2.6. Fatores que influenciam o voo .....	33
3.2.6.1. Temperatura.....	33
3.2.6.2. Pressão atmosférica .....	33
3.2.6.3. Densidade .....	34
3.2.7. Instrumentos de voo.....	34
3.2.7.1. Bússola.....	34
3.2.7.2. Altímetro.....	37
3.3. Módulo 3: Aplicação dos conhecimentos para a navegação aérea.....	38
3.3.1. Exemplo 1.....	39
3.3.2. Exemplo 2.....	42
3.3.3. Exemplo 3.....	47
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	51
REFERÊNCIAS .....	52

## 1. INTRODUÇÃO

O desejo de voar e alcançar o espaço e as estrelas é um dos sonhos mais antigos da humanidade. Em muitas culturas do passado o céu era destacado como um lugar especial, habitado por deuses. Muitos povos consideravam que as constelações eram representações dos seus mitos e lendas. Assim, por muitas culturas o céu foi considerado um lugar divino que os homens só alcançavam quando homenageados pelos deuses.

A história do voo pode ser contada a partir da mitologia, com o conto de Dédalo, que constrói asas com cera e penas de gaivota. Neste conto Ícaro, filho de Dédalo, voa com as asas de cera para sair do labirinto do Minotauro. Porém, contrariando o aviso de seu pai, Ícaro voa muito perto do sol, fazendo com que a cera de sua asa derretesse e ele despencasse e caísse no mar Egeu.

Apesar de ser um mito, tal conto nos remete a um dos assuntos mais importantes da aviação atual: o planejamento do voo de uma aeronave. Segundo o Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (Cenipa) do Ministério da Defesa (2015), os fatores humanos são 15 das 23 causas que contribuíram para 90% dos desastres aéreos registrados no país. Os dados revelam que a falta de planejamento do voo gera um total 9,08% dos acidentes aeronáuticos.

O grande interesse das pessoas pelos assuntos relacionados à aviação e a importância da discussão do tema para a prevenção dos acidentes aéreos torna oportuno a criação de uma sequência didática, voltada ao ensino médio, que aborde os conhecimentos físicos associados à navegação aérea.

Os problemas de ensino no Brasil, principalmente no ensino de física, não são novidade. Têm sido alvo de discursões e reflexões por diversos estudiosos da área e podemos encontrar na literatura trabalhos que propõem possíveis soluções para a participação plena do indivíduo, pensante e preocupado com as interações do ambiente à sua volta.

Segundo Araújo et al. (2003) a compreensão da natureza da ciência de um modo geral e da física em especial constitui parte fundamental do desenvolvimento humano e da formação do cidadão. Deste modo, muitos trabalhos apontam o uso da experimentação como estratégia para minimizar as dificuldades do processo de ensino/aprendizagem.

Entretanto, apesar de se ter diversos materiais que apontam os problemas apresentados no ensino de física e de indicarem as vantagens do uso da experimentação como parte da solução, Araújo et al. (2003) ao contrário da pretensão, afirma que a maioria das propostas disponíveis para a aplicação de uma sequência didática que envolva a experimentação, consiste ainda de orientações tipo “livro de receitas”. Essa ideia é fortemente vinculada a uma abordagem tradicional do ensino, restrito a demonstrações fechadas com pouca relação à realidade física, onde são feitas em laboratórios de verificação e confirmação de teorias previamente apresentadas em sala de aula.

MENEZES (2010) cita o trabalho de TEDESCO (2006), o qual descobriu através de sua análise, que o número de estudantes de Ciências está diminuindo, inclusive nos países europeus. No mesmo estudo obteve dados que apontaram que o número de estudantes de Física, na Alemanha foi reduzido a um terço entre 1990 e 1995, sendo as causas diversas, entre elas, a pouca ligação com os problemas reais.

Outro aspecto relevante é que o ensino de física na educação básica ainda se caracteriza pela maioria das aulas expositivas e repetitivas, onde se aborda a matemática, ao invés da compreensão de aspectos relacionados aos fenômenos envolvidos, distanciando o cotidiano dos alunos aos conteúdos ministrados (CLEMENT, 2004).

Além do exposto, encontra-se no artigo 35 da seção IV da nova lei de diretrizes e bases da educação brasileira (2006), no inciso IV, que o ensino médio, etapa final da educação básica, tem como finalidade: a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina.

Diante disso esse trabalho almeja é propor atividades nas quais os alunos consigam contextualizar os conhecimentos da física presentes em algo próximo à sua realidade.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Geral**

Apresentar uma sequência didática com atividades envolvendo a navegação aérea associadas a conceitos básicos de mecânica.

### **2.2. Específicos**

- Desenvolver atividades e situações problematizadoras envolvendo navegação aérea;
- Propiciar situações de reflexão que estimulem o pensamento lógico, a criatividade, o trabalho em grupo, a argumentação e a troca de ideias entre os alunos e entre os alunos e o professor;
- Criar situações onde seja possível o uso de escala em situações reais;
- Realizar exercícios para fixação dos conteúdos;
- Associar o fenômeno do magnetismo com os equipamentos e procedimentos para a navegação aérea;
- Conscientizar da problemática e importância da navegação aérea, desenvolvendo a atitude do aluno frente a um problema real;
- Relacionar os ajustes realizados na navegação aérea com grandezas vetoriais.

### 3. A PROPOSTA

Para que relacionar as informações de um plano de voo com os conteúdos da física, é necessário ter os conhecimentos básicos de pilotagem no que diz respeito à navegação aeroespacial. A navegação aérea, basicamente, depende dos conhecimentos da aeronave e do reconhecimento do ambiente onde será traçada sua trajetória.

No que diz respeito ao conhecimento das aeronaves é necessário que o aluno compreenda os princípios básicos que regem o voo, o comportamento da aeronave durante a sua trajetória no ar, bem como as influências externas exercidas sobre ela. Os fatores externos são fornecidos pela carta de navegação, que é constituída de um mapa cartográfico com as informações indispensáveis para a criação de uma rota aérea.

Assim a proposta desta sequência didática é mostrar para professores do ensino médio como pode ser feito um plano de voo explicitando os conhecimentos apresentados na disciplina de física. Para isso, o conteúdo será dividido em três módulos: o primeiro baseado nos conceitos da cartografia; o segundo nos princípios de voo e o terceiro nos procedimentos seguidos pelos pilotos que elaboram o plano de voo. Convém ressaltar que para cada aeronave são necessários procedimentos diferentes, sendo apresentados aqui apenas os procedimentos básicos de rotas e tempo de voo comum a todas as aeronaves.

As informações sobre os procedimentos e termos aeronáuticos, foram obtidas das literaturas específicas: Aeronaves e teoria de voo e Aeronaves e motores de Jorge M. Homa (HOMA, 2002 e 2009). Bem como de entrevistas feitas com pilotos e mecânicos da Força Aérea Brasileira, com o objetivo de tornar esta sequência didática um reflexo da realidade vivida pelos profissionais da área.

O conteúdo físico deste projeto tem como foco a cinemática, onde são abordados de forma contextualizada os conceitos de velocidade escalar e velocidade vetorial e movimentos relativos. São abordados, em menor grau, tópicos de magnetismo, dinâmica, hidrodinâmica e termodinâmica (particularmente temperatura e pressão). Outros conteúdos, relacionados indiretamente à física, tais como a constituição do interior da Terra e a análise cartográfica, necessários para a compreensão de toda a dinâmica do projeto, também são abordados, ainda que superficialmente.

Este projeto foi elaborado tendo como público alvo alunos de ensino médio e, mais especificamente, os do primeiro ano, quando se estuda cinemática. Contudo, com pequenas modificações em sua estrutura, o conteúdo em questão pode ser trabalhado de

outra forma com alunos do terceiro ano, no que diz respeito a movimentos relativos, como prévia do estudo da relatividade restrita.

### **3.1. Módulo 1: Análise cartográfica**

Geralmente quando queremos saber como chegar a algum lugar, perguntamos sobre um ponto de referência. Um ponto de referência é um local conhecido por uma grande quantidade de pessoas. Quando um piloto está fazendo um voo entre dois pontos sobre a superfície da Terra, seu sistema de referência tem como base as linhas do equador e do meridiano de Greenwich. Embora sejam linhas imaginárias, elas aparecem em todos os mapas e representações do globo terrestre, como se de fato existissem. Em vista disso, a compreensão da cartografia é de extrema importância para a localização de uma aeronave na superfície da Terra. Neste módulo apresentaremos os principais componentes de um mapa que o tornam uma carta de navegação.

A palavra “mapa” segundo o dicionário Aurélio diz respeito a uma representação gráfica e métrica da Terra ou de parte dela. Existem vários tipos de mapas. Por exemplo, os mapas geopolíticos podem representar organizações criadas pelo homem, como a região que delimita o território dos países; já os mapas físicos são feitos de forma a representarem os acidentes geográficos naturais, como as montanhas, as planícies e os rios.

Os mapas que trazem todas as informações necessárias para a navegação aérea são denominados “Cartas de Navegação” e suas propriedades métricas permitem que se possam tirar medidas bastante precisas de distâncias, superfícies e ângulos. Desta forma, os mapas proporcionam uma valiosa ajuda no desenvolvimento da aviação. As principais características de uma carta de navegação serão discutidas a seguir:

#### ➤ Escala

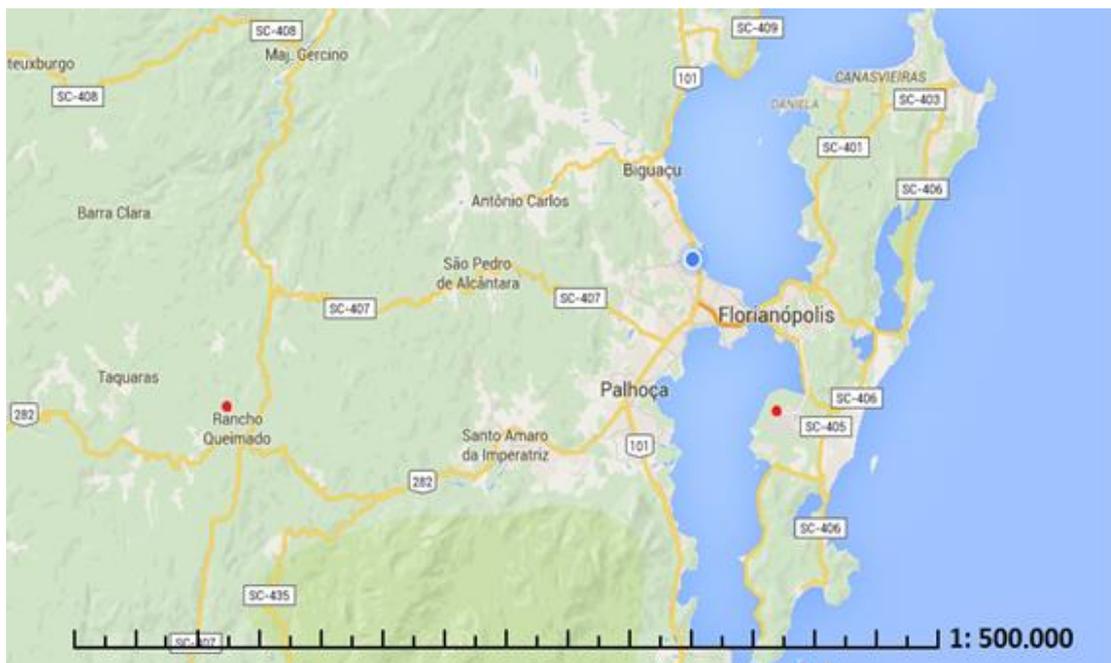
É comum ouvirmos que, quando os engenheiros vão testar novas invenções, seja na área automobilística ou aeronáutica, criam, anteriormente, protótipos em escala reduzida. Isso possibilita a observação de comportamentos, no protótipo, similares àqueles que se observaria no produto em tamanho real, mas a um custo (e frequentemente um risco) muito menor.

Mas o que é a escala reduzida? A escala reduzida é a relação de proporção entre o modelo real e sua miniatura. Em outras palavras, informa quão reduzido está o

protótipo em relação ao objeto representado. Uma escala E1:1 (um por um) informa que não há redução alguma entre o objeto e o modelo; por exemplo, nessa escala um avião de 10 m teria 10 m. Uma escala E1:24 (um por vinte e quatro) informa que o modelo é 24 vezes menor que o original, o que significa que o avião de 10 m seria modelado por um de  $10/24 = 0,416$  m ou, em outras palavras, cada centímetro do avião em miniatura corresponde a 41,6 cm no avião real. Em uma escala E1: 64 (um por sessenta e quatro) o modelo é reduzido 64 vezes com relação ao objeto original, ficando com  $10/64 = 0,156$  m, ou que cada centímetro do avião em miniatura corresponde a 15,6 cm do avião real.

Assim como o avião em miniatura representa um avião em escala real, os mapas cartográficos representam extensões de Terra, países e até mesmo o globo terrestre. A escala cartográfica é a relação matemática que existe entre as dimensões reais e aquelas da representação da realidade contidas em um mapa ou globo. A NBR 8196 - “Desenho técnico - Emprego de escalas”, (ABNT, 1999) tem por objetivo fixar as condições exigíveis para o emprego de escalas e suas designações em desenhos técnicos. As escalas são registradas em forma de fração, onde o numerador indica o valor do plano e o denominador o valor real daquela área representada, sempre antecidos da palavra ESCALA ou da abreviatura ESC. Por exemplo, a escala ESC 1: 500.000 significa que 1 cm do plano no mapa equivale a 500.000 cm da área real.

### Atividade: leitura de distâncias em um mapa.



**FIGURA 01:** Mapa com escala ESC 1: 500.000 cm. **Fonte:** Adaptado Google maps.

Com o auxílio de um barbante encontre no mapa da figura 01 à distância em linha reta entre os dois pontos marcados em vermelho (Florianópolis e Rancho Queimado).

#### ➤ Fator de conversão

Alguns mapas têm unidades diferentes das do Sistema Internacional de Medidas (SI). É o caso da aviação, que utiliza como padrão de comprimento a milha náutica, por exemplo. Muitas vezes é conveniente converter uma unidade em outra utilizando um fator de conversão, como no exemplo a seguir.

Suponhamos que um determinado mapa forneça valores em metros da distância de Florianópolis até Joinville (cidades do estado de Santa Catarina), tal distância é de 175,940 km. Como uma milha náutica corresponde a 1,852 km (que é o fator de conversão), a distância entre as duas cidades também pode ser expressa como  $175,940/1,842 = 95,52$  milhas.

#### ➤ Linhas magnéticas

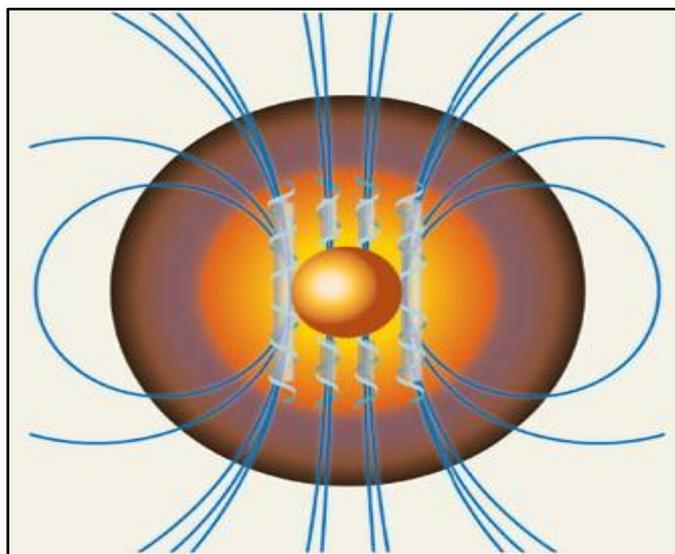
Uma abordagem mais moderna sobre a criação e manutenção do campo magnético da Terra, teve suas bases teóricas propostas pelo físico americano Walter Maurice Elsasser (1946) e pelo inglês Edward Bullard (1949). Neste modelo o campo seria produzido por correntes elétricas geradas devido à circulação da região líquida do

núcleo externo, o qual se acredita ser constituído por ferro e níquel (NiFe). Apesar de não podermos ir diretamente ao núcleo, pode-se, indiretamente, estimar qual seria sua composição estudando ondas sísmicas. (GUIMARÃES, 2011).

No núcleo externo, devido à alta temperatura, o NiFe está em estado líquido. No núcleo interno a temperatura é mais elevada ainda, porém devido à altíssima pressão, esses metais não conseguem mover-se como líquido e são forçados a vibrar como um sólido.

Como a temperatura do interior da Terra diminui do centro para a superfície e há constantes trocas de calor entre o núcleo e o manto, isso gera uma diferença de densidade que produz correntes de convecção dentro do núcleo externo. Mas se fosse somente por isso, as correntes teriam sentidos aleatórios e não se estabeleceria um campo como o que temos.

Ocorre que, enquanto a crosta da Terra gira, o globo metálico que forma o núcleo gira com velocidade levemente maior, cerca de  $2^\circ$  (dois graus) por ano mais rápido que a superfície da Terra. Como a crosta e o núcleo giram em mesmo sentido, a convecção aliada ao movimento de rotação, acabam dando um padrão na rotação das correntes metálicas como mostra a figura 02.

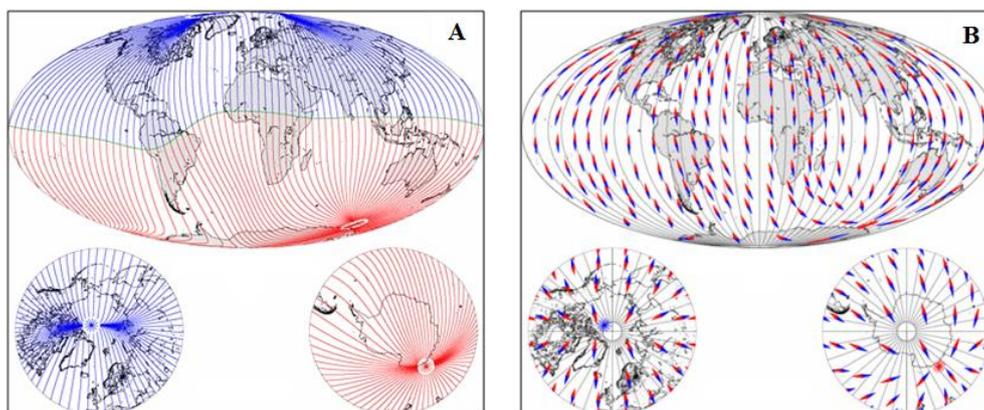


**FIGURA 02:** Representação gráfica da rotação das correntes metálicas no interior da Terra. **Fonte:** Adaptada de Jornal Nature, 2008.

Distribuídos pelo planeta existem diversos observatórios que tem como uma das finalidades, observar o campo magnético terrestre. No Brasil, por exemplo, temos o Observatório Magnético de Vassouras (OMV), localizado no estado do Rio de Janeiro, o qual é uma unidade do Observatório Nacional (ON).

Ao observarmos as linhas do campo magnético de um ímã, podemos pensar que o campo terrestre é daquele modo, bem “comportado”. Não é o caso. Com os dados coletados em várias regiões do mundo através desses observatórios, são traçados em detalhes as linhas de campo, que estão em constante mudança de direção e intensidade, devido a fatores internos no planeta ou por influência externa, como ocorre quando chegam ventos solares mais intensos. Isso significa que tanto os mapas têm que ser refeitos com novos dados periodicamente, quanto às correções aproximadas devem ser aplicadas no momento do uso da informação entre uma publicação e outra.

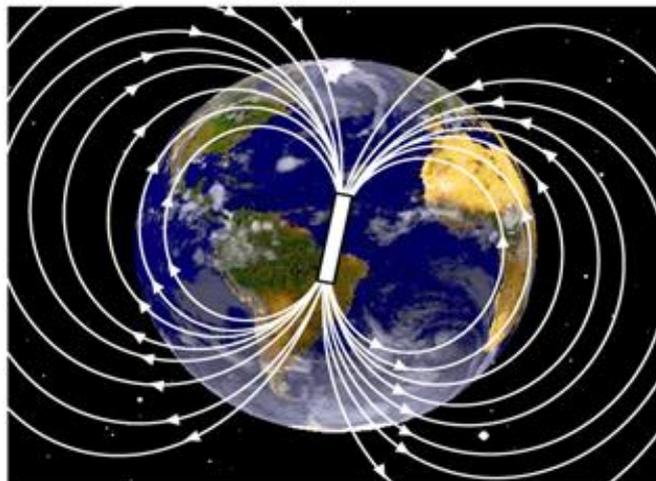
Na figura 3 A, é possível observar a irregularidade das linhas de fluxo do campo magnético nos hemisférios norte e sul. Já na figura 3 B, observamos a orientação de agulhas de uma bússola magnética em diversas posições sobre a terra, o norte verdadeiro é indicado pela direção das linhas azuis.



**FIGURA 03 A e B:** Linhas do campo magnético. **Fonte:** Adaptado de Geomagnetism, 2010.

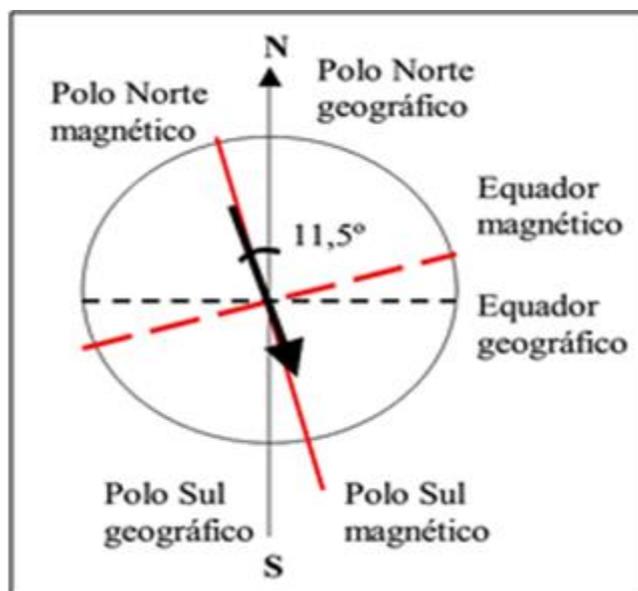
Outro fator que contribui para a irregularidade do campo são o que chamamos de fontes crustais, elementos da camada superficial terrestre que apresentam magnetização.

Descontadas as variações de pequena escala, de um modo “macro”, o campo magnético terrestre pode ser aproximado pelo campo de um dipolo magnético, tal como na figura 04.



**FIGURA 04:** Campo magnético terrestre representado por um dipolo magnético. **Fonte:** KENYON, 2014.

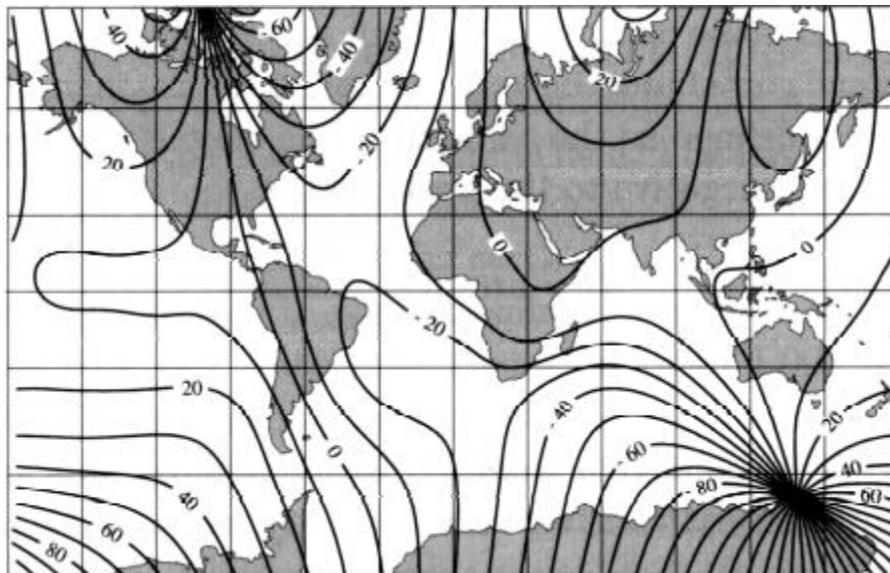
Como mencionado, são realizadas medidas do módulo e direção do campo magnético em certos intervalos de tempo através de diversos observatórios espalhados pelo planeta. Medidas efetuadas na superfície da Terra indicam que o campo geomagnético pode ser aproximado por um campo produzido por um dipolo magnético localizado em seu centro. Porém, o dipolo não está exatamente sobre o eixo de rotação da Terra, mas deslocado de cerca de  $11,5^\circ$ , conforme figura 05.



**Figura 05:** Inclinação do dipolo magnético da Terra. **Fonte:** Cordeiro, 2007.

O eixo magnético não coincide com o eixo geográfico. Esta diferença entre a indicação do Polo Norte magnético e a posição do Polo Norte geográfico denomina-se de declinação magnética, que servirá como orientação para os aviões permanecerem na sua rota.

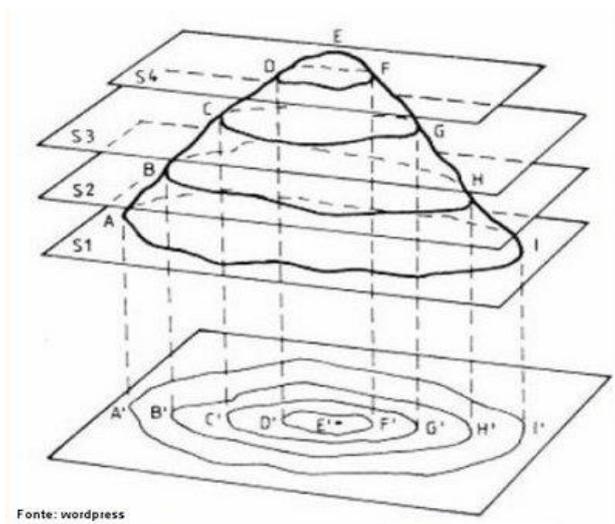
Declinação magnética é o ângulo formado entre o meridiano verdadeiro e o meridiano magnético. A representação da declinação magnética em cartas é feita através de curvas de igual valor, como mostra a figura 06.



**Figura 06:** linhas de campo magnético e polos magnéticos. **Fonte:** Cordeiro, 2007.

Devido a constate mudança da posição dos polos magnéticos, a declinação magnética é corrigida periodicamente. No Brasil a correção é feita com uma periodicidade de 10 anos. Atualmente o Observatório Nacional disponibiliza a declinação magnética no endereço <http://extranet.on.br/jlkm/magdec/index.html>.

➤ Curvas de nível



Fonte: wordpress

**Figura 07:** interseções de um terreno com retas paralelas ao plano. **Fonte:** Secretaria da educação do estado do Paraná, s/ano.

BLIN (2014) salienta que para conduzir um avião com segurança o piloto tem de considerar a elevação do terreno e dos obstáculos. Em um mapa cartográfico ou carta de navegação o relevo é representado por curvas de nível, com pontos medidos a partir do nível do mar, o que permite ao piloto e a tripulação uma visão mais completa da sinuosidade do terreno, possibilitando a identificação de formas físicas da geologia como vales, divisores de água, montanhas e outras. Tal conhecimento das curvas de nível é de extrema importância, pois muitas vezes o piloto de uma aeronave não tem visibilidade para poder desviar de um relevo acentuado.

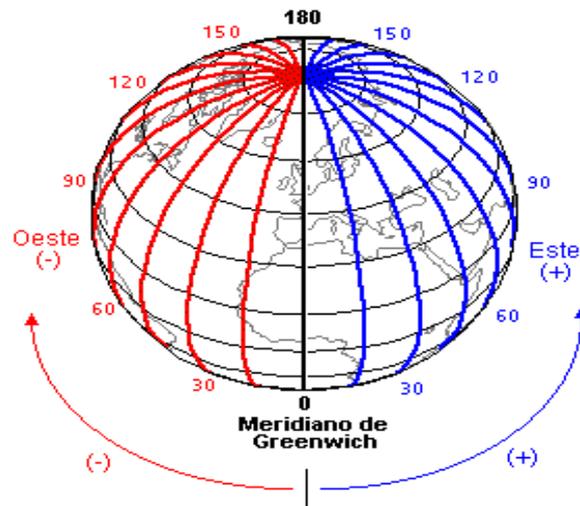
Assim, podemos caracterizar as curvas de nível como sendo linhas que representam todos os pontos do terreno de uma mesma altitude. Pode-se entendê-las ainda, como o resultado da intersecção da superfície física do terreno com planos paralelos ao plano de comparação, como mostra a figura 07.

#### ➤ Meridianos e longitude

Os meridianos são as linhas imaginárias que passam através dos polos e ao redor da Terra, círculos da esfera cujos planos contêm o eixo de rotação. O meridiano de Greenwich, na Inglaterra é o ponto de partida para a numeração dos meridianos. Este foi o lugar escolhido para a localização do primeiro meridiano, porque quando o sistema de latitudes e longitudes foi definido, a Grã-Bretanha era o líder mundial na exploração dos mares e na elaboração de mapas. Em Greenwich fica a sede do Observatório Real Britânico.

A longitude é o valor em graus de cada meridiano em relação ao meridiano de referência, e tem valores dados em graus ( $^{\circ}$ ), minutos ( $'$ ) e segundos ( $''$ ). A linha de longitude que está na marca de  $0^{\circ}$  passa pela localidade de Greenwich.

As linhas de longitude determinam posições a leste e a oeste do primeiro meridiano. As linhas a leste são numeradas de  $1^{\circ}$  a  $179^{\circ}$  leste (L). As que ficam a oeste são numeradas de  $1^{\circ}$  a  $179^{\circ}$  oeste (O ou W). O meridiano de número  $180^{\circ}$  fica exatamente na posição oposta à do primeiro meridiano. Na figura 08 é possível observar com maior detalhamento o deslocamento longitudinal em relação ao meridiano de Greenwich.



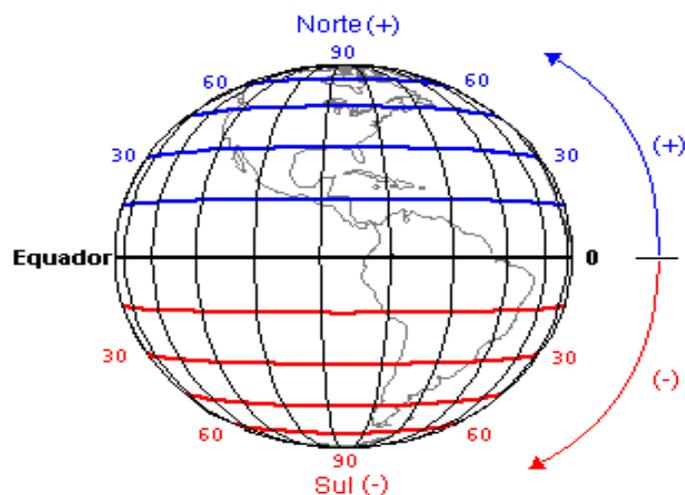
**Figura 08:** Linhas imaginárias representando Longitude.  
**Fonte:** [http://santa\\_isabel.tripod.com/](http://santa_isabel.tripod.com/)

### ➤ Paralelos e latitude

Os paralelos são círculos que contornam a esfera do globo cujo plano é perpendicular ao eixo dos polos. Seu círculo máximo é o equador, e os outros círculos, tanto no hemisfério norte quanto no hemisfério sul, vão diminuindo até que se transformem em um ponto em cada polo.

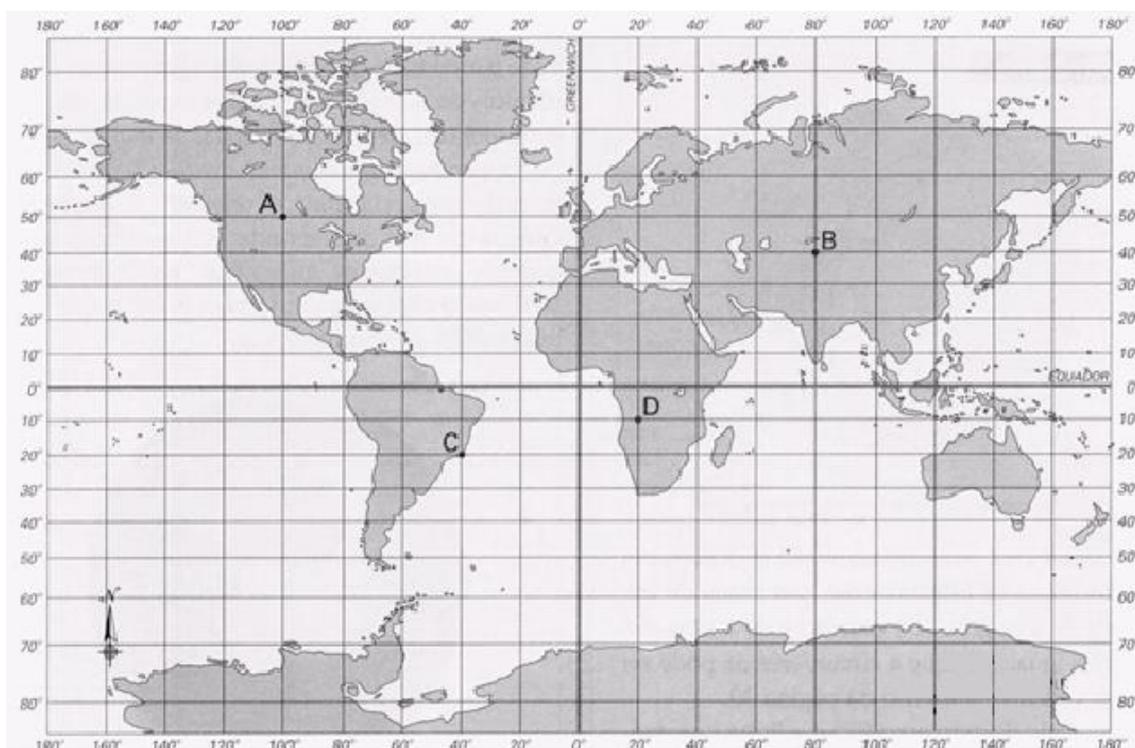
Assim como nas longitudes a latitude é o valor em graus ( $^{\circ}$ ) de cada paralelo em relação à linha do equador. Os valores da latitude podem ser fracionados em unidades menores chamadas minutos ( $'$ ) e segundos ( $''$ ). A latitude do equador é  $0^{\circ}$ , a latitude do polo Norte é  $90^{\circ}$  ao norte (N) e a do polo Sul é  $90^{\circ}$  ao sul (S). As linhas das latitudes ao norte do equador são numeradas de  $1^{\circ}$  a  $89^{\circ}$  N, e as ao sul do equador são numeradas de  $1^{\circ}$  a  $89^{\circ}$  S.

Além do equador, há outras latitudes importantes, como, por exemplo, o círculo polar Ártico ( $66^{\circ}30' N$ ) e o círculo polar Antártico ( $66^{\circ}30' S$ ), que circundam as regiões geladas dos polos Norte e Sul. A região que fica entre o trópico de Câncer ( $23^{\circ}27' N$ ) e o trópico de Capricórnio ( $23^{\circ}27' S$ ) é chamada zona tropical ou trópicos. De acordo com GRIMM (1999). Os valores de latitude dos trópicos são baseados na incidência perpendicular do sol durante o solstício de verão. A incidência de raios verticais do sol, portanto, ocorre entre  $23^{\circ}27' N$  e  $23^{\circ}27' S$ . Na figura 09, podemos observar com maior detalhamento o deslocamento da latitude em relação à linha do equador.



**Figura 09:** Linhas representativas de latitudes. **Fonte:** [http://santa\\_isabel.tripod.com/](http://santa_isabel.tripod.com/)

### Atividade sugerida: Entendendo seu lugar no mundo.



**Figura 10:** Mapa mundo. **Fonte:** NOWATZKI, 2016.

A latitude e a longitude, juntas, permitem localizar um ponto sobre a superfície da Terra. Por exemplo, a localização da cidade de Florianópolis, na região sul do Brasil, está  $27^\circ$  ao sul do equador e  $48^\circ$  a oeste do primeiro meridiano, ou meridiano de Greenwich. Dizemos que suas coordenadas geográficas são  $27^\circ$  S,  $48^\circ$  W (W, de West, “oeste” em inglês), esses dois números indicam um ponto na superfície da Terra, dado

pela interseção de um meridiano com um paralelo, determinados pelos seus valores de longitude e latitude.

Na figura 10, é possível observar um mapa do planeta Terra, por meio do método de intersecção dos paralelos com os meridianos, indique as coordenadas dos pontos em vermelho.

### 3.2. Módulo 2: Análise do voo

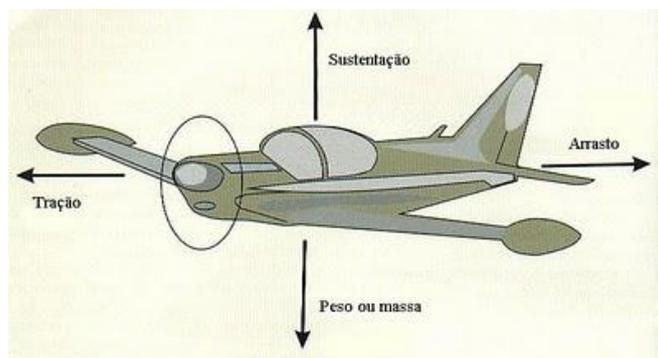
#### 3.2.1. O avião

Para analisar as forças que atuam na aeronave em voo, o primeiro passo é identifica-las.

Pensando no avião, tanto no ar como em solo, sabe-se que sobre ele atua a gravidade. Devido a isto e à sua massa, a primeira força que podemos identificar atuando sobre o avião é a força peso ( $P = mg$ ).

Durante o voo de uma aeronave, o vento flui em determinada direção em relação ao avião, assim, podemos chama-lo de *vento relativo*. Quando o avião está decolando ou pousando, ele não se encontra em paralelo com o vento relativo, portanto, existe um ângulo  $\theta$  em relação aos dois. Este ângulo, formado pela direção do vento relativo e pela direção do avião, é chamado de ângulo de ataque. Além disso, o vento relativo é responsável por produzir uma força sobre o avião, esta força é chamada de força aerodinâmica total, cujas componentes são a sustentação e o arrasto.

Já temos ciência de três das forças que atuam sobre o avião: peso, sustentação e arrasto. A última força que precisamos identificar é produzida pelas turbinas e pelo motor, a chamada tração, ou propulsão.



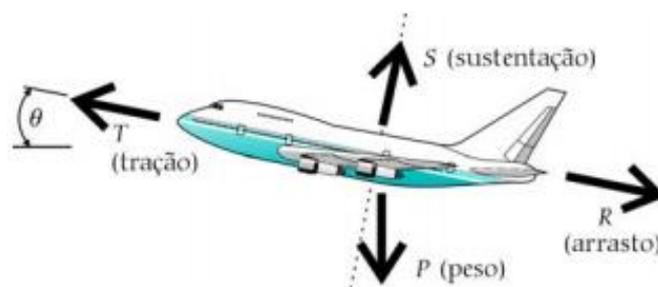
**FIGURA 11:** Forças sobre um avião. **Fonte:** DOMINGOS, 2011.

A representação esquemática das forças que atuam sobre um avião em sua decolagem está presente na Figura 11.

Quando o avião estabiliza o voo, ou seja, está voando em voo de cruzeiro (veja no tópico sobre velocidade) com velocidade constante, a força resultante deve ser nula. Isto é, a sustentação deve ser igual ao peso e a propulsão deve ser igual ao arrasto. É necessário que isso ocorra, quando se trata de voo de cruzeiro.

Durante os processos de decolagem e de aterrissagem, a resultante das forças não pode ser nula. Vamos considerar que o avião esteja com velocidade constante e com uma taxa de ascensão também constante. Analisando as forças da Figura 12, nota-se, a partir da decomposição de forças na direção do eixo  $y$ , que a sustentação é menor que o peso do avião, tanto na descida, quanto na subida, pois a somatória das forças no eixo  $y$  é igual à sustentação menos a força peso  $\cos$  do ângulo. Durante a descida é fácil aceitar que isto ocorre, já que o peso é responsável pela queda, mas na subida não é assim trivial. Pois como ressalta Sturdart et al. (2006), muitos estudantes tem a ideia errônea de que para que um avião suba, é necessário que a força sustentação deva exceder o peso do avião.

No entanto, de acordo com Anderson et al. (2006) é possível demonstrar e verificar experimentalmente que para qualquer ângulo de ataque, a sustentação é menor que o peso. Essas duas forças só se igualam durante o voo de cruzeiro.



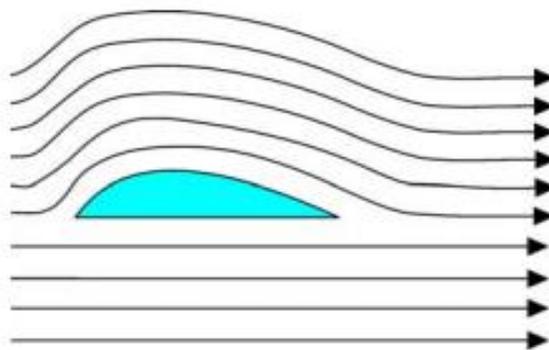
**Figura 12:** Ângulo de subida de um avião. **Fonte:** STUARDT, 2006.

Agora já sabemos como atuam as forças em um avião. Devemos nos lembrar de que o arrasto e a tração são forças que dependem da velocidade e da geometria das asas, portanto, um avião só irá decolar se adquirir velocidade suficiente.

### 3.2.2. O que é necessário para o voo?

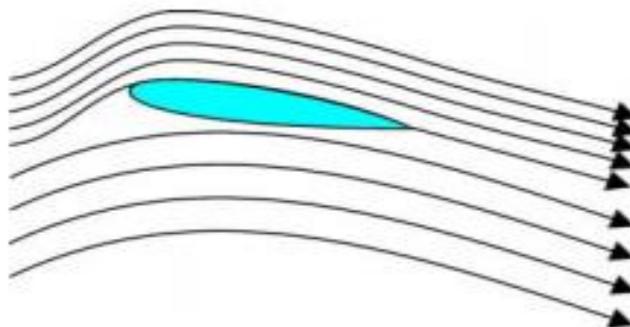
Entre as forças que atuam no avião, a mais importante para o voo é a sustentação. Podemos explicá-la pelas leis de Newton e pelas leis de Bernoulli.

O vento, ou melhor, o ar que vai de encontro com o avião, tanto em solo quanto no ar, é defletido pelas asas e é acelerado para baixo, exercendo assim uma força sobre as asas. Aqui encontramos a 2ª lei de Newton. As asas, portanto, exercem uma força de reação, explicada pela 3ª lei de Newton, que dá origem à sustentação. O ar que passa pelas asas é "cortado" por elas, formando assim duas linhas de correntes: uma que passa por cima da asa e outra que passa por baixo da asa. A Figura 13 mostra uma representação comum destas linhas de corrente, no entanto esta representação está errada.



**Figura 13:** Representação errônea das linhas de corrente de uma asa. **Fonte:** ANDERSON, 2006.

Se esta representação estivesse certa, a asa não causaria nenhuma perturbação na corrente de ar e não haveria sustentação. A representação correta é dada pela Figura 14, onde nota-se claramente que as linhas de corrente acima da asa são mais comprimidas que as linhas de corrente abaixo das asas e, mais importante ainda, após atravessarem toda a extensão da asa, as linhas de corrente não se posicionam paralelamente à corrente de ar incidente.



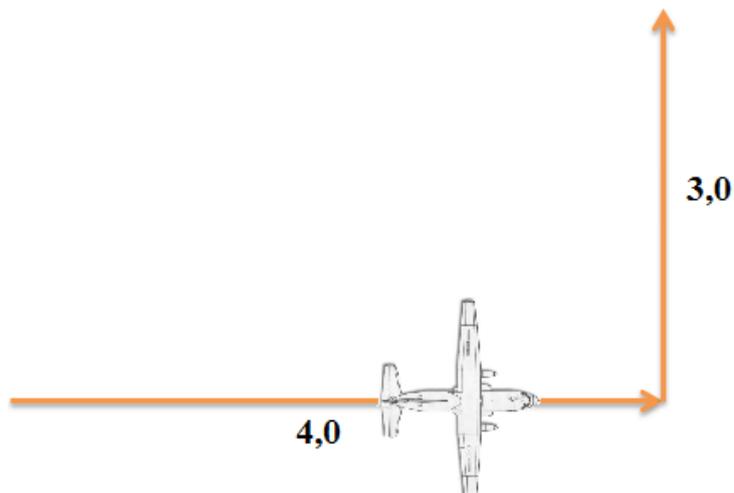
**FIGURA 14:** Representação correta das linhas de corrente através de uma asa. **Fonte:** ANDERSON, 2006.

Isso também é explicado pela 3ª lei de Newton, já que existe uma força para cima sobre a asa para compensar o peso do avião, o ar tem que ser acelerado para baixo para produzir uma força de reação: a sustentação. Devido a estes fatores, a velocidade do ar acima da asa é maior do que a velocidade do ar de baixo da asa.

### 3.2.3. Velocidade do voo

A grandeza vetorial é toda grandeza matemática caracterizada por uma direção, um sentido, um número e uma unidade. Por exemplo, quando uma aeronave for decolar necessitará conhecer as condições do vento, o qual pode ser representado como um vetor de intensidade igual a 60 km/h, com direção horizontal e sentido sul/norte. No entanto certas grandezas não são representadas por vetores, como é o caso da temperatura, que seria impraticável dizer que a temperatura em Florianópolis é de 25 °C, com direção vertical e sentido leste/oeste.

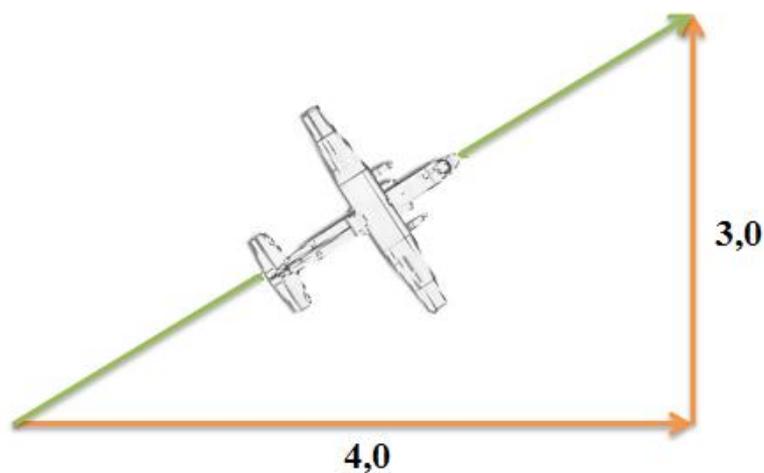
A composição ou soma de vetores é um método utilizado para determinar a resultante de dois ou mais vetores. Por exemplo, uma aeronave percorre uma distância de 4 km para leste e 3 km para norte como mostra a figura 15.



**Figura 15:** Composição de vetores.

Outra aeronave gostaria de fazer o mesmo trajeto de forma mais eficiente, como proceder?

A figura 16 mostra qual caminho deverá ser tomado por essa aeronave.



**Figura 16:** Composição de vetores.

Assim podemos considerar que o deslocamento da primeira aeronave forma um conjunto de vetores e o deslocamento da segunda aeronave representa o vetor soma do conjunto de vetores, ou seja, o vetor soma é aquele capaz de levar à mesma posição final dos vetores produzidos pela primeira aeronave.

#### **3.2.4. Velocidade relativa**

No avião o instrumento desenvolvido para calcular a velocidade do avião é o velocímetro. O velocímetro é feito para perceber a diferença de pressão estática no interior da aeronave com a pressão dinâmica formada pelo seu deslocamento. Essa

diferença de pressão depende da velocidade no exterior e é mostrada no visor do velocímetro como a velocidade da aeronave. Entretanto, este instrumento mede apenas a velocidade do avião em relação ao ar. Este valor mostrado no instrumento é denominado de *velocidade indicada*.

A velocidade indicada não informa necessariamente o quanto à aeronave se desloca no espaço, e sim em relação ao ar. Para saber a velocidade de deslocamento da aeronave em relação ao solo devemos conhecer a velocidade do vento externo e analisá-la junto aquela apresentada no instrumento. Se o vento externo estiver a favor do deslocamento será somada a velocidade indicada, à velocidade do vento, por outro lado se a direção do vento for contrária ao deslocamento da aeronave será subtraído às duas velocidades com o intuito de se obter a velocidade real de deslocamento em relação ao solo.

A menor velocidade que um avião pode ter em relação ao vento de modo a produzir sustentação suficiente para suportar seu peso é conhecida como velocidade de estol.

### 3.2.5. Unidade de medida para velocidade

Por razões históricas, econômicas e políticas, o sistema de medidas utilizado na aviação não é o Sistema Internacional (SI). Embora utilizar o SI traga muitas vantagens, ainda existem muitas unidades como o minuto ou o dia que estão tão arraigadas no senso comum que são utilizadas no cotidiano de muitas pessoas. A tabela 1 algumas relações entre unidades SI e não-SI.

Grandeza	Unidade	Símbolo	Relação com o SI
tempo	Minuto	Min	1 min = 60 s
	Hora	H	1 h = 3600 s
	Dia	D	1 d = 86400 s
volume	litro	L ou l	1 L = 1 dm <sup>3</sup>
massa	tonelada	T	1 t = 1000 kg
energia	elétronvolt	eV	1 eV = 1,602x10 <sup>-19</sup> J
pressão	bar	Bar	1 bar = 100 kPa
	milímetro de mercúrio	mmHg	1 mmHg = 133,3 Pa
comprimento	angstrom <sup>2</sup>	Å	1 Å = 10 <sup>-10</sup> m
	milha náutica	M	1 M = 1852 m
força	dina	Dyn	1 dyn = 10 <sup>-5</sup> N
energia	erg	Erg	1 erg = 10 <sup>-7</sup> J

**Tabela 1:** Grandezas físicas não-SI. **Fonte:** Tabela adaptada IMETRO.

Para medir a velocidade é necessário que se tenha uma unidade de comprimento dividida por uma unidade de tempo. Na aviação é usada a milha náutica como unidade de comprimento, esta equivale a 1852 metros, e a hora como unidade de tempo. A unidade de medida da velocidade nesse sistema é o *nó* (kt, do inglês *knot*), correspondente a uma milha náutica por hora.

### **3.2.6. Fatores que influenciam o voo**

Quando se fala em aviação as condições atmosféricas são tão importantes quanto o bom funcionamento da aeronave. Vários dos cálculos feitos em um planejamento de voo são baseados nestas condições, bem como em outros fatores como a velocidade máxima atingida e até mesmo o tamanho mínimo necessário da pista para a decolagem e também para o pouso. Assim, devido à relevante importância da meteorologia para a aviação, este tópico será dedicado a mostrar quais são as características atmosféricas, bem como as grandezas utilizadas pela aviação.

As grandezas atmosféricas são a pressão, a densidade, e a temperatura. Como regra geral, se aumentarmos a altitude, diminuiremos a pressão, a densidade e a temperatura.

#### **3.2.6.1. Temperatura**

A temperatura é um conceito bem conhecido de todos nós, como medida de quão quente ou frio está um corpo, como percebemos (às vezes enganosamente) pelo sentido do tato. Um corpo frio fica quente se colocado em contato com outro quente.

Quando um corpo é aquecido ou resfriado, são alteradas algumas de suas propriedades físicas. A maior parte dos sólidos e dos líquidos expande-se ao serem aquecidos. Um gás também se expande ao ser aquecido sem restrições de volume, ou aumenta de pressão se estiver a volume constante.

#### **3.2.6.2. Pressão atmosférica**

É a pressão exercida pelo ar sobre todas as coisas que estão dentro da atmosfera. Quanto mais próximo ao nível do mar estivermos, maior será a pressão do ar exercida sobre nós. A atmosfera padrão mais conhecida é a ISA da sigla em inglês para *International Standard Atmosphere*, definida pela Organização Internacional da Aviação Civil, sediada em Montreal, no Canadá. A sua definição completa é de relativa

complexidade, porém para esta sequência didática, será o suficiente entendermos que para o padrão internacional adota a pressão de 1013.25 hPa (760 mm de mercúrio) para a densidade:  $1,225 \text{ kg/m}^3$  ( $1,1249 \text{ kgf.s}^2.\text{m}^{-4}$ ) e para a temperatura  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### 3.2.6.3. Densidade

A densidade depende ainda da umidade. Quanto maior for a umidade, menor será a densidade do ar, pois o vapor d'água que constitui a umidade é mais leve que o oxigênio e nitrogênio que compõem o ar atmosférico.

Como a densidade do ar atmosférico diminui com o aumento da altitude, é teoricamente possível construir um aparelho medidor de densidade e adaptá-lo, transformando-o num altímetro. Entretanto, da mesma forma como acontece com a pressão atmosférica, a densidade do ar na atmosfera real também varia de maneira diferente da atmosfera padrão. Portanto a altitude indicada pelo instrumento será quase sempre incorreta, e recebe o nome de *altitude densidade*.

## 3.2.7. Instrumentos de voo

### 3.2.7.1. Bússola

O breve histórico sobre a bússola a seguir foi adaptado da obra de autoria de Guimarães (2011). O uso da bússola magnética pelos chineses data de, pelo menos, um século antes de Cristo. Na Europa, somente começou a ser usada por volta do século XII. A primeira ideia que se tinha era de que a agulha magnética era atraída pela estrela polar. Em 1600 o inglês Willian Gilbert, um médico inglês, desenvolveu diversos estudos sobre os fenômenos magnéticos e percebeu que a fonte do campo magnético terrestre não vinha de fora, mas sim de dentro da Terra. A confirmação matemática dessa afirmação veio em 1838, quando o matemático e astrônomo alemão, Carl Friedrich Gauss, utilizando-se de funções harmônicas esféricas, demonstrou matematicamente que o campo principal é interno.

Gilbert julgava que o interior da Terra deveria se comportar como um ímã permanente, mas observações feitas em 1634 pelo matemático inglês, Henry Gellibrand, mostraram que havia alterações temporais no campo, o que contrariava a suposição de Gilbert.

Estudos posteriores sobre magnetização de rochas mostraram que o campo magnético realmente não era estático, e que variava drasticamente, porém isso ocorria

em longos períodos de tempo. Atualmente sabemos que a Terra tem sofrido muitas inversões magnéticas completas ao longo de sua história.

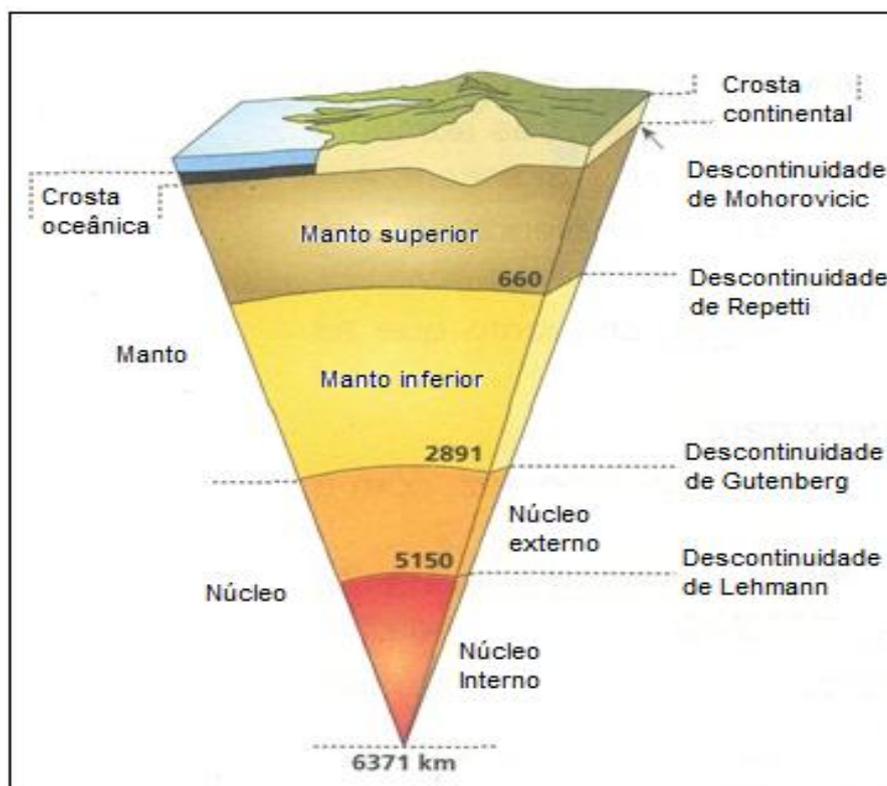
A teoria mais aceita foi sugerida inicialmente em 1919 por Joseph Larmor, onde o mesmo propôs que o campo geomagnético está continuamente a ser produzido e destruído, devido aos movimentos de fluidos no interior da Terra. Uma vez que a eletricidade e o magnetismo são normalmente gerados por meio de dínamos, o mecanismo através do qual o campo magnético da Terra é criado ficou conhecido como **geodínamo**.

Porém antes de começarmos a discutir sobre suas características e origem, vamos entender um pouco sobre quais fatores podem contribuir para a formação do campo magnético terrestre.

O campo magnético terrestre, ou campo geomagnético, possui contribuições de várias fontes, tais como fontes internas no núcleo externo da Terra, fontes crustais e fontes externas.

As contribuições de fontes externas são responsáveis por aproximadamente 0,06% do campo total. Tais contribuições são caracterizadas por grandes variações temporais e têm como origem a interação do vento solar com a região da magnetosfera, causando correntes elétricas que circulam a ionosfera. São essas correntes que contribuem para a formação do campo.

A contribuição crustal é devida à indução de campos que se originam de materiais magnéticos presentes na região da crosta superior numa profundidade de aproximadamente 30 km na crosta continental e 10 km na crosta oceânica. Sua contribuição também é pequena. Ainda existem correntes que circulam na crosta, as quais são geradas por variações do campo externo, e que por sua vez, geram campos magnéticos induzidos. Essas correntes são denominadas de magneto-telúricas.



**Figura 17:** Camadas da Terra. **Fonte:** GEOGREX.

A maior contribuição para o campo geomagnético vem do que se denomina *campo principal*. A origem desse campo, de acordo com a modelo do dínamo, vem da circulação do material metálico na região externa do núcleo.

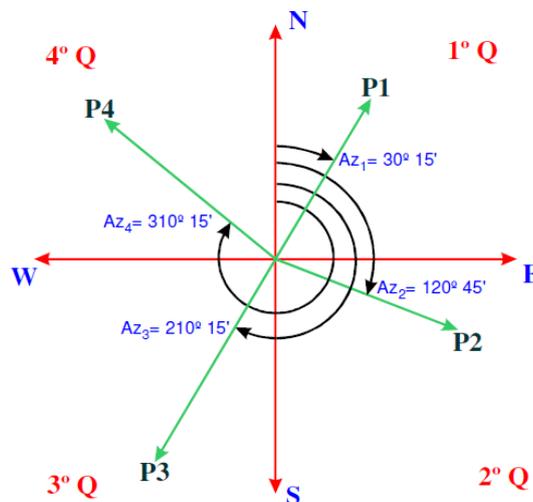
Uma bússola consiste essencialmente de uma agulha magnetizada, livremente suportada no centro de um círculo horizontal graduado, também conhecido como limbo. Como está livre para girar, a agulha alinha-se com o campo magnético local, independentemente de sua origem. Portanto, ao fazer o planejamento de um voo, todas as possíveis influências devem ser consideradas.

Na navegação aérea, quando se quer saber a direção de uma aeronave, são utilizados os mapas cartográficos onde são marcados os pontos em que a aeronave se encontra a aonde se quer chegar. Para isso é necessário indicar uma direção inicial para essa aeronave. No jargão da aviação o nome dado para essa direção é *proa* ou *azimute*.

Em seu movimento de rotação, a Terra gira em torno de um eixo. Os pontos de encontro deste eixo com a superfície terrestre são denominados polo norte e polo sul verdadeiro ou geográfico. Os polos são utilizados como principal referência para a obtenção da direção da aeronave.

O azimute é o ângulo formado entre um meridiano qualquer de um mapa, que contém os polos geográficos e a direção considerada. É medido a partir do norte, no

sentido horário e varia de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ . Na figura 18 são representados alguns azimutes no plano cartesiano.



**Figura 18:** Representação gráfica de alguns azimutes marcados em um plano cartesiano. **Fonte:** VEIGA, 2012.

### 3.2.7.2. Altímetro

Como mencionado, existe uma relação entre a pressão atmosférica e a altitude: quanto mais alto uma aeronave estiver menor a pressão atmosférica em que se encontra. Este fato possibilita a construção dos altímetros, equipamentos indispensáveis para a aviação. O altímetro é um manômetro (medidor de pressão) adaptado para mostrar ao piloto a altitude em que o avião se encontra em função da pressão externa. Altímetros são fabricados ao nível do mar e calibrados para a pressão padrão, o que não é um problema, pois o que é efetivamente mostrado são as variações na altitude.



**Figura 19:** Altímetro analógico utilizado em aeronaves. **Fonte:** TECNOMARKET

### **3.3. Módulo 3: Aplicação dos conhecimentos para a navegação aérea**

No acidente ocorrido com o voo 1907 da empresa Gol com a aeronave Embraer Legacy, em 2006, o planejamento de voo teve uma contribuição importante. A tripulação do Legacy simplesmente não teve tempo hábil para se familiarizar com uma aeronave nova e seus equipamentos. O plano de voo foi feito por uma empresa terceirizada pela Embraer e quase todo o restante do planejamento foi feito pelo copiloto Jan Paul Paladino, enquanto seu comandante Joseph Lepore cumpria outras tarefas. Estava aberta a porta para o desastre: os dois pilotos americanos ainda tentavam aprender alguma coisa sobre seu avião e sua viagem, usando um laptop, quando o mesmo se chocou com o Boeing da Gol, vitimando 154 tripulantes e passageiros.

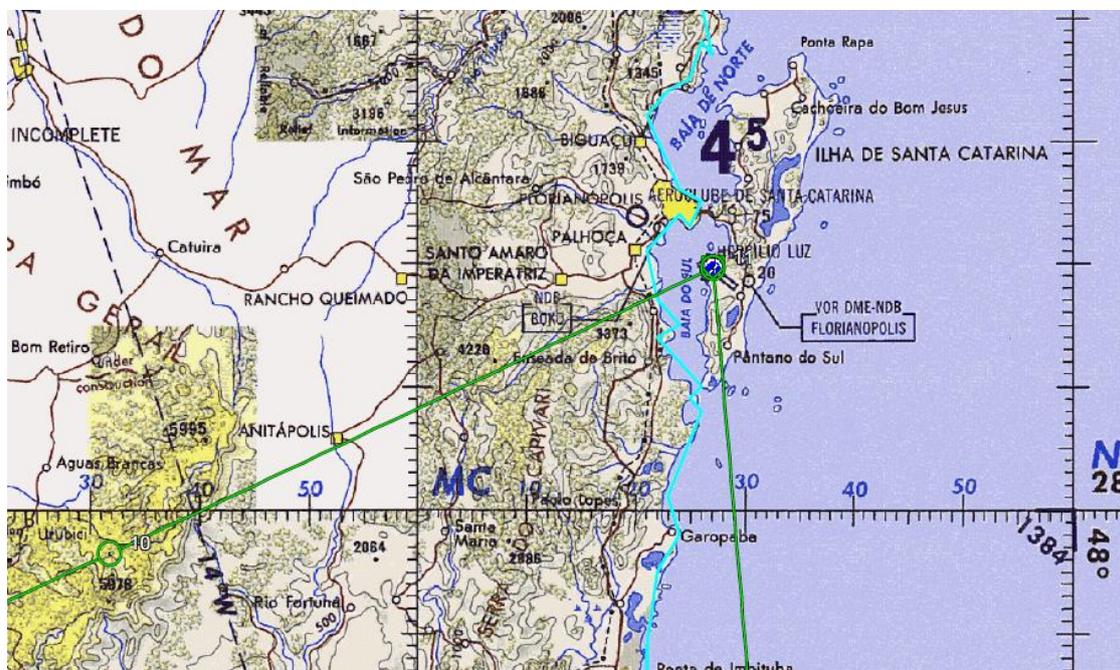
O relato do voo da Gol, retirado do site G1, mostra a importância de se fazer um planejamento de voo de forma satisfatória, apesar de ser uma aeronave extremamente moderna e equipada com GPS's e outros instrumentos para a navegação os pilotos do Legacy não foram capazes de traçar sua proa.

Neste módulo serão apresentados alguns conceitos básicos da navegação aérea e como podem ser relacionados a alguns conteúdos de física.

Para isso vamos propor algumas atividades onde o aluno terá que aplicar os conhecimentos já apresentados para definir uma rota de navegação.

### 3.3.1. Exemplo 1:

Através da análise do mapa a seguir, defina qual a proa necessária para que a aeronave saia do aeroporto Florianópolis e vá até Rancho queimado.



**Figura 20:** Carta de navegação aérea de Florianópolis. **Fonte:** Adaptado de Serviço de Informação Aeronáutica.

O primeiro passo é traçar uma linha entre os dois pontos neste caso entre Florianópolis e Rancho Queimado. Essa linha servirá de base para definirmos a proa ou azimute. A linha está representada na cor vermelha na figura 21 abaixo.



**Figura 21:** Carta de navegação aérea com traçado Florianópolis-Rancho queimado. **Fonte:** Adaptado de SERVIÇO DE INFORMAÇÃO AERONÁUTICA.

Para realizar a medida do ângulo deve ser utilizado um transferidor circular, para definir a proa verdadeira entre os dois pontos, que neste caso é de  $270^\circ$  no sentido Florianópolis até Rancho queimado. O transferidor deve ser posicionado sobre uma das linhas de latitude (norte para cima) ou de longitude (leste e oeste) e lemos a proa por onde a linha passa pelo instrumento. O modelo de transferidor pode ser observado na Figura 22.



**Figura 22:** Transferidor.  
**Fonte:** AVIATORS.

O transferidor utilizado na navegação aérea é muito similar aquele utilizado nas aulas de matemática, não apresentando diferenças significativas para obtenção do ângulo formado pelas linhas do mapa.

A nossa referência, enquanto estamos voando, é o mapa cartográfico. Entretanto, as linhas do mapa são fictícias e não existem instrumentos na aeronave que indicam a direção dessas linhas e o que pode ser utilizado para definir nossa direção/proa é a bússola. Entretanto, a bússola aponta para o norte magnético e não para o norte geográfico no qual as cartas de navegação são baseadas. Para isso é necessário que seja feito a correção da declinação magnética, baseada na diferença entre o polo magnético e geográfico. Essa diferença é corrigida somando a declinação magnética (apresentada na figura 25 como o círculo vermelho) à proa verdadeira que achamos anteriormente e encontramos a *proa Magnética*, que neste caso é o de  $284^\circ$ .

Existe ainda, mais um fator a ser considerado para se ter a proa exata que a aeronave deve tomar. Como foi citado no tópico “Como podemos entender o campo magnético”, o campo magnético terrestre sofre alterações constantes e se o mapa que estivermos tomando como referência for muito antigo é provável que a declinação magnética já não seja aquela, acarretando uma proa diferente da que queremos obter.



**Figura 23:** Carta de navegação com indicação de declinação magnética.  
**Fonte:** Adaptado de Serviço de Informação Aeronáutica.

No Brasil a correção é feita com uma periodicidade de 10 anos. Conforme a recomendação feita pelo Observatório Nacional, as cartas ainda em vigor devem ser corrigidas somando-se em uma diferença de  $0,7^\circ$  por ano de uso, pois o valor indicado é válido apenas para o ano de confecção. Por exemplo, se essa carta que estamos utilizando foi feita em 2008, devemos corrigir a diferença de 8 anos na declinação magnética, o que no final acarreta uma correção de  $5,6^\circ$ . Desta forma, a proa que a nossa aeronave deve tomar para chegar a Rancho queimado é de  $289,6^\circ$ .

Segundo BLIN (2014) o valor de correção varia de local, e o acréscimo ou decréscimo deste valor deve ser indicado na carta.

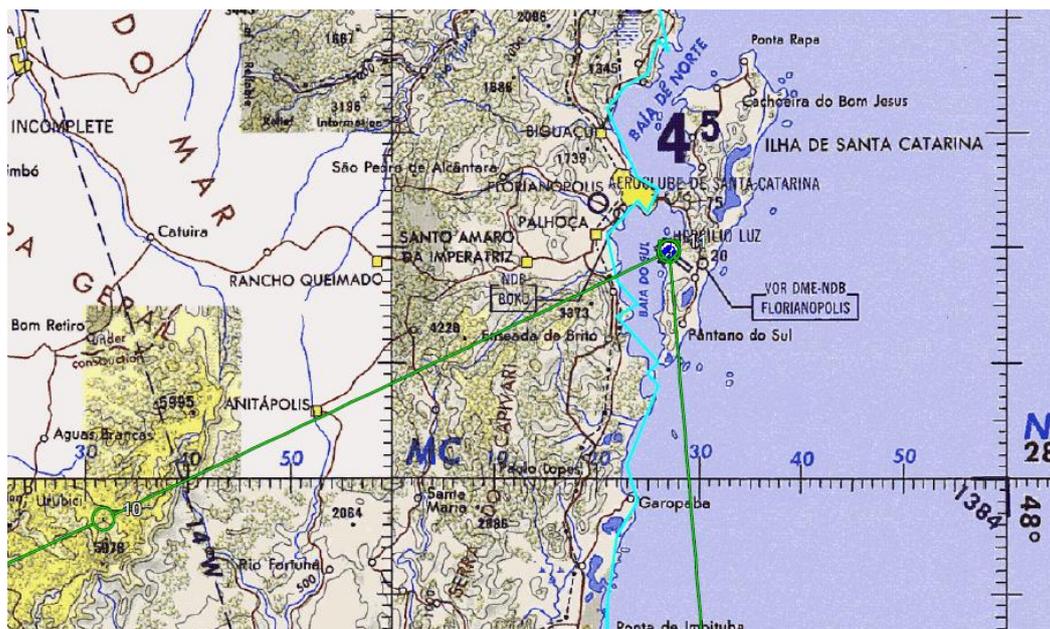
Este procedimento será tomado caso não haja nenhum fator externo que retire a aeronave de sua direção. No exemplo 2, trabalharemos mais uma correção que deve ser feita na trajetória da aeronave, que dependerá de sua velocidade.

Sequência dos procedimentos:

- 1) Traçar uma linha reta entre os dois pontos.
- 2) Calcular o ângulo formado entre os pontos.
- 3) Somar a proa magnética da carta com a proa verdadeira.
- 4) Corrigir a declinação magnética conforme o ano da carta.

### 3.3.2. Exemplo 2:

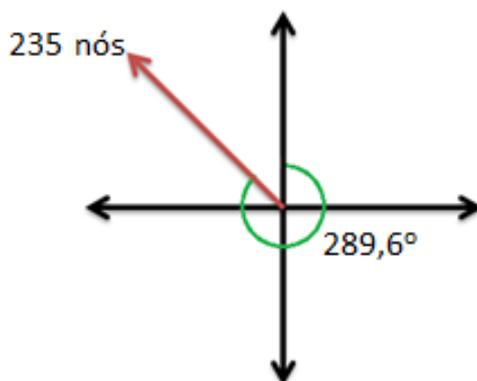
Através da análise do mapa a seguir, defina qual a proa necessária para que a aeronave saia do aeroporto de Florianópolis e vá até Rancho queimado. Indique também qual será a velocidade real desta aeronave. A aeronave está viajando com uma velocidade de 235 nós. Nesse dia, porém há um vento com azimute igual a  $105^{\circ}$  e velocidade de 45 nós.



**Figura 24:** Carta de navegação aérea de Florianópolis. **Fonte:** Adaptado de Serviço de Informação Aeronáutica.

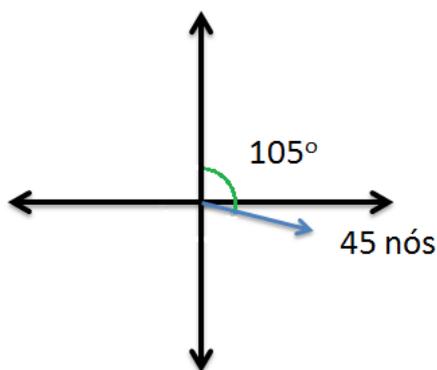
Primeiramente devemos seguir os mesmos procedimentos do exemplo 1, na obtenção da proa real, da proa magnética e da proa magnética corrigida, de modo a obtermos o valor de  $289,6^{\circ}$ , com o sentido de Florianópolis para Rancho Queimado.

Com os valores obtidos temos como transpor, o nosso modelo de aeronave em um plano cartesiano, e obteremos um vetor com módulo dado pela velocidade da aeronave, de 235 nós, direção dada pela proa magnética corrigida de  $289,6^{\circ}$  e sentido definido pela trajetória de Florianópolis até Rancho Queimado. O vetor assim construído pode ser observado na figura 25.



**Figura 25:** Modelo representativo do vetor aeronave.

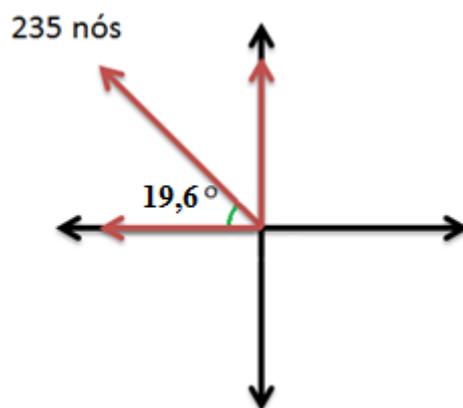
Da mesma forma que a aeronave, podemos considerar o vento da situação do exemplo dois como sendo um vetor no qual chamaremos de vetor vento, onde a direção e o sentido são representados pelo azimute  $105^\circ$ , e intensidade definida pela velocidade de 45 nós. Como pode ser observado na figura 26.



**Figura 26:** Modelo Representativo do vetor vento.

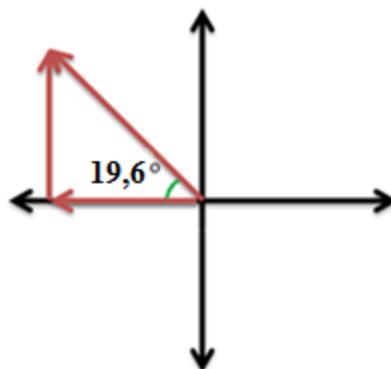
Desta forma, para podermos encontrar nossa proa, com a aeronave sob o efeito de uma ação externa, o vento, devemos somar o vetor aeronave com o vetor vento. Para isso é necessário que obtenhamos as componentes dos vetores nos eixos x e y.

Para o vetor aeronave, devemos achar as componente nos eixos x e y, Para isso vamos obter o ângulo mínimo formado pelo vetor e os eixos do plano cartesiano, simplesmente subtraindo o valor do azimute pelo valor do ângulo formado até a parte negativa do eixo x, conforme a figura 27.



**Figura 27:** Decomposição do vetor aeronave.

Já temos o valor de nosso ângulo agora, para obter o valor da nossa componente no eixo x, vamos formar um triângulo com os componentes x e y e o módulo da velocidade da aeronave, conforme a figura 28.



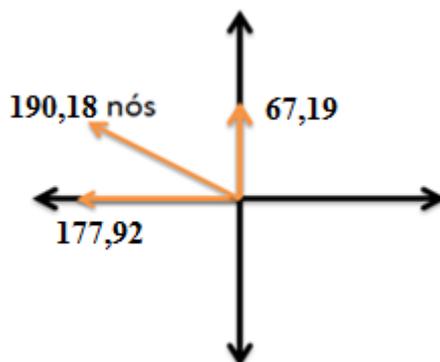
**Figura 28:** Triângulo formado pelos vetores.

Assim para obtermos a componente no eixo x basta fazermos o cálculo pelo teorema de Pitágoras e obtemos  $x = 235\cos(19,5) = 221,38$ . Para o eixo y obtemos  $y = 235\text{seno}(19,5) = 78,83$ . Assim a componente do eixo x terá o valor de  $-221,38$ , o sinal negativo indica que o vetor está na parte negativa do eixo x, e a componente do eixo y valerá  $78,83$ .

Para obtermos as componentes do vetor vento deveremos seguir os mesmos procedimentos aplicados ao vetor aeronave obtendo os valores de  $15^\circ$  para a inclinação do ângulo formado pela diferença do azimute com a parte positiva do eixo x e o valor  $43,46$  como o módulo da componente x e o valor de  $-11,64$  como o módulo para a componente do eixo y.

O vetor resultante será a soma das componentes do vetor aeronave com o vetor vento. Desta forma, como os vetores do eixo x estão em sentidos contrários, devemos subtrair os seus valores, resultando no valor de  $-177,92$ . E para o eixo y também temos

dois vetores no sentido contrário, o que nos dá o valor de 67,19. Para obtermos o novo módulo do vetor aeronave basta usarmos o teorema de Pitágoras, já que cada um dos componentes do eixo x e y formam os catetos do triângulo, assim o novo módulo da velocidade da aeronave será  $v^2 = x^2 + y^2$ , o que nos dá o valor de 190,18 nós, como a velocidade real da aeronave. A figura 29, podemos observar a nova configuração formada pelos vetores resultantes.



**Figura 29:** Vetor resultante.

O valor da velocidade falta apenas o valor da proa que a aeronave deve tomar com a interferência do vento, que obtemos fazendo o processo inverso. Temos o novo módulo da velocidade e o valor de x, e desta forma podemos calcular o ângulo formado entre o vetor velocidade e o eixo x do plano cartesiano. Assim temos que  $177,92 = 190,18 \cos(\alpha)$ , sendo  $\alpha$  o ângulo formado pelo vetor e a parte negativa do eixo x. Como resultado teremos o arcos 0,936 o que nos dá o ângulo de  $20,69^\circ$ .

Entretanto esse resultado ainda não é a proa que a aeronave precisa, pois é necessário somar os  $270^\circ$  aos  $20,69^\circ$ , pois assim teremos o ângulo total a partir do eixo que representa o polo norte. Desta forma, o valor da proa a ser tomado pela aeronave, sobre a interferência do vento externo é de  $290,69^\circ$ . A precisão marcada no instrumento para navegação, conforme recomendação de (BLIN, 2014) deve ser de um grau. Assim o valor de nossa proa ajustada é de  $290^\circ$ .

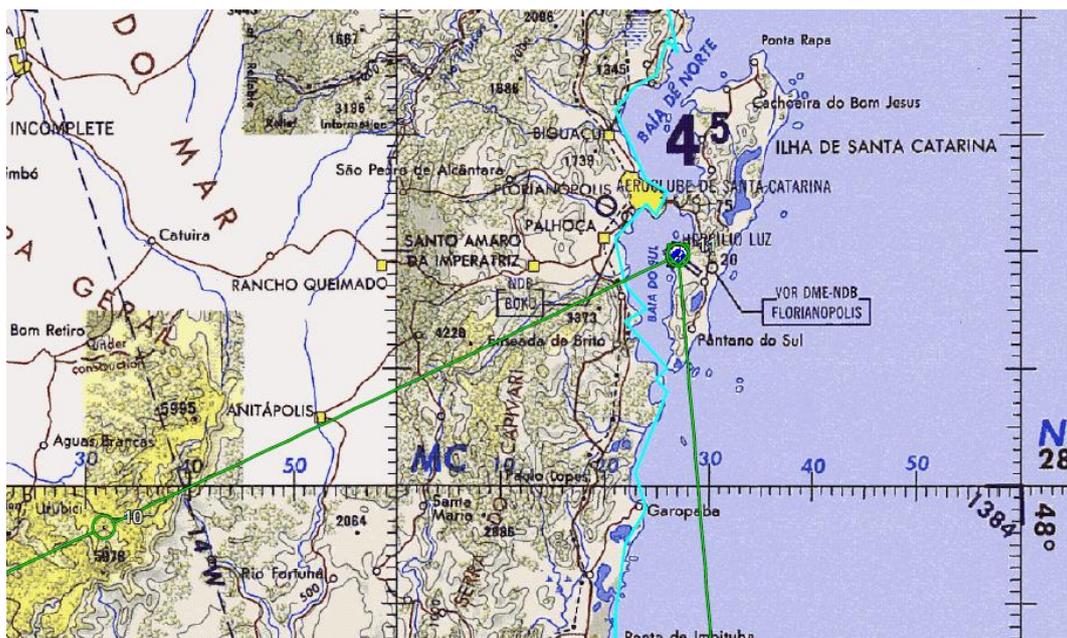
A velocidade da aeronave obtida neste exemplo representa a velocidade real na qual a aeronave está se deslocando em solo, pois como visto no módulo sobre aeronaves, o instrumento que mede a velocidade da aeronave depende da pressão provocada pelo vento relativo sob a aeronave. Como os sentidos dos vetores aeronave e vento são contrários, o instrumento responsável por medir a velocidade da aeronave medirá o valor de 280 nós, sendo esse valor a soma das componentes do módulo da velocidade do vento com o módulo da velocidade da aeronave.

Sequência dos procedimentos:

- 1) Transpor o modelo de aeronave em um plano cartesiano, através de vetores.
- 2) Representar o vetor vento em um plano cartesiano.
- 3) Representar os componentes do vetor aeronave nos eixos x e y.
- 4) Representar os componentes do vetor vento nos eixos x e y.
- 5) Somar as componentes dos eixos x e y do vetor vento e vetor aeronave.
- 6) Traçar o vetor resultante.
- 7) Calcular nova proa com interferência do vento.
- 8) Somar proa magnética com a proa do vento.

### 3.3.3. Exemplo 3:

Estime o tempo necessário para que uma aeronave saia de Florianópolis e vá até rancho queimado, sabendo que a distância entre os dois pontos é de 46 km, e a aeronave esta voando com uma velocidade de 235 nós, e inesperadamente é pega por um vento com azimute de  $105^{\circ}$ , tenha como base a carta de navegação representada pela figura 30.



**Figura 30:** Carta de navegação aérea de Florianópolis. **Fonte:** Adaptado de Serviço de Informação Aeronáutica.

Os procedimentos para obtenção da velocidade corrigida e da proa magnética corrigida são os mesmos apresentados nos exemplos 1 e 2. Entretanto, agora é necessário estimar o tempo de viagem entre os dois pontos. Isto é de grande importância, pois as aeronaves não possuem na sua trajetória pontos de parada para reabastecimento, reafirmando importância do planejamento de voo.

Existem ainda muitos outros fatores que influenciam a velocidade de uma aeronave como a densidade, a temperatura e a pressão do ar atmosférico, pois as aeronaves voam em diferentes altitudes, dependendo do tipo de tarefa a ser executada. Grandes aeronaves de passageiros, por exemplo, tendem a voar em uma altitude mais elevada, pois em grandes altitudes a pressão atmosférica é menor tornando o ar atmosférico menos denso, fazendo com que a aeronave gaste menos energia para atravessar o ar.

Ainda no que diz respeito às aeronaves de passageiros, em altas altitudes como o ar é mais rarefeito, é necessário que os motores tenham uma forma de comprimir o ar atmosférico para converter em empuxo. Neste tipo de aeronave é utilizado às turbinas e compressores. Já para as aeronaves que voam em baixa altitude, como as aeronaves militares de patrulha marítima, é necessário um motor que tenha alto desempenho em uma atmosfera mais densa. Assim as aeronaves de patrulha utilizam os motores a hélice, pois como existe muito ar em baixas altitudes o movimento da hélice é capaz de produzir a tração necessária para a sustentação da aeronave.

O desempenho das aeronaves está diretamente relacionado com as condições atmosféricas e cada aeronave possui uma relação de consumo de combustível com as condições atmosféricas. No voo de cruzeiro, a velocidade de uma aeronave deve ser constante e definida pelo fabricante da aeronave de modo a otimizar o consumo.

No exemplo 3, a velocidade da aeronave já esta predefinida. Após os cálculos de correção da proa e da velocidade de deslocamento é utilizada a fórmula da velocidade média. Antes é necessário que todas as unidades sejam iguais, pois a velocidade da aeronave é dada em nós (kts) e a distância entre os dois pontos esta em km. O nó é uma unidade de comprimento dada por uma milha náutica por uma unidade de tempo dada por horas. Para convertemos, basta sabermos que uma milha náutica equivale a 1852 m ou 1,852 km, assim para sabermos o valor em km/h basta multiplicarmos o valor da velocidade corrigida de 190,88 por 1,852 e obteremos a velocidade da aeronave de 353,50 km/h.

Assim para obtermos o tempo necessário para ir de Florianópolis até Rancho Queimado basta dividirmos a distância entre os dois pontos pela velocidade da aeronave, obtendo o valor de 0,13 h, porém uma hora tem 60 min, assim multiplicando esse valor por 60 obteremos o tempo de 7,80 min. Na tabela 2, podemos encontrar a relação do consumo médio por hora de algumas aeronaves.

Categoria de Aeronave	Aeronave	Consumo aproximado (L/h)	Consumo aproximado (lb/h ou pph)
Turbohélice	Pilatus PC12	249 Média	442
	Cessna Grand Caravan EX	219 Cruzeiro	390
	King Air 350	378 Cruzeiro	670
Jatos Leves	Cessna Citation M2	393 – 518	697 - 918
	Embraer Phenom 100	1 <sup>a</sup> Hora: 418 2 <sup>a</sup> Hora: 291	1 <sup>a</sup> Hora: 730 2 <sup>a</sup> Hora: 516
	Cessna Citation	439 Cruzeiro	780

	CJ3+	469 Média	830
	Embraer Phenom 300	1ª Hora: 628 2ª Hora: 435	1ª Hora: 1112 2ª Hora: 770
	Learjet 70/75	1ª Hora: 904 2ª Hora: 677	1ª Hora: 1600 2ª Hora: 1200
Jatos de Meio Porte	Bombardier Challenger 300	1006 Média	1782
	Gulfstream G200	882 Média	1561
	Hawker 900XP	972 Média	1722
	Cessna Citation X+	1271 Média	2251
	Dassault Falcon 7X	1203 Média	2130
Jatos Pesados	Gulfstream G550	1ª Hora: 2543 2ª Hora: 1692	1ª Hora: 4500 2ª Hora: 3000
	Bombardier Global 6000	1839 – 1938	3,256 - 3430
	Airbus ACJ319	2422 Média	4288

**Tabela 2:** Queima aproximada de combustível por aeronave específica. **Fonte:** SHERPA REPORT.

Nesta atividade podemos considerar a utilização de uma das aeronaves da tabela 2, a fim de exemplificar o consumo de combustível médio para este trajeto. Considerando a aeronave Grand Caravan Ex, na qual consome 219 litros por hora, obteremos o valor de 28,5 litros de combustível. Este valor é obtido apenas se considerarmos que a aeronave transpôs o trajeto em voo de cruzeiro, pois os aviões queimam mais combustível durante a decolagem e sua ascensão inicial. Uma vez que a altitude e velocidade de cruzeiro são alcançadas, o consumo de combustível cai.

Na tabela 2 é possível observar que algumas aeronaves variam abruptamente seu consumo, isto ocorre por que diferentemente de um carro, o consumo de um avião depende de diversos fatores como:

- Velocidade e altitude de voo, por exemplo, quanto maior a altitude, maior a eficiência de combustível de um motor a jato.
- As condições de tempo, por exemplo, voando em um vento contrário vai queimar mais combustível.
- Decolagem e aterragem, por exemplo, na decolagem é o momento onde a aeronave consome proporcionalmente mais combustível.
- O número de passageiros, quantidade de carga e outros fatores que contribuem para o peso total, por exemplo, em longos trajetos o combustível necessário vai aumentar ainda mais o peso e, portanto, o consumo de combustível.

Na tabela 2 os valores são expressos em litros por hora e libras por hora. Normalmente, o piloto de uma aeronave tende a pensar em libras por hora (pph), incluindo o peso total da aeronave, combustível, passageiros, carga, entre outros, pois este é um fator a ser considerado em qualquer plano de voo. Já os passageiros, por outro lado, tendem a pensar em litros uma vez que esta é a forma como o combustível pode ser avaliado.

Sequência dos procedimentos:

- 1) Igualar unidades.
- 2) Calcular tempo médio.
- 3) Selecionar consumo médio de aeronaves na tabela 2.
- 4) Calcular consumo médio.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da grande importância da aviação na sociedade moderna, são poucos os trabalhos acadêmicos na área de ensino que envolve este assunto. A falta de interesse dos alunos aliado a grande importância do tema, resultou nesta sequência didática, o qual serve de material de consulta para professores que queiram explorar a área da aviação. Porém para isso foi necessário o estudo de cartografia para formar o entendimento dos mapas de navegação aérea, dos instrumentos de navegação e o estudo e compreensão da própria aeronave.

Quanto aos instrumentos para a navegação analógica é importante ressaltar as particularidades do campo magnético terrestre, pois ele influencia diretamente na direção em que uma aeronave deve tomar. Assim através da modelização deste campo podemos entender como são feitas as correções em um plano de voo.

Quando se refere a aeronaves, não é trivial compreender a sua relação com a velocidade do vento, pois em um voo os fatores climáticos são peças chave para um bom planejamento de voo, assim identificar a aeronave como um vetor contribui significativamente para compreender essa relação.

Entendendo o funcionamento das aeronaves é possível planejar a quantidade de combustível que será queimado durante uma viagem, pois além da compreensão dos fatores que fazem voar é possível incluir através do estudo físico em decolagens e em descidas a relação de consumo nestas situações.

É notável a dificuldade de encontrar sequências didáticas que discutam os fenômenos físicos no cotidiano dos alunos, apesar disso, é possível desenvolvê-las a partir de assuntos que são de grande interesse pela maioria das pessoas, não necessariamente aviação, como foi abordada no presente trabalho, mas poderiam ser abordados a Fórmula 1 ou submarinos, por exemplo.

Finalmente, gostaria de complementar que o objetivo desse trabalho não foi criar um guia e sim apresentar uma proposta de elaboração de aula abordando temas mais envolventes para os alunos.

## REFERÊNCIAS

A FILOSOFIA E OS FUNDAMENTOS DA PREVENÇÃO DE ACIDENTES AERONÁUTICOS. **Os princípios filosóficos da prevenção de acidente e os Fundamentos da prevenção de acidente.** Disponível em: <[http://www.clubeceu.com.br/component/docman/doc\\_details/4-a-filosofia-e-os-fundamentos-da-prevencao-de-acidentes-aeronauticos](http://www.clubeceu.com.br/component/docman/doc_details/4-a-filosofia-e-os-fundamentos-da-prevencao-de-acidentes-aeronauticos)> Acesso em: 20 de junho de 2016.

ANDERSON, D.; EBERHARDT, S. Como os Aviões Voam: Uma Descrição Física Do Voo. **Física na Escola**, v. 7, n. 2, p. 43-51, 2006.

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. **Atividades Experimentais no Ensino de Física:** Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 25, nº 2, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 8196. **Desenho técnico** - Emprego de Escalas. Rio de Janeiro, 1999.

BLIN, A. H. **Navegação Aérea.** Universidade de Coimbra, 2014. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/paulosergioreiscruz/calculos-de-navegao>> Acesso em: 16 de Julho de 2016.

BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional.** Lei número 9394, 20 de dezembro de 1996.

CLEMENT, L. & TERRAZZAN, E. **Considerações sobre a prática docente no desenvolvimento de atividades didáticas de resolução de problemas em aulas de física.** I X EPEF. Jaboticatubas, MG, 2004.

CHRISTENSEN, R. U. **Earth Science:** A Sheet-Metal Geodynamo. Nature international weekly journal of science, ed. 454, 2008. Disponível em: <[http://www.nature.com/nature/journal/v454/n7208/fig\\_tab/4541058a\\_F1.html](http://www.nature.com/nature/journal/v454/n7208/fig_tab/4541058a_F1.html)> Acesso em: 23 de Junho de 2016.

CIRES. Geomagnetism. Historical main field change and declination. Disponível em: <<http://geomag.org/info/declination.html>> Acesso em: 12 de Abril de 2016

CORDEIRO, M. F. **Modelamento Matemático do Campo Geomagnético Principal no Brasil, através de harmônicos esféricos sobre uma calota.** Dissertação de mestrado. Rio de Janeiro – RJ, 2007. 151 p.

DECEA - Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Navegação Aérea.** A Cartografia Aeronáutica. S/ano. Disponível em: <<http://www.decea.gov.br/espaco-aereo/cartografia-aeronautica/>> Acesso em: 20 de junho de 2016.

DOMINGOS, F. **Forças Que Atuam No Avião.** Disponível em: <<http://manualdopiloto.blogspot.com.br/2011/02/forcas-que-atuam-no-aviao.html>> Acesso em: 22 de maio de 2016.

ENCICLOPÉDIA ESCOLAR BRITANNICA. **Latitude e longitude**. In Britannica Escola Online. 2016. Disponível em: <<http://escola.britannica.com.br/article/481706/latitude-e-longitude>> Acesso em: 10 de maio de 2016.

G1, Distrito Federal. **Queda de avião da Gol faz 9 anos, e famílias pedem execução de penas**. Disponível em: < <http://g1.globo.com/distrito-federal/noticia/2015/09/queda-de-aviao-da-gol-faz-9-anos-e-familias-pedem-execucao-de-penas.html>> Acesso em: 23 de Junho de 2016.

GEOGREX. **Estrutura interna da Terra**. Disponível em: < <http://geogrex.blogspot.com.br/2014/05/estrutura-interna-da-terra.html> > Acesso em: 27 de maio de 2016.

GOOGLE MAPS. Mapa da grande Florianópolis. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-27.5011408,-48.6038118,10z>> acesso em 23 de junho de 2016.

GOVERNO DO ESTADO DO PÁRANA, Secretaria da Educação. **Curvas de Nível**. Desenvolvida por Celepar. Disponível em: < <http://www.geografia.seed.pr.gov.br/modules/galeria/detalhe.php?foto=1062&evento=1> > Acesso em: 15 de Maio de 2016.

GUIMARÃES, A. P. **A pedra com alma**: a fascinante história do magnetismo. Civilização Brasileira, 2011. 336 p.

HOMA, J. M. **Aerodinâmica e Teoria De Voo**: Noções Básicas. Asa edições gráficas ltda, 21<sup>o</sup> edição. 2002.

HOMA, J. M. **Aeronaves e Motores**: Conhecimentos Técnicos. Asa edições gráficas ltda, 29<sup>o</sup> edição. 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Resumo do Sistema Internacional de Unidades** – SI. Tradução da publicação do BIPM. Março de 2006.

KENYON, T. **O Campo Magnético da Terra e a Consciência**. Disponível em: < <https://portal2013br.wordpress.com/2014/05/05/o-campo-magnetico-da-terra-e-a-consciencia/>> Acesso em: 13 de Maio de 2016.

LIASCH, J. **Como o bom planejamento pode evitar acidentes aeronáuticos?** Cultura Aeronáutica, 2010. Disponível em: <[http://culturaaeronautica.blogspot.com.br/2010/10/damentos\\_prevencao\\_de\\_acidentes\\_aeronauticos\(2\).pdf](http://culturaaeronautica.blogspot.com.br/2010/10/damentos_prevencao_de_acidentes_aeronauticos(2).pdf)> Acesso em: 22 de junho de 2016.

MENEZES, A. M. S. Teoria Da Relatividade Geral No Ensino Médio: Linhas Retas E Curvas No Caminho Da Física, Da Literatura E Da História E Filosofia Da Ciência. CEFET/RJ. Diretoria de pesquisa e pós-graduação. Rio de Janeiro, 2010.

MINISTÉRIO DA DEFESA, Centro De Investigação e Prevenção De Acidentes Aeronáuticos. **Panorama Estatístico Da Aviação Civil Brasileira**. Comando Da Aeronáutica. Nº 38-T/SSEA, 2015.

NOWATZKI, A. Coordenadas Geográficas. Disponível em: <<http://professoralexeinowatzki.webnode.com.br/sobre-mim/cartografia/coordenadas-geograficas/>> Acesso em: 15 de Maio de 2016.

PROJETO TAQUARI-ANTAS. **Modulo 1 - paralelos, meridianos, longitude e latitude**. 2009. Disponível em: <<http://projetotaquariantas.blogspot.com.br/2009/08/modulo-1-paraleos-meridianos-longitude.html>> Acesso em: 20 de junho de 2016.

QUOOS, J. H. **O que é Latitude e Longitude?** Laboratório de Cartografia. Disponível em: <[http://coral.ufsm.br/cartografia/index.php?option=com\\_content&view=article&id=43&Itemid=39](http://coral.ufsm.br/cartografia/index.php?option=com_content&view=article&id=43&Itemid=39)> Acesso em: 20 de maio de 2016.

SERVIÇO DE INFORMAÇÃO AERONÁUTICA – AIS. **Cartas Aeronáuticas**. Disponível em: <<http://www.aisweb.aer.mil.br/?i=cartas> > Acesso em: 16 de Junho de 2016.

SHERPA REPORT, The Guide For Discerning Travelers. **Fuel Burn Rates for Private Aircraft** Disponível em: <<http://www.sherpareport.com/aircraft/fuel-burn-private-aircraft.html> > Acesso em: 16 de Julho de 2016.

STUDART, N. DAHMEN, S. R. A Física Do Voo Na Sala De Aula. **Física na Escola**, v. 7, n. 2, p. 36-42, 2006.

TEDESCO, J. C. “**Prioridade ao ensino de Ciências: uma decisão política**”. Cadernos da Íbero-América. Madri: Espanha: OEI – Organização dos Estados Ibero-americanos para a Educação, a Ciência e a Cultura, 2006. In: MENEZES, A. M. S. **Teoria da relatividade geral no ensino médio: linhas retas e curvas no caminho da física, da literatura e da história e filosofia da ciência**. CEFET/RJ. Diretoria de pesquisa e pós-graduação. Rio de Janeiro, 2010.

TECNOMARKET. **Altimetri – Barometri**. Disponível em: <<http://www.tecnomarket.it/contents/it/d313.html>> Acesso em: 27 de maio de 2016.

VEIGA, L. A. K.; ZANETTI, M. A. Z.; FAGGION, P. L. **Fundamentos de Topografia**. Universidade Federal do Paraná. 2012.