

Universidade do Sul de Santa Catarina



# Conhecimento Geral das Aeronaves (Asas Fixas)

Disciplina na modalidade a distância

**UnisulVirtual**

A sua universidade a distância

Universidade do Sul de Santa Catarina

# **Conhecimento Geral das Aeronaves (Asas Fixas)**

Disciplina na modalidade a distância

Palhoça  
UnisulVirtual  
2011

# Créditos

## Universidade do Sul de Santa Catarina – Unisul

### Reitor

Ailton Nazareno Soares

### Vice-Reitor

Sebastião Salésio Herdt

### Chefe de Gabinete da Reitoria

Willian Máximo

### Pró-Reitor de Ensino e Pró-Reitor de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação

Mauri Luiz Heerdt

### Pró-Reitor de Desenvolvimento e Inovação Institucional

Valter Alves Schmitz Neto

### Diretora do Campus Universitário de Tubarão

Milene Pacheco Kindermann

### Diretor do Campus Universitário Grande Florianópolis

Hércules Nunes de Araújo

### Diretor do Campus Universitário UnisulVirtual

Moacir Heerdt

## Campus Universitário UnisulVirtual

### Gerente de Administração Acadêmica

Angelita Marçal Flores

### Secretária de Ensino a Distância

Samara Josten Flores

### Gerente Administrativo e Financeiro

Renato André Luz

### Gerente de Ensino, Pesquisa e Extensão

Roberto Iunskovski

### Coordenadora da Biblioteca

Saete Cecília de Souza

### Gerente de Desenho e Desenvolvimento de Materiais Didáticos

Márcia Loch

### Coordenadora do Desenho Educacional

Cristina Klipp de Oliveira

### Coordenadora da Acessibilidade

Vanessa de Andrade Manoel

### Gerente de Logística

Jeferson Cassiano Almeida da Costa

### Gerente de Marketing

Eliza Bianchini Dallanhol

### Coordenadora do Portal e Comunicação

Cátia Melissa Silveira Rodrigues

### Gerente de Produção

Arthur Emmanuel F. Silveira

### Coordenador do Design Gráfico

Pedro Paulo Teixeira

### Coordenador do Laboratório Multimídia

Sérgio Giron

### Coordenador de Produção Industrial

Marcelo Bitencourt

### Coordenadora de Webconferência

Carla Feltrin Raimundo

### Gerência Serviço de Atenção Integral ao Acadêmico

Maria Isabel Aragon

### Assessor de Assuntos Internacionais

Murilo Matos Mendonça

### Assessora para DAD - Disciplinas a Distância

Patrícia da Silva Meneghel

### Assessora de Inovação e Qualidade da EaD

Dênia Falcão de Bittencourt

### Assessoria de relação com Poder Público e Forças Armadas

Adenir Siqueira Viana

Walter Félix Cardoso Junior

### Assessor de Tecnologia

Osmar de Oliveira Braz Júnior

## Unidades de Articulação Acadêmica (UnA)

### Educação, Humanidades e Artes

Marciel Evangelista Cataneo

#### Articulador

Graduação

Jorge Alexandre Nogared Cardoso

#### Pedagogia

Marciel Evangelista Cataneo

#### Filosofia

Maria Cristina Schweitzer Veit

Docência em Educação Infantil, Docência em

Filosofia, Docência em Química, Docência em

Sociologia

Rose Clér Estivalette Beche

Formação Pedagógica para Formadores de

Educação Profissional

Pós-graduação

Daniela Ernani Monteiro Will

Metodologia da Educação a Distância

Docência em EAD

Karla Leonora Dahse Nunes

História Militar

### Ciências Sociais, Direito, Negócios e Serviços

Roberto Iunskovski

#### Articulador

Graduação

Aloísio José Rodrigues

#### Serviços Penais

Ana Paula Reusing Pacheco

#### Administração

Bernardino José da Silva

#### Gestão Financeira

Dilsa Mondardo

#### Direito

Itamar Pedro Bevilacqua

#### Segurança Pública

Janaína Baeta Neves

#### Marketing

José Onildo Truppel Filho

#### Segurança no Trânsito

Joseane Borges de Miranda

#### Ciências Econômicas

Luiz Guilhaume Buchmann Figueiredo

#### Turismo

Maria da Graça Poyer

#### Comércio Exterior

Moacir Fogaça

#### Logística

#### Processos Gerenciais

Nélio Herzmann

#### Ciências Contábeis

Onei Tadeu Dutra

#### Gestão Pública

Roberto Iunskovski

#### Gestão de Cooperativas

Pós-graduação

Aloísio José Rodrigues

#### Gestão de Segurança Pública

Danielle Maria Espezim da Silva

#### Direitos Difusos e Coletivos

Giovani de Paula

#### Segurança

Letícia Cristina B. Barbosa

#### Gestão de Cooperativas de Crédito

Sidenir Niehuns Meurer

#### Programa de Pós-Graduação em Gestão Pública

Thiago Coelho Soares

#### Programa de Pós-Graduação em Gestão Empresarial

### Produção, Construção e Agroindústria

Diva Marília Flemming

#### Articulador

Graduação

Ana Luísa Mülberr

#### Gestão da tecnologia da Informação

Charles Odair Cesconetto da Silva

#### Produção Multimídia

Diva Marília Flemming

#### Matemática

Ivete de Fátima Rossato

#### Gestão da Produção Industrial

Jairo Afonso Henkes

#### Gestão Ambiental

José Carlos da Silva Júnior

#### Ciências Aeronáuticas

José Gabriel da Silva

#### Agronegócios

Mauro Faccioni Filho

#### Sistemas para Internet

Pós-graduação

Luiz Otávio Botelho Lento

#### Gestão da Segurança da Informação.

Vera Rejane Niedersberg Schuhmacher

#### Programa em Gestão de Tecnologia da Informação

**Antonio Carlos Vieira de Campos**

# **Conhecimento Geral das Aeronaves (Asas Fixas)**

Livro didático

Design instrucional  
João Marcos de Souza Alves

Palhoça  
UnisulVirtual  
2011

Copyright © UnisulVirtual 2011

Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida por qualquer meio sem a prévia autorização desta instituição.

## **Edição – Livro Didático**

### **Professor Conteudista**

Antonio Carlos Vieira de Campos

### **Design Instrucional**

João Marcos de Souza Alves

### **ISBN**

978-85-7817-226-8

### **Projeto Gráfico e Capa**

Equipe UnisulVirtual

### **Diagramação**

Fernanda Fernandes

### **Revisão**

Diane Dal Mago

629.134

C21 Campos, Antonio Carlos Vieira de

Conhecimento geral das aeronaves (asas fixas) : livro didático / Antonio Carlos Vieira de Campos; design instrucional João Marcos de Souza Alves. – Palhoça : UnisulVirtual, 2011.

300 p. : il. ; 28 cm.

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-7817-226-8

1. Aviões – Estrutura. 2. Aviões – Instrumentos. I. Alves, João Marcos de Souza. II. Título.

# Sumário

Apresentação.....	7
Palavras do professor.....	9
Plano de estudo .....	11
<b>UNIDADE 1</b> - Estrutura e tipos de aeronaves .....	17
<b>UNIDADE 2</b> - Sistemas de aeronaves .....	61
<b>UNIDADE 3</b> - Instrumentos de voo e automação.....	121
<b>UNIDADE 4</b> - Manuais e outros documentos.....	175
<b>UNIDADE 5</b> - Inspeção e manutenção .....	203
<b>UNIDADE 6</b> - Aeronave comercial típica .....	235
Para concluir o estudo.....	285
Referências .....	287
Sobre o professor conteudista.....	291
Respostas e comentários das atividades de autoavaliação .....	293
Biblioteca Virtual.....	299



# Apresentação

Este livro didático corresponde à disciplina **Conhecimento Geral de Aeronaves**.

O material foi elaborado visando a uma aprendizagem autônoma e aborda conteúdos especialmente selecionados e relacionados à sua área de formação. Ao adotar uma linguagem didática e dialógica, objetivamos facilitar seu estudo a distância, proporcionando condições favoráveis às múltiplas interações e a um aprendizado contextualizado e eficaz.

Lembre-se que sua caminhada, nesta disciplina, será acompanhada e monitorada constantemente pelo Sistema Tutorial da UnisulVirtual, por isso a “distância” fica caracterizada somente na modalidade de ensino que você optou para sua formação, pois na relação de aprendizagem professores e instituição estarão sempre conectados com você.

Então, sempre que sentir necessidade entre em contato; você tem à disposição diversas ferramentas e canais de acesso tais como: telefone, e-mail e o Espaço Unisul Virtual de Aprendizagem, que é o canal mais recomendado, pois tudo o que for enviado e recebido fica registrado para seu maior controle e comodidade. Nossa equipe técnica e pedagógica terá o maior prazer em lhe atender, pois sua aprendizagem é o nosso principal objetivo.

Bom estudo e sucesso!

Equipe UnisulVirtual.



# Palavras do professor



Caros alunos,

A aviação é uma atividade fascinante. Parte deste fascínio é fruto da intensa relação do binômio homem-máquina. Quem já entrou em uma aeronave, como passageiro ou tripulante e sentiu a liberdade de se deslocar pelos ares sem restrições, já foi envolvido pelo desejo de fazer parte desta história.

Você que está iniciando seus estudos nas ciências do voo, vai encontrar nesta disciplina não só os conhecimentos básicos essenciais, mas também será apresentado a um amplo espectro de conhecimentos que serão necessários à medida que progredir em sua formação.

A aviação reúne um sem número de atividades das mais diversas áreas e é um grande exemplo de desenvolvimento da capacidade humana. A era do conhecimento está aí e afetou significativamente as carreiras profissionais de, praticamente, todas as áreas inclusive na aviação.

Para os pilotos de hoje, por exemplo, a competência básica de saber lidar com os controles de voo, decolar, voar e pousar um determinado tipo ou modelo de aeronave é apenas uma das habilidades necessárias para compor o verdadeiro aviador.

Um piloto reconhecido como de excelência profissional é aquele que estuda cada detalhe de si mesmo e da máquina, as capacidades e limitações e consegue desenvolver uma tentativa real de vínculo homem-máquina, em uma única unidade funcional.

Para ter sucesso, essa relação deve ser baseada no conhecimento, compreensão e confiança. Assim, tenha sempre em mente que para ser um profissional de sucesso você deverá buscar, continuamente, o conhecimento e a compreensão das ferramentas e atividades envolvidas na sua área de atuação.

O aprendizado de aeronaves complexas, seus sistemas, as características de voo, procedimentos e técnicas pode ser um empreendimento difícil, mesmo para os mais profissionais e motivados aviadores, mas aqui analisaremos que, felizmente, há uma abordagem sistemática à aprendizagem e à compreensão dos sistemas de qualquer aeronave, isso facilitará o seu aprendizado sobre o que precisará saber e aprender em relação a cada aeronave que lhe for entregue.

Bom voo!

Prof. Antonio Carlos Vieira de Campos



## Plano de estudo

O plano de estudos visa a orientá-lo no desenvolvimento da disciplina. Ele possui elementos que o ajudarão a conhecer o contexto da disciplina e a organizar o seu tempo de estudos.

O processo de ensino e aprendizagem na UnisulVirtual leva em conta instrumentos que se articulam e se complementam, portanto, a construção de competências se dá sobre a articulação de metodologias e por meio das diversas formas de ação/mediação.

São elementos desse processo:

- o livro didático;
- o Espaço UnisulVirtual de Aprendizagem (EVA);
- as atividades de avaliação (a distância, presenciais e de autoavaliação);
- o Sistema Tutorial.

## Ementa

Princípios relativos à operação dos grupos motopropulsores, sistemas e instrumentos das aeronaves (aviônicos). Limitações operacionais da categoria da aeronave e dos grupos motopropulsores. Informação operacional pertinente do manual de voo ou de outro documento apropriado. Utilização e verificação do estado de funcionamento dos equipamentos e dos sistemas das aeronaves pertinentes. Procedimentos para manutenção das células, sistemas e grupos motopropulsores das aeronaves pertinentes.

## **Objetivos da disciplina**

### **Geral**

Oferecer conhecimento geral básico das aeronaves, seus sistemas, funcionamento, limitações e operação de modo a introduzir o aluno no amplo espectro de conhecimento que será necessário para o desenvolvimento de sua carreira na área de aviação.

### **Específicos**

- Compreender a estrutura e os tipos de aeronaves.
- Entender a importância e o funcionamento dos grupos motopropulsores.
- Entender a importância e o funcionamento de cada um dos sistemas de voo.
- Reconhecer e saber utilizar as informações dos instrumentos de voo.
- Entender a aplicação da automação na operação das aeronaves.
- Analisar os manuais em uma abordagem sistemática à aprendizagem e compreender os sistemas operacionais de qualquer aeronave.
- Reconhecer a importância das inspeções e manutenção na segurança de voo.
- Conhecer uma aeronave comercial típica.

### **Carga horária**

A carga horária total da disciplina é 60 horas-aula.

## **Conteúdo programático/objetivos**

Veja, a seguir, as unidades que compõem o livro didático desta disciplina e os seus respectivos objetivos. Estes se referem aos resultados que você deverá alcançar ao final de uma etapa de estudo. Os objetivos de cada unidade definem o conjunto de conhecimentos que você deverá possuir para o desenvolvimento de habilidades e competências necessárias à sua formação.

### **Unidades de estudo: 6**

#### **Unidade 1 – Estrutura e tipos de aeronaves**

Iniciaremos o estudo com a definição geral de aeronave, seus tipos e categorias. Você também irá conhecer o conceito básico da teoria de voo e a estrutura de uma aeronave e seus comandos de voo, de modo a reconhecer suas partes e seu funcionamento.

#### **Unidade 2 – Sistemas de aeronaves**

O estudo desta unidade pretende apresentar os grupos motopropulsores e os diversos sistemas que compõem uma aeronave, o funcionamento e a importância de cada um deles, além de analisarmos as redundâncias que garantem a segurança do voo numa eventual falha.

#### **Unidade 3 – Instrumentos de voo e automação**

Nesta unidade, você encontrará a descrição e a composição do painel de instrumentos de voo e saberá como obter, analisar e entender as informações fornecidas. Vamos também analisar o uso de sistemas automatizados na cabine e como operá-los corretamente.

#### **Unidade 4 – Manuais e outros documentos**

Aqui você aprenderá como estudar uma aeronave. Conhecerá os manuais, checklists e demais documentos, onde encontrará os procedimentos normais, anormais e de emergência, além das limitações e principais informações para operação segura e eficiente.

#### **Unidade 5 – Inspeção e manutenção**

No estudo desta unidade, entenderemos as rotinas de inspeção e controles de manutenção. Vamos aprender como gerenciar a operação com equipamentos inoperantes e analisar as responsabilidades de cada operador, mecânico e piloto, na garantia de aeronavegabilidade da aeronave.


#### **Unidade 6 – Aeronave comercial típica**

Esta unidade pretende apresentar e descrever duas aeronaves típicas da aviação comercial e relacioná-las com os nossos estudos, de modo a posicionar a importância desta disciplina na futura carreira na aviação. Vamos conhecer o Boeing 737 e o Airbus A320.



## Agenda de atividades/Cronograma

- Verifique com atenção o EVA, organize-se para acessar periodicamente a sala da disciplina. O sucesso nos seus estudos depende da priorização do tempo para a leitura, da realização de análises e sínteses do conteúdo e da interação com os seus colegas e professor.
- Não perca os prazos das atividades. Registre no espaço a seguir as datas com base no cronograma da disciplina disponibilizado no EVA.
- Use o quadro para agendar e programar as atividades relativas ao desenvolvimento da disciplina.

Atividades obrigatórias	
Demais atividades (registro pessoal)	



# Estrutura e tipos de aeronaves



## Objetivos de aprendizagem

- Conhecer a evolução histórica das aeronaves.
- Conceituar e classificar as aeronaves.
- Identificar as principais partes do avião.
- Compreender o funcionamento dos controles de voo.



## Seções de estudo

**Seção 1** Pequena história da evolução das aeronaves

**Seção 2** Conceituação e classificação

**Seção 3** A teoria de voo

**Seção 4** A estrutura do avião

**Seção 5** Os controles de voo



## Para início de estudo

Desde sempre o homem sonha com a máquina, um aparelho que realizasse o maior número de tarefas com a maior eficiência. Contudo, somente a partir do século XVIII, quando James Watt criou a máquina a vapor começaram-se a ver frutos. Esse foi o início de um período conhecido como revolução industrial, que introduziu, em massa, o conceito de máquina.

Precisamos de máquinas para tudo, para conservar alimentos, para cozinhar, para nos divertir, para nos informar, para nos deslocar, para comunicarmos, máquinas que nos salvam a vida, outras que a prolongam, enfim, que tornam a vida mais fácil. Se elas existem é por nossa “culpa”, ou seja, a máquina pode ser capaz de realizar processos que o homem não consegue, porém, não tem o poder de controlar as coisas, ou seja, será sempre o homem a decidir se ela terá boa ou má utilidade, bom ou mau desempenho, se será usada de forma segura ou perigosa.

Para isso, é necessário desenvolver nosso conhecimento sobre cada máquina que necessitarmos utilizar. Quem já não viu alguém ligar um aparelho 110v em uma tomada 220v? Erros simples assim, que inutilizam uma máquina e põem em risco quem a opera, podem ser evitados com um simples cuidado de conhecer a máquina antes de usá-la. As aeronaves são máquinas maravilhosas e serão úteis, eficientes, confortáveis e seguras se nós soubermos controlar corretamente sua operação.

Nesta unidade, você conhecerá o surgimento e o desenvolvimento desta máquina e sua estrutura básica, os conceitos que fundamentam seu funcionamento e os seus controles de voo.

Bons estudos!

## Seção 1 – Pequena história da evolução das aeronaves

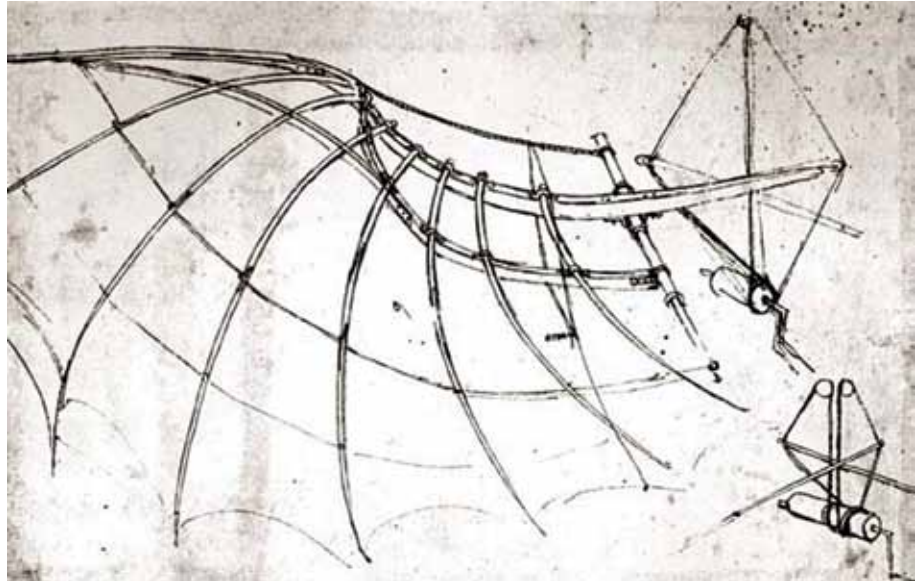
A história da aviação é muito mais complexa e fascinante do que a geralmente é encontrada nos livros didáticos. Nesta seção, será contada um pouco dessa história, mostrando fatos interessantes e até pouco conhecidos. A evolução técnica e o desenvolvimento das aeronaves será nossa linha de referência neste estudo, isso para que possamos contextualizar e entender a construção e o funcionamento dos aviões modernos.

Ao contrário do que é geralmente ensinado, Alberto Santos Dumont não “inventou” o avião. Apesar da significativa contribuição do inventor brasileiro e do mérito de ter sido o primeiro a fazer um voo controlado e motorizado na Europa, o avião é, na verdade, o resultado de um desenvolvimento que se estendeu por séculos e que começou muito antes dele. Desde os tempos pré-históricos, os seres humanos têm invejado o voo dos pássaros e desejavam imitá-los.

A identidade do primeiro “homem-pássaro”, que se instalou com asas e pulou de um penhasco em um esforço para voar, é perdida no tempo, mas cada tentativa infrutífera forneceu àqueles que desejavam voar perguntas que necessitavam de respostas. Filósofos, cientistas e inventores ofereceram soluções, mas ninguém conseguiu incorporar as asas ao corpo humano e voar como um pássaro.

Mesmo assim, durante esse período, conseguimos respostas importantes. Aristóteles concebeu a noção de que o ar tem peso e a lei de Arquimedes de corpos flutuantes formou um princípio básico dos veículos mais leves que o ar. Homens como Galileu, Roger Bacon e Pascal provaram que o ar é um gás, é compressível, e sua densidade diminui com a altitude.

Figura 1.1 – Estudo da estrutura da asa – 1490



Fonte: Sedivy, Highlands Ranch High School, 2011.

Durante o Século XV, Leonardo da Vinci elaborou esboços de propostas de máquinas voadoras, fruto, sobretudo, da observação do voo das aves. Foram os primeiros estudos relativamente técnicos sobre as possibilidades do voo por seres humanos. Da Vinci corretamente concluiu que era o movimento da asa em relação ao ar que produzia a reação resultante necessária para voar. No entanto, suas especulações foram falhas porque ele se ateu à ideia das asas móveis como a dos pássaros, para impulsionar o homem ao voo.

Figura 1.2 – Asas de Da Vinci



Fonte: Now Public, 2011.



Porque o conceito de asa móvel de Da Vinci foi um erro?

Em 1655, o matemático, físico e inventor, Robert Hooke, concluiu que o corpo humano não possui a força necessária para usar asas artificiais. Ele acreditava que o voo humano exigiria algum tipo de propulsão artificial. Não seria então com a força física dos homens usando as asas móveis para impulsão que conseguiríamos alçar voo (HOOKE, 1655).

## Os Balões

A busca pelo voo levou alguns profissionais em outra direção. Em 1670, o padre Jesuíta Francesco de Lana publicou o primeiro estudo sobre a construção de um “barco aéreo”, que se elevaria no ar por meio de esferas metálicas com vácuo no seu interior. Em 1709, Bartolomeu de Gusmão, também Jesuíta, apresentou ideia semelhante ao rei de Portugal, só que utilizando o princípio do ar quente. Existem inúmeros outros relatos de supostas experiências com balões, mas o crédito pela efetiva criação deles pertence aos irmãos Montgolfier.

No início de novembro de 1782, Joseph Michel e Jacques Etienne Montgolfier, fabricaram um balão esférico, de seda, com cerca de 1 metro de diâmetro, o qual subiu a cerca de 30 metros de altura, antes de esfriar e cair. Esse evento é considerado como o nascimento do balão de ar quente. Em 1783, o primeiro balão de ar quente tripulado voou por 23 minutos. A partir desse evento e durante certo tempo, o balão serviu apenas como curiosidade e diversão, principalmente porque, após decolar, o aparelho ficava à mercê dos ventos e raramente ia para onde o seu dono desejava. A questão já não era mais subir, mas controlar a direção e a velocidade do voo (BELLIS, 2012).

O problema da dirigibilidade só veio a ser solucionado cem anos depois, quando em 1898 o brasileiro Alberto Santos-Dumont construiu o primeiro balão semirrígido, em forma de charuto e com motor à gasolina. Esse tipo de balão, posteriormente conhecido como “dirigível”, tinha forma mais aerodinâmica que

seus antepassados redondos e era inflado com Hidrogênio, um gás bem mais leve que o ar, mas perigosamente volátil.

Em 19 de Outubro de 1901, com seu dirigível nº 6, Santos-Dumont conquistou o “Prêmio Deutsch”, oferecido àquele que provasse a dirigibilidade dos balões, decolando de um ponto previamente escolhido (Saint-Cloud) na cidade de Paris, contornando a Torre Eiffel e retornando ao ponto de partida (AÉROCLUB DE FRANCE, 1904).

Figura 1.3 – Dirigível



Fonte: Cabangu, 2011.



**Dirigibilidade** – O uso de um grupo moto-propulsor leve, em conjunto com a alteração para o formato de “charuto”, foi a solução encontrada por Santos Dumont para obter o Dirigível.

---

## **O mais pesado que o ar**

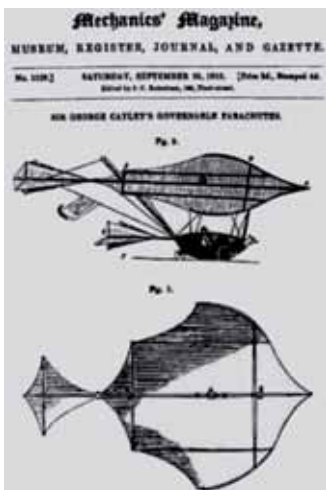
Mesmo com a realidade do voo na forma de um deslocamento controlado pelo ar, os dirigíveis não satisfizeram aqueles entusiastas que ainda preferiam trabalhar na velha ideia de Leonardo da Vinci: voar com asas como os pássaros.

A solução para isso estava num brinquedo bastante familiar no Oriente, por mais de 2000 anos, mas que só foi introduzido no Ocidente no século 13: a pipa. Utilizada pelos chineses para observação aérea, para testar os ventos, como um dispositivo de sinalização ou como um brinquedo, ela trazia muitas das respostas ao desenvolvimento de um dispositivo de voo mais pesado que o ar.

Sir George Cayley, um inglês nascido 10 anos antes do voo de balão dos Mongolfier, acreditava que o estudo das pipas desvendaria os segredos do voo. Ele passou seus 84 anos tentando desenvolver um veículo mais pesado que o ar, suportado por asas em forma de pipa (GIBBS-SMITH, 1962).

Cayley foi o primeiro a teorizar os princípios do voo, tais como a força de sustentação, peso e arrasto aerodinâmico, conceitos válidos até hoje. Contrariamente aos seus contemporâneos, Cayley dispensou o “batimento de asas” como fundamento para alçar voo, concentrando-se na necessidade de se possuir uma superfície aerodinâmica geradora de sustentação (asa) e uma fonte de força impulsora (motor). Baseado nesses princípios, em 1799 ele desenhou seu primeiro modelo de aeroplano, que não chegou a construir dada a inexistência de motores àquela época.

Figura 1.4 – Planador de George Cayley – 1853



Fonte: Century of flight, 2011.



**Ponto-chave** – Sir George Cayley foi o primeiro a teorizar os conceitos de peso, sustentação, tração e arrasto, válidos até hoje.

---

Assim, Cayley se concentrou nos planadores. Em 1853, pouco antes de morrer, construiu o mais bem-sucedido de seus planadores, tendo convencido seu cocheiro a pilotá-lo. Na verdade, o homem foi mais um passageiro do que um piloto, mas é considerado como a primeira pessoa a voar em um aparelho mais pesado que o ar.

O sucesso de Cayley estimulou outros pesquisadores, entre os quais o alemão Otto Lilienthal. Concentrando-se igualmente nos planadores, Lilienthal desenvolveu várias configurações diferentes. Na maioria delas, o piloto voava pendurado debaixo do aparelho, tal como em uma asa-delta atualmente. Essa configuração ajudava a resolver um dos grandes problemas dos aparelhos da época: a estabilidade.

## O Aeroplano

Embora constem experimentos em praticamente todo o mundo, buscando a realização prática do voo aeródino motorizado, os mais importantes foram creditados aos irmãos americanos Orville e Wilbur Wright e ao brasileiro radicado na França, Alberto Santos Dumont.

Como vimos até agora, o problema do voo do **mais pesado que o ar** já estava praticamente solucionado no final do Século XIX, faltando apenas um motor adequado para transformá-lo num avião de verdade. O sonho de um voo autônomo motorizado estava próximo.

A invenção do motor à gasolina e o início da produção de automóveis pela Daimler-Benz, em 1886, utilizando este tipo de motor, fez com que as atenções de muitos dos pioneiros se voltassem para ele. Na época, a principal vantagem do motor à gasolina sobre os motores a vapor era a relação peso-potência.

Um dos primeiros a compreender as vantagens do motor à gasolina na aviação foi Santos Dumont, que passou a utilizar motores de motocicleta e de automóveis nos seus dirigíveis. O passo seguinte foi partir para a construção de um aeroplano.

Para isso, Santos Dumont baseou-se no desenho de pipas-caixa, conhecidas como “pipas de Hargreave” (devido ao seu inventor, o australiano Lawrence Hargrave) e construiu uma asa constituída basicamente de seis pipas-caixa, sendo três de cada lado. Como fuselagem (corpo do avião), aproveitou a quilha do seu dirigível N°14 (daí o nome “14-bis”) e instalou um **motor Levavasseur**, de 8 cilindros e 50HP. Uma estrutura adicional prolongava a fuselagem até a pipa-caixa dianteira, que atuava como leme de direção e de profundidade (controle de altitude). Como o aparelho tinha as asas principais na parte posterior e a asa secundária (estabilizador-leme) na parte da frente, os franceses passaram a chamá-lo de “canard” (pato).

Em 23 de outubro de 1906, Alberto Santos Dumont tornou o sonho realidade. Ao decolar abordo do 14 bis, impulsionado por um motor à gasolina, ele voou naquele dia e repetiu a façanha menos de um mês depois, diante de uma multidão que compareceu ao Campo de Bagatelle, em Paris. Esses dois voos foram as primeiras demonstrações públicas de um aparelho mais pesado que o ar, levantando voo por seus próprios meios, sem a necessidade de uma rampa de lançamento.

Motor Levavasseur – Leon Levavasseur foi oficial da marinha francesa e engenheiro dedicado ao desenvolvimento do motor à gasolina. Foi o primeiro a utilizar e patentear a configuração V8 na construção dos motores a combustão interna.

Figura 1.5 – 14 Bis



Fonte: HSW, 2011.

## O Século do Voo

A partir das experiências bem-sucedidas dos pioneiros, como Santos Dumont e os Irmãos Wright, o desenvolvimento do avião deslanchou de modo surpreendente. Desde a sua efetiva criação, o avião passou por vários períodos de “amadurecimento”, em que suas características mais importantes foram sendo definidas. Podemos identificar esses principais períodos como sendo:

- **De 1903-6 a 1914:** Nascimento do avião e consolidação dos princípios construtivos e operacionais. Até essa época, a maioria dos aviões eram biplanos (duas asas sobrepostas) e construídos de madeira e lona. Até o início da Primeira Guerra, os aviões ainda eram muito imprevisíveis e inseguros, restringindo-se a meras curiosidades.
- **De 1914 a 1918:** Primeira Guerra Mundial. Os aviões se desenvolveram rapidamente e foram criadas aplicações especializadas como caças, bombardeiros, aviões de observação e de transporte. A maioria deles ainda continuava sendo de madeira e lona, embora alguns modelos já empregassem o metal (alumínio) na fabricação de algumas peças.
- **Década de 20 e 30:** Com a paz, houve um grande ímpeto na aviação comercial. Foi nessa época que teve início o correio aéreo, a primeira atividade econômico-social a se beneficiar do surgimento da aviação.
- **De 1935 a 1945:** Período iniciado com a ascensão da Alemanha Nazista, seguido da Segunda Guerra Mundial. Guardadas as proporções (apenas 10 anos), foi o período de maior desenvolvimento do avião, como o conhecemos hoje, evoluindo dos biplanos movidos à hélice para o avião a jato, com asa de geometria variável. Muita da tecnologia desenvolvida nessa época é utilizada até os dias de hoje.
- **Pós-Guerra:** Após a Segunda Guerra, como seria de se esperar, houve novo “boom” da aviação comercial, favorecida agora por inovações como o “Comet”, primeiro avião a jato para transporte de passageiros, que começou a operar em 1952 e o Boeing 707, em

1954, primeiro dos grandes jatos como temos hoje. Nos últimos 50 anos, o desenvolvimento da aviação comercial tem se limitado ao desenvolvimento de novas tecnologias de construção, tais como materiais mais leves e seguros, motores mais econômicos e menos poluentes e na incorporação dos avanços da eletrônica digital, principalmente nos sistemas de voo e navegação.

## Seção 2 – Conceituação e classificação

Para início de conversa, você saberia definir o que é uma aeronave? Antes que possamos classificá-las, necessitamos conceituar o que é esta máquina considerada aeronave.

De acordo com o Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa, aeronave nada mais é que uma “Designação genérica dos aparelhos por meio dos quais se navega no ar”. Mas de modo geral, elas são definidas como “todo aparelho capaz de se sustentar e navegar no ar” (HOMA, 2010).

A definição mais completa, no entanto, é a encontrada no Código Brasileiro de Aeronáutica, editado pela Lei n. 7.565, de 19 de Dezembro de 1986, em seu artigo 106.



“Considera-se aeronave todo aparelho manobrável em voo, que possa sustentar-se e circular no espaço aéreo, mediante reações aerodinâmicas, apto a transportar pessoas ou coisas”. (CBAer, 1986).

Sendo assim, podemos entender que tanto um balão como um helicóptero ou tanto um autogiro como um dirigível são aeronaves que atendem essa definição, o mesmo valendo para um planador, para um paraquedas motorizado ou para um avião.



Então, como fazer para distingui-las, já que há uma grande diferença entre elas, não só na forma de construção, mas também no modo como são operadas?

A melhor maneira foi dividi-las em classes, tipos e categorias. A classificação mais básica é uma divisão quanto aos princípios e leis da física que lhes proporciona o meio de se sustentar no ar, assim elas são classificadas como aeróstatos ou aeródinos.



As aeronaves classificam-se em aeróstatos e aeródinos.

**Aeróstatos** – São as aeronaves baseadas no **Princípio de Arquimedes**, da física, e vulgarmente conhecidos como os “veículos mais leves que o ar”.

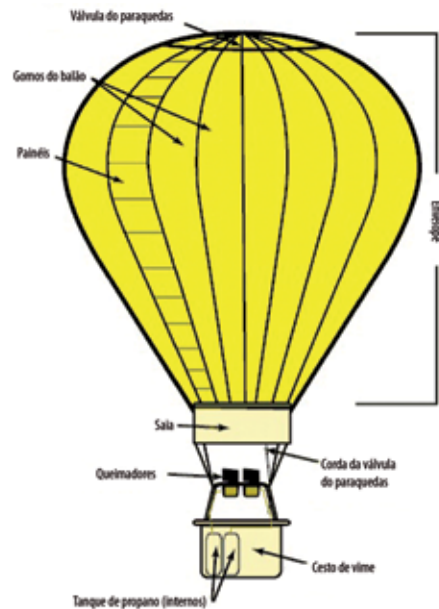
Princípio de Arquimedes – Todo corpo mergulhado num fluido recebe um empuxo para cima igual ao peso do fluido deslocado.

Figura 1.6 – Balão Figura



Fonte: Portal do Professor, 2011.

1.7 – Funcionamento de um balão



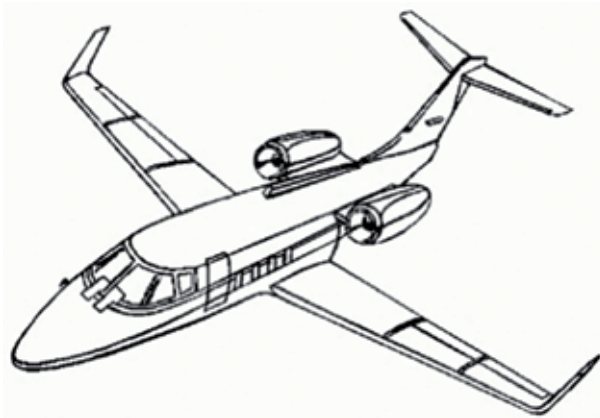
Fonte: Portal São Francisco, 2011.

Portanto, balões e dirigíveis são aeróstatos. Nesses veículos, o empuxo ascensional é controlado pelo piloto e pode ser igual, maior ou menor que seu peso. Já a direção do voo só é controlada nos dirigíveis que possuem leme para esse fim.

**Aeródinos** – São as aeronaves mais pesadas que o ar e que necessitam utilizar a **3ª Lei de Newton**, também conhecida como a lei da ação e reação, para se manterem em voo.

3ª Lei de Newton – Para toda ação corresponde uma reação de igual intensidade, em sentido contrário.

Figura 1.8 – Avião



Fonte: Desenhos para colorir, 2011.

O avião e o planador, por exemplo, são aeródinos de asa fixa. Ao se deslocarem na atmosfera, suas asas desviam o fluxo de ar de modo a criar uma reação aerodinâmica para cima, denominada sustentação. Já o helicóptero ou o autogiro são aeródinos de asa rotativa. As pás do rotor ao girar criam sustentação da mesma forma como as asas do avião.

Outra forma de classificação das aeronaves foi categorizá-las. Assim, surgiram as categorias avião, helicóptero, balão e planador. Essa classificação é normalmente utilizada para a emissão das licenças de pilotagem. Assim sendo, um piloto da categoria avião não está habilitado para operar um helicóptero. Para cada categoria há necessidade de uma licença específica.

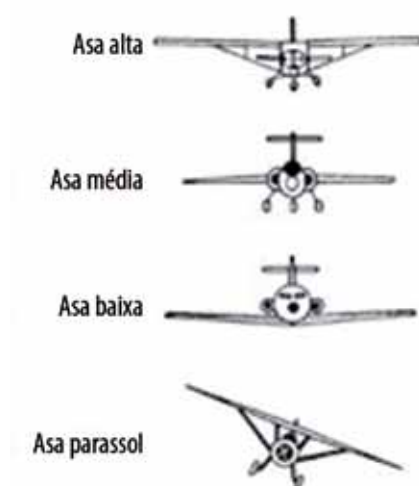
As aeronaves também são classificadas quanto ao seu uso, podendo ser civil ou militar e pública ou privada. Consideram-se militares as integrantes das Forças Armadas, inclusive as requisitadas na forma da lei, para missões militares.

As aeronaves civis são subdivididas e compreendem as aeronaves públicas e as aeronaves privadas. As aeronaves públicas são as destinadas ao serviço do Poder Público, ou seja, pelo legislativo, pelo executivo ou pelo judiciário dos três níveis, municipal, estadual ou federal; todas as demais são aeronaves privadas. Assim sendo, uma aeronave a serviço da Polícia Federal, por exemplo, é uma aeronave civil pública.

Para diferenciá-las quanto ao porte, as aeronaves foram classificadas quanto ao seu peso, podendo ser ultraleves, leves, médias ou pesadas.

Os aviões também são classificados quanto à posição das asas. Elas podem ser fixadas em 4 posições em relação à fuselagem. Na sua parte inferior, na altura média da fuselagem, na sua parte superior ou acima dela. Esses projetos são chamados de asa baixa, média, alta ou parassol, respectivamente.

Figura 1.9 – Classificação quanto às Asas



Fonte: Talay. NASA (1975) p.18.

O número de asas também pode variar. Os aviões com um único conjunto de asas são chamados de monoplanos, enquanto aqueles com dois ou mais conjuntos são chamados de biplanos, triplanos, e assim por diante. O mesmo ocorre com relação ao número de motores existindo então os monomotores, os bimotores, os multimotores etc.

Existem várias outras classificações e categorias constantes dos Regulamentos Brasileiros de Aviação Civil (RBAC) e de outros documentos oficiais que foram criadas para atender diversas finalidades como, por exemplo, a certificação de produtos aeronáuticos (RBAC 23) onde são citadas as categorias normal, utilidade, acrobática e de transporte.

## Seção 3 – A teoria de voo

A fim de compreender o funcionamento dos principais componentes e subcomponentes de uma aeronave, é importante entender os conceitos básicos de aerodinâmica. Nesta seção, discutiremos de forma simplificada a aerodinâmica do voo e como o peso, o design, os fatores de carga e a força da gravidade afetam uma aeronave durante as manobras de voo.

### As quatro forças

Sobre todas as aeronaves em voo atuam quatro forças, sendo uma delas a força gravitacional que determina o peso e as outras provenientes do deslocamento dessa aeronave no ar.

Entender como funcionam essas forças e saber como controlá-las com o uso de energia (propulsão/velocidade) e os controles de voo são essenciais para se manter em voo.



---

Afinal, você saberia dizer quais são estas forças?

---

Isso mesmo! São as mesmas forças que Sir George Cayley teorizou seus conceitos baseados no estudo das pipas, em 1799. Essas forças são: a tração, a sustentação, o peso e o arrasto.

Figura 1.10 – As 4 forças



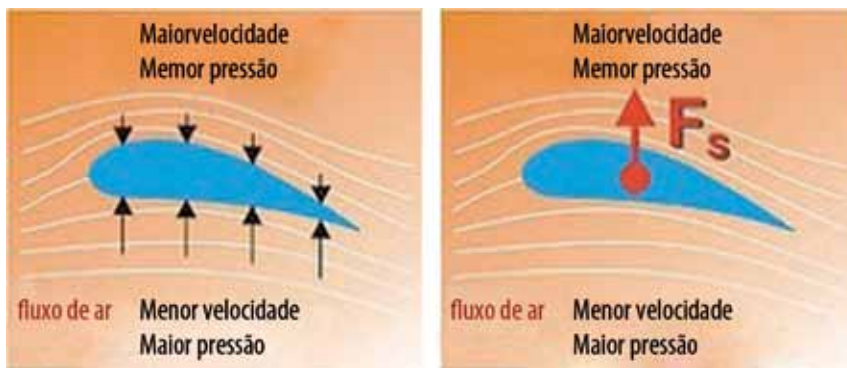
Fonte: Adaptado de Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge – FAA, 2008.

- **A tração** ou empuxo é a força produzida pelo conjunto motopropulsor que resultará em um movimento para frente, se nada oferecer resistência a ela. Portanto, ela se opõe ou supera a força de arrasto. Como regra geral, diz-se que ela age paralelamente ao eixo longitudinal da aeronave. Isso, no entanto, nem sempre é verdadeiro como, por exemplo, no caso das aeronaves de decolagem vertical.
- **O arrasto** é uma força de resistência com resultante para trás, retardando ou até impedindo o movimento para frente, provocado pela força de tração, e é causada pela ruptura do fluxo de ar provocada pela fuselagem, asa, empenagem e da aeronave como um todo. O arrasto se opõe à tração e age para trás, paralelamente ao vento relativo.
- **O peso** é o resultado combinado do peso do próprio avião somado aos pesos de todos os itens e pessoas a bordo, que não fazem parte do peso básico dele, ou seja, soma-se o peso básico do avião ao da tripulação, dos passageiros, do combustível e da carga ou bagagem para se obter o peso total do voo. O peso “puxa” o avião para baixo por causa da força da gravidade. Ele se opõe à sustentação e atua verticalmente para baixo, por meio do centro de gravidade (CG) do avião. É interessante notar que o peso total da aeronave não é um valor fixo que se mantém constante durante o voo. O peso total diminui no mesmo valor do peso do combustível consumido.

- **A sustentação** é uma força que empurra a asa para cima e se opõe à força para baixo exercida pelo peso. Ela é produzida pelo efeito aerodinâmico do ar, agindo na asa durante seu deslocamento. O ar escoa com maior velocidade pela parte superior da asa (extradorso), devido a sua curvatura mais acentuada, do que pela parte inferior (intradorso). De acordo com o **Teorema de Bernoulli**, o aumento da velocidade provocará uma diminuição da pressão no extradorso da asa e resultará numa força que empurra a asa para cima, perpendicularmente à trajetória de voo.

Teorema de Bernoulli – O aumento na velocidade de um fluido em escoamento causa uma redução na pressão estática.

Figura 1.11 – Força de sustentação



Fonte: Braz Júnior, 2009.

## O voo

Para um avião se movimentar, a tração a ser exercida deve ser maior do que o arrasto. O avião continuará a se mover e ganhar velocidade até que a tração e o arrasto se tornem iguais.

A fim de manter uma velocidade constante, tração e arrasto devem permanecer iguais, assim como a sustentação e o peso devem ser iguais para manter a altitude constante.

Se em voo nivelado a potência do motor é reduzida, a tração torna-se menor, e o avião desacelera. Enquanto a tração for menor do que o arrasto, o avião continuará a desacelerar até que sua velocidade atinja um valor insuficiente para sustentá-la no ar.

Da mesma forma, se a potência do motor é aumentada, a tração se torna maior que o arrasto e aumenta a velocidade. Enquanto a tração continuar a ser maior do que o arrasto, o avião continuará a acelerar. Quando o arrasto atingir um valor igual a força de tração a aeronave voará a uma velocidade constante.

## A relação *pitch*/potência

Em um voo reto e nivelado, o ângulo de ataque é melhor percebido pelo piloto por meio da posição do nariz do avião em relação ao horizonte ao qual chamamos de *pitch*, ou seja, o *pitch* é o ângulo formado entre o eixo longitudinal do avião e o horizonte. O voo reto e nivelado pode ser sustentado em uma ampla gama de velocidades. Para manter um voo nivelado, o piloto deve coordenar o ângulo de ataque (AOA) – o ângulo entre a linha de corda da asa e a direção do vento relativo – e o regime de potência necessário para manter a velocidade desejada. Sempre que quisermos alterar a velocidade nesse tipo de voo, seremos obrigados a coordenar um novo ajuste de *pitch* e potência. Grosso modo, esses regimes podem ser agrupados em três categorias: voo de baixa velocidade, de cruzeiro e de alta velocidade.

A sustentação tem relação direta com a velocidade e o ângulo de ataque, ou seja, quanto maior a velocidade maior será a sustentação, assim como o aumento do ângulo de ataque gera aumento da sustentação, desde que haja tração suficiente para manter a velocidade acima da mínima necessária.



A sustentação aumenta em função da velocidade e do ângulo de ataque. Quanto maior a velocidade, maior será a sustentação, assim como quanto maior o ângulo de ataque haverá maior sustentação.

---

Quando a velocidade é baixa, o ângulo de ataque deve ser relativamente alto para se manter o equilíbrio entre a sustentação e o peso. Se diminuir a velocidade, a sustentação se tornará menor do que o peso, e o avião começará a descer. Para que isso não aconteça e continue a manter o nível de voo, o piloto poderá

aumentar o ângulo de ataque (levantar o nariz) até gerar uma força de sustentação novamente igual ao peso da aeronave. A aeronave manterá o voo mais lento e nivelado enquanto o piloto exercer boa coordenação de potência e *pitch*, ou seja, de tração e ângulo de ataque (AOA).

Figura 1.12 – Variação do ângulo de ataque em função da velocidade



Fonte: PHAK, Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge – FAA., 2008.

Durante o voo reto e nivelado, se a tração aumentar, a velocidade também aumentará e o ângulo de ataque deverá diminuir. Ou seja, se as mudanças foram coordenadas, o avião permanecerá em voo nivelado, mas em uma velocidade maior e com a relação entre empuxo e *pitch* adequadamente estabelecida. Se não houver apropriada coordenação do *pitch* (diminuição), com o aumento de empuxo o avião começará a subir. Ao diminuir o ângulo de ataque diminuiremos a sustentação que se elevará com o aumento da velocidade, mantendo-a igual ao peso, e o avião continuará em voo nivelado.

## Os movimentos

Existem três linhas imaginárias que passam pelo centro de gravidade (CG) da aeronave em ângulos de 90 ° entre si. Essas linhas são os eixos em torno dos quais o avião gira. Sempre que uma aeronave muda sua atitude de voo ou de posição durante o voo, ela está se movimentando ou girando em torno de um ou mais dos seus três eixos.

Figura 1.13 – Os eixos de movimento



Fonte: PHAK, Pilot's Handbooks of Aeronautical Knowledge – FAA, 2008.

O eixo que vai do nariz à cauda é o longitudinal, o eixo que passa de ponta a ponta das asas é o lateral, e a linha vertical que passa pela aeronave é o eixo vertical. O movimento de aeronaves sobre seu eixo longitudinal se assemelha ao balanço lateral de um navio. Na verdade, os nomes usados para descrever os movimentos em torno dos eixos de uma aeronave foram originalmente termos náuticos. Eles foram adaptados para a terminologia aeronáutica assim: em torno do eixo longitudinal ou de rolagem (roll) o avião gira lateralmente, abaixando uma asa e levantando a outra. Em torno do eixo lateral ou de arfagem (pitch) o avião gira em um plano vertical, levantando ou abaixando o nariz como o movimento de uma cadeira de balanço. Ao redor do eixo vertical ou de guinada (yaw), o avião gira num plano horizontal, movimentando o nariz para a direita ou para a esquerda.

O acionamento dos controles da aeronave altera a posição das superfícies de controle de voo, de modo a fazer com que ela se movimente em torno de um ou mais desses eixos, e permite o controle do avião durante o voo.

## Seção 4 – A estrutura do avião

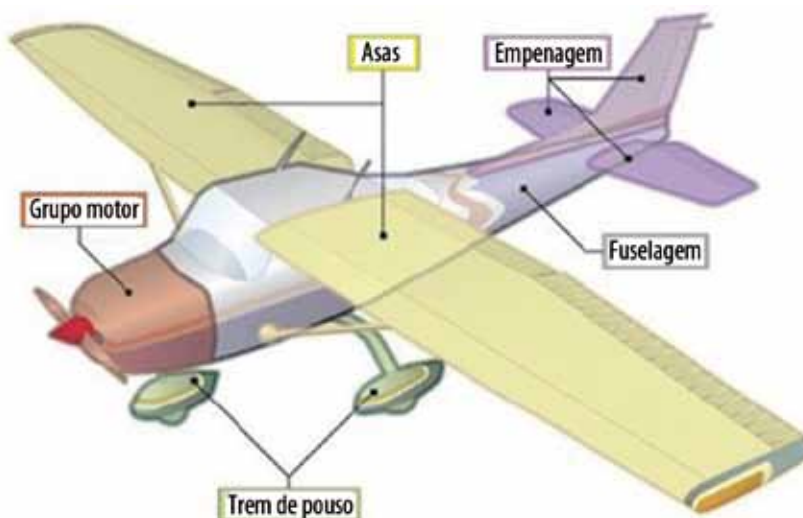
Agora, falando apenas dos aeródinos de asa fixa, ou seja, dos aviões, embora sejam projetados para uma variedade de propósitos, a maioria deles têm a estrutura semelhante e os mesmos componentes principais. As características gerais são, em grande parte, determinadas não só pelos objetivos do projeto original, mas também pelos requisitos de homologação aeronáutica que são comuns a todos os fabricantes, o que as fazem apresentar as mesmas partes estruturais básicas e características operacionais semelhantes, independentemente de ser um monomotor ou um grande jato comercial.

Vamos começar a estudar cada uma destas partes.

### Os principais componentes

A maioria dos aviões é composta do corpo ou fuselagem como estrutura principal, onde há espaço para pessoas ou coisas. Na fuselagem existem as conexões estruturais onde são instaladas as asas, a empenagem, o trem de pouso, o conjunto motopropulsor e, finalmente, são incorporados os diversos outros subconjuntos complementares chamados de sistemas, como por exemplo, o sistema de combustível, elétrico, hidráulico etc.

Figura 1.14 – Os principais componentes de um avião



Fonte: Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge – FAA, 2008.

Refere-se ao voo em si. Assim como o automóvel sofre uma torção ao passar em uma valeta ou um buraco, o avião poderá sofrer os esforços citados em voo. Um avião normalmente estará sofrendo esforços estruturais e seu corpo deverá resistir a eles para se manter íntegro durante o voo.

Assim como outras máquinas sofrem esforços estruturais com o seu trabalho ou movimento, todos os componentes estruturais do avião são **submetidos** e devem resistir a diversos esforços durante a sua operação, sendo os principais tipos de esforços a tração, a compressão, a flexão, o cisalhamento e a torção.

Portanto, os materiais utilizados na construção das estruturas aeronáuticas devem ser leves e resistentes. Os mais utilizados são as ligas de alumínio, mas também existem aviões feitos com tubos de aço soldado. Os materiais mais modernos são fibra de vidro, fibra de carbono e tecido de Kevlar®, dos quais falaremos mais a frente.

## A construção das fuselagens

A construção das fuselagens das aeronaves evoluiu da treliça de madeira revestida com tela para a estrutura semimonocoque em caverna, feita de materiais compostos nos dias de hoje, passando pela estrutura tubular com mecanismos estruturais e pela estrutura monocoque em caverna.



---

Os principais tipos de estrutura da fuselagem são: tubular, monocoque e semimonocoque.

---

## Estrutura tubular

A principal desvantagem da estrutura tubular é a dificuldade em se obter um formato mais aerodinâmico e eficiente. Nesse processo de construção, longos pedaços de tubos de aço postos no sentido longitudinal e chamados de longarinas são soldados entre si, com tubos menores para formar um quadro bem resistente.

Suportes verticais e horizontais são soldados às longarinas para dar à estrutura uma forma quadrada ou retangular. Suportes adicionais como cabos de aço esticados em diversos pontos são necessários para suportar os esforços estruturais de tração. Outras

longarinas, divisórias e suportes podem ser necessários para dar melhor forma à fuselagem ou para adequar à cabine.

No início, essa estrutura tubular era aparente, mas com o avanço da tecnologia, os projetistas de aeronaves viram que ao usar um revestimento na parte estrutural conseguia-se diminuir o arrasto e melhorar o desempenho. Esse revestimento era originalmente feito com tela de tecido, que acabou sendo substituído com o tempo por metais leves como o alumínio.

Em seguida, observou-se que, em alguns casos, essa “pele” exterior poderia suportar a maior parte ou a totalidade das cargas estruturais. A maioria das aeronaves modernas usa essa forma de construção conhecida como construção monocoque ou semimonocoque, em que o revestimento externo é parte estrutural da fuselagem.

Figura 1.15 – Estrutura tubular sem o revestimento de tela



Foto: Rodrigo Zanette /Museu TAM, 2011.

## Estrutura monocoque

A construção monocoque usa o revestimento como peça principal para suportar quase todas as cargas estruturais. Esse revestimento é geralmente feito de chapa metálica, sendo que a mais comum utiliza as ligas de alumínio, mas também podem ser de plástico reforçado ou madeira compensada. O formato aerodinâmico é obtido pelas cavernas que podem suportar parte do esforço. Apesar

de muito forte, a construção monocoque não é muito tolerante à deformação da superfície, como acontece com uma lata de bebida de alumínio, por exemplo, que pode suportar forças consideráveis nas extremidades da lata, mas se o seu lado é ligeiramente amassado, enquanto suporta uma carga, ela se deformará por completo facilmente. Para minimizar este aspecto, os primeiros aviões feitos neste processo de fabricação utilizavam chapas onduladas ou corrugadas como as telhas metálicas de hoje, para aumentar sua resistência a deformações laterais.

Como a maioria dos esforços de torção e flexão é suportada pelo revestimento estrutural e não por uma estrutura convencional, a necessidade de reforço interno foi eliminada ou reduzida, economizando peso e maximizando o espaço.

Um modo notável e criativo do uso do método de construção monocoque foi utilizado por Jack Northrop. Em 1918, ele inventou uma nova maneira de construir uma fuselagem monocoque para o Lockheed S-1 Racer. A técnica utilizada usava madeira compensada moldada em duas meias-conchas que foram coladas em torno de aros de madeira ou longarinas. Para construir essas meia-conchas, ao invés de colar várias tiras de madeira sobre uma estrutura interna, foram usadas três grandes placas de compensado embebidas em cola e colocadas em um molde semicircular de concreto que parecia uma banheira. Então, sob uma tampa bem apertada, um balão de borracha foi insuflado na cavidade para pressionar a madeira contra o molde. Vinte e quatro horas depois, a meia-concha estava pronta para ser unida a outra para criar a fuselagem. As duas metades tinham, cada uma, menos de um quarto de polegada de espessura ou algo em torno dos 6 milímetros, algo impressionante para a época.

Embora empregado no período de início da aviação, a construção monocoque só iria ressurgir várias décadas mais tarde, devido às complexidades envolvidas na sua construção.

## **Estrutura semimonocoque**

A construção semimonocoque usa uma infraestrutura em que o revestimento do avião é aplicado. Esse tipo de construção é o mais utilizado nos dias atuais. Essa infraestrutura que dá suporte ao revestimento consiste de anteparas, reforçadores e nervuras de vários tamanhos e longarinas aplicados na parte interna do revestimento. Ela dá maior resistência ao conjunto, pois divide com o revestimento a resistência aos esforços aplicados à fuselagem, sem a necessidade de uma estrutura maior, mantendo as vantagens da construção monocoque.

A parte principal da fuselagem também inclui pontos de fixação das asas e um anteparo contra fogo. Em aviões monomotores, o conjunto motopropulsor composto de motor e hélice é geralmente colocado na parte dianteira da fuselagem, sendo separado da cabine de pilotagem por um anteparo, geralmente feito de material resistente ao calor, como o aço inoxidável, colocado entre a parte traseira do motor e a cabine para proteger o piloto e os passageiros de um incêndio acidental do motor.

Um novo processo de construção que está surgindo é a utilização dos compósitos em parte da estrutura ou até mesmo aeronaves feitas inteiramente de materiais compostos. Vamos entender melhor como isso funciona e quais são suas vantagens e desvantagens. (DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL AVIATION, 1976).

## **Construção em materiais compósitos**

### **História**

A utilização de compósitos na construção de aviões é datada da II Guerra Mundial, quando a fibra de vidro foi usada nas fuselagens do B-29. No final dos anos 1950, os fabricantes europeus de planador de alto desempenho já usavam a fibra de vidro como material para as estruturas primárias. Em 1965, o FAA certificou uma aeronave de fibra de vidro pela primeira vez na categoria normal, era um planador suíço chamado HBV Diamant. Quatro

anos mais tarde, um avião monomotor para quatro lugares feito por esse método de construção também foi certificado na categoria normal. Em 2005, mais de 35% dos novos aviões fabricados nos Estados Unidos foram construídos com materiais compostos (PHAK, Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge, p. 2-8).

Compósito é um termo amplo e pode significar materiais como fibra de vidro, fibra de carbono, tecido de Kevlar®, e misturas de todas as opções anteriores. A construção com materiais compostos oferece duas vantagens: revestimento de design extremamente suave e aerodinâmico e a capacidade de facilmente criar soluções para complexas estruturas curvas ou aerodinâmicas.

Figura 1.16 – Aeronave em material compósito



Foto: Cirrus Aircraft, 2011.

### **Os materiais compósitos em Aeronaves**

Os materiais compósitos são reforçados com fibra pelo sistema de matriz. A matriz é a “cola” usada para manter as fibras unidas e, quando curada, dá a ela a sua forma, mas são as fibras que suportam a maior parte da carga estrutural. Há muitos tipos diferentes de fibras e de sistemas matriciais.

No avião, o mais comum é a matriz de resina epóxi, que é um tipo de termofixo. Em comparação com outras opções, tais como resina de poliéster, o epóxi é mais forte e tem boas propriedades de alta temperatura. Há muitos tipos diferentes de epóxi

disponíveis, com uma vasta gama de propriedades estruturais, tempos de cura, temperaturas e custos.

As fibras mais comuns de reforço usado na construção de aeronaves são a fibra de vidro e a fibra de carbono. A fibra de vidro tem boa resistência à tração e compressão, boa resistência de impacto e é fácil de trabalhar. É relativamente barata e facilmente encontrada. Sua principal desvantagem é que ela é relativamente pesada, e dificilmente se consegue fazer uma estrutura de fibra de vidro mais leve do que uma estrutura de alumínio num projeto equivalente.

A fibra de carbono é, geralmente, mais forte e mais resistente à tração e compressão do que a fibra de vidro, além de maior capacidade de flexão. Também é consideravelmente mais leve que a fibra de vidro. No entanto, ela é relativamente pobre em resistência ao impacto. As fibras são frágeis e tendem a quebrar-se sob forte impacto. Isso pode ser aprimorado com a utilização de um “robusto” sistema de resina epóxi, tal como usado nos estabilizadores horizontal e vertical do Boeing 787.

A fibra de carbono é mais cara do que fibra de vidro, mas seu preço tem caído devido às inovações impulsionadas pelo vários programas de desenvolvimento de aeronaves que utilizam este material. Quando muito bem projetada, uma estrutura de fibra de carbono pode ser significativamente mais leve do que uma estrutura de alumínio equivalente, reduzindo em até 30% seu peso (PHAK, Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge, p. 2-9).

### **Vantagens dos compósitos**

A construção de aeronaves com material compósito oferece diversas vantagens sobre o metal, madeira ou tecido, sendo seu peso o mais citado. Mas a vantagem do baixo peso nem sempre é automática. A construção de uma estrutura de aeronave em compósitos não é garantia que será mais leve. Isso vai depender da estrutura projetada, bem como do tipo de composto a ser utilizado.

A vantagem mais importante é que o uso de compósitos permite a fabricação de estruturas de formas suaves e curvas aerodinâmicas, o que resulta em significativa diminuição do

arrasto. Essa foi a principal razão para que projetistas de planador mudassem de metal e madeira para compósitos em 1960. Nos aviões, a utilização de compósitos reduziu o arrasto como, por exemplo, na linha de aeronaves Cirrus e Columbia, levando à sua alta performance, apesar de seu trem de pouso ser fixo.

Compósitos também ajudaram a mascarar a identificação de radar das aeronaves militares de concepções “stealth” ou invisível, como o B-2 e F-22.

A terceira vantagem dos compósitos é não estar sujeito à corrosão. A Boeing projetou e está fabricando o 787, com sua fuselagem toda em material composto, para obter um maior diferencial de pressão de cabine e maior umidade relativa do ar na cabine dos aviões, de modo a oferecer melhor conforto aos passageiros. Os engenheiros não estão mais preocupados com a corrosão provocada pela condensação da umidade sobre as áreas escondidas dos revestimentos da fuselagem. Isso deve contribuir para a redução dos custos de manutenção a longo prazo.

Outra vantagem dos compostos é o seu bom desempenho em um ambiente de flexão, como nas lâminas de rotor de helicóptero. Compósitos não sofrem de fadiga nem desenvolvem microrrachaduras, como o metal. Por isso as pás do rotor produzidas com compósitos podem ter uma vida consideravelmente mais longa do que as lâminas de metal.

### **Desvantagens dos compósitos**

A construção em compósitos vem com seu próprio conjunto de desvantagens também, a mais importante das quais é a falta de prova visual de dano. Compósitos respondem ao impacto de modo diferente de outros materiais estruturais e, frequentemente, não se encontra nenhum sinal óbvio de dano. Por exemplo, se um carro, ao manobrar, encostar em uma fuselagem de alumínio, pode provocar uma moxa ou deformação no local. Se não houver nenhuma deformação visível, então, não houve nenhum dano. Nas estruturas metálicas, se a fuselagem é prejudicada, o dano é visível e os reparos a serem feitos são facilmente determinados.

Em uma estrutura em compósito, um impacto de baixa energia, tais como uma colisão ou uma queda de ferramenta, pode não deixar qualquer sinal visível do impacto sobre a superfície, mas debaixo do local do impacto pode haver **delaminações** extensas, espalhando-se em uma área em forma de cone, a partir do local do impacto. Os danos no outro lado da estrutura podem ser significativamente importantes, mas podem não estar a vista. Nesses casos, por menor que seja o impacto sofrido pela estrutura, é melhor chamar um inspetor familiarizado com materiais compósitos para examiná-la e determinar o dano subjacente.

Delaminação – Utiliza-se o termo delaminação para se referir a situações em que temos separação de estruturas que habitualmente ficam unidas. No caso dos compósitos, refere-se à separação das camadas de fibras entre si ou de fibras da matriz.

Um impacto energético médio resulta em locais de esmagamento da superfície, que deve ser visível a olho nu, mas também, nesse caso, a área danificada é muito maior que a área de dano visível. Quanto a um impacto de alta energia, como uma colisão com pássaros ou granizo durante o voo, o resultado será uma estrutura bastante danificada.

O potencial dano por calor para a resina é outra desvantagem do uso de compósitos. Apesar do limite de temperatura depender do sistema da resina empregada, os **epóxis** começam a enfraquecer acima de 66°C. A pintura branca em compósitos é frequentemente usada para minimizar esse problema. Por exemplo, a parte inferior de uma asa que é pintada de preto em um pátio de asfalto num dia quente e ensolarado, pode atingir até 100°C. Na mesma condição, a mesma estrutura pintada de branco raramente excederá os 60°C. Por isso, os aviões de material composto têm recomendações específicas sobre as cores permitidas da pintura.

Epóxi – Uma resina epóxi ou poliepóxido é um plástico termofixo que se endurece quando se mistura com um agente catalisador. Atualmente, as resinas epóxis são utilizadas por uma infinidade de aplicações, inclusive na fabricação dos materiais compósitos.

Além disso, decapantes químicos são muito prejudiciais para materiais compósitos, e não devem ser usados sobre eles. Se houver necessidade de remoção de tinta, ela só deverá ser feita por meio de métodos mecânicos. Muitas peças caras de material composto foram arruinadas pelo uso de decapantes e, pior ainda, tais danos geralmente não são passíveis de reparação.

## **Os derrames de fluidos em compósitos**

Alguns operadores são preocupados com derramamento de combustível, óleo, fluido hidráulico ou outros líquidos sobre superfícies compostas. Esse, de modo geral, não é um problema para os compósitos modernos, usando resina epóxi. Normalmente, se o vazamento não ataca a pintura, ele não vai afetar o compósito subjacente.

## **Proteção às descargas elétricas**

A proteção às descargas elétricas é uma consideração importante no projeto do avião. Quando um avião é atingido por um raio, uma quantidade muito grande de energia é entregue à estrutura. Tanto num pequeno avião da aviação geral como em um de grande porte, o princípio básico de proteção contra descargas atmosféricas é o mesmo. Para o tamanho de qualquer aeronave, a energia da descarga deve ser espalhada por uma grande área, para diminuir a quantidade de ampères por centímetro quadrado a um nível inofensivo. Se um raio atinge um avião de alumínio, a energia elétrica, naturalmente, é conduzida facilmente por meio da estrutura metálica. O revestimento exterior da aeronave é o caminho de menor resistência.

Em uma aeronave de compósitos, a fibra de vidro é um excelente isolante elétrico, enquanto a fibra de carbono conduz eletricidade, mas não tão facilmente como o alumínio. Portanto, uma condutividade elétrica adicional precisa ser adicionada à camada externa do revestimento. Isso é feito tipicamente com malhas finas do metal ligado à superfície do revestimento. Alumínio e malha de cobre são os dois tipos mais comuns, com o alumínio usado em fibra de vidro e cobre em fibra de carbono.

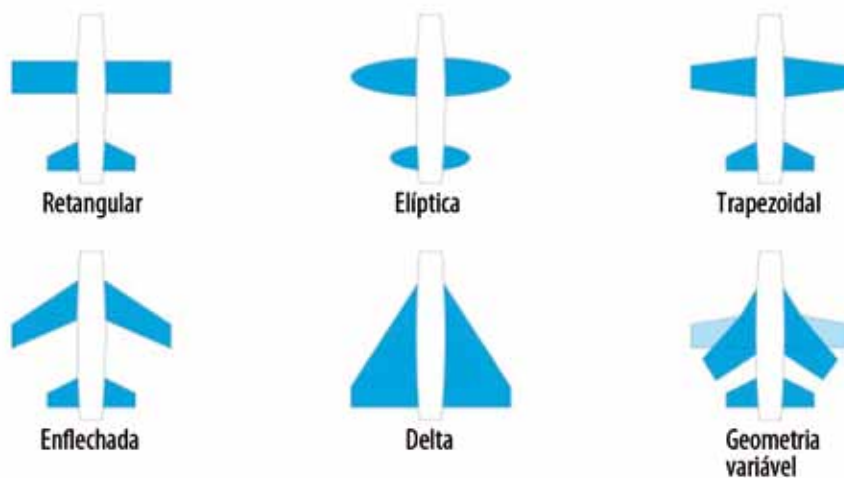
## O futuro dos compósitos

Nas últimas décadas, desde a Segunda Guerra Mundial, os compósitos têm ganhado um papel importante no projeto da estrutura da aeronave. Sua flexibilidade de design e resistência à corrosão, bem como as relações de alta resistência-peso possível, sem dúvida, continuarão a contribuir para a criação de projetos de aeronaves mais inovadoras no futuro. Do pequeno Cirrus SR-20 aos gigantes Boeing 787 e Airbus A380, fica evidente que o uso dos compósitos tem encontrado um lugar na construção de aeronaves, e estão aqui para ficar.

## A construção das asas

As asas são aerofólios conectados a cada lado da fuselagem e são as principais superfícies de sustentação que mantêm o avião em voo. Existem inúmeros projetos de asas, tamanhos e formas usadas pelos vários fabricantes. Cada um cumpre um determinado objetivo em relação ao desempenho esperado para aquele determinado avião.

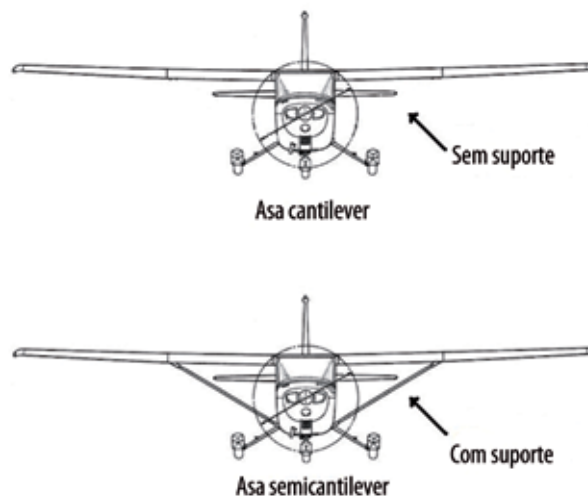
Figura 1.17 – Classificação das asas



Fonte: Wapedia, 2011.

A estrutura das asas é classificada quanto à sua fixação. Para os aviões de asa baixa e alguns de asa alta, que suportam toda a carga aerodinâmica sem a necessidade de suportes externos, esses conjuntos são chamados de asa cantilever. Muitos aviões de asa alta têm um suporte externo de asa que transmitem as cargas de voo e de pouso por meio deles, para a estrutura da fuselagem principal. Uma vez que esses suportes são geralmente instalados a cerca de meio caminho do comprimento da asa, esse tipo de estrutura de asa é chamado semicantilever.

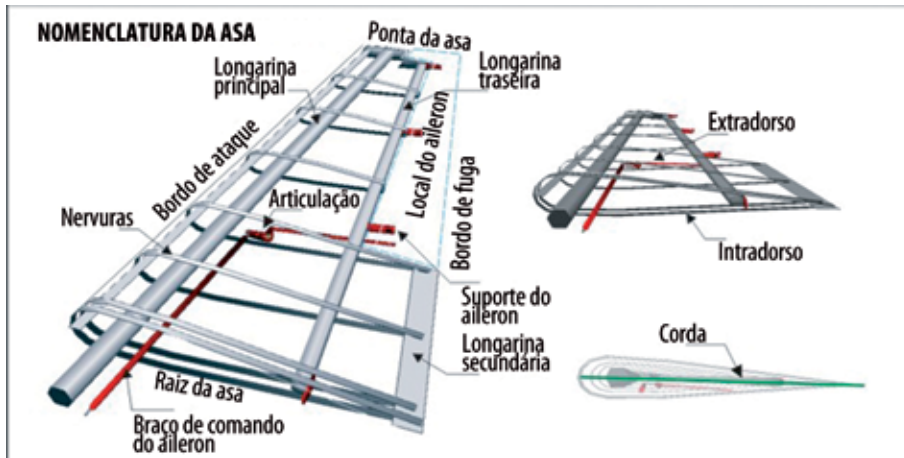
Figura 1.18 – Asa cantilever e semicantilever



Fonte: Homa, 2010.

As principais partes estruturais da asa são as longarinas, as nervuras e os reforçadores. As longarinas são os principais elementos estruturais da asa, mas são as nervuras que dão o formato aerodinâmico à asa e transmitem os esforços aerodinâmicos do revestimento para a longarina. Esses conjuntos são reforçados por treliças, vigas, tubos ou outros dispositivos, incluindo o revestimento.

Figura 1.19 – Nomenclatura da asa



Fonte: Aviação Geral, 2010.

Nas asas de construção com revestimento não estrutural como as telas, existem ainda os montantes – reforços ou suportes estruturais aplicado às nervuras entre a longarina principal e a traseira – para suportar os esforços de compressão e os tirantes ou cabos de aço esticados em diagonal, para suportar os esforços de tração.

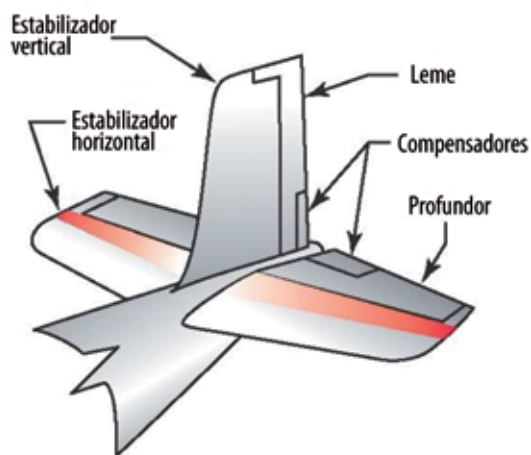
Na maioria dos aviões modernos, os tanques de combustível são parte integrante da estrutura da asa, ou consistem em recipientes flexíveis montados dentro da asa. A parte lateral da asa que é fixada a fuselagem é chamada de raiz da asa, sendo que no outro extremo temos a ponta da asa. A parte lateral dianteira, que é a primeira a deslocar o fluxo de ar, é chamada de bordo de ataque, enquanto no seu oposto, a parte traseira, está o bordo de fuga.

A parte superior da asa é chamada de extradorso e a inferior de intradorso. Nas asas ainda existem os elementos móveis, geralmente localizados no bordo de fuga, tendo como função controlar o voo do avião, esses são chamados de superfícies de controle, como os ailerons e flapes, que estudaremos mais adiante.

## A empenagem

A empenagem é o conjunto de superfícies destinadas a estabilizar o voo. Esse conjunto geralmente compreende duas partes, uma vertical e outra horizontal, que compõem toda a cauda da aeronave, consistindo em superfícies fixas e móveis. Essas superfícies se opõem à tendência de guinada (superfície vertical) e de variação do *pitch*, ou seja, variação da atitude do nariz de subir ou descer (superfície horizontal).

Figura 1.20 – A Empenagem



Fonte: Núcleo Infanto-Juvenil de Aviação, 2011. Adaptado.

A superfície horizontal é composta pelo estabilizador horizontal que é fixo e pelo profundor que é móvel. O profundor, que é conectado à parte posterior do estabilizador horizontal, é utilizado para mover o nariz do avião para cima e para baixo durante o voo. Há empenagens em que a superfície horizontal é inteiriça e toda móvel, sem a divisão estabilizador/profundor.

A superfície vertical é composta pelo estabilizador vertical, fixo, e pelo leme de direção, móvel, que está ligado à parte traseira do estabilizador vertical. Durante o voo, ele é usado para mover o nariz para a esquerda ou para a direita.

## As superfícies de controle ou de comando

As partes móveis das asas e da empenagem são chamadas de superfícies de controle, pela óbvia função de controlar o voo do avião. Elas são divididas em superfícies primárias, ou principais, e superfícies secundárias.

As superfícies primárias são os ailerons, o leme de direção e o profundor, pois são eles que controlam os movimentos de rolagem, de guinada e de arfagem do avião.

## Outros componentes e superfícies secundárias

Nas superfícies de controle primárias existem os compensadores. Esses compensadores (*trim tabs*) são pequenas partes móveis do bordo de fuga dos ailerons, leme e profundor que podem ser controlados pelo piloto, a fim de reduzir as pressões nos controles e, portanto, o esforço necessário no manche para manter o voo da aeronave. Existem ainda, em algumas asas, principalmente nos aviões maiores e mais rápidos, superfícies auxiliares chamadas de flaps, slats e spoilers.

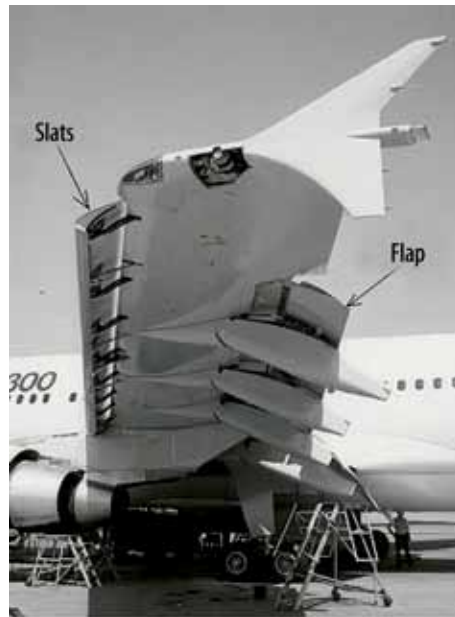


---

Os flaps e slats fazem parte da asa e são denominados dispositivos hipersustentadores. Essas superfícies ficam "carenadas" durante a maior parte do voo, mas durante as decolagens, aproximações e pousos, elas são estendidas de modo a aumentar a área das asas e, portanto, permitir que elas produzam maior sustentação. Assim, é possível levantar voo ou pousar com velocidades bem menores do que aquelas exigidas pela asa "limpa".

---

Figura 1.21 – Flaps e Slats



Fonte: Lito, 2011.

Os spoilers, ou freios aerodinâmicos, tem como principal função impedir que a velocidade do avião aumente excessivamente durante uma descida, mas também são usados para aumentar a razão de descida ou conseguir uma desaceleração mais rápida. São geralmente parte da asa de aviões de alta velocidade e também podem auxiliar a operação dos ailerons, como veremos na próxima seção.



Ailerons, leme e profundor são superfícies de comando primárias. Flaps, slats, spoilers e compensadores são superfícies secundárias.

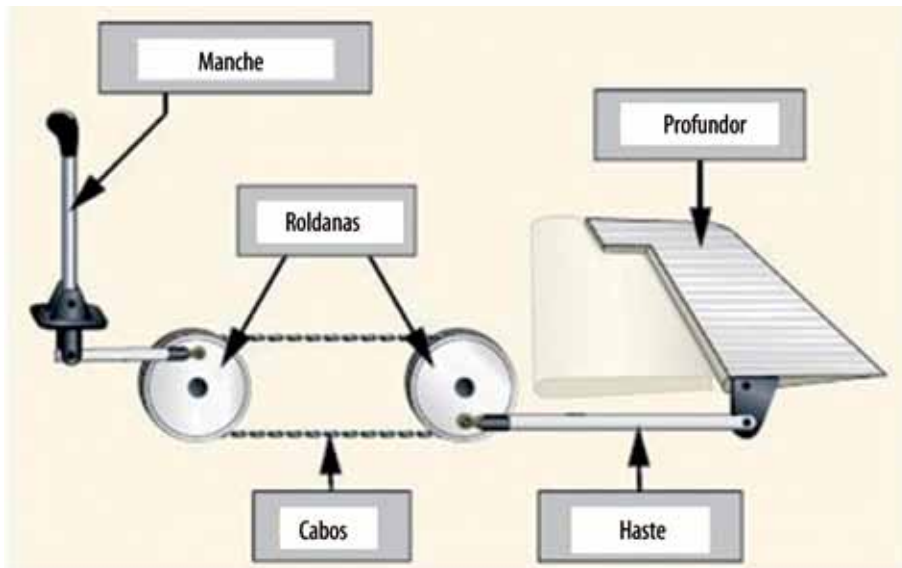
---

Existem ainda na estrutura de um avião um significativo número de itens secundários, como, por exemplo, portas, carenagens, janelas e tampas de inspeção de remoção rápida, tanques auxiliares de combustível, componentes aerodinâmicos, como os *winglets*, que são elementos para reduzir o arrasto induzido, como se tivéssemos “dobrado” a ponta das asas para cima.

## Seção 5 – Os controles de voo

O sistema de controle de voo dos modelos de aeronaves mais simples são mecânicos e datam dos primórdios da aviação. Operam com uma coleção de peças mecânicas, tais como hastes e varetas, eixos, cabos, polias e, às vezes, até correntes para transmitir as forças que o piloto faz no manche e nos pedais da cabine, também conhecidos como comandos de voo, para as superfícies de controle do avião, ou seja, o profundor, os ailerons, o leme e os compensadores.

Figura 1.22 – Sistema básico de controles de voo



Fonte: Flight Learnings, 2009.

Conforme a aviação foi amadurecendo e com os projetistas de aeronaves aprendendo mais sobre a aerodinâmica, a indústria passou a produzir aeronaves maiores e mais velozes. Portanto, as forças aerodinâmicas atuando sobre as superfícies de controle aumentaram exponencialmente. Para tornar adequada a força exigida dos pilotos no manuseio dos comandos de voo, engenheiros de aeronaves desenvolveram sistemas cada vez mais complexos.

Inicialmente, utilizaram sistemas hidromecânicos, constituídos por um circuito mecânico e um circuito hidráulico que, atuando em conjunto, reduziram a complexidade, o peso e as limitações dos sistemas de controles de voo mecânico. Para quem já dirigiu automóvel com e sem direção hidráulica sabe o tamanho dessa

evolução. Esse tipo de sistema funciona da mesma maneira, ou seja, são sistemas acionados mecanicamente, mas atuados hidraulicamente, como consequência, o esforço necessário para a pilotagem é bem menor.

Depois, as aeronaves se tornaram ainda mais sofisticadas e as superfícies de controle passaram a ser acionadas por motores elétricos, computadores digitais e cabos de fibra óptica. Chamado de “fly-by-wire”, esse sistema de controle de voo substituiu por uma interface elétrica a conexão física entre os comandos do piloto e as superfícies de controle de voo.

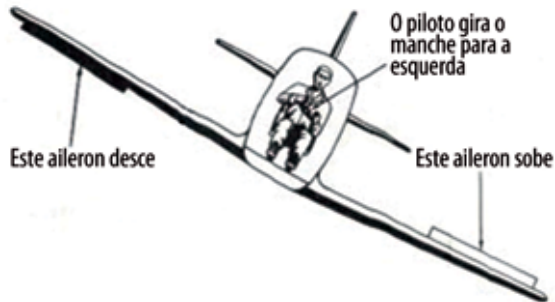
O próximo passo está numa pesquisa atualmente desenvolvida pela NASA, que envolve o Sistema de Controle de Voo Inteligente – IFCS na sigla em inglês (Intelligent Flight Control Systems). O objetivo desse projeto é desenvolver um sistema de controle de voo adaptativo, como uma rede neural. Aplicada diretamente ao sistema de controle de voo, ele é realimentado pelos erros encontrados de modo contínuo durante o voo, e o IFCS promove os ajustes necessários tanto para melhorar o desempenho da aeronave em voo normal, como para manter o voo com falhas do sistema. Com o IFCS, um piloto é capaz de manter o controle e pousar com segurança um avião que sofreu uma falha em uma superfície de controle ou que tenha algum dano na aeronave. Também melhora a capacidade operacional, aumenta a confiabilidade e segurança de voo, facilitando o trabalho do piloto. Você que está começando sua carreira agora, provavelmente irá pilotar em breve um avião com esse sistema.

## **A pilotagem**

Como já vimos, o piloto controla as forças de voo, a direção e as atitudes da aeronave por meio dos comandos de voo, ou seja, do manche e dos pedais. Para ter o controle, ele atuará nas superfícies de controle de voo e, por consequência, terá o controle dos movimentos do avião, a fim de conseguir executar a manobra necessária para manter o voo.

Assim, o manche controla dois movimentos, o de rolagem e o de arfagem. Ao mover lateralmente o manche, o piloto ativar  os ailerons de cada asa que se movem em dire es opostas, ou seja, quando o aileron de uma asa se levanta o da asa oposta se abaixa para criar forças aerodinâmicas que causam a inclina o ou rolagem do avião.

Figura 1.23 – Movimento de rolagem



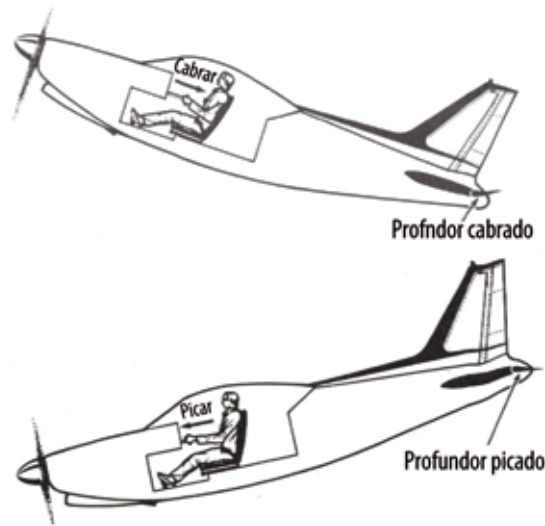
Fonte: HOMA, 2010.



O acionamento dos ailerons provoca o movimento de rolagem (*roll*), inclinando o avião para a direita ou para a esquerda.

O movimento longitudinal do manche, ou seja, o movimento para frente ou para trás aciona o profundor que controla o movimento de arfagem ou a atitude de subida (cabrar) ou de descida (picar).

Figura 1.24 – Movimento de arfagem



Fonte: HOMA, 2010.



O acionamento do profundor altera o *pitch*, que é a posição do nariz do avião em relação à linha do horizonte.

---

Os pedais servem para guinar o avião. Ao acionar os pedais, o piloto faz a atuação do leme, que provoca o movimento de guinada do avião, alterando sua proa para a direita ou para a esquerda, da mesma forma que o leme de um barco.

Figura 1.26 – Movimento de guinada

Fonte: HOMA, 2010.



O acionamento do leme gera a guinada que é a posição do nariz do avião em relação a seu eixo vertical.

---

Devido à grande variedade de sistemas de controle de voo e de características aerodinâmicas, é importante que o piloto se familiarize com a aeronave que irá voar. A fonte primária de informação para isso é o manual de voo da aeronave e o seu fabricante.



## Síntese

Nesta unidade, vocês viram que levamos séculos para desenvolver o conhecimento necessário para produzir máquinas voadoras. Em seguida, entendemos que as aeronaves são classificadas como aeróstatos – mais leves que o ar (balões) – ou aeródinos – mais pesados que o ar (aviões) – dependendo do conceito da física que empregam para manter-se em voo. Cabe ressaltar que existem várias outras classificações das aeronaves com relação a sua construção e fixação das asas, quantidade de motores, seu tamanho ou peso, seu uso etc.

Estudamos também a construção das aeronaves, os seus principais componentes, os materiais empregados, suas vantagens e desvantagens e as principais estruturas conhecidas.

Para facilitar o entendimento do funcionamento de um avião, fizemos uma pequena introdução da teoria de voo e discutimos as quatro principais forças atuantes durante o voo: o peso, a sustentação, a tração e o arrasto; e vimos como o piloto deverá usar os controles de voo para gerenciar essas forças e manobrar a aeronave em torno de seus três principais eixos, provocando os movimentos de rolagem, arfagem e de guinada, de forma isolada ou coordenadamente.



## Atividades de autoavaliação

Ao final de cada unidade, você realizará atividades de autoavaliação. O gabarito está disponível no final do livro didático. Mas esforce-se para resolver as atividades sem ajuda do gabarito, pois, assim, você estará promovendo (estimulando) a sua aprendizagem.

1) Preencha os espaços em branco para tornar verdadeira as afirmações:

a) O tipo de fuselagem que é construído com cavernas, longarinas e revestimento é chamado \_\_\_\_\_.

b) O \_\_\_\_\_, os \_\_\_\_\_ e o \_\_\_\_\_ são superfícies de controle primária. Já os flapes e os slats são denominados \_\_\_\_\_.

c) A asa do tipo \_\_\_\_\_ é fixada na \_\_\_\_\_ da fuselagem por meio de suporte e estais. Se a asa não tiver suportes é do tipo \_\_\_\_\_.

2) A estrutura das aeronaves deve resistir a diversos esforços durante a operação do avião. Descreva quais são estes esforços, identifique qual deles provoca tensões opostas numa mesma peça, exemplifique cada um deles e defina qual a natureza das forças atuantes causadoras desses esforços.

---

---

---

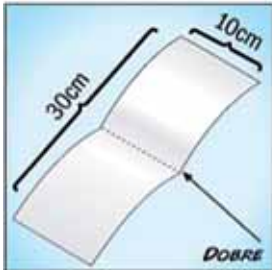
---

3) Faça a experiência aerodinâmica da figura abaixo. Depois descreva sua observação e as forças envolvidas.

### ▼ Experiência de aerodinâmica

Para montar uma asa de avião de papel, você vai precisar de:

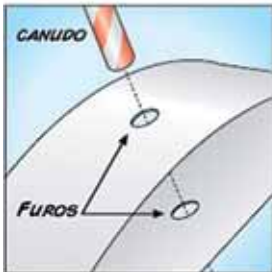
- cartolina
- tesoura
- cola branca
- canudo de refresco
- linha de pesca ou barbante fino



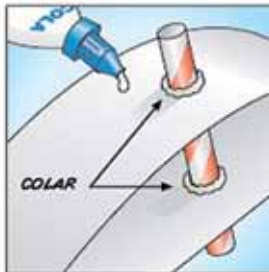
1 - Corte um retângulo de cartolina, de 10 por 30 cm. Dobre a tira pela metade, vincando bem.



2 - Passe cola ao longo de 1cm de uma das pontas e cole a parte superior a 4cm da outra extremidade. A tira deverá ficar curvada.



3 - Faça dois furos na cartolina, para passar o canudo bem justinho.



4 - Cole o canudo na cartolina, mantendo a parte de cima encurvada.

5 - Passe a linha pelo canudo e mantenha-a esticada. Vire a asa contra o vento e ela subirá!



Arte: Denis de Marchi

DGABC (www.dgabc.com.br)

Fonte: DGABC. Arte: Denis de Marchi.



## Saiba mais

Se você desejar, aprofunde os conteúdos estudados nesta unidade, consultando as seguintes referências:

TALAY, Theodore A. **Introduction to the aerodynamics of flight**. Langley Research Center. NASA Washington DC. 1975.

SAINTIVE, Newton Soler. **Teoria de Voo – Introdução à aerodinâmica**. ASA Brasil 2001.

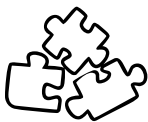
PRADINES, Luiz. **Fundamentos da teoria de vôo**. Edições Inteligentes. Brasil 2004

# Sistemas de aeronaves



## Objetivos de aprendizagem

- Conhecer os sistemas das aeronaves.
- Identificar os principais conjuntos de cada sistema do avião.
- Compreender o funcionamento de cada sistema das aeronaves.
- Entender o conceito de redundância em caso de falhas.



## Seções de estudo

**Seção 1** Sistema mecânico

**Seção 2** Sistema hidráulico, trem de pouso e de controles de voo

**Seção 3** Grupo motopropulsor, sistemas de combustível e de proteção contra fogo

**Seção 4** Sistema pneumático, pressurização, ar-condicionado e de proteção antigelo

**Seção 5** Sistema elétrico e iluminação



## Para início de estudo

Nós já vimos como surgiu o avião, quais são seus componentes estruturais e como ele é construído. Agora iremos nos aprofundar nos estudos para entender como ele funciona, quais são os conjuntos auxiliares que compõe esta máquina, quais são os princípios de funcionamento, componentes típicos, as finalidades dos diversos sistemas e como eles interagem entre si de modo a tirar o melhor rendimento deles e, portanto, da aeronave.

Na construção das aeronaves, muitas matérias de várias áreas do conhecimento como metalurgia, resistência dos materiais, física, dentre outras, estão envolvidas. Essa viagem do conhecimento continuará à medida que veremos um pouco de química, de física, falaremos de fluídos, escoamento, mistura de combustíveis, hidráulica e eletricidade. Procure sempre identificar no assunto abordado qual é a disciplina envolvida e faça consultas, pesquisas, relembre os seus estudos do ensino médio. Isso lhe dará uma base melhor para entender seu futuro avião e como tornar seu voo mais seguro e eficiente.

Boa Viagem!

## Seção 1 – Sistema mecânico

Um sistema é um conjunto de elementos interconectados, de modo a formar um todo organizado. Essa é uma definição que serve para sistema em várias disciplinas, como engenharia, medicina, biologia, informática etc.

O primeiro a desenvolver o conceito de um “sistema” nas ciências naturais foi o físico francês Nicolas Léonard Sadi Carnot, que estudou termodinâmica no século XIX. Em 1824, ele estudou os motores a vapor e chamou de substância de trabalho e corpo de trabalho, a capacidade de uma massa de vapor de água de uma caldeira produzir trabalho quando o calor é aplicado a ela em conjunto a um pistão. Porém, vale salientar que os sistemas mecânicos existem desde a pré-história, podendo dizer que com a invenção da roda foram desenvolvidos os primeiros sistemas mecânicos realmente eficientes (BERTHANLANFFY, 1975).



---

O termo “sistema” significa combinar, ajustar, formar um conjunto (MICHAELIS, 2009).

---

Todo sistema possui um objetivo geral a ser atingido. Os sistemas mecânicos são conjuntos constituídos de elementos físicos como eixos, polias, cabos, fios, baterias, motores, bombas, fluidos etc., que podem ser projetados e construídos com o intuito de substituir ou realizar um determinado trabalho em benefício do homem. São compostos por conjuntos de componentes funcionais, partes ou elementos que se relacionam entre si. A integração entre esses componentes pode se dar por fluxo de informações, fluxo de matéria, fluxo de energia, enfim, há uma “comunicação” entre os componentes de um sistema (BERTHANLANFFY, 1975).

A boa integração dos elementos componentes do sistema é chamada de sinergia, determinando que as transformações ocorridas em uma das partes influenciarão todas as outras. A alta sinergia de um sistema faz com que seja possível a esse cumprir sua finalidade e atingir seu objetivo geral com eficiência; por outro lado, se houver falta de sinergia, pode implicar mau

funcionamento do sistema, vindo a causar, inclusive, falha completa, inoperância, falência, pane, queda do sistema etc. (BERTHANLANFFY, 1975).



---

Os sistemas são dinâmicos e têm componentes e fluxos, que devem permanecer em sinergia ao longo do tempo.

---

Um sistema que interage com o seu meio pelas entradas e saídas é declarado como um sistema aberto. A maioria dos sistemas mecânicos é aberta, ou seja, trocam matéria e energia com o seu entorno, por exemplo, um circuito elétrico tem necessidade de ventilação para sua refrigeração, ou seja, há troca de calor com o meio a sua volta. Já um motor a combustão recebe combustível e ar (entrada), eliminando gases (saídas) na atmosfera.



---

Mas afinal, o que toda essa teoria tem a ver com o avião?

---

A aeronave nada mais é que uma máquina composta por vários sistemas que produzem algum trabalho com o objetivo de fazê-la voar. O grupo moto-propulsor, ou resumidamente o motor, produz o movimento de rotação, com a potência necessária para haver tração. Os controles de voo podem ser acionados a distância pelo piloto, a partir da cabine de comando, graças a sistemas mecânicos e hidráulicos. A energia elétrica para o funcionamento de lâmpadas a computadores de bordo é gerada e distribuída por um sistema elétrico da aeronave. Enfim, tudo o que é necessário para fazer o avião funcionar, decolar, manter-se em voo e pousar é produzido por um ou mais sistemas da aeronave (BERTHANLANFFY, 1975).

## A lei de Murphy

Você já deve ter ouvido falar na famosa Lei de Murphy. A expressão teve origem quando o capitão Edward A. Murphy Jr., engenheiro da Força Aérea Americana, participava de testes de engenharia. Ao introduzir um novo equipamento de medição nos testes, os sensores não informaram nenhum resultado. Ao pesquisar o problema ele descobriu que a instalação fora feita de modo errado. Quando Murphy descobriu o erro, resmungou alguma coisa sobre o técnico, que foi supostamente responsabilizado pelo estrago. Murphy disse algo como “se há duas formas de fazer alguma coisa e uma delas vai resultar em um desastre, é assim que ele vai fazer”. O Coronel Stapp, colega de Murphy, conhecido por seu senso de humor e perspicácia, reconheceu a universalidade do que Murphy havia dito e em uma coletiva de imprensa disse que a segurança da equipe de testes deveu-se à **Lei de Murphy**. Ele disse à imprensa que a Lei significava que “Tudo que pode dar errado vai dar errado”. Bastou isso. A Lei de Murphy começou a aparecer em publicações aeroespaciais e, logo depois, caiu na cultura popular (CLARK, 2012).

E pode ser isso mesmo. Não é devido a algum poder misterioso que a lei tenha. Na verdade, somos nós que damos importância à Lei de Murphy. Quando tudo dá certo, nem pensamos nisso. Afinal, esperamos que as coisas funcionem a nosso favor. Mas quando algo dá errado, procuramos razões.

Pense sobre dirigir seu carro. Quantas vezes você chegou ao seu destino e pensou “Nossa! Eu dirijo muito bem e meu carro é ótimo”? Mas se o carro te deixar a pé no meio do caminho, aposto que você vai pensar por que isso tinha que acontecer com você.

A Lei de Murphy tira vantagem da nossa tendência de enfatizar o negativo e não perceber o que é positivo. Ela se baseia nas leis da **probabilidade** – a possibilidade matemática de que algo vai acontecer.

## O fatalismo e o apelo da lei de Murphy

Então, por que a Lei de Murphy é um conceito tão universal? Afinal, quando chegamos perto de uma tomada com um plugue de dois pinos, projetado para encaixar de um jeito só, temos

uma chance de 50% de encaixarmos do jeito certo. Por outro lado, também temos 50% de chance de encaixar errado. Talvez a melhor explicação para a nossa atração pela Lei de Murphy seja um senso latente de fatalismo.



---

**Fatalismo** é a ideia de que somos todos impotentes diante dos caprichos do destino. Essa ideia diz que as coisas que acontecem para nós são inevitáveis, como, por exemplo, aquele carro que te deixou a pé, ou seja, há certa lei universal em ação que gosta de brincar conosco. (CLARK, 2012)

---

O fatalismo contradiz outro conceito – o livre arbítrio. Essa é a ideia de que os homens possuem liberdade de escolha e que todas as nossas escolhas e as consequências que vêm com elas são de nossa responsabilidade.

Talvez nossa conexão com a Lei de Murphy seja o resultado do choque entre o livre arbítrio e o fatalismo. Por um lado, a Lei de Murphy nos revela nossa própria e inegável estupidez. Se tivermos a chance de fazer alguma coisa errada, faremos errado algumas vezes. Mas isso vem de nossas próprias escolhas.



---

A segurança operacional do avião e de seus sistemas depende das nossas escolhas como projetistas, mecânicos e aviadores. Os sistemas são dinâmicos e podem falhar, e sua falha não pode pôr em risco a manutenção do voo.

---

A Lei de Murphy não prova nada, não explica nada. Simplesmente expressa uma máxima: que as coisas vão dar errado em algum momento. Mas nós esquecemos de que há outras forças em ação quando falamos da Lei de Murphy. Alguém já afirmou que não interessa quantas vezes você derrube uma fatia de pão no chão, ela sempre cairá com a manteiga para baixo. A observação demonstra o que a maioria de nós já sabe: a vida é difícil, quase ao ponto de ser engraçada.

Mas quanto à fatia de pão com manteiga, devemos levar em conta o fato de que um lado está mais pesado que o outro. Significa que no seu caminho até o chão, o lado mais pesado vai virar para baixo graças à lei da gravidade. Afinal, o lado da manteiga é mais pesado do que o lado sem manteiga. Então, a afirmação é correta: uma fatia de pão com manteiga vai sempre cair com a manteiga para baixo.



Se algo der errado com você não se desculpe assumindo que foi uma fatalidade. Existirá sempre algum estudo que poderá explicar qual foi o erro e como é possível evitá-lo.

A Lei de Murphy lembra aos técnicos, engenheiros e pilotos uma verdade muito simples: sistemas falham. Em alguns casos, a falha de um sistema significa que o experimento deve ser repetido. Em outros casos, o resultado de uma falha pode custar muito mais caro.

Foram os estudos de acidentes, junto com a consciência da Lei de Murphy, que levaram os projetistas a instalar **dispositivos de segurança**. Há vários exemplos desses equipamentos à nossa volta. Alguns são sistemas que usam escolhas limitadas para reduzir erros como, por exemplo, as tomadas de três pinos não nos deixam conectá-las de outro modo que não o correto. Outros são mecanismos que evitam que as coisas passem de ruim para pior, em caso de falha.

Mas os dispositivos de segurança só protegem quanto a erros operacionais. E no caso de falha funcional, como poderemos ter a garantia de que o sistema continuará funcionando corretamente? Nos sistemas das aeronaves, por exemplo, a proteção mais importante para garantir o seu funcionamento correto, mesmo que parcialmente, é o uso de **redundâncias**.

No seu carro existe um circuito elétrico que garante o funcionamento do motor, do rádio, dos faróis etc. A energia para esse circuito é fornecida pelo alternador, que nada mais é que um pequeno gerador movido pelo motor do automóvel. E se o alternador falhar? Todo o sistema se torna inoperante, nada mais funcionará, pois não há energia elétrica disponível. Qual

a solução encontrada? Fácil: instalar uma bateria que é mantida sempre carregada pelo próprio sistema. Assim, se o alternador falhar, a bateria pode suprir a energia necessária, mesmo que por um tempo limitado, mas o suficiente para você chegar até sua oficina.

Isto é o que chamamos de redundância, ou seja, um método secundário, que apoia e substitui o primário em caso de necessidade para manter o sistema em funcionamento. Assim, os sistemas das aeronaves são compostos por meios alternados de mantê-los funcionando, seja por equipamentos ou circuitos redundantes, seja por processos redundantes.



---

Redundância dentro dos sistemas ocorre quando a perda ou falha de uma peça ou de um processo é substituída por outra do mesmo sistema.

---

É por isso que as aeronaves, dependendo do seu tamanho, têm até cinco geradores, duas ou mais bombas de combustível por tanque, inúmeros computadores, válvulas e outros itens fazendo a mesma coisa: garantindo o funcionamento do sistema.

## Seção 2 – Sistema hidráulico, trem de pouso e de controles de voo

Os sistemas hidráulicos foram desenvolvidos no início do século XX, como um meio prático de transmissão de energia mecânica para um dispositivo de acionamento a metros de distância. Essa força é gerada por um pistão ou uma bomba, e é transmitida sob pressão por dutos e mangueiras.

Lei de Pascal: A pressão aplicada em um ponto de um fluido transmite-se igualmente para todas as partes deste fluido.

Os sistemas hidráulicos são baseados no princípio da física conhecido como **Lei de Pascal**, que assegura a incompressibilidade dos fluidos e a total transmissão de forças com perdas mínimas.

Assim, podemos pensar no uso dos sistemas hidráulicos para atuar um componente distante ou quando houver necessidade de aplicar grandes forças para acioná-lo.

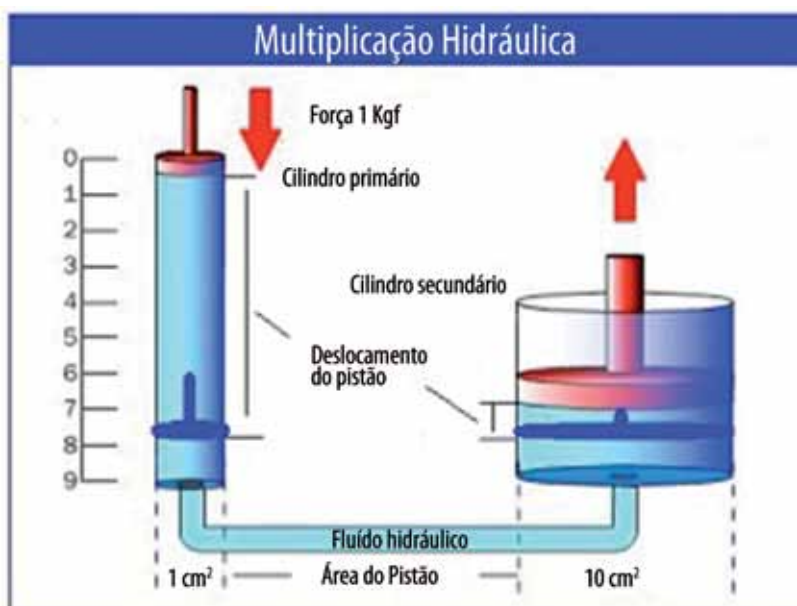


Podemos definir sistema hidráulico como sendo o conjunto das partes destinadas a acionar componentes por meio da pressão transmitida por um fluido.

### Princípio básico

O princípio básico por trás de qualquer sistema hidráulico é muito simples: a força que é aplicada em um ponto é transmitida para outro ponto por meio de um fluido. Inicialmente, foi usada a água como fluido, mas a pequena faixa de temperatura – a zero grau centígrado se solidifica e a 100 graus se vaporiza – desse líquido era uma grande restrição ao seu uso em sistemas hidráulicos. Assim, hoje em dia, o fluido utilizado é quase sempre algum tipo de óleo. O acionamento de um pistão em um lado do circuito hidráulico atuará, na mesma proporção, outro pistão em diferente ponto do circuito.

Figura 2.1 – Sistema hidráulico elementar composto por 2 cilindros conectados por tubulação com fluido. Demonstração de amplificação de forças.



Fonte: Adaptado de anjungsainssmkss.wordpress.com (2011).

Na Figura 2.1 podemos observar dois pistões que se encaixam em dois cilindros de vidro conectados por um tubo cheio de óleo. Se você aplicar uma força descendente no primeiro pistão (o da esquerda), então, a força é transmitida pelo fluido no tubo para o segundo pistão, que terá a capacidade de usar essa força ascendente para executar um trabalho.

É interessante notar que o tubo que conecta os dois cilindros pode ser de qualquer comprimento e tamanho, permitindo que ele desvie de qualquer obstáculo que separe os dois pistões. O tubo também pode bifurcar-se, de maneira que um cilindro mestre ou primário possa ativar mais de um cilindro atuador ou secundário, se necessário.

Nos sistemas hidráulicos é muito fácil multiplicar a força aplicada ao sistema. Tudo o que você precisa fazer é variar o tamanho da área de um pistão em relação ao outro. No sistema elementar mostrado na Figura 2.1 podemos observar que o cilindro secundário tem uma área 10 vezes maior do que o cilindro primário, assim, a força aplicada no cilindro primário é ampliada em 10 vezes no cilindro atuador, dizemos, então, que esse sistema tem um **rendimento mecânico** igual a 10.

Deve-se notar que a força aplicada será ampliada pelo rendimento mecânico do sistema, mas o deslocamento será dividido pelo mesmo fator. Desse modo, sempre que houver necessidade de se ampliar o deslocamento será necessário o emprego de uma bomba hidráulica no lugar do cilindro primário, acrescentando válvulas e um reservatório para permitir o seu acionamento repetitivo.

Os sistemas hidráulicos oferecem muitas vantagens sobre outros tipos de sistemas de acionamento mecânico. As bombas modernas são relativamente eficientes e as perdas por atrito são quase nulas.

As vantagens dos sistemas hidráulicos sobre outros métodos de transmissão de energia são:

- **Projeto mais simples** – Na maioria dos casos um conjunto de poucos componentes irá substituir complicadas ligações mecânicas.

- **Flexibilidade** – Componentes hidráulicos podem ser adaptados e instalados com grande flexibilidade. Canos e mangueiras, ao invés de elementos mecânicos rígidos, praticamente eliminam os problemas de instalação.
- **Suavidade** – Os sistemas hidráulicos são suaves e silenciosos em operação. A vibração é reduzida ao mínimo.
- **Controle** – O controle de uma vasta gama de velocidade fluxo e força é facilmente obtido.
- **Custo** – Alta eficiência com a perda de atrito mínimo mantém o custo baixo para transmissão de energia. Na aviação, isso significa conjuntos compactos, menor peso e menor consumo de combustível.
- **Proteção contra sobrecarga** – Válvulas automáticas de alívio do sistema protegem contra a sobrecarga.

A principal desvantagem de um sistema hidráulico é a necessidade de cuidados especiais para manter as peças de precisão livres de desgaste. Proteção contra a corrosão, sujeira, deterioração da lubrificação, e outras condições ambientais adversas é muito importante.

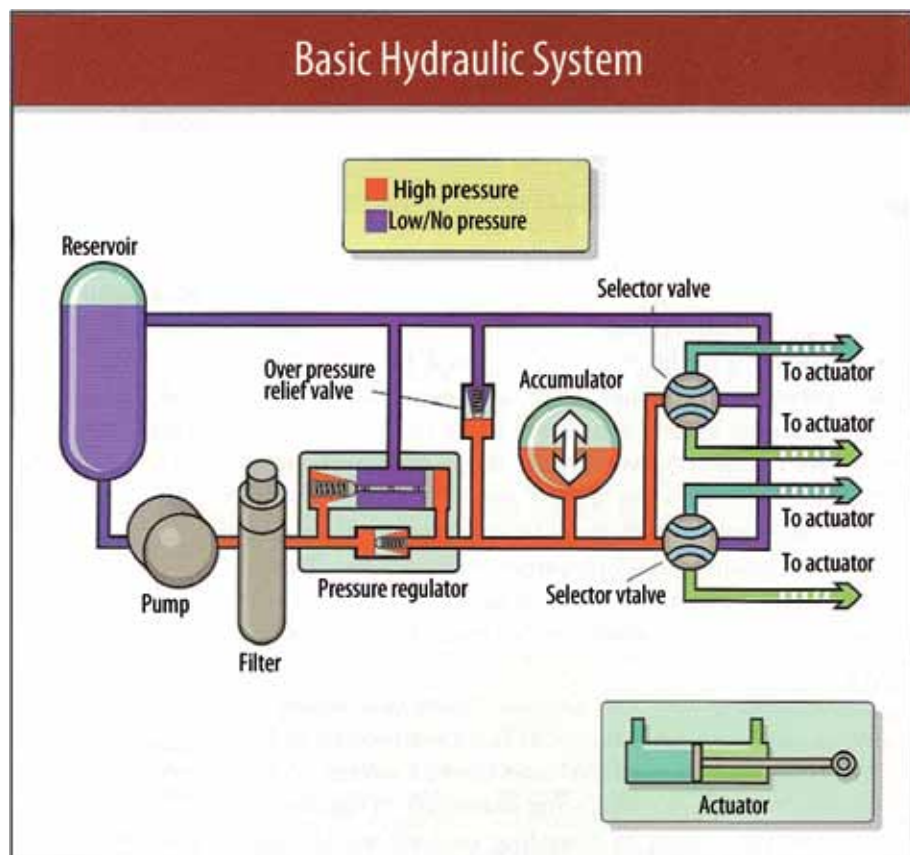
O primeiro conjunto mecânico a usufruir da praticidade da força hidráulica foram os freios. Os freios modernos são um bom exemplo de um sistema hidráulico movido a pistão. Quando você pisa no pedal do freio em seu carro, ele está empurrando o pistão do seu cilindro mestre. Quatro pistões secundários, um em cada roda, atuam para pressionar as pastilhas de freio contra o disco ou o tambor do freio, para parar o carro. Com isso, foram eliminados diversos itens mecânicos como cabos, conexões, varões, polias etc, por um pequeno conjunto de mangueira e pistões de fácil instalação.

Com o desenvolvimento da aviação, esses sistemas passaram a fazer as funções de “trabalho pesado”, como acionamento do trem de pouso e dos flaps que necessitam maior força mecânica do que poderia ser fornecida por motores elétricos e atuadores de peso ou tamanho aceitável para um avião.

Linhas de alta pressão hidráulica agora podem ser tão pequenas que são facilmente instaladas em torno da estrutura da célula e de outros sistemas. Perdas por atrito interno, associado a sistemas hidráulicos, são tipicamente menos de um por cento. Os componentes são internamente autolubrificantes e eles são relativamente pequenos e leves por causa das altas pressões de trabalho e de baixo atrito interno.

Como o fluido é incompressível e a pressão é mantida constante da bomba até o atuador, e a ação do atuador é virtualmente instantânea, ocorre logo que o fluido é encaminhado para o sistema que está sendo alimentado.

Figura 2.2 – Sistema hidráulico básico



Fonte: Fred George. Revista Business & Commercial Aviation, 2006.

Conforme mostrado na Figura 2.2, um sistema hidráulico básico possui um reservatório, bomba, filtro, regulador de pressão do acumulador, válvulas e seletor para encaminhamento de fluidos para sistemas movidos hidraulicamente.

O reservatório contém uma quantidade relativamente grande de fluido, permitindo a operação contínua do sistema, mesmo que pequenos vazamentos venham a ocorrer. O reservatório nunca é completamente cheio devido à variação do volume de fluido, de acordo com o fluxo de saída e de retorno necessário para atender as exigências do sistema hidráulico. Além disso, os fluidos se expandem e se contraem com as mudanças de temperatura, por isso é necessário deixar um espaço entre o nível máximo de fluido e o topo do reservatório.

O reservatório também proporciona um efeito “calmante” sobre o sistema, permitindo controlar a formação de espuma e minimizar sua circulação nas linhas. Existem **aletas** e defletores no interior do reservatório que servem para amortecer e dirigir as correntes de fluidos, permitindo, assim, que seja garantida a presença de fluido no ponto de coleta no fundo do reservatório.

O fluido hidráulico originalmente era utilizado apenas como fluido de freio e tinha origem vegetal. Tais fluidos naturais eram compatíveis com as mangueiras e selos de borracha natural. Com a necessidade de maior pressão nos sistemas hidráulicos, surgiram os fluidos à base de petróleo, pois são bons lubrificantes, não causam ferrugem interna nas partes e não se deterioram com o tempo. Mas como os fluidos à base de petróleo afetam os componentes de borracha natural, foi também necessário o desenvolvimento de componentes de borracha sintéticas.

O fluido à base de petróleo é vermelho vivo, para fácil identificação. Tem características de boa lubrificação e é formulado para manter a viscosidade relativamente constante ao longo de uma grande faixa de temperatura. Mas também é inflamável, com um ponto de combustão de aproximadamente 120° C. Continuam sendo usados até hoje.

Aletas: Lâmina ou placa plana ou curva, exposta a um fluxo de ar, gás ou líquido, de modo a ser impelida a desviar esse fluxo ou a mover-se ou a girar ao redor de um eixo, tal como as aletas de um moinho de vento; palheta (Moderno Dicionário da Língua Portuguesa).



Em 1948, os primeiros fluidos hidráulicos sintéticos foram introduzidos. Eles tinham um ponto de combustão em torno de 180° C, proporcionando maior proteção contra o fogo, além de sua combustão ser quase autoextinguível. Os primeiros fluidos sintéticos, no entanto, se tornavam “pegajosos” em temperaturas baixas, atacavam os acabamentos de pintura e eram irritantes para a pele. Esses problemas foram resolvidos na maior parte com os fluidos sintéticos de quinta geração, que foram introduzidos em meados da década de 1990. A marca mais comum é o Skydrol, utilizado em uma grande variedade de aviões hoje em dia. Os fluidos sintéticos são de cor rosa claro ou roxo, para torná-los fáceis de distinguir do fluido vermelho brilhante à base de petróleo, pois não se pode misturá-los, já que dois tipos de fluidos diferentes não são compatíveis.

---

A maioria das bombas hidráulicas são projetos de deslocamento positivo que exige certa pressão de entrada para garantir o funcionamento. Se a bomba está situada abaixo do reservatório, a gravidade irá fornecer a pressão necessária, caso contrário, será necessário prover uma pressão positiva na linha de entrada da bomba. O reservatório do sistema hidráulico é geralmente pré-carregado com nitrogênio para ajudar ou garantir essa pressão positiva na entrada da bomba.

Muitos projetos de bomba de pistão têm uma característica de deslocamento variável que lhes permite ajustar a produção do volume de fluido com as mudanças na demanda do sistema. Esse recurso ajuda a prevenir quedas de pressão quando grandes quantidades de fluido são necessárias para operar os sistemas de alta demanda, como o trem de pouso e os atuadores dos flaps.

Saindo da bomba, o fluido pressurizado passa por um filtro que segura os detritos que possam existir, ajudando, assim, a evitar a erosão e desgaste de componentes e selos de vedação.

Um regulador de pressão do fluido permite a passagem do fluido para todos os componentes, até que a pressão do sistema atinja um limite desejado. Em seguida, ele abre suas válvulas como necessário para desviar o fluido hidráulico de volta para o reservatório, de modo a manter uma pressão constante, pré-determinada na linha, conforme o fluido é fornecido durante o trabalho ou quando os vários sistemas de comando hidráulico são desligados.

As aeronaves menores, que têm apenas alguns itens de uso ocasional acionados hidráulicamente, são tipicamente equipadas com sistemas hidráulicos de 1.500 psi de pressão. Aeronaves maiores, especialmente aquelas com vários sistemas acionados hidráulicamente, normalmente são equipadas com sistemas de 3.000 psi, que fornecem a energia adicional necessária para cargas pesadas.

A maioria dos sistemas hidráulicos tem válvulas de alívio de pressão excessiva que impedem danos ao sistema, em caso de falha do regulador de pressão. Um sistema hidráulico de 3.000 psi, por exemplo, pode ter uma válvula de alívio regulada para ser aberta a 3.250 psi. Essas válvulas são projetadas como dispositivo de segurança para uso apenas no caso de uma avaria no sistema.

Os sistemas de alta pressão exercem picos de poderosa pressão sobre o sistema, quando o fluxo de fluido é subitamente enviado para os atuadores, depois, novamente, quando o fluxo é subitamente interrompido no final do ciclo de trabalho. Para ajudar a resolver este problema e amenizar o estresse do sistema, acumuladores são instalados para funcionar como amortecedores de fluido. Eles funcionam de modo a absorver fluido quando a pressão aumenta repentinamente e ajuda a pressurizar a linha, no momento em que a pressão cai demais, devolvendo fluido pressurizado ao sistema. A pressão interna do acumulador ajuda a amortecer os choques e a estabilizar a pressão de trabalho a um nível constante.

Alguns acumuladores são utilizados como *backup* e podem fornecer energia hidráulica limitada para certos sistemas críticos, se a bomba não estiver operando. Em algumas aeronaves, por exemplo, o acumulador fornece pressão de emergência para operar um certo número de *pisadas* no freio, ou para acionar o freio de estacionamento.

Alguns sistemas hidráulicos de baixa pressão costumam combinar as funções do reservatório e acumulador em um único componente situado antes da bomba hidráulica. O reservatório é pressurizado com uma pré-carga de nitrogênio atuando sobre um diafragma interno, ou um pistão de mola para que ele também funcione como um acumulador. Isso torna todo o sistema menor e mais leve, mas exige um reabastecedor de pressão para repor fluido no reservatório-acumulador.

Depois que a bomba pressuriza o sistema, o fluido hidráulico pode ser usado para o trabalho produtivo. As válvulas seletoras são utilizadas tanto para enviar fluido hidráulico pressurizado para atuadores do sistema como para o retorno do fluido dos atuadores para o sistema hidráulico principal.

Conforme mostrado na Figura 2.1, a válvula também pode ser usada para prender fluido hidráulico em um atuador, travando a sua posição. A função de bloqueio hidráulico é útil quando, por exemplo, ao retrair ou estender os flaps das asas, se quer manter certas posições, ou para garantir o travamento do trem de pouso quando estendido.

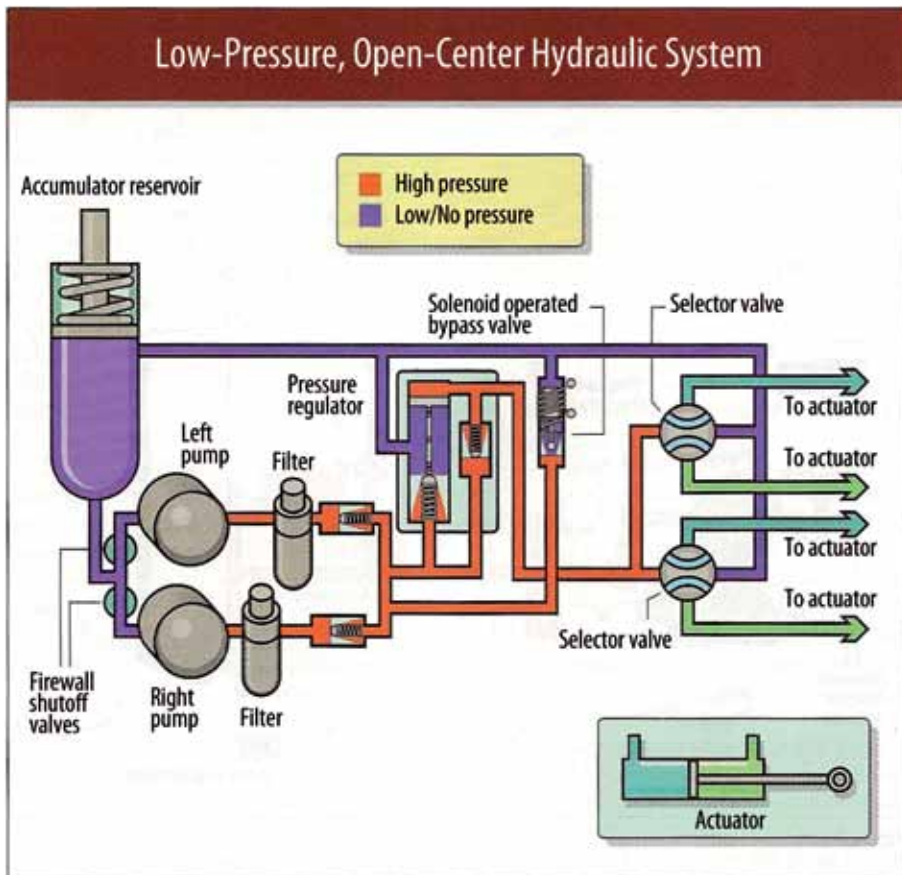
Na maioria dos aviões, porém, toda a pressão hidráulica é removida dos atuadores do trem de pouso quando ele está recolhido. Eles são mantidos nesta posição por meio de travas mecânicas acionadas por molas, que podem ser liberadas por meio mecânico de emergência, operado pela tripulação (BUSINESS & COMMERCIAL AVIATION, 2006).

O fluxo de fluido de baixa pressão que retorna dos atuadores do sistema é levado de volta para o reservatório, completando assim o ciclo.

## **O sistema de baixa pressão**

Os fabricantes de aeronaves a jato de menor porte, que só tem necessidade ocasional de energia hidráulica para operar sistemas como o trem de pouso, freios aerodinâmicos (*spoilers*), flaps e reversores, podem instalar sistemas hidráulicos de baixa pressão chamados *opencenter*, ou de centro aberto. A Figura 2.3. mostra uma típica arquitetura desse sistema.

Figura 2.3 – Sistema hidráulico centro-aberto



Fonte: Revista Business & Commercial Aviation. 2006.

Em um sistema de centro-aberto, a válvula de alívio do sistema básico passa a ser também uma válvula de derivação (*bypass*), operada por solenoide, que é normalmente mantida aberta, permitindo que todo o fluido circule do lado de pressão do sistema para o lado do retorno, sem fornecer pressão aos atuadores. Quando há necessidade de atuação hidráulica, a solenoide fecha a válvula de derivação e a pressão da linha vai até o atuador. O regulador de pressão modula a pressão do sistema ao nível desejado, geralmente não mais de 1.500 psi, enquanto a atuação hidráulica está ocorrendo. Após a atuação, o fluido pode ser preso nos atuadores para travá-los na posição desejada, ou toda a pressão dos atuadores é removida e todo fluido retorna ao reservatório.

Sistemas de centro-abertos mantêm o fluxo de fluidos e pressão muito baixa, quando eles não estão sendo usados para atuação hidráulica. Isso ajuda a evitar vazamentos, mantém todos os componentes lubrificados e ajuda a limpar o líquido, pois está

constantemente circulando pelos filtros. Esse tipo de sistema é simples e leve, é normalmente composto por, pelo menos, duas bombas para a redundância do sistema. Cada bomba é acionada por um motor diferente e apenas uma delas é suficiente para fornecer pressão necessária para atender a todos os conjuntos de atuação hidráulica. Luzes de alerta (*warning lights*) ou outros indicadores avisam a tripulação em caso de avaria da bomba, vazamento de fluido ou baixa pressão do sistema.

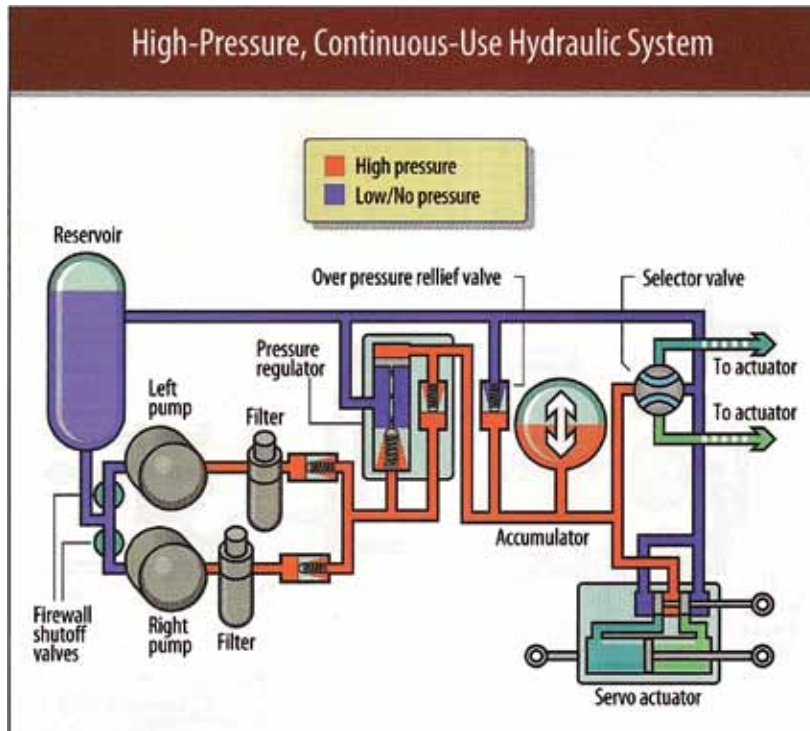
Quase todos os aviões turbojato ou turbofan têm válvulas de isolamento (*firewall*) que a tripulação pode usar para preservar reservatório de fluido hidráulico isolado dos motores, em caso de um incêndio no motor. A Figura 2.3 mostra a localização das válvulas *shutoff firewall* entre o reservatório e os motores.

## **O sistema contínuo de alta pressão**

As aeronaves com superfícies de controle maiores exigem esforço de atuação que nem todos os pilotos são capazes de fornecer e, na maioria dos casos, tornam-se bastante desconfortáveis. Esse é o principal motivo para a existência de sistemas hidráulicos de alta pressão e uso contínuo. A atuação hidráulica dos controles de voo, nesse caso, funciona exatamente como a direção hidráulica dos automóveis. Ela é uma assistência à força humana, necessária para a atuação dos controles de comando de modo suave, confortável e preciso.

O sistema contínuo de alta pressão, normalmente de 3000 psi, consegue suportar cargas maiores, e atendem simultaneamente a vários dispositivos sem perda de rendimento. Para aeronaves desse porte já é necessário que o sistema hidráulico seja composto por dois ou mais subsistemas, cada um deles configurado conforme a Figura 2.4. Assim, há a garantia e a redundância necessária para que a tripulação possa acionar os controles de voo, mesmo com atuação simultânea do trem de pouso e dos flaps, ou em caso de falha total de um deles.

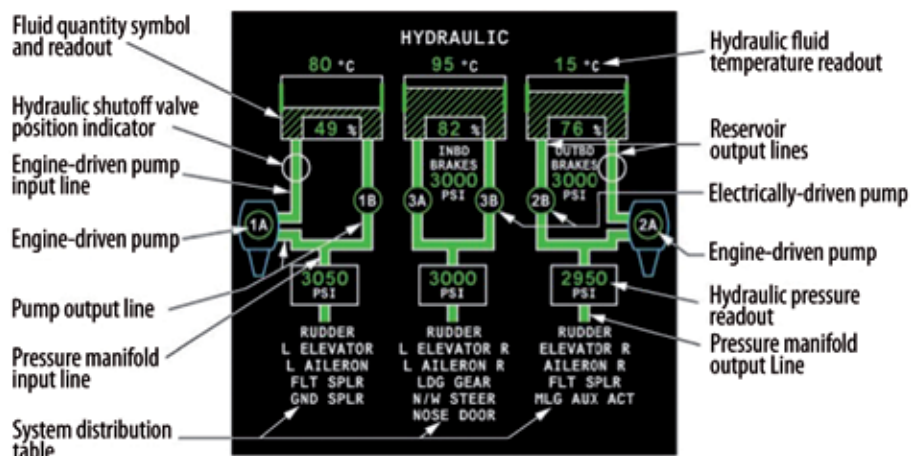
Figura 2.4 – Sistema contínuo de alta pressão



Fonte: revista Business & Commercial Aviation, 2006.

As aeronaves comerciais, como o B737 ou o A320, têm três sistemas hidráulicos, cada um deles pode ser acionados por diferentes fontes, como bombas mecânicas conectadas ao motor da aeronave, elétricas, hidráulicas (acionadas por outro sistema em funcionamento) ou eólicas (acionada por ventoinha exposta ao ar de impacto do deslocamento da aeronave).

Figura. 2.5 – Sistema hidráulico do Challenger 605



Fonte: Bombardier, 2011.

Nesses sistemas mais complexos os conjuntos de atuação hidráulica principais, como os controles de voo, são mantidos atendidos por pelo menos dois sistemas, sem perda de rendimento, ou por, pelo menos, um deles, com uma pequena perda de rendimento, mas suficiente para a manutenção do voo. A Figura 2.5 mostra o sinóptico de um sistema hidráulico complexo.

No geral, ambos os sistemas de baixa e alta pressão ganham nota alta para a confiabilidade e os custos de manutenção. Pequenas aeronaves têm sistemas muito mais simples do que os modelos hidráulicos de grande porte. Todos os modelos, porém, são projetadas com *backup* e sistemas de emergência que permitem prosseguimento seguro do voo em caso de falhas inerentes a eles. A possibilidade de falha total de sistemas hidráulicos é relativamente pequena e muito difícil de ocorrer, esses sistemas são os mais confiáveis instalados em aeronaves à turbina.

## **O trem de pouso**

O trem de pouso é o conjunto mecânico destinado a apoiar o avião no chão. Também possui as funções de amortecer os impactos do pouso, frear a aeronave e controlar a direção no taxiamento ou manobras no solo.

O tipo mais comum de trem de pouso é o composto por rodas, mas os aviões podem também ser equipados com esquis de pouso sobre a neve ou com flutuadores para operações na água (hidroaviões). Há também aqueles que podem operar nos dois meios, como os aviões anfíbios que tem rodas e flutuadores.

O trem de pouso é constituído por três pontos de apoio, sendo duas rodas principais e uma terceira roda posicionada na parte frontal ou traseira do avião. O trem de pouso com uma roda montada na traseira é chamado de trem de pouso convencional. Aviões com trem de pouso convencional são muitas vezes referidos como bequilha. Quando a terceira roda está localizada à frente do avião, ela é chamada de roda do nariz, e o projeto é conhecido como um trem de pouso triciclo.

Tanto a roda do nariz quanto a bequilha são manejadas de forma a permitir o controle direcional do avião no solo. Esse controle é feito por pedais do leme. Nos aviões maiores existe uma direção (*steering wheel*) instalada na lateral da cabine de comando, a qual permite o controle da roda do nariz. Algumas aeronaves mais antigas em que a bequilha é livre, o controle direcional é feito pela frenagem diferencial entre as rodas principais.

O conjunto do trem de pouso é constituído pela estrutura ou suporte, amortecedor hidráulico ou hidropneumático, conjunto de freio e conjunto de rodas e pneus.



Há três tipos de construção de trem de pouso. As aeronaves menores e aquelas feitas para uma operação em áreas remotas que exigem maior robustez, normalmente são equipadas com trem de pouso **fixo** pela simplicidade, resistência e leveza do projeto. As aeronaves de melhor desempenho e rendimento operacional têm o trem de pouso móvel, podendo ser recolhido para evitar ou minimizar o arrasto aerodinâmico. Se o trem de pouso é recolhido e fechado num compartimento próprio é chamado de **escamoteável**. Se for recolhido, mas parte dele ficar aparente então, ele é considerado apenas **retrátil**.

O trem de pouso é movimentado por meio de um mecanismo hidráulico ou elétrico e tem um sistema de operação manual de emergência para a extensão e travamento, em caso de falha do sistema. Para estender ou recolher o trem de pouso, o piloto aciona uma chave ou alavanca e uma luz no painel indicará a posição de cada “perna” do conjunto, avisando se estão em trânsito **destravadas** (luz vermelha) ou baixadas e **travadas** (luz verde).

## Amortecedores hidráulicos

O amortecedor hidráulico é um conjunto cilindro-êmbolo com o interior cheio de óleo. Ao contrário dos sistemas de bombeamento, o êmbolo contém furos que permitem o fluxo de óleo de um lado para outro e, assim, o seu movimento, mas

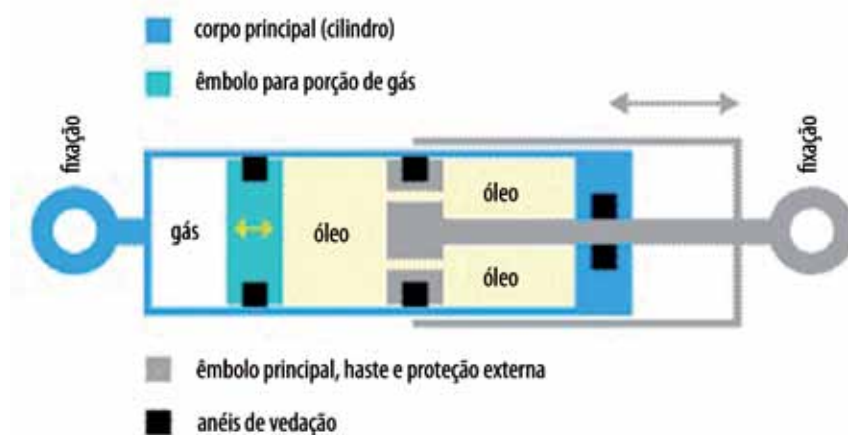
o estrangulamento provocado pelos furos produz uma força contrária resistente ao movimento do êmbolo. Desse modo, o movimento da haste do êmbolo realiza o amortecimento do impacto, e uma mola externa suporta o peso da aeronave, da mesma forma como os amortecedores encontrados nas motocicletas. O tubo externo serve para proteção da haste, uma vez que esses componentes estão sujeitos à ação de pedras, areia etc., que poderiam desgastá-la prematuramente.

Esse tipo de amortecedor foi pouco usado na aviação devido ao seu peso e é praticamente inexistente nos aviões modernos.

## Amortecedores hidropneumáticos

Nesse tipo de amortecedor existe uma parcela de ar ou gás dentro do cilindro, que é comprimido a uma pressão suficientemente elevada para suportar o peso da aeronave. Isso elimina a necessidade da mola e melhora o funcionamento do conjunto.

Figura 2.6 – Amortecedor Hidropneumático



Fonte: Tutomania, 2005.

O amortecimento pelo deslocamento do fluido pelo do embolo é bastante eficaz e praticamente evita o salto da aeronave mesmo em pousos mal executados. A tesoura serve para manter alinhada a posição da roda, enquanto a haste se estende ou se recolhe.

Figura 2.7 – Conjunto do trem de pouso



Fonte: Textual Creations, 2012.

## Conjunto das rodas

Este conjunto tem a finalidade de permitir a rolagem do avião no solo e a sua frenagem. São constituídos de cubos de rodas, pneus e freios.

A atuação dos freios é feita pelo acionamento dos pedais. Com raras exceções, somente as rodas principais são equipadas com freios. Ao pressionar a parte superior do pedal, você estará acionando o sistema hidráulico para atuar o freio da roda respectiva, ou seja, deflexão do pedal direito freia a roda principal direita, o pedal esquerdo freia a roda principal esquerda. Assim é possível conseguir manobras no solo com curvas fechadas, usando a frenagem diferencial, ou seja, aplica-se o freio no lado da curva, junto à atuação do Leme.



Os pedais de controle têm três funções. Acionar os freios, direcionar a aeronave no solo e controlar o movimento de guinada em voo.

Os dois tipos principais de freios são os freios a tambor e os a disco. O freio a tambor é constituído por um tambor o qual gira junto com a roda e duas sapatas ou lonas que, ao se aplicar o freio, são pressionadas contra a parede interna do tambor, causando atrito e freando a roda. O freio a disco é constituído por um disco que gira com a roda e por pinças e pastilhas de freio que, ao se

aplicar o freio, são pressionadas contra as paredes laterais do disco, causando atrito e freando a roda. O freio a tambor praticamente não é mais usado nas aeronaves mais novas, devido ao seu peso e menor eficiência. Ele foi substituído pelo freio a disco, como ocorreu com os automóveis. Aeronaves maiores de grande desempenho usam freios a disco de carbono, que apresentam maior durabilidade e eficiência em altas temperaturas.

O mais comum é encontrarmos conjuntos de freios atuando hidraulicamente, mas é possível encontrar sistemas atuando mecânica ou pneumaticamente.

Sistemas hidráulicos do tipo *opencenter*, como o descrito anteriormente, não são usados para operar os freios das rodas por não garantirem a pressão ao atuador de forma contínua.

Aviões pequenos até turboélices médios e alguns jatos de pequeno porte têm o freio operado por sistema independente, atuando manualmente por meio da pressão do pedal, para acionar o freio a disco. Mas grande parte dos jatos pequenos está equipada com sistema hidráulico para os freios, atuando por motor elétrico separado, que é energizado quando o trem de pouso é baixado e travado.

Normalmente, os aviões médios e grandes são equipados com sistema de freio antiderrapante. A melhor condição de frenagem é encontrada quando o pneu está prestes a derrapar. Para evitar que a derrapagem aconteça e diminua a ação de frenagem, o sistema libera a pressão do freio sobre a roda quando essa está prestes a parar, voltando a aplicar os freios na sequência, ou seja, mesmo com pressão total nos pedais, os atuadores são modulados eletricamente para evitar o bloqueio da roda e a derrapagem da aeronave, mantendo ação apropriada de frenagem.

Também conhecidos como *anti-skid*, esses sistemas compõem o sistema de freio, e por meio de sensores detectam o giro de cada roda e a condição ideal de pressão necessária para se evitar a derrapagem. No caso de uma falha no sistema de freios, a ação *anti-skid* é perdida, mas a frenagem das rodas estará disponível sem o controle de derrapagem. Com a função antiderrapante indisponível, é essencial aplicar os freios de emergência com maior cautela para evitar o bloqueio das rodas.

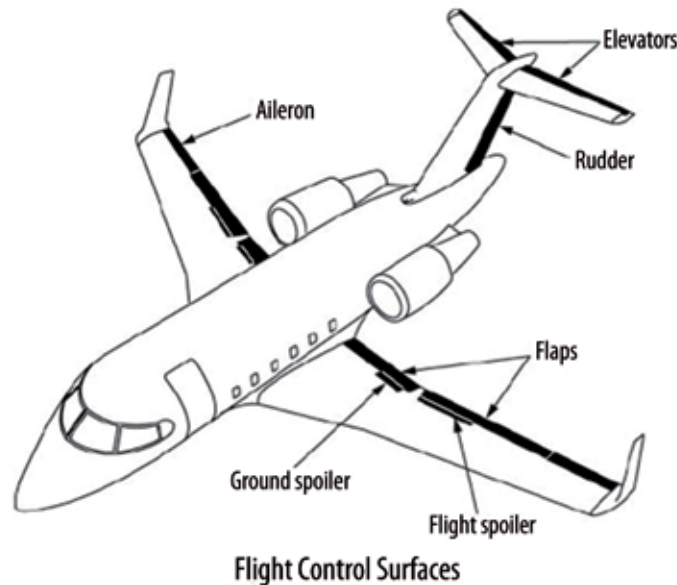
O sistema de freios também deve ter sua redundância para garantir a parada do avião. Ela pode ser encontrada em sistemas redundantes formados por dois sistemas normais independentes, que funcionam em conjunto, de modo que a falha de um não afetará a operação do outro. Há também o sistema de freios de emergência independente, que é constituído por outro conjunto de acionamento o qual usa pressão armazenada em um acumulador do sistema ou outra fonte de pressão para atuação de emergência.

Algumas aeronaves também têm um sistema pneumático de frenagem de emergência, permitindo que a tripulação transforme o sistema de freio hidráulico em freio a ar. Normalmente, esse sistema independente de emergência é utilizado para o freio de estacionamento – *parking brake*. Algumas aeronaves maiores chegam a ter os dois modelos juntos, isto é, tem o sistema redundante de atuação e mais um sistema independente de emergência.

## **Controles de voo**

Nós já vimos anteriormente que o sistema de controle de voo de um avião convencional é constituído por superfícies de controle primárias e secundárias, pelos controles na cabine como o manche e os pedais, e a ligação entre esses controles e as superfícies compostas por um sistema mecânico capaz de transferir os comandos executados pelo piloto para as superfícies de controle, de modo que ele possa executar as manobras necessárias.

Figura 2.8 – Superfícies de controle de voo



Fonte: Bombardier, 2011.

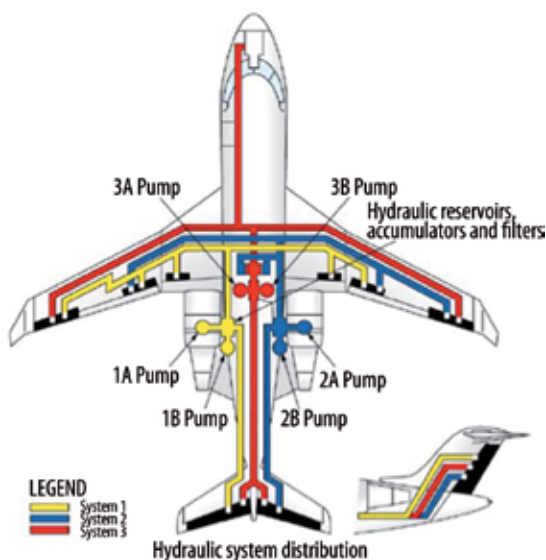
Nas aeronaves mais simples, o sistema de controle de voo trabalha com conexões mecânicas por meio de cabos, hastes e polias para transferir e controlar os movimentos do avião. Nesses casos, as principais verificações a serem efetuadas pelo mecânico são:

- **Alinhamento dos comandos:** com o manche e os pedais na posição neutra, as superfícies de comando também devem estar nas posições neutras.
- **Ajuste dos batentes:** os limitadores de movimento das superfícies devem estar ajustados para evitar que o piloto aplique sobrecarga à estrutura, devido a movimentos exagerados.
- **Ajuste de tensão dos cabos:** Os cabos devem estar ajustados de acordo com as especificações do fabricante. Cabos frouxos podem reduzir e até anular a ação dos comandos, enquanto que cabos muito esticados provocam desgastes nos componentes e deixam os comandos “duros”.

- **Balanciamento das superfícies:** Algumas superfícies de controle são balanceadas para compensar seu peso. Nesses casos, é necessária a verificação do balanceamento, principalmente após algum serviço de manutenção ou pintura da superfície.

Em aeronaves maiores ou de grande desempenho, as forças necessárias para atuação das superfícies de controle podem ser muito grandes para um sistema simples, por isso o mais comum em aeronaves médias e grandes são sistemas de controle de voo atuando por conjunto hidráulico. Essas aeronaves precisam de energia hidráulica contínua e de forma redundante para o controle de voo primário, a fim de garantir a continuidade segura do voo, no caso de uma falha no sistema hidráulico. Por isso, esses aviões são equipados com dois ou três diferentes sistemas hidráulicos, com controles de voo primário, divididos entre eles para minimizar a possibilidade de perda de controle, em caso de um único sistema falhar ou mesmo em dupla falha hidráulica. Veja na Figura 2.9, por exemplo, como é a distribuição do sistema hidráulico para a atuação das superfícies de controle de voo de um Challenger 605.

Figura 2.9 – Distribuição do sistema hidráulico do CL 605



Fonte: Bombardier, 2011.

Para estas aeronaves equipadas com sistemas hidráulicos complexos, cada conjunto de superfície primária é assistida pelos 3 sistemas hidráulicos, cada um com 2 bombas, sendo que o sistema 1 tem uma bomba atuando por um dos motores do

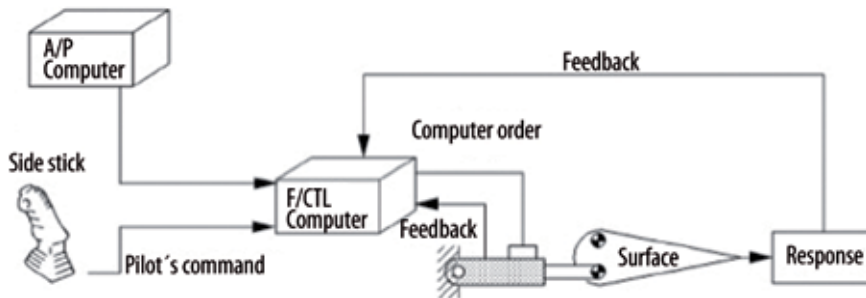
avião e outra por um motor elétrico DC; o sistema 2 tem uma bomba atuando pelo outro motor do avião e outra por um motor elétrico AC; o terceiro sistema tem duas bombas elétricas, mas atuando por sistemas elétricos diferentes, um AC e outro DC. Assim, a pressão hidráulica é alimentada continuamente para os componentes dos controles de voo. No caso remoto de uma falha total hidráulica, o piloto ainda tem condições de pilotagem pelas conexões mecânicas, em redundância ao sistema hidráulico, garantindo, assim, o pouso da aeronave.

### **Controles de voo eletrônicos – *Fly by wire***

Os projetos mais modernos na aviação para aviões médios e grandes contemplam o uso de controles de voo eletrônicos, os chamados *fly by wire* ou FBW. Esses projetos substituem parte ou todo o sistema hidráulico por um sistema eletrônico para atuação dos controles de voo. Aviões militares de combate já utilizam esses sistemas há décadas. A Airbus, a partir da família A320 em 1983 e a Dassault Falcon, mais recentemente, com o seu Falcon 7X foram as primeiras a substituir o manche por *side-stick* nas aeronaves civis. Mas a Boeing e a Embraer também utilizam este recurso em seus projetos mais recentes, sem excluir o manche.

Um sistema FBW é composto pelo manche ou *side-stick* eletrônico, por um conjunto de computadores e por atuadores eletrônicos interligados por fios e cabos elétricos. Ao mover os comandos, o piloto envia um sinal para os computadores como fazemos ao usar o mouse em nosso PC. O conjunto de computadores que recebe o sinal é composto por, pelo menos, 3 computadores (vamos chamá-los de PFC – Primary Flight Computer). Cada um desses possui 3 CPUs de fabricantes diferentes (chamados de lanes), rodando o mesmo sistema operacional e o mesmo software. Dentro de cada PFC, essas 3 lanes conversam entre si para saber se estão tomando a mesma decisão: 1 lane comanda, outra fica em standby e a terceira monitora as outras duas. Como se não bastasse isso, cada PFC compara seu resultado de cálculo com os outros 2. Somente após todo esse processo é que o PFC emite o sinal adequado para atuação da superfície de controle de voo.

Figura 2.10 – Sistema básico FBW



Fonte: Airbus, 2012.

Desse modo, o sistema FBW permite que qualquer *input* dado pelo piloto seja analisado e “filtrado” antes de ser repassado para as superfícies móveis (aileron, profundor, leme). Essa é a grande vantagem do sistema, pois esse processo resulta em melhor desempenho da aeronave, maior capacidade de manobra e possibilidade de restringir ou até impedir que se façam manobras que ultrapassem os limites de uma aeronave.

A desvantagem deste sistema é a interação homem-máquina. Normalmente, esse sistema não é feito para ser pilotado manualmente e sim por meio de um sistema automático de voo. Todo processo extremamente automatizado é muito complexo para a compreensão total por parte dos usuários. Enquanto o funcionamento está normal, a carga de trabalho é baixa e o monitoramento do sistema pelos pilotos é bem fácil. Mas quando algo diferente ocorre, tirando o processo de sua rotina – e isso não precisa ser uma falha, basta apenas um processo automatizado não compreendido pelo piloto – a carga de trabalho pode aumentar significativamente e a compreensão do que está ocorrendo se torna mais difícil. Por isso, esses sistemas exigem um bom estudo de seu funcionamento e um treinamento específico para se adequar à proficiência do piloto aos níveis de automatismo da operação.

## Seção 3 – Grupo moto propulsor, sistemas de combustível e de proteção contra fogo

Nesta seção, vamos apresentar as principais configurações utilizadas para a montagem do grupo moto-propulsor em uma aeronave, comentar as características técnicas dos motores utilizados na aviação e apresentar, de maneira objetiva, o princípio de funcionamento de uma hélice. Além disso, vamos mostrar de forma simples o funcionamento do sistema de combustível e de proteção e combate ao fogo.

### Grupo moto-propulsor

O motor de combustão interna é uma máquina térmica que transforma a energia calorífica da queima do combustível em energia mecânica. Essa energia obtida é utilizada para fornecer a tração necessária ao voo. Existem dois grupos principais de motores aeronáuticos: Os motores a pistão e os a jato, incluindo entre estes os motores turbohélice e os turbofan. Aqui vamos apresentar a vocês apenas os motores a pistão.

Basicamente, em aviões monomotores de pequeno porte, o grupo moto-propulsor pode ser instalado na fuselagem em duas configurações distintas, ou o sistema será “tractor”, ou então “pusher”.

Figura 2.11 – Cesna 152 – Tractor



Fonte: Reuters, 2005.

Figura 2.12 – Velocity – Pusher



Fonte: Airgyro Aviation, 2012.

Cada uma das configurações tem suas vantagens e desvantagens operacionais. A configuração “tractor” é aquela em que a aeronave é construída com a hélice montada na parte frontal do motor, no nariz da aeronave, de forma que ela produz uma tração que puxa o avião pelo ar. Essa configuração é utilizada na grande maioria dos aviões convencionais em operação na atualidade. Já a configuração “pusher” é aquela em que a aeronave possui a hélice montada na parte de trás do motor e atrás da estrutura da aeronave. Nessa situação, a hélice é montada de forma a criar um empuxo que empurra o avião por meio do ar. Geralmente, esse tipo de montagem é utilizada em aviões anfíbios. A fabricante Cesna tinha um modelo bi-motor em tandem em que um motor era Tractor e o outro Pusher. Este modelo – Cesna 336/7 skymaster – ficou conhecido como puxa-empurra (*push – pull*) por sua configuração.

Figura 2.13 – Cesna Skymaster – *push-pull*

Fonte: Home Built Airplanes, 2011.

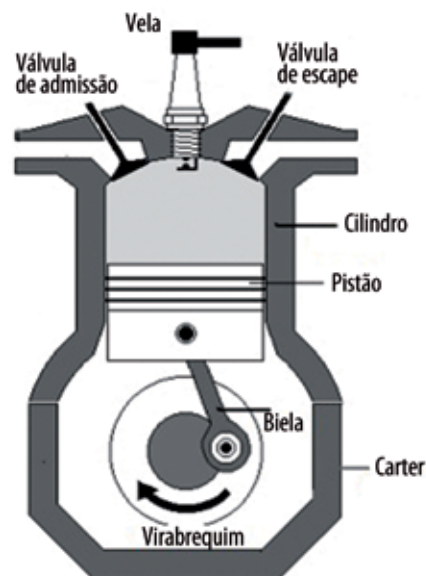
## Motores a pistão

Os motores a pistão foram convencionados a ser utilizados em diversos veículos, devido a suas ótimas características, como a flexibilidade para rodar em diversas velocidades, potência satisfatória para propulsão de diversos tipos de veículos, e tem seus custos reduzidos pela produção em massa.

## Componentes

O motor a pistão é composto por um pistão que se desloca dentro de um cilindro e é ligado a um eixo de manivelas ou virabrequim, por uma haste chamada biela. Na parte superior do cilindro, chamada de cabeça ou cabeçote, existe uma vela de ignição e duas válvulas que controlam as aberturas para a entrada e saída dos gases do motor. O mecanismo que abre e fecha as válvulas chama-se sistema de comando de válvulas. Todo esse conjunto é colocado em uma carcaça chamada Carter, onde estão fixados os cilindros, o eixo manivela e os acessórios do motor.

Figura 2.14 – Componentes do motor



Fonte: Elaboração do autor, 2012.

## Princípios de funcionamento

O motor a pistão aproveita a energia da expansão dos gases gerados pela queima da mistura ar-combustível no seu interior para impulsionar um pistão. O movimento do pistão é transformado em movimento de rotação, por meio de uma biela acoplada a um eixo de manivelas.

A combustão geradora de energia é resultado da queima da mistura de gases ou partículas finamente divididas com o ar numa percentagem bem determinada – mistura combustível – propagando-se a certa velocidade. Nesse caso, a mistura tem de ocupar todo o espaço onde está contida e, no momento da explosão, provoca uma elevação de temperatura e de pressão, simultaneamente, sobre todo o espaço confinante. Cada vez que ocorre a combustão, o pistão é impulsionado pela expansão dos gases. O funcionamento do motor é consequência da sucessão de impulsos sobre o pistão, chamados de **ciclos termodinâmicos**.

O fornecimento da mistura combustível para o motor está a cargo do sistema de alimentação que filtra e aquece o ar, aumenta a pressão do ar admitido nos casos de motor superalimentado e mistura o combustível com o ar, por carburação ou por injeção.

Os motores baseados no Ciclo de Otto, idealizado por Beau de Rochas e desenvolvido com sucesso pelo engenheiro alemão Nikolaus Otto, em 1876, equipam a maioria das aeronaves de pequeno porte atualmente, consistindo no funcionamento de motores de combustão interna com ignição por faísca, pode usar derivados de petróleo (gasolina ou diesel) ou derivados de vegetais (etanol) como combustível.

Nesse tipo de motor, um **ciclo** é formado por duas ou quatro etapas denominadas **tempos**, durante as quais ocorrem as seis **fases** de funcionamento. Portanto, podemos classificar os motores a pistão em dois grandes grupos: motores a quatro tempos e motores a dois tempos.

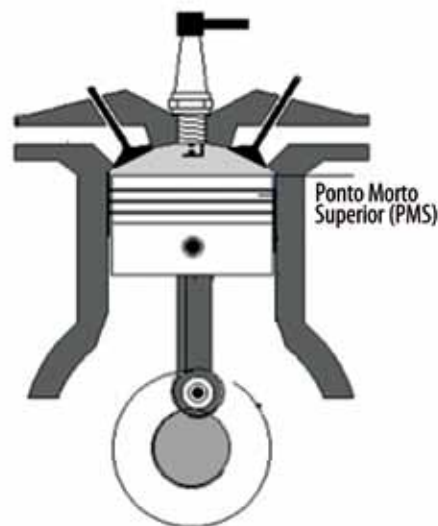
O motor a quatro tempos é utilizado na maioria dos pequenos aviões, por ser mais eficiente e com combustão menos poluente que o ciclo a dois tempos, mas requer consideravelmente mais partes móveis e maior habilidade do construtor, resultando em um motor maior e mais pesado que um motor de dois tempos com a mesma potência.

O motor a dois tempos é muito utilizado em ultraleves e autogiros, por ter uma construção mais simples, mais leve e mais potente que um motor de quatro tempos de mesmo peso. No entanto, é menos econômico, menos eficiente, aquece mais devido a maior frequência de combustão e sua lubrificação é imperfeita devido ao seu desenho de projeto.

### Funcionamento do motor a quatro tempos

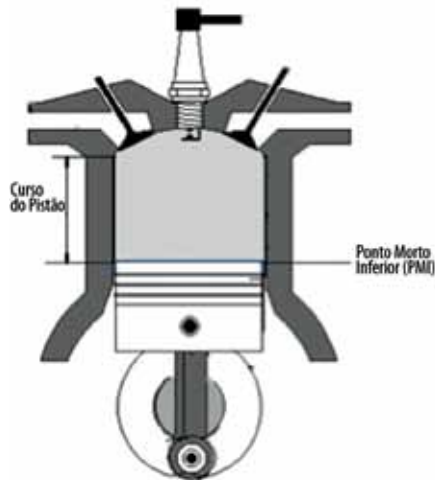
O movimento do pistão dentro do cilindro vai do **Ponto Morto Superior (PMS)**, ou seja, do ponto em que o pistão está mais alto, próximo à cabeça do cilindro, ao **Ponto Morto Inferior (PMI)**, ou seja, do ponto onde ele está mais baixo e distante dela. A distância percorrida pelo pistão entre o PMI e o PMS, ou vice-versa, é chamada de **curso do pistão**.

Figura 2.15 – Ponto Morto Alto ou Superior



Fonte: Elaboração do autor, 2012.

Figura 2.16 – Ponto Morto Baixo ou Inferior



Fonte: Elaboração do autor, 2012.

O funcionamento de um motor a quatro tempos é a repetição dos ciclos de seis fases em quatro etapas ou tempos:

1. Primeiro tempo: **Admissão**

O primeiro tempo é assim chamado porque promove a ocorrência da primeira fase que é a da admissão da mistura combustível aspirada pelo deslocamento do pistão do PMS para o PMI, com a válvula de admissão aberta. Quando o pistão atinge o PMI a válvula de admissão fecha e prende a mistura no interior do cilindro.

2. Segundo tempo: **Compressão**

Neste tempo, ocorre a segunda fase correspondente à compressão da mistura combustível, que ficou presa dentro do cilindro pelo movimento do pistão do PMI para o PMS, com as válvulas fechadas.

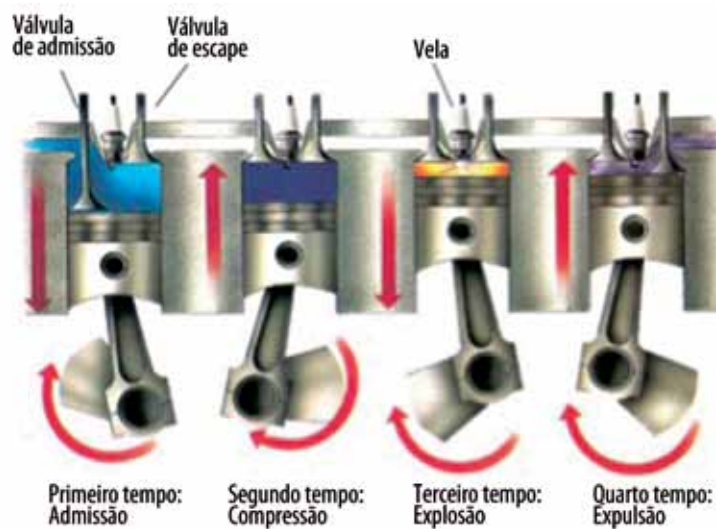
3. Terceiro tempo: **Motor (Explosão)**

Neste tempo ocorrerão três fases. A primeira delas ou terceira fase é a de ignição, quando a vela produz a faísca que provocará a queima da mistura, dando início à quarta fase, chamada de combustão. Com a combustão inicia-se a quinta fase, que é a expansão dos gases queimados, provocando grande pressão sobre a cabeça do pistão, deslocando-o para baixo do PMS ao PMI. Com esse impulso, o motor pode agora funcionar sozinho, pois é suficiente para mantê-lo girando até a próxima combustão.

#### 4. Quarto tempo: **Escapamento**

Este tempo corresponde à sexta fase, também chamada de escapamento, que é executada pela subida do pistão desde o PMI até o PMS, com a válvula de escape aberta, provocando a saída ou expulsão dos gases queimados. Quando o pistão chega ao seu ponto mais alto, a válvula de escape se fecha encerrando o ciclo, então, tudo se repete na mesma sequência.

Figura 2.17 – Os quatro tempo



Fonte: Mecanicomaniacos, 2011.

O ciclo Otto do motor de quatro tempos é completado em duas voltas do eixo manivela (giro de 720 graus), com um único tempo do motor. O motor permanece girando durante os demais tempos devido à inércia das peças que o compõe. Como normalmente os motores possuem quatro ou mais cilindros, que têm a combustão em momentos diferentes, eles acabam por “auxiliar” um ao outro durante os ciclos do motor.

### **Tipos de motores**

Os motores podem ser classificados de acordo com a montagem dos cilindros em relação ao eixo de manivelas ou de acordo com a sua configuração, podendo ser:

- **Motor em linha:** tem pistões dispostos lado a lado, de trajetórias paralelas. Um motor em linha tem geralmente um número par de cilindros alinhados paralelamente. Esses motores têm somente um eixo de manivelas, o qual está localizado abaixo ou acima dos cilindros. Se um motor for projetado para operar com cilindros abaixo do eixo de manivelas, será denominado motor invertido.
- **Motor de Cilindros Opostos ou Boxer:** Os motores boxer têm duas fileiras de cilindros contrapostos, conectados a um único eixo de manivelas no centro. Ele pode ser montado com os cilindros na posição horizontal ou vertical. Os motores opostos têm uma baixa razão peso/potência, e sua estreita silhueta o torna ideal para instalação horizontal em asas de aeronaves. Outra vantagem é sua relativamente baixa vibração.
- **Motor em V:** Constitui-se de duas fileiras de pistões, dispostas em V, geralmente a 60° de inclinação entre elas, ligadas a um eixo de manivelas. Motores desse tipo são conhecidos pelo som característico que emitem.
- **Motor radial:** Os motores radiais possuem a configuração de uma ou mais carreiras formadas por uma sequência de cilindros dispostos ao redor de um cárter central, e os pistões estão dispostos em torno de um único eixo manivela. Foi muito utilizado na aviação até meados do século passado.

Resumindo, o motor é uma máquina que transforma a energia obtida pela queima dos gases da mistura combustível em movimento mecânico rotacional. Portanto, o motor por si só não fornece a tração necessária para o voo. Assim, é preciso agregar a ele uma hélice, a qual é a parte do grupo moto-propulsor que produz a tração, transformando a potência efetiva do motor em potência útil. (HOMA, 2010).

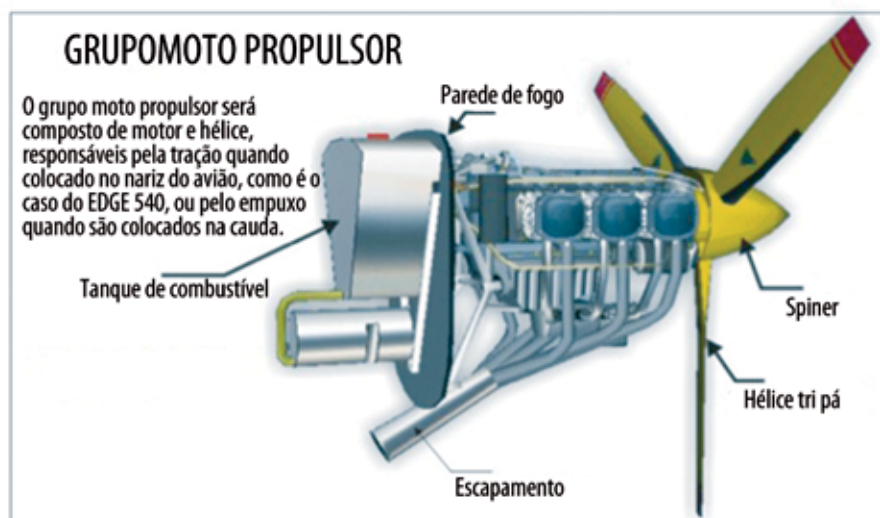
A potência produzida por um motor a pistão varia com o tamanho e o número de cilindros, com a rotação do motor e com a densidade do ar. Geralmente, a potência útil no eixo do motor é utilizada como referência e é convertida em tração pela hélice.

## Hélices

A hélice de uma aeronave consiste de duas ou mais pás conectadas ao cubo central no qual essas pás são fixadas. Cada pá é essencialmente uma asa rotativa, toda pá é um perfil aerodinâmico capaz de gerar uma sustentação. Essa força de sustentação no plano em que a pá se desloca recebe o nome de tração ou propulsão. A força necessária para girar a hélice é fornecida pelo motor. A hélice é montada na extensão do eixo de manivelas dos motores de baixa potência, ou no eixo da hélice, nos motores de maior potência e nos motores tubo-hélices, sendo que esse eixo é conectado a uma caixa redutora ligada ao eixo do motor; o objetivo é reduzir a rotação do motor para uma rotação na qual a hélice consiga trabalhar com eficiência, com isso, esses motores são capazes de desenvolver um torque maior.

As hélices são feitas, em sua maioria, de liga de alumínio, mas podem ser usados outros materiais em sua fabricação, como a madeira ou materiais compostos. Elas são presas ao eixo do motor pelo seu cubo, esse conjunto moto-propulsor é preso na aeronave por uma estrutura, normalmente tubular, chamada de berço do motor.

Figura 2.18 – Grupo Moto Propulsor do EDGE 540



Fonte: Aviação Geral do Tocantins. Arte: Roberto Maranhão, 2012.

## Fatores aerodinâmicos

Com a rotação, as pás da hélice “cortam” o ar e criam um efeito aerodinâmico, como o da sustentação da asa, ou seja, o deslocamento circular da pá no ar provocará uma baixa pressão no dorso da pá, e uma alta pressão na face, provocando a tração.

Durante o funcionamento, a hélice gira e avança ao mesmo tempo como uma rosca de parafuso. A cada volta ela avança uma determinada distância que é chamada de **passo da hélice**. Por isso, elas são classificadas como hélices de **passo fixo** ou de **passo variável**. As de passo fixo são, geralmente, inteiriças e com suas pás fixas em um cubo, formando uma unidade integral. Já as de passo variável têm suas pás instaladas em um cubo e podem ser movimentadas de modo a alterar o seu ângulo. O dispositivo que controla o ângulo das pás de uma hélice de passo variável é o **governador**. O objetivo de variar o ângulo da pá com uma hélice de passo variável é manter um ângulo ótimo nas pás da hélice, enquanto a velocidade do avião varia, maximizando sua eficiência.

O desempenho de uma hélice depende de alguns fatores, como o diâmetro em função da rotação, a área das pás em função da absorção de potência e o passo.

Figura 2.19 – Características geométricas de uma hélice



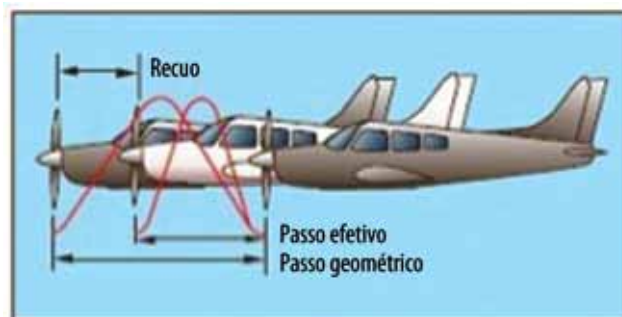
Fonte: Hooked on RC Airplanes, 2012. Adaptado pelo autor.

Uma hélice bem projetada tem uma certa eficiência quando está trabalhando no melhor regime. Essa eficiência fica sempre bem abaixo dos 100%, pois há vários fatores que contribuem para a eficiência de uma hélice, como o ângulo de ataque das pás, ou o ângulo entre a direção da velocidade resultante do escoamento do ar e a direção de rotação das pás. Lembre-se de que uma aeronave se deslocando no ar cria uma força oposta ao seu movimento conhecida como força de arrasto. O arrasto provocado pela hélice também

implica sua eficiência. Um ângulo de ataque das pás pequeno tem um bom desempenho em relação ao arrasto, mas gera pouco impulso, enquanto que ângulos grandes têm o efeito contrário. O melhor ângulo de ataque das pás é quando essas atuam como pequenas asas, gerando mais sustentação do que arrasto.

Outro fator com influência na eficiência de uma hélice é a energia consumida por essa na conversão de potências, na transformação de BHP (“BRAKE HORSEPOWER”), que é fornecida à hélice pelo motor, em THP (“THRUST HORSEPOWER”) que é a potência desenvolvida pela hélice. Parte dessa energia se perde na transformação devido a variáveis, tais como, arrasto aerodinâmico, densidade do ar, direção de ar de impacto, entre outros. Mediante essas perdas, tornou-se conhecido um fenômeno ocorrido na hélice que está ligado diretamente com sua eficiência, o RECUO, sendo assim, quanto menor for o recuo de uma hélice maior será sua eficiência, essa varia de acordo com o seu recuo. O recuo da hélice é a diferença entre o passo geométrico e o passo efetivo da hélice. O passo geométrico é a distância que uma hélice deveria avançar em uma revolução. O passo efetivo é a distância real percorrida por uma revolução da hélice.

Figura 2.20 – Recuo da hélice



Fonte: Free online private pilot ground school, 2012.

Cada hélice é definida por duas dimensões características, o diâmetro e o passo, normalmente indicados em polegadas.

- **Diâmetro:** representa a distância entre as pontas das pás ou a circunferência realizada durante o movimento, dependendo se a hélice é de duas ou mais pás.

- **Passo:** representa o avanço (teórico) que a hélice daria em uma única volta, ou seja, uma hélice 13"x4" tem um diâmetro de 13" e seu passo é de 4", indicando que essa pequena hélice se deslocaria 4" para frente a cada volta realizada.

## Sistema de combustível

Toda aeronave necessita armazenar combustível e garantir seu fornecimento ao motor em todas as fases do voo. Esse fornecimento de combustível ao motor é chamado de alimentação.

O armazenamento do combustível é feito em tanques que, de modo geral, estão localizados nas asas, mas conforme as necessidades de projeto e autonomia existem outras disposições dos tanques na estrutura da aeronave.

Aeronaves mais antigas e simples usam alimentação por gravidade, ou seja, os tanques ficam em posição elevada em relação ao motor e o combustível escoar por gravidade. Aviões mais modernos utilizam alimentação por pressão, onde o combustível é enviado ao motor sob pressão para garantir seu fornecimento. A pressão é fornecida por duas bombas, uma principal, acionada pelo próprio motor e outra auxiliar, acionada eletricamente.

Além dos tanques, bombas e dutos de combustível, esse sistema é composto por uma válvula de corte e seletora usada pelo piloto para selecionar o tanque fornecedor ou cortar o suprimento de combustível e por um filtro, para reter impurezas.

O combustível é facilmente contaminado pela água existente na atmosfera, que se deposita no fundo dos tanques. A água depositada pode ser levada ao sistema de alimentação do motor e provocar sua parada. Por isso, é essencial para a segurança de voo que se verifique a presença de água no combustível em todos os pontos de drenagem, antes das programações de voos, principalmente daquelas em que a aeronave esteve parada por longo período.

## Sistema de proteção contra fogo

Em toda máquina em que há geração de calor próxima de combustíveis ou de material combustível, existe a possibilidade de ocorrência de fogo. Nas aeronaves não é diferente, e a ocorrência de fogo em voo é um caso emergencial grave, se não for controlado rapidamente.

Para maior eficiência, o sistema de proteção contra fogo é subdividido em um sistema de detecção de superaquecimento e ou fogo, e no sistema de extinção de fogo.

O sistema de detecção é constituído por sensores de calor instalados estrategicamente em pontos mais prováveis de ocorrência de fogo que, ao detectar uma temperatura acima do normal, provocarão o acionamento de alarmes na cabine de comando, indicando a existência de superaquecimento ou de fogo, dependendo da temperatura atingida no local do sensor. O alarme exigirá ação imediata do piloto para a normalização da situação.

O sistema de extinção será acionado pelo piloto quando houver necessidade de se combater o fogo reconhecido pela tripulação, ou anunciado pelo sistema de detecção. Normalmente, esse sistema é formado por garrafas com agente extintor, tubulação, válvulas de controle e aspersores para pulverização do agente extintor. É bom lembrar que nem sempre a melhor opção ao perceber um problema de superaquecimento é o acionamento do sistema de extinção. Ao ocorrer um aviso de superaquecimento ou de fogo o piloto deverá seguir os procedimentos recomendados pelo fabricante, incluindo a lista de verificação (*checklist*) para o caso específico.

Nem todos os aviões têm sistemas de detecção e combate ao fogo. Os aviões mais simples têm apenas uma garrafa de extinção. Já os grandes aviões têm vários itens supervisionados pelo sistema, como os motores, os freios, o compartimento do trem de pouso, os porões de carga e até os *toilettes* e as *galley*s.

## **Seção 4 – Sistema pneumático, pressurização, ar-condicionado e de proteção antigelo**

Algumas aeronaves, dependendo do seu porte e utilização, são equipadas com sistemas mais sofisticados para atender condições especiais e aos itens de conforto e de controle de ambiente necessários para esses tipos de voos. O primeiro deles é o sistema antigelo que detecta, previne e elimina a formação de gelo na estrutura e no motor da aeronave, nos voos em áreas com essas condições.

Outro sistema é o pneumático, que fornece ar sob pressão para outros sistemas ou conjuntos mecânicos. Os sistemas de pressurização e ar-condicionado visam a atender as necessidades ambientais internas dos aviões, proporcionando o controle de temperatura e pressão, independentemente da condição ambiental externa. Nem todas as aeronaves têm esses sistemas, mas é muito importante conhecê-los para completar os seus conhecimentos sobre elas.

### **Sistema pneumático**

As aeronaves equipadas com motores a reação, turbo hélice ou turbo fan, utilizam parte do ar comprimido produzido pelo compressor do motor para suprir um sistema destinado a acionar componentes mecanicamente, por meio da energia do ar sob pressão, ou para fornecer ar em quantidade ou condição necessária para suprir outros sistemas.

Desse modo, o sistema pneumático é usado para pressurizar tanques, reservatórios e acumuladores, acionar componentes como redundância ao sistema hidráulico, ou mesmo substituí-lo em alguns casos. Fornece ar quente para o sistema de proteção antigelo e de ar-condicionado, além de fornecer ar pressurizado para o sistema de pressurização.

Dentro de um mesmo sistema pneumático é possível manter uma linha de alta pressão e outra de baixa pressão, para atender diferentes grupos de dispositivos ou necessidades. É também pelo sistema pneumático que se inicia a partida dos motores à reação, já que eles são equipados com motores de partida pneumáticos. Nesse caso, o ar de partida pode ser fornecido por um equipamento externo, por um motor auxiliar como o APU – *auxiliary power unit* – ou mesmo por um motor da aeronave já em funcionamento.

### **Sistema de proteção antigelo**

Quando operamos uma aeronave em baixas temperaturas, com umidade presente, há a possibilidade de formação de gelo que virá a se acumular na sua estrutura ou em seu grupo moto propulsor.

O gelo se forma quando um avião voa por meio de uma nuvem ou de um ambiente contendo gotículas de água super-resfriada. Água super-resfriada é a que está com temperatura abaixo de zero, mas ainda em estado líquido. Normalmente, essa água viraria gelo a 0 ° C, mas por não existirem “contaminantes” (núcleo de gelo) na qual as gotas podem congelar, ela permanece em estado líquido. Quando o avião voa por meio dessas gotículas de água super-resfriada, ele passa a ser o núcleo contaminante, permitindo que a água se congele em sua superfície.

Por isso, voo em condições de gelo e baixa temperatura não significa temperatura menor que zero grau Celsius. Apesar da formação de gelo ocorrer com temperaturas de zero grau ou negativas, é possível que ele se forme em temperaturas positivas devido à velocidade do escoamento do ar e da diferença de pressão encontrada em alguns pontos da aeronave, que também podem produzir o efeito de água super-resfriada.

A crença popular é que o problema da formação de gelo nas aeronaves é o peso do gelo acrescido à sua estrutura. Esse não é o caso. O principal problema causado pela formação de gelo é a modificação do fluxo de ar sobre superfícies das asas e de controle de voo. Quando o gelo se forma nessas superfícies, o equilíbrio das forças aerodinâmicas é afetado e o desempenho da aeronave se deteriora tanto pela alteração da forma dos aerofólios quanto

pela mudança da textura da superfície, aumentando seu arrasto e diminuindo a sua sustentação.

Assim, a recomendação é: sempre que encontrar algum tipo de precipitação (chuva, neve, granizo etc), névoa úmida ou nevoeiro, voar dentro de formações meteorológicas (nuvens, camadas etc.), e se a temperatura estiver abaixo de 10 graus Celsius, o uso do sistema de proteção antigelo deve ser considerado apropriado.

Quantidades pequenas ou moderadas de gelo geralmente causam uma redução no desempenho da aeronave em termos de razão de subida, alcance, autonomia e velocidade e são conhecidos como eventos de desempenho. Conforme aumenta a formação de gelo e, conseqüentemente, a separação do fluxo de ar das asas e superfícies de controle de voo pode haver comportamento instável da aeronave e perda de controle pelo piloto. Para prevenir essas condições, o sistema de proteção antigelo deve ser utilizado para evitar a formação e o acúmulo de gelo na aeronave.

Nessas condições, é comum formar gelo nas seguintes partes do avião:

- **Asas e empenagem** – O gelo se forma principalmente no bordo de ataque das asas e dos estabilizadores vertical e horizontal, alterando o perfil aerodinâmico do aerofólio e a textura da superfície, afetando o desempenho do voo. Para esses casos, o sistema se utiliza de ar quente fornecido pelo sistema pneumático para aquecer essas áreas pela circulação do ar quente, pelo interior do bordo de ataque. Esse sistema é normalmente utilizado em aeronaves maiores a jato. Existem sistemas que se utilizam de aquecimento elétrico em substituição ao pneumático, por meio da instalação de uma folha metálica no bordo de ataque. Ao energizá-la, a folha produz aquecimento que derreterá o gelo. Outra possibilidade é o uso de *boots* de borracha, instalados nos bordos de ataque que, ao serem inflados, quebram e expõem o gelo para fora da superfície.
- **Hélices** – A formação de gelo nas hélices tem o mesmo efeito encontrado nas asas e empenagem, ou seja, altera o perfil da pá e diminui o desempenho da hélice. É comum também ocorrer o desbalanceamento da hélice,

causando vibrações. A proteção antigelo é fornecida por aquecimento elétrico ou aplicação de líquido descongelante, como o álcool isopropílico.

- **Motor** – Nos motores a pistão é comum a formação de gelo no carburador, devido à expansão da mistura ar-combustível após o Venturi, que resfria o ar e provoca a condensação e o congelamento da umidade do ar, acumulando gelo junto à borboleta do carburador. O principal sintoma de formação de gelo no carburador é a queda de rotação devido ao bloqueio da passagem da mistura pelo carburador, agindo como se a borboleta estivesse sendo fechada. Mas a queda de pressão de admissão ou o funcionamento irregular do motor também são sintomas da formação de gelo. O acionamento pelo piloto do aquecimento do ar de admissão é suficiente para evitar o problema.
- Já nos motores, a reação é comum à formação de gelo no duto de admissão e nas pás do compressor, causando queda de rendimento e provável dano às pás (*blades*) do compressor, se parte do gelo se soltar e for ingerida pelo motor. O sistema de proteção antigelo, nesse caso, usa o ar sangrado do motor pelo sistema pneumático, para aquecer essas partes sensíveis ao gelo. Alguns sensores do motor à reação também podem sofrer com a formação de gelo e são protegidos da mesma forma ou por aquecimento elétrico.
- **Parabrisas** – A manutenção da transparência do parabrisas pode ser afetada pela formação de gelo ou de condensação, atrapalhando a visão do piloto. Uma resistência elétrica embutida entre as camadas de vidro, ao ser ligada, provoca o aquecimento do parabrisa e a proteção antigelo. Para aeronaves mais simples, o uso de jatos de ar quente direcionado ao vidro ou à aspersão de líquido anticongelante, pode prevenir a formação de gelo ou o embaçamento do vidro.
- **Tubos de pitot, sensores e drenos** – Os tubos de pitot, se entupidos, causam informações errôneas nos instrumentos de voo. Os sensores de temperatura, de pressão estática e de ângulo de ataque, para citar alguns,

também podem ter seu funcionamento alterado por acúmulo de gelo. Drenos de água também entopem, se congelados. Nesses casos, a prevenção é feita por meio de resistências elétricas instaladas internamente no corpo desses equipamentos, de modo a mantê-los aquecidos o suficiente para evitar a formação de gelo.

## **Sistema de ar-condicionado e pressurização**

Conforme ganhamos altitude, o ar se torna mais rarefeito e a temperatura cai, criando um ambiente cada vez menos propício ao ser humano. O oxigênio é necessário para a maioria dos processos vitais. Mesmo antes que a ausência de oxigênio leve um ser vivo à morte, a redução no suprimento normal de oxigênio para os tecidos do corpo produz importantes mudanças em suas funções, principalmente nos processos mentais e graus de consciência. A condição de inatividade da mente e do corpo, causada pela deficiência ou perda de oxigênio, é chamada **hipóxia**. Existem várias causas de hipóxia, mas uma delas está relacionada à operação de aeronaves, é o decréscimo na pressão parcial do oxigênio nos pulmões, conforme há aumento na altitude.

Quando uma aeronave voa em altitudes maiores, ela consome menos combustível para uma determinada velocidade, comparando com o que ela faria em uma altitude mais baixa; em outras palavras, a aeronave é mais eficiente em altas altitudes. Mau tempo e turbulência podem ser evitados, voando em um ar relativamente mais calmo, acima das formações meteorológicas. Para essas aeronaves que voam em grandes altitudes, é necessário um sistema completo de controle ambiental da cabine da aeronave. Aeronaves que não têm sistema de pressurização e ar-condicionado são, normalmente, limitadas a baixas altitudes.

## Pressurização

Um sistema de pressurização de cabine deve ser capaz de manter uma **altitude de cabine** dentro de níveis satisfatórios para o ser humano, mesmo quando voando na máxima altitude de cruzeiro prevista para a aeronave. A altitude de cabine é a altitude de pressão atmosférica equivalente à pressão encontrada na cabine do avião. O sistema de pressurização também deve permitir a renovação do ar da cabine.

Em um sistema de pressurização típico, a cabine é uma unidade selada capaz de conter ar sob uma pressão maior que a atmosférica externa. O grau de pressurização e, portanto, a altitude de operação da aeronave são limitadas por vários fatores críticos de projeto, mas de modo geral a fuselagem é projetada para suportar uma máxima **pressão diferencial** específica de cabine. A pressão diferencial de cabine é a razão entre as pressões de ar interna e externa, ou seja, entre a pressão da cabine e a pressão atmosférica. Com a aeronave no solo, com as portas abertas, a pressão diferencial é nula, já que não existe diferença de pressão interna e externa. Conforme o avião vai subindo, ocorre o aumento da pressão diferencial, devido à redução da pressão externa.

O ar pressurizado é suprido pelo sistema pneumático, ou por compressores de ar e inserido na cabine pelo sistema de ventilação, o qual fornece um volume relativamente constante de ar em todas as altitudes, até um teto máximo.

Para haver a troca de ar do interior da cabine, parte desse ar é solto para o exterior da fuselagem, por um dispositivo chamado válvula de fluxo de saída (*Outflow valve*). Desde que os compressores forneçam um fluxo constante de entrada de ar para a área pressurizada, a válvula de fluxo de saída é o elemento mais importante no sistema de pressurização, por ser a responsável pela regulagem da saída de ar. O sistema de pressurização controla a *outflow* e regula o “esvaziamento” da cabine, por meio da modulação da válvula e de seu grau de abertura. Com ela toda aberta, a cabine estará despressurizando, e quando estiver toda fechada haverá aumento de pressão na cabine. Essa válvula é normalmente controlada por um sistema automático, que pode ser ajustado pelos tripulantes. Simples e pequenos ajustes são necessários, mas a maior parte do tempo os controles automáticos necessitam apenas de monitoramento.

Com o sistema operando corretamente, não haverá perda de pressão na cabine, exceto se houver uma falha estrutural, como um vazamento por uma porta ou buraco na fuselagem. No caso de mau funcionamento dos controles automáticos, controles manuais estão disponíveis para o piloto tentar controlar a altitude da cabine. O descontrole da altitude da cabine poderá provocar a necessidade de descida rápida para nível apropriado.

## Calefação e refrigeração

Existem vários fatores que podem influir na temperatura interna da cabine, como a insolação, a temperatura do ar externo, o calor do motor, de equipamentos eletroeletrônicos e a temperatura corporal dos passageiros e tripulantes.

A calefação é utilizada para aquecer o ar da cabine por meio da troca de calor com partes do motor como o escapamento, no caso de aviões leves. Nesses aviões, existem dois controles de ar da cabine: um para entrada de ar de ventilação (*Cabin Air*) e outro para o aquecimento dele (*Cabin Heat*). No caso de aviões maiores, pode haver um sistema de calefação por combustível ou o ar.

A refrigeração do ar da cabine pode ser obtida de duas formas: Refrigeração por ciclo a vapor ou por ciclo a ar. A refrigeração por ciclo a vapor é a mesma encontrada nos refrigeradores domésticos. Seu funcionamento baseia-se no resfriamento provocado pela evaporação de um líquido especial, por expansão dentro de um circuito fechado com um condensador externo e um evaporador interno. A passagem de ar pelo evaporador resfria o mesmo que é reencaminhado para a cabine. A refrigeração por ciclo de ar é usado nos aviões à reação e aproveita o ar comprimido extraído do motor. Ao provocar sua expansão, o ar perde calor e se resfria, podendo ser utilizado para diminuir a temperatura da cabine.

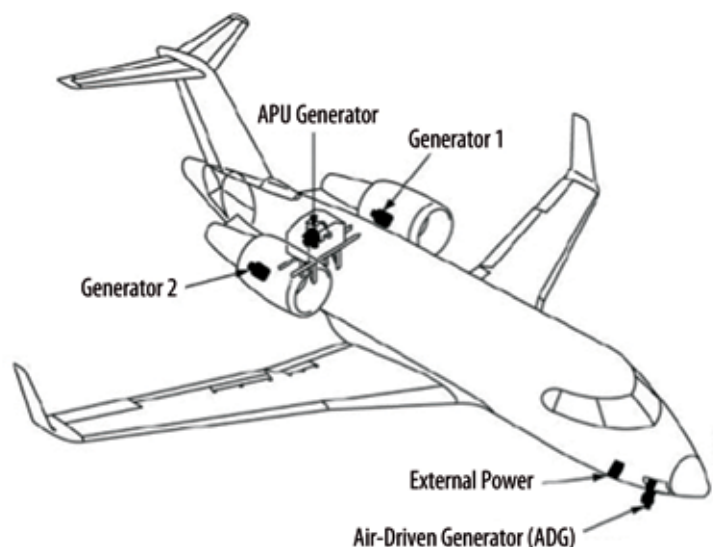
As aeronaves, dependendo do seu porte, podem utilizar um ou mais dos itens descritos acima, sendo que as aeronaves à reação, de grande porte, utilizam-se de todos eles em conjunto, para compor o chamado sistema de pressurização e ar-condicionado, de modo a obter um controle completo das condições ambientais na cabine da aeronave, compreendendo a pressurização, a calefação e a refrigeração.

## Seção 5 – Sistema elétrico e iluminação

As aeronaves estão cada vez maiores e voam mais alto e mais rápido a cada novo modelo lançado. Ao mesmo tempo, a preocupação com melhores serviços é crescente. Na aviação civil, isso significa mais energia às unidades de cozinha (galley), melhor controle ambiental e introdução de sistemas avançados de entretenimento de passageiros e comunicação. Na área militar, os aviões modernos exigem mais sensores de energia e sistemas de armas sofisticados. Além disso, tanto as aeronaves civis quanto as militares têm maior demanda de energia para atender às necessidades dos atuadores, sistemas de iluminação, aquecimento e, principalmente, para a integração dos computadores do sistema de gerenciamento de voo. É a energia elétrica que abastecerá tudo isso por meio do sistema elétrico da aeronave. Portanto, a principal função de um sistema elétrico é a geração, controle e distribuição de energia elétrica para toda a aeronave.

Existem várias formas de se obter energia para abastecer os sistemas elétricos da aeronave. Essas fontes de energia incluem: geradores acoplados ao motor, a unidades de energia auxiliar (APU), a turbinas de ar de impacto (ADG – air driven generator) ou fonte de alimentação externa.

Figura 2.21 – Fontes de energia elétrica de uma aeronave



Fonte: Bombardier, 2011.

A maioria das aeronaves leves e pequenas está equipada com um sistema de 14 ou 28 volts de corrente contínua. Aeronaves maiores usam um sistema mais complexo, com parte dele de corrente contínua de 28V e outra parte de corrente alternada de 115V.

Um sistema elétrico básico consiste nos seguintes componentes:

- Alternador / gerador
- Bateria
- Chave principal (Master) / interruptor da bateria
- Chave ou interruptor do alternador / gerador
- Barramento, fusíveis e disjuntores
- Regulador de tensão
- Amperímetro e voltímetro
- Fiação elétrica associada

Os alternadores ou geradores são movidos pelo motor e suprem corrente elétrica para o sistema elétrico. Eles também mantêm a bateria carregada. A energia elétrica armazenada em uma bateria é uma fonte de energia para a partida do motor, funciona como backup, com oferta limitada por capacidade e tempo para uso, no caso de falha do alternador ou gerador.

Os geradores necessitam de média ou alta rotação para serem eficientes, por isso, a maioria dos geradores de corrente contínua não irá produzir uma quantidade suficiente de corrente elétrica para operar todo o sistema, com o motor em baixa rotação. Assim, durante as operações nessas condições, as necessidades elétricas são também supridas com energia da bateria, que pode ser esgotada em pouco tempo.

Os alternadores apresentam várias vantagens sobre os geradores. Alternadores produzem corrente suficiente para operar todo o sistema elétrico, mesmo em baixa rotação, produzindo corrente alternada, que é convertida em corrente contínua. A saída elétrica

de um alternador é mais constante ao longo de uma vasta gama de rotações do motor.

Algumas aeronaves têm uma tomada para conexão de uma unidade de alimentação externa, quando no solo (GPU – *ground power unit*), também conhecida como “fonte externa”, sendo capaz de energizar a aeronave ou dar a partida nos motores, sem usar a energia da bateria. Para a proteção do sistema elétrico, há uma chave mestra ou principal que, ao ser ligada ou desligada, mantém ou não o fornecimento de energia elétrica para todos os circuitos e equipamentos elétricos, exceto para a ignição.

Equipamentos de aeronaves pequenas, que geralmente usam o sistema elétrico como fonte de energia, incluem:

- Luzes de posição, navegação e anticolisão;
- Faróis de táxi e de pouso;
- Iluminação interior e sistema de avisos da cabine;
- Iluminação do painel de instrumento;
- O equipamento de rádio;
- Instrumentos de voo e de navegação;
- Medidores de combustível;
- Bomba de combustível elétrica;
- Sistema de aviso de Stall;
- Aquecimento do Pitot;
- Partida do motor.

Muitos aviões estão equipados com uma chave de bateria que controla a energia elétrica para a aeronave, de maneira similar à chave principal. Além disso, um interruptor (switch) do alternador é instalado para permitir ao piloto desligá-lo do sistema, em caso de falha ou operação irregular.

Figura 2.22 – Chave principal – Master Switch



Fonte: About Flight, 2011.

É comum o uso de chave principal de dupla função como a mostrada na Figura 2.22. Nessas chaves, a metade da esquerda é a chave do alternador e a outra a da bateria. Ao desligar a chave do alternador, todo o sistema elétrico estará sendo suprido pela bateria, nesses casos, é importante desligar todos os itens não essenciais para preservar a energia da bateria. Com as duas metades da chave desligadas, o sistema todo estará desenergizado.

Uma barra elétrica (*electric bus*) é como um terminal, que serve para conectar os vários itens e equipamentos elétricos ao sistema elétrico principal da aeronave.

Figura 2.23 – Barra elétrica ou barramento



Fonte: Renascer distribuidora, 2012.

Para melhor distribuição, é normal encontrarmos mais de uma barra elétrica em um sistema, sendo as mais comuns a barra da bateria (Battery Bus), a barra essencial (essencial bus) e as barras de corrente contínua e de corrente alternada (AC e DC bus).

Fusíveis ou disjuntores são usados para proteger os circuitos e equipamentos de sobrecarga elétrica. Fusíveis têm um limite de amperagem e devem ser substituídos sempre que apresentarem defeito ou queimar. Os disjuntores têm a mesma função do fusível, mas podem ser rearmados manualmente, ao invés de substituídos, se ocorrer uma condição de sobrecarga no sistema elétrico. Há um tipo de disjuntor muito usado nos aviões, chamado de corta-circuito (*circuit breaker* – CB), que salta a cabeça mostrando um colarinho branco, sempre que houver uma condição de sobrecarga.

Os painéis de fusíveis ou de CBs devem ter identificação pelo nome do item que está relacionado com cada fusível ou disjuntor e mostrar o limite de amperagem.

Figura 2.24 – Painel de CBs



Fonte: Bombardier, 2012.

Um amperímetro é usado para monitorar o desempenho do sistema elétrico da aeronave. O amperímetro mostra se o alternador / gerador está produzindo energia elétrica adequada. Ele também indica se a bateria está ou não sendo recarregada.

Amperímetros são projetados com o ponto zero no centro da escala e uma indicação negativa ou positiva em ambos os lados. Quando o ponteiro do amperímetro está no lado positivo, ele mostra a taxa de carregamento da bateria. A indicação negativa significa que a corrente drenada da bateria é maior da que está carregando. A deflexão total na escala negativa indica um mau funcionamento do alternador / gerador. A deflexão total na escala positiva indica um mau funcionamento do regulador de tensão.

Figura 2.25 – Amperímetro



Fonte: FAA Pilot Handbook, 2010.

Nem todas as aeronaves são equipadas com um amperímetro. Algumas têm uma luz de advertência que, quando acesa, indica uma descarga no sistema ou um mau funcionamento do gerador / alternador.

Há aeronaves que contam com medidores de carga do sistema. Esse tipo de medidor reflete a porcentagem total da carga colocada sobre a capacidade de geração do sistema elétrico, ou seja, a carga sobre o gerador / alternador.

Quando todos os componentes elétricos são desligados, ele reflete apenas a quantidade de corrente de carga exigida pela bateria.

Um regulador de tensão controla a taxa de carga para a bateria, estabilizando o gerador ou saída do alternador elétrico. A saída de tensão do gerador / alternador deve ser superior à tensão da bateria. Por exemplo, uma bateria de 12 volts seria alimentada por um sistema gerador / alternador de aproximadamente 14 volts. A diferença de tensão mantém a bateria carregada.

## **Sistema de Iluminação Externa**

A sinalização luminosa externa do avião é importante para a segurança de vôo e, por isso, segue um padrão estabelecido. O sistema é composto pelas luzes de navegação, luzes anticolisão e faróis de táxi e de pouso.

As luzes de navegação ficam localizadas nas pontas das asas e na empenagem, devem ter, obrigatoriamente, a cor vermelha na asa esquerda, verde na asa direita e branca na cauda, sendo que essa deve ser visível somente por trás.

As luzes anticolisão podem ser rotativas vermelhas ou estroboscópicas brancas, podem estar localizadas nas pontas das asas, acima e baixo da fuselagem ou no alto da deriva.

O farol de táxi serve para iluminar a área de manobra no solo enquanto que os faróis de pouso servem para iluminar um trecho da pista durante o pouso.



## Síntese

Nesta unidade, estudamos o conceito de sistemas e aprendemos que cada um objetivo geral a ser atingido. Entendemos que os sistemas mecânicos são conjuntos constituídos de elementos físicos e são compostos por partes ou elementos que se relacionam entre si. A integração entre esses componentes é chamada de sinergia, determinando que as transformações ocorridas em uma das partes do sistema influenciarão todas as outras. A alta sinergia de um sistema fará com que ele venha atingir seu objetivo enquanto que a falta de sinergia pode implicar mau funcionamento do sistema.

Vimos também que os sistemas são dinâmicos e podem falhar, mas isso não pode por em risco a manutenção do voo. Assim, nós, como operadores de aeronaves, não podemos ceder ao fatalismo e devemos gerenciar os riscos e falhas dessa operação, pois a segurança operacional do avião e de seus sistemas depende das nossas escolhas como projetistas, mecânicos e aviadores. Dois itens que colaboram com esse gerenciamento são os dispositivos de segurança e as redundâncias operacionais do sistema.

Na sequência, vimos como funcionam e do que se constituem alguns dos vários sistemas da aeronave, incluindo o sistema hidráulico, o grupo moto propulsor, o sistema pneumático, pressurização e ar-condicionado, e o sistema elétrico completando, assim, o conhecimento básico de uma aeronave. Agora vamos iniciar o estudo de sua operação.



## Atividades de autoavaliação

Ao final de cada unidade, você realizará atividades de autoavaliação. O gabarito está disponível no final do livro didático. Mas, esforce-se para resolver as atividades sem ajuda do gabarito, pois, assim, você estará promovendo (estimulando) a sua aprendizagem.

- 1) Estudamos que tanto o sistema hidráulico quanto o pneumático podem ser usados para transmitir força e provocar o acionamento de componentes. Qual a principal diferença entre eles?

---

---

---

- 2) Descreva quais são as vantagens e as desvantagens do uso do sistema hidráulico para o acionamento de componentes.

---

---

---

- 3) O motor a pistão já se desenvolveu muito, como, por exemplo, o de uso automotivo. Mas a tecnologia usada no motor aeronáutico não acompanhou essa evolução e está velha. Aeronaves modernas, como o Cirrus, utilizam motores projetados há 70 anos. Hoje, a sociedade mundial exige maior controle ambiental e utilização mais racional dos recursos energéticos. Sendo assim, faça uma pesquisa para responder à seguinte pergunta: qual é o futuro do motor aeronáutico para as aeronaves leves?

---

---

---

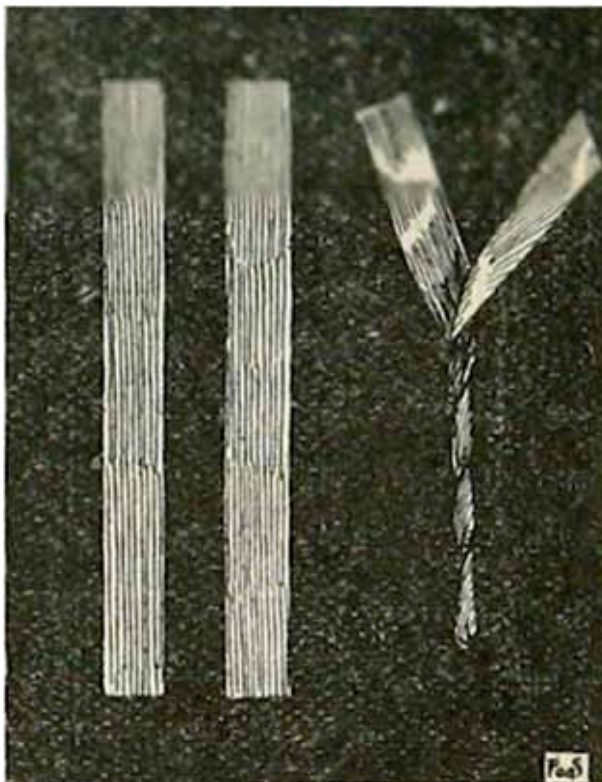
- 4) Faça a experiência abaixo e depois descreva sua observação e as forças envolvidas.

Pega-se em duas tiras de papel fino, com 15 centímetros mais ou menos de comprimento e um ou dois de largura. Torcem-se uma na outra até o comprimento de 10 centímetros e afastam-se para lados opostos as extremidades livres, de modo a figurar a forma de um Y. Complete com uma pequena torção em cada extremidade das pontas livres.

---

---

---



Solte o objeto de certa altura e faça sua observação.



## Saiba mais

Se você desejar, aprofunde os conteúdos estudados nesta unidade, consultando as seguintes referências:

Lombardo, D. A., *Advanced Aircraft systems*, New York, McGraw-Hill, 1999

*Manual Systems Description*; Kroes, M.J., *Aircraft Maintenance and Repair*, McGraw-Hill, New York, 1993

## UNIDADE 3

# Instrumentos de voo e automação

# 3



### Objetivos de aprendizagem

- Compreender o funcionamento dos instrumentos de voo.
- Reconhecer e saber utilizar as informações dos instrumentos de voo.
- Entender a aplicação da automação na operação das aeronaves.
- Saber reconhecer as falhas dos instrumentos e na automação.



### Seções de estudo

**Seção 1** Sistema Pitot-estático

**Seção 2** Sistema giroscópico

**Seção 3** Sistema de bússola

**Seção 4** Instrumentos dos sistemas do avião e do motor

**Seção 5** EFD – Painel de Voo Eletrônico

**Seção 6** A automação no voo



## Para início de estudo

O piloto tem à sua disposição uma variedade de instrumentos instalados no *cockpit*, para obter informações relativas ao voo e ao funcionamento do seu avião.

Eles são divididos em quatro grupos básicos de instrumentos:

- **Instrumentos de voo** que indicam as variáveis que afetam o voo, como a velocidade e a altitude.
- **Instrumentos de navegação** que orientam o voo numa determinada trajetória como a bússola.
- **Instrumentos do motor** que indicam as condições de funcionamento do motor, como o tacômetro.
- **Instrumentos dos sistemas do avião** que mostram os parâmetros de funcionamento dos sistemas da aeronave, como quantidade de combustível, pressão do sistema hidráulico etc.

Os instrumentos de voo permitem que uma aeronave seja operada dentro de seu limite operacional e com o máximo desempenho, contribuindo, assim, para o aumento da segurança, especialmente em voos de longa distância. As aeronaves são equipadas com os instrumentos de voo básicos necessários e algumas delas possuem sofisticados instrumentos de última geração. Mas para utilizá-los de forma eficaz, os pilotos precisam entender como eles funcionam e o que eles indicam.

É importante o piloto entender e tornar-se familiarizado com os aspectos operacionais dos instrumentos do sistema anemométrico ou Pitot-estático, do sistema de vácuo, com os instrumentos giroscópicos e com a bússola magnética, para poder interpretar corretamente a informação recebida. O piloto também precisa ser capaz de reconhecer os erros associados ao mau funcionamento desses instrumentos que afetam significativamente a segurança de voo.

Assim, quando um piloto entende como funciona cada instrumento, reconhece e interpreta corretamente as informações fornecidas, ele pode, seguramente, utilizar sua aeronave em seu potencial máximo.

## Seção 1 – Sistema Pitot-estático

Três dos mais importantes instrumentos de voo são conectados ao sistema anemométrico, também conhecido como sistema Pitot-estático: o velocímetro, o altímetro e o indicador de razão de subida (variômetro). O deslocamento dos aviões gera a necessidade de se medir sua velocidade horizontal, sua razão de subida ou de descida e a sua altitude. Essas medições poderiam ser feitas de várias maneiras, mas o método utilizado na aviação foi desenvolvido por Henri Pitot, em 1732, que relaciona a velocidade do ar e a altitude com a diferença entre a pressão total e a pressão estática (BRITÂNICA, 2011).

O dispositivo capaz de obter essas leituras leva o nome do seu idealizador: **Tubo de Pitot**. Junto a ele, as linhas de pressão estática e dinâmica completam o sistema que fornece informações para os **instrumentos de voo**. São eles que iremos estudar nesta seção.

### Linhas de Pressão

O tubo de Pitot é utilizado para obter dados de pressões combinadas que estão presentes quando um avião se desloca no ar. A pressão estática, também conhecida como pressão atmosférica, está sempre presente, independentemente se uma aeronave estiver em movimento ou em repouso. É simplesmente a pressão barométrica do local. A pressão dinâmica estará presente somente quando uma aeronave estiver em movimento, pois representa a pressão causada pela força do ar de impacto, por isso também é conhecida como pressão de impacto.

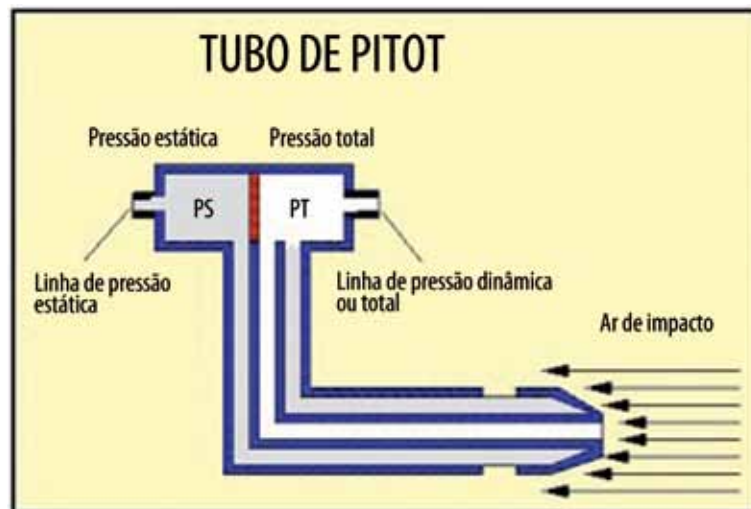
O tubo de Pitot possui uma pequena abertura que é a tomada de pressão estática, na sua parte lateral, e um furo na sua ponta que permite a tomada da pressão total, é composta pela soma da pressão dinâmica mais a pressão estática, já que é impossível separá-las.

Figura 3.1 – Tubo de Pitot



Fonte: Aero Instruments, 2011.

Figura 3.2 – Diagrama do tubo de Pitot



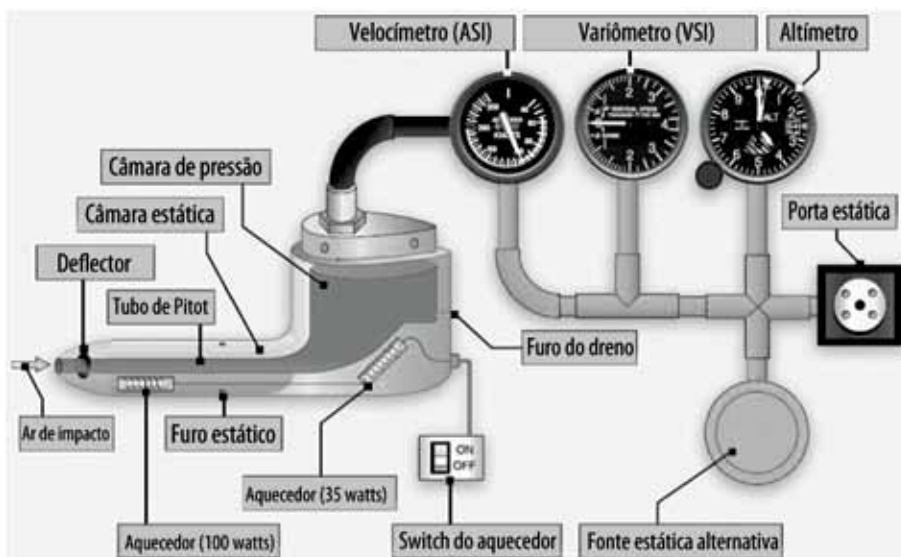
Fonte: Arte do Autor, 2011.

No interior do tubo há duas câmaras separadas, uma de pressão estática ligada ao exterior pelo furo lateral e outra de pressão total, que recebe a pressão do ar de impacto. As pressões captadas pelas duas câmaras são enviadas ao sistema por duas linhas diferentes.

- A linha de pressão estática: liga a câmara de pressão estática do Pitot ou de uma porta estática separada com os instrumentos. Ela proporciona a ventilação livre e sem distúrbios do ar externo, até os instrumentos.
- A linha de pressão dinâmica ou de impacto: liga a câmara de pressão total aos instrumentos, fornecendo a pressão total para o cálculo da velocidade.

Para evitar a formação de gelo e o acúmulo de água, o tubo de Pitot possui uma resistência elétrica de aquecimento e furos de drenagem de água. O tubo de Pitot deve ser verificado antes de cada decolagem, quanto a sua desobstrução. Normalmente, durante os pernoites são usadas capas de proteção para evitar que insetos e outros objetos possam entrar nos orifícios do tubo e causar entupimento.

Figura 3.3 – Sistema Pitot-Estático



Fonte: Pilot Handbook of Aeronautical Knowledge – FAA, 2010.

## Instrumentos

O instrumento que usa a pressão dinâmica é o **velocímetro**, também conhecido como **ASI** (*Airspeed Indicator*), os demais utilizam somente a variação da pressão estática. O velocímetro trabalha em função da variação da pressão diferencial em seu

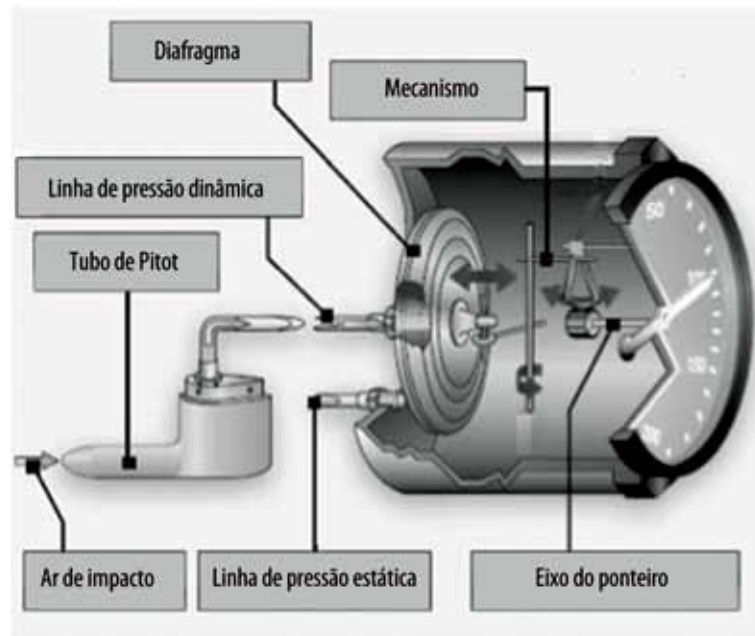
interior, pois recebe a pressão total por um lado e a pressão estática por outro. Como as pressões estáticas de ambos os lados se anulam, a pressão dinâmica é a que permanece para ser indicada pelo instrumento. Quando a pressão dinâmica se altera, o velocímetro irá indicar um aumento ou redução da velocidade, dependendo da variação ocorrida. O ASI pode ser calibrado para fornecer informação em km/h (quilômetros por hora), mph (milhas por hora) ou kt (nós – milhas náuticas por hora).



O ASI é um sensível medidor de pressão diferencial que indica prontamente a diferença entre a pressão de impacto do Pitot (pressão dinâmica) e a pressão estática.

As duas pressões, estática e dinâmica, são iguais quando o avião está estacionado no solo em ar calmo. Quando a aeronave se move pelo ar, a pressão de impacto na linha de Pitot se torna maior do que a pressão na linha estática. Essa diferença de pressão é registrada pelo ponteiro de velocidade, na face do instrumento.

Figura 3.4 – Componentes do velocímetro – ASI



A referência de todas as descrições técnicas é o PHAK 2010. Mas note que as definições técnicas não são da referência, e sim de diversos órgãos homologadores no mundo todo.

Fonte: PHAK, 2010.

Assim como as altitudes, existem vários tipos de velocidades. Os pilotos precisam estar bem familiarizados com cada um.

- Velocidade **Indicada** (IAS – *indicated airspeed*) – É a leitura direta do instrumento sem correções das variações de densidade atmosférica, erro de instalação, ou de erro do instrumento. Os fabricantes usam essa velocidade como a base para determinar o desempenho da aeronave. As velocidades de decolagem, de pouso, de stall e demais velocidades listadas nos manuais AFM (aircraft flight manual) / POH (pilot operations handbook) são IAS, normalmente não variam com a altitude ou temperatura.
- Velocidade **calibrada** (CAS – *calibrated airspeed*) – É a IAS corrigida para o erro de instalação e de instrumento. Embora os fabricantes tentem manter os erros de velocímetro ao mínimo, não é possível eliminar todos os erros em toda a faixa operacional de velocidade. Em certas velocidades e com certas configurações de flap, esses erros de instrumento podem totalizar vários nós. Ele é geralmente maior em velocidades baixas. Em cruzeiro e com maior velocidade, a IAS e CAS são aproximadamente as mesmas.
- Velocidade **verdadeira** (TAS – *true airspeed*) – É a CAS corrigida para altitude e temperatura fora do padrão. Como a densidade do ar diminui com o aumento da altitude, a aeronave tem que ser mais rápida em altitudes mais elevadas, para causar a mesma diferença de pressão entre a pressão de impacto do Pitot e pressão estática. Portanto, para uma dada CAS, a TAS aumenta à medida que a altitude aumenta. Um piloto pode encontrar TAS por dois métodos. O mais preciso é usar um computador de voo. Um segundo método, que é uma regra geral, fornece o TAS aproximado. Basta adicionar dois por cento ao CAS para cada 1.000 pés de altitude. A TAS é a velocidade usada para planejamento de voo e a apresentação de um plano de voo.
- Velocidade **de solo** (GS – *ground speed*), é a velocidade real do avião em relação ao solo. É a TAS ajustada para o vento. A GS diminui com um vento contrário, e aumenta com o vento de cauda.

Aeronaves com peso de 12.500 lbs., ou menos, fabricadas depois de 1945, são obrigados a ter o velocímetro marcado em conformidade com um sistema de código de cores padrão, para

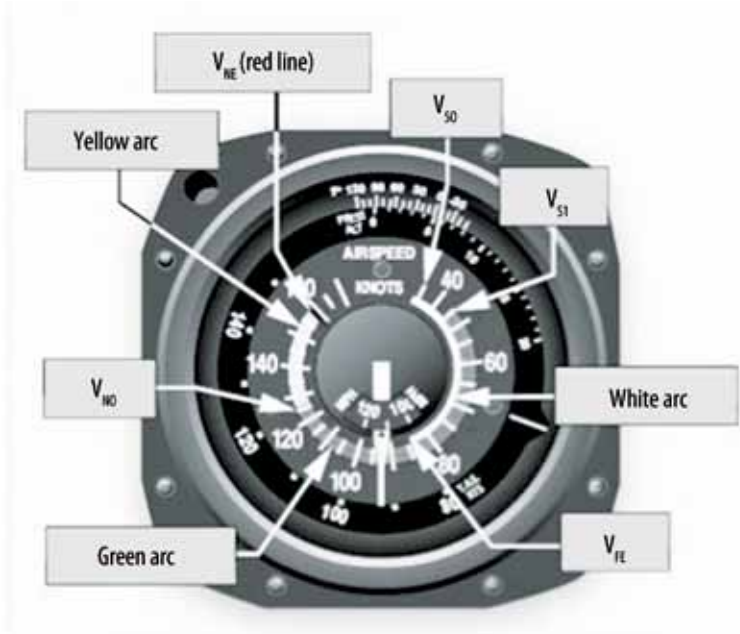
a sua certificação. Esse sistema de código de cores permite que o piloto identifique, à primeira vista, as limitações de velocidade da aeronave para uma operação segura. Por exemplo, se durante a execução de uma manobra, observa-se que a agulha de velocidade está no arco amarelo e rapidamente se aproximando da linha vermelha, a reação deve ser imediata para reduzir a velocidade.

O velocímetro (ASI) de uma pequena aeronave monomotor inclui o seguinte padrão de marcações por código de cores:

- Arco branco – comumente referido como a faixa de operação de flap, mostra uma faixa de velocidades que vai do seu limite inferior, representado pela velocidade de estol, até o seu limite superior, que é a velocidade máxima de flap. Pousos e decolagens são feitos nas velocidades dentro do arco branco.
- Limite inferior do arco branco ( $V_{SO}$ ) – é a velocidade de estol ou a velocidade mínima estabilizada de cruzeiro em configuração de pouso. Em pequenas aeronaves, essa é a velocidade de estol *power-off*, no peso máximo para pouso, na configuração de pouso com o trem de pouso e flaps estendidos.
- Limite superior do arco branco ( $V_{FE}$ ) – é a velocidade máxima com os flaps estendidos.
- Arco verde – é a faixa de velocidade de operação normal da aeronave. Normalmente se voa dentro dessa faixa.
- Limite inferior do arco verde ( $V_{S1}$ ) – é a velocidade de estol ou a velocidade mínima estabilizada de cruzeiro, obtida em uma configuração especificada. Para a maioria das aeronaves, é a velocidade de estol no peso máximo de decolagem na configuração limpa (trem de pouso recolhido, se retrátil e flaps up).
- Limite de arco verde ( $V_{NO}$ ) – é a velocidade máxima estrutural. Não se deve exceder essa velocidade.
- Faixa de cautela arco amarelo. O voo dentro dessa faixa é uma exceção e só deve ocorrer em ar suave e com cautela.

- Linha vermelha ( $V_{NE}$ ) – é a velocidade máxima permitida. Nunca exceder essa marca. O voo além dessa velocidade é proibido, pois pode causar danos e até uma falha estrutural.

Figura 3.5 – Velocidades limitantes indicada por código de cores



Fonte: PHAK, 2010.

Algumas importantes velocidades limitantes não são marcadas no velocímetro, mas são encontrados em placares instalados no painel e no manual da aeronave. As principais velocidades são:

- **Velocidade de manobra** ( $V_A$ ) – é a velocidade máxima em que a carga limite do projeto estrutural pode ser imposta (seja por rajadas ou deflexão total das superfícies de controle), sem causar danos estruturais. É importante considerar o peso ao fazer referência a essa velocidade. Por exemplo, a  $V_A$  pode ser de 100 nós, quando um avião está muito carregado, mas apenas 90 nós quando a carga é leve.
- **Velocidade de operação do trem de pouso** ( $V_{LO}$ ) – é a velocidade máxima para estender ou retrain o trem de pouso (para aeronaves com trem retrátil).
- **Velocidade do trem de pouso estendido** ( $V_{LE}$ ) – é a velocidade máxima que uma aeronave pode voar com o trem de pouso estendido.

- **Velocidade de melhor ângulo de subida** ( $V_X$ ) – é a velocidade em que uma aeronave ganha mais altura em uma determinada distância. Ela é usada durante a subida inicial, logo após a decolagem, para livrar um obstáculo.
- **Velocidade de melhor razão de subida** ( $V_Y$ ) – é a velocidade em que se ganha mais altitude em um determinado período de tempo.
- **Velocidade de melhor razão de subida monomotor** ( $V_{YSE}$ ) – é a melhor razão de subida ou razão mínima de descida em um pequeno avião bimotor, com um motor inoperante. É marcado no ASI com uma linha azul.
- **Velocidade mínima de controle** ( $V_{MC}$ ) – é a velocidade mínima de voo em que uma aeronave bimotor pode ser satisfatoriamente controlada quando, repentinamente, um motor se torna inoperante e o outro motor está com potência de decolagem. A  $V_{MC}$  é subdividida em duas outras: a  $V_{MCG}$ , referente à velocidade mínima de controle no solo, e a  $V_{MCA}$ , velocidade mínima de controle no ar.

Existem várias outras definições de velocidades limitantes ou referenciais que fazem parte do desempenho da aeronave. Você deverá estudá-las quando for estudar uma aeronave específica.

A verificação do funcionamento do velocímetro é feito antes e durante a corrida de decolagem. Antes da decolagem e com a aeronave parada, o ASI deve indicar zero. No entanto, se houver um vento forte soprando diretamente no tubo Pitot, o ASI pode indicar algo além de zero, devido ao vento. Ao iniciar a decolagem verifique se a velocidade está aumentando a uma razão adequada. Se possível, faça um cheque cruzado com outro velocímetro.

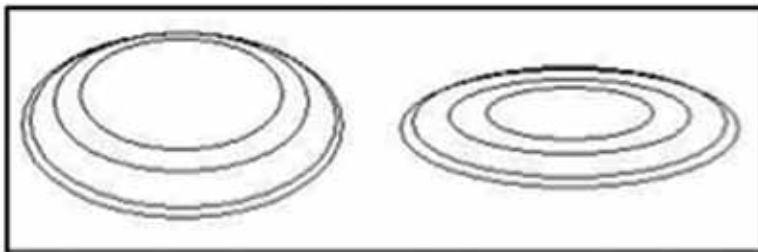
O **altímetro** é um instrumento que mede a altura de uma aeronave acima de um dado nível de pressão. Uma vez que o altímetro é o único instrumento capaz de indicar a altitude, ele é um dos instrumentos vitais instalados na aeronave. Para usar o altímetro de forma eficaz, o piloto deve compreender o funcionamento do instrumento, bem como os erros associados a ele e os efeitos na sua indicação.

O altímetro é um tipo de barômetro, ou seja, um manômetro que mede a pressão atmosférica na altitude onde ele está, por meio de uma **cápsula aneróide**, ligada à linha de pressão estática.

O princípio da operação do altímetro baseia-se no fato de a pressão atmosférica variar com a altitude. O ar é mais denso ao nível do mar e a pressão atmosférica maior. Conforme a altitude aumenta, a pressão atmosférica diminui e o ar se torna mais rarefeito. Essa diferença de pressão em vários níveis faz com que o altímetro venha a indicar as mudanças de altitude. Uma pilha de cápsulas aneróides é o principal componente do altímetro. Essa capsula é selada e contém um vácuo no seu interior, possui uma pressão interna de 29,92 polegadas de mercúrio (29,92” Hg). Essas cápsulas são livres para se expandir e contrair com as alterações da pressão estática externa a elas. A pressão estática maior (mais do que 29,92” Hg) pressiona as cápsulas para baixo e faz com que elas se contraíam.

Cápsula aneróide é uma pequena “sanfona” que se expande ou achata, de acordo com a pressão externa. (HOMA, 2010).

Figura 3.6 – Capsula aneróide expandida e contraída

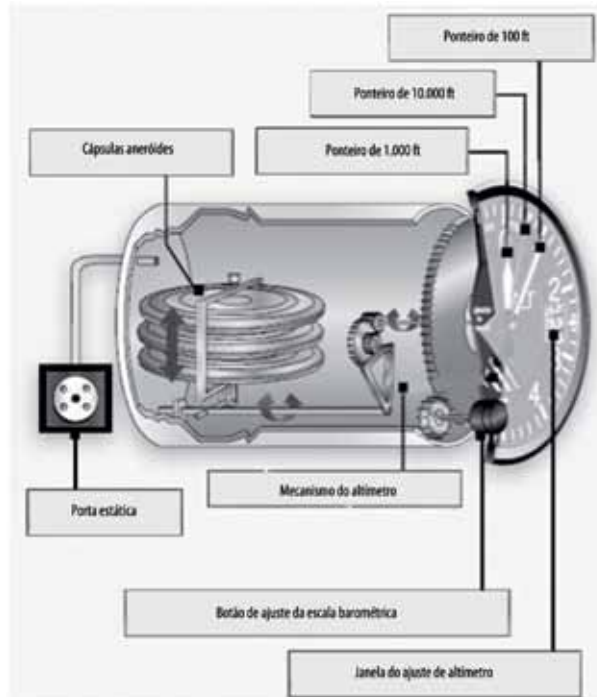


Fonte: Elaboração do Autor, 2011.

A pressão estática menor (menos de 29,92” Hg) permite que as cápsulas venham a se expandir.

A pressão estática é introduzida na parte traseira do corpo do altímetro, que é uma câmara selada e permite que a pressão estática atue em volta da cápsula aneróide.

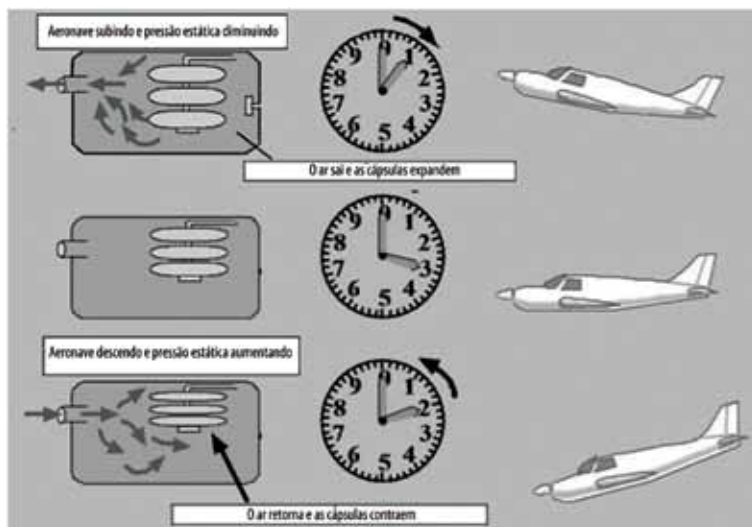
Figura 3.7 – Componentes do altímetro



Fonte: PHAK, 2010.

Se a pressão estática é maior que a pressão interna das cápsulas aneróides (29,92” Hg), elas são comprimidas. Inversamente, se a pressão estática é menor que a pressão no interior das cápsulas, elas vão se expandir. O movimento de expansão e contração das cápsulas atua o mecanismo que movimenta os ponteiros do altímetro.

Figura 3.8 – Funcionamento da cápsula aneróide do altímetro



Fonte: Arte do Autor, 2011.

O altímetro é um instrumento básico exigido para todas as aeronaves serem certificadas. Ele mede a pressão atmosférica e apresenta-a como altitude em pés (*feet – ft*). Essa altitude é indicada em relação ao nível médio do mar (NMM) ou (MSL *Mean Sea Level*), uma vez que ele é a referência média do nível da maioria dos oceanos.

A apresentação de altitude varia consideravelmente entre os diferentes tipos de altímetros. Alguns têm um ponteiro, enquanto outros têm dois ou mais. Nos painéis eletrônicos, a indicação é por fita, mas o mostrador de um altímetro analógico típico é formado com algarismos dispostos no sentido horário, de zero a nove. O movimento do elemento aneroide é transmitido por meio de engrenagens para os três ponteiros que indicam altitude. O ponteiro mais curto indica altitude em milhares de pés, o ponteiro intermediário em centenas de pés, e o mais fino e longo, a dezenas de milhares de pés.

A altitude indicada estará correta, porém, apenas quando a pressão barométrica for baseada na atmosfera padrão ao nível do mar. A atmosfera padrão é encontrada quando a pressão atmosférica está em 29,92 in Hg ou 1013,2 hPa – hectopascal – com temperatura de 15 graus Celsius (°C), e a partir da razão padrão de variação da pressão e da temperatura, aumenta a altitude. A atmosfera padrão é conhecida como ISA (*International Standard Atmosphere*).

Ajustes para pressões fora do padrão são feitos ao inserir a pressão corrigida em uma janela de escala barométrica, localizada na face do altímetro. A janela de pressão barométrica é por vezes referida como a janela de **Kollsman**. Somente com o ajuste de altímetro inserido na janela é que a altitude indicada estará correta.

## Efeito da pressão e temperatura não padrão

É fácil manter uma altura constante acima do solo se a pressão barométrica e a temperatura permanecerem constantes, mas isso raramente acontece. A temperatura e a pressão podem mudar entre a decolagem e o pouso, mesmo em um voo local. Se os altímetros não pudessem ser ajustados para a pressão fora do

Paul Kollsman foi um inventor alemão que imigrou para os EUA em 1923. Foi um dos pioneiros em solucionar os desafios mecânicos do início da aviação. Sua maior contribuição foi o desenvolvimento do primeiro altímetro aeronáutico que possibilitou o início dos “voos cegos”. (MIT, 2005).

padrão, uma situação perigosa poderia ocorrer. Por exemplo, se uma aeronave é levada de uma área de alta pressão para uma de baixa pressão, sem ajustar o altímetro, uma altitude constante será indicada, porém, a altura real da aeronave acima do solo seria menor. Por outro lado, se um avião é pilotado a partir de uma área de baixa pressão para uma de alta, sem um ajuste do altímetro, a altitude real da aeronave é maior do que a altitude indicada.

Uma vez em voo, é importante obter o correto ajuste do altímetro para garantir a separação com o terreno e com os obstáculos e a manutenção correta da altitude de voo autorizada.

Ajustes para compensar a variação da pressão fora do padrão não compensam a variação de temperatura fora do padrão. Como o ar frio é mais denso que o quente, quando operando em temperaturas que são mais baixas do que o padrão, a altitude é menor daquela indicada no altímetro. É a magnitude dessa “diferença” que determina a magnitude do erro. A preocupação do piloto deve ser com as temperaturas mais frias. Ao voar em uma massa de ar frio, mantendo uma altitude constante indicada, a altitude verdadeira é menor.

Figura 3.9 – Tabela de erro de altímetro em função da temperatura

Reported Temp 0 °C	Height Above Airport in Feet													
	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000	3000	4000	5000
+10	10	10	10	10	20	20	20	20	20	30	40	60	80	90
0	20	20	30	30	40	40	50	50	60	90	120	170	230	280
-10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200	290	390	490
-20	30	50	60	70	90	100	120	130	140	210	280	420	570	710
-30	40	60	80	100	120	140	150	170	190	280	380	570	760	960
-40	50	80	100	120	150	170	190	220	240	360	480	720	970	1210
-50	60	90	120	150	180	210	240	270	300	450	590	890	1190	1500

Fonte: PHAK, 2010. Baseada em cálculos da ICAO.

Se observarmos a Figura 3.9, uma temperatura de -10°C pode indicar um erro de até 10% da altitude, ou seja, se a aeronave estiver a 1.000 ft de altitude indicada, na realidade, estará a 900 ft. Nessas condições, a separação com o terreno ou obstáculo é um fator importante na escolha de uma altitude, principalmente

em terrenos montanhosos. Lembre-se de que o erro de altitude, devido ao ar mais frio do que o padrão, deve ser considerado. Quando o ar está mais quente do que o padrão, a altitude real do avião é maior do que a indicada.

### Tipos de altitude:

- **Altitude pressão (AP)** – (PA, *Pressure Altitude*) é pressão indicada pelo altímetro, quando ajustado para a pressão padrão, isto é, para a superfície isobárica de 1013,2 hPa, correspondente ao nível médio do mar (NMM). Tal ajuste é feito pelo botão do altímetro e mostrado na janela de Kollsman.
- **Altitude indicada (AI)** – (IA, *Indicated Altitude*) é a altitude apresentada pelo altímetro, a leitura da altitude com o altímetro ajustado para a pressão local.
- **Altitude verdadeira (AV)** ou *True Altitude (TA)* – é a altitude acima do nível médio do mar (MSL). É a que representa a distância, corrigida pela temperatura, entre a aeronave e a superfície, solo ou água. Nas cartas aeronáuticas, as altitudes de aeroportos, terrenos e obstáculos são expressas em altitudes verdadeiras.
- **Altitude pressão** – é a altitude indicada quando o altímetro está com o ajuste padrão 1013.2 hPa ou 29,92 Hg. A altitude pressão é usada para computar alguns dados de desempenho (*performance*), como altitude densidade, altitude verdadeira e velocidade verdadeira, entre outros.
- **Altitude densidade** – é a altitude pressão corrigida para as variações de temperatura. É um item importante no cálculo de desempenho das aeronaves.
- **Altitude absoluta**, ou simplesmente altura, é a distância entre a aeronave e o terreno ou superfície de sobrevoos, seja água ou solo (AGL – *above ground level*).

## Erros do altímetro

O altímetro não é um instrumento de medida absoluta e é afetado por vários fatores, traduzidos em erros de dois tipos: instrumentais e barométricos.

Os **erros instrumentais** são aqueles decorrentes do instrumento e da sua instalação, por exemplo:

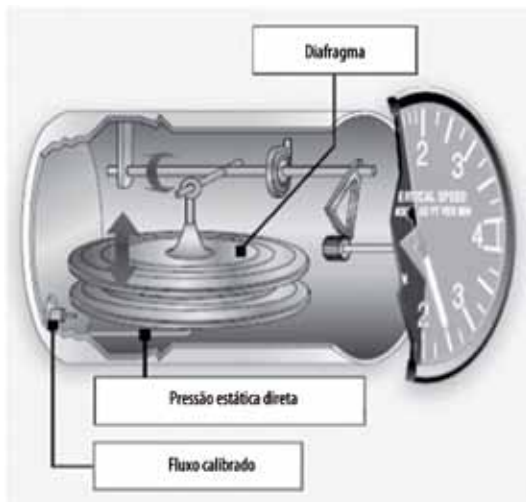
- **Erro de fricção:** ocorre devido às peças móveis internas apresentarem atrito entre elas. A própria vibração do motor pode causar tal efeito.
- **Erro por histerese ou inércia:** esse efeito fará com que o altímetro não responda rapidamente a uma mudança brusca de altitude, havendo um tempo de retardamento para a leitura correta. Indica que a Cápsula aneroide não tem uma elasticidade plena.
- **Erro pela posição da tomada do ar estático:** pelo local não adequado e /ou colocação defeituosa do Tubo de Pitot, a tomada da pressão estática não representará corretamente a pressão estática externa.
- **Erro por obstrução da linha de pressão estática:** a hipótese de obstrução da entrada da pressão estática, seja por corpo estranho, inseto, areia, gelo etc., as indicações serão invertidas. Assim, quando estiver subindo indicará altitudes menores, e vice-versa. Constatada tal anomalia no sistema Pitot-estático, a maneira prática de correção é utilizar uma porta estática alternativa. Se o avião não dispõe de outra fonte de pressão estática, podemos quebrar o vidro do instrumento, permitindo que a pressão estática do cockpit entre na caixa do instrumento. Nesse caso, para não correr o risco de danificar o altímetro, é recomendado quebrar o vidro do indicador de velocidade vertical, que também está ligado na mesma linha e é um instrumento menos importante.

**Erros barométricos** são os que decorrem das diferenças entre a pressão e/ou a temperatura padrões, e a pressão e/ou a temperatura atuais apresentadas pelo ambiente, no momento da leitura, como comentado anteriormente, sobre os efeitos da pressão e da temperatura não padrão.

Antes de cada voo, o piloto deve examinar o altímetro para verificar se as indicações são válidas. Para determinar a condição de um altímetro, basta inserir o correto e atual ajuste de altímetro transmitido pela estação de serviço aeronáutico, ou outra fonte confiável, e conferir se a altitude indicada pelos ponteiros do altímetro é a mesma da elevação do aeroporto onde a aeronave está. Se a diferença de indicação for maior que 75 ft, o instrumento deve ser encaminhado para uma oficina certificada de reparação de instrumentos para recalibração.

O **variômetro ou indicador de velocidade vertical** (VSI – Vertical Speed Indicator) informa ao piloto se a aeronave está subindo, descendo ou em voo nivelado. A taxa de subida ou descida é indicada em pés por minuto (FPM – *feet per minute*) e indicará zero em voo nivelado.

Figura 3.10 – VSI Indicador de velocidade Vertical



Fonte: PHAK, 2010.

Embora o VSI opere exclusivamente com a pressão estática, ele é um instrumento de pressão diferencial. Ele contém uma cápsula diafragma em conexão mecânica com os ponteiros indicadores, tudo instalado dentro de um corpo do instrumento hermeticamente selado. O interior do diafragma está ligado diretamente à linha estática do sistema Pitot-estático. A área externa do diafragma está dentro da caixa do instrumento, esse também é conectado à linha estática, mas por meio de um orifício restrito de fluxo calibrado.

Assim, tanto o diafragma quanto o corpo do instrumento recebem ar a partir da linha estática na pressão atmosférica existente, mas o diafragma recebe ar livre, enquanto que o corpo do instrumento recebe a pressão estática por meio do fluxo calibrado. Portanto, quando a aeronave está no solo ou em voo nivelado, as pressões dentro do diafragma e da caixa do instrumento são iguais e o ponteiro indicará zero.

Quando a aeronave sobe ou desce, a pressão dentro do diafragma muda imediatamente, mas devido à ação de restrição de vazão do orifício de fluxo calibrado, a pressão dentro da caixa e ao redor do diafragma continua maior ou menor por um tempo curto, fazendo com que o diafragma venha a se contrair ou expandir. Esse movimento do diafragma devido ao diferencial de pressão será indicado na agulha do instrumento como uma subida ou descida. Quando a pressão diferencial se estabiliza em um determinado valor, o VSI indicará essa razão como sendo a razão de subida ou de descida da aeronave.

O VSI apresenta dois tipos diferentes de informação:

- Informações da tendência, ou seja, mostra uma indicação imediata de um aumento ou diminuição na razão de subida ou descida da aeronave.
- Informação da razão estabilizada de mudança de altitude.

A informação de tendência indica a direção do movimento do ponteiro do VSI. Por exemplo, se uma aeronave está em voo nivelado e o piloto puxa o manche de modo a levantar o nariz do avião, a agulha se move para cima do VSI para indicar uma subida. Se a atitude de cabragem (*pitch up*) se mantém constante, a agulha se estabiliza após um curto período e indica a taxa de subida em centenas de fpm.

O período de tempo a partir da mudança inicial na atitude, até que o VSI exiba uma indicação precisa da razão de variação de altitude, é chamado de atraso ou defasagem (lag). Técnica de pilotagem rude e turbulência podem estender o período de defasagem e causar indicação de razão irregular e instável. Algumas aeronaves são equipadas com um indicador

de velocidade vertical instantânea (IVSI), que incorpora acelerômetros para compensar o atraso no VSI típico.

Como parte de um cheque pré-voos, o funcionamento adequado do VSI deve ser estabelecido. Verifique se o VSI indica perto de zero antes de deixar a área da rampa e, novamente, pouco antes da decolagem. Após a decolagem, o VSI deve mostrar a tendência ascendente para indicar uma taxa positiva de subida (*positive rate of climb*) e, em seguida, visto que uma subida estabilizada foi determinada, uma razão de subida será indicada.

## **Bloqueio do sistema de Pitot-estático**

Normalmente, quando surgem erros quase sempre eles indicam bloqueio do tubo de Pitot ou da porta estática ou de ambos. A obstrução pode ser causada por umidade (incluindo gelo), sujeira, ou até mesmo insetos. Durante o pré-voos, certifique-se de que a capa do tubo de Pitot foi removida. Então, deve-se verificar se o tubo de Pitot e a abertura da porta estática estão livres e desobstruídos. Um tubo de Pitot bloqueado afeta a precisão do velocímetro (ASI), mas um bloqueio da porta estática não só afeta o ASI, mas também causa erros no altímetro e no VSI.

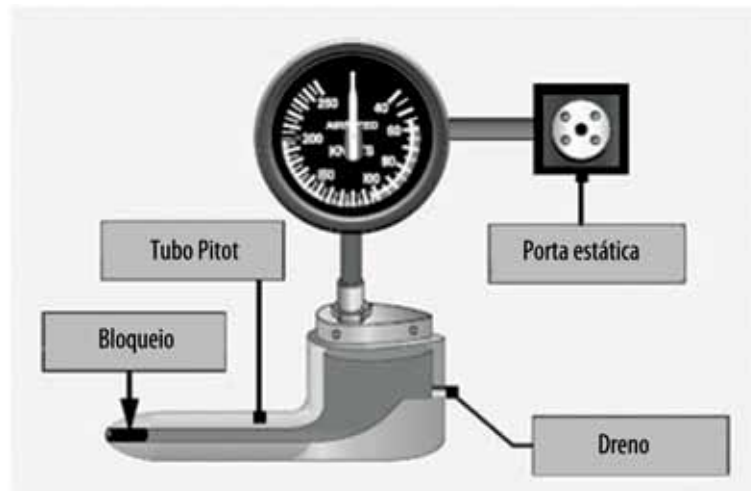
## **Sistema de Pitot bloqueado**

O sistema de Pitot (linha de pressão dinâmica) pode tornar-se totalmente bloqueado ou apenas parcialmente, se o furo de dreno do tubo de Pitot permanecer em aberto.

Num primeiro caso, se o tubo de Pitot for bloqueado e seu furo associado de drenagem permanecer livre, o ar de impacto (*RAM air*) já não é capaz de entrar no sistema de Pitot, mas o ar do sistema permanecerá ventilado por meio do furo de drenagem, e a pressão remanescente cairá para a pressão do ar ambiente (pressão estática). Nessas circunstâncias, a leitura do ASI cairá para zero, porque o velocímetro não perceberá nenhuma diferença entre a pressão de ar de impacto e a pressão de ar estática, já que ambos os lados (linhas) estão com a pressão igualada. Assim, o

velocímetro estará inoperante enquanto a pressão dinâmica não entrar no sistema de Pitot. A perda de velocidade, nesse caso, não é instantânea, mas normalmente acontece muito rapidamente.

Figura 3.11 – Pitot bloqueado e dreno aberto. Velocidade zero



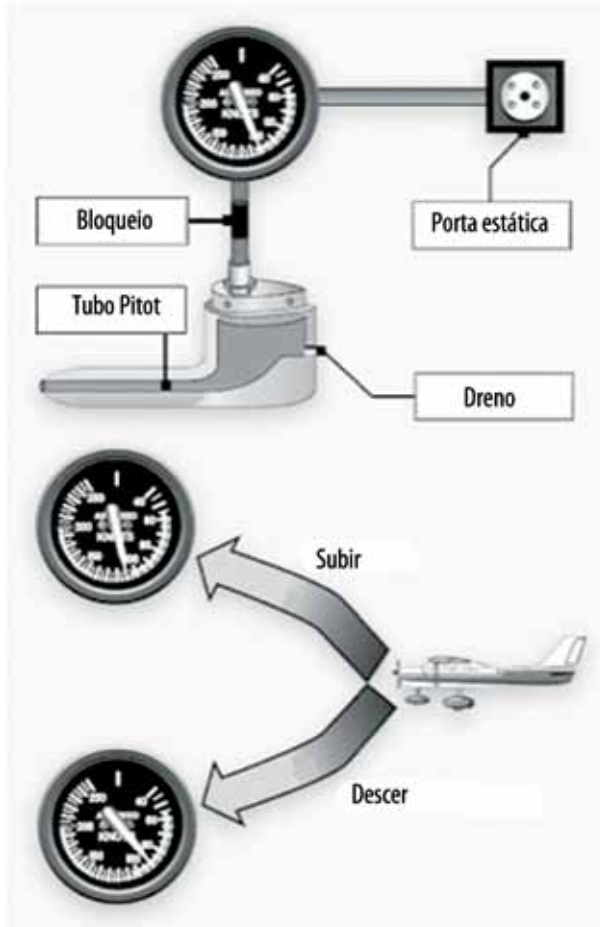
Fonte: PHAK, 2010.

Uma outra condição acontece se ambas as aberturas, o tubo Pitot e o furo de dreno, ficarem obstruídos simultaneamente. Nesse caso, então, a pressão existente dentro do tubo de Pitot (linha de pressão dinâmica) ficará presa. Assim, nenhuma alteração será observada na indicação de velocidade do ar, mesmo que a velocidade venha a aumentar ou diminuir. O velocímetro não está travado, apenas não notará diferença da pressão de impacto com a variação da velocidade.

É interessante notar que se a porta estática estiver desbloqueada quando o avião mudar de altitude, resultará em uma alteração da indicação de velocidade no ASI. A mudança não está relacionada a uma alteração na velocidade, mas a mudança na pressão estática. A pressão total no tubo de Pitot não muda devido ao bloqueio, no entanto, a pressão estática vai mudar devido à alteração de altitude e resultará em nova pressão diferencial no ASI. Se a aeronave descer, a pressão no sistema de Pitot, incluindo o diafragma permanecerá constante. Ele está entupido e o diafragma mantém uma pressão única. Mas, como ocorreu a descida, a pressão estática aumentará, encolhendo o diafragma, resultando em uma indicação de velocidade menor. Por outro lado, se a aeronave subir, a pressão estática diminuirá, permitindo

que o diafragma venha a se expandir, mostrando, assim, uma indicação de velocidade maior.

Figura 3.12 – Bloqueio total do Sistema



Fonte: PHAK, 2010.

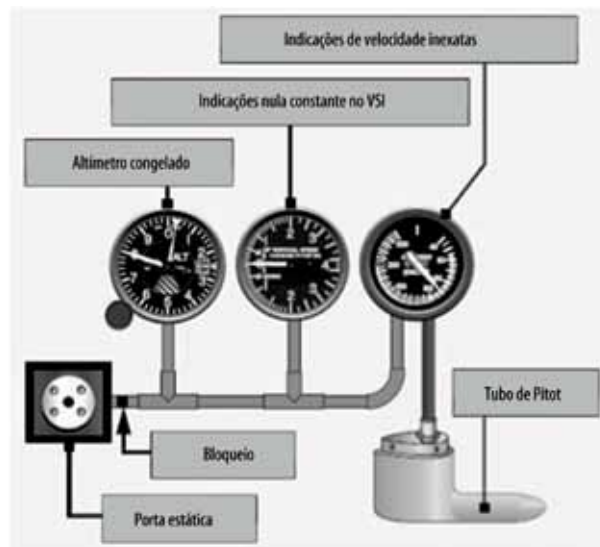
### Sistema estático bloqueado

Se o sistema estático (linha de pressão estática) tornar-se bloqueado, mas o tubo de Pitot estiver livre, o velocímetro (ASI) continuará a operar, mas de forma imprecisa. O ASI indicará uma velocidade mais baixa do que a real, quando o avião estiver acima da altitude, em que as portas estáticas ficaram bloqueadas porque a pressão estática presa na linha é maior do que o normal para aquela altitude. Inversamente, quando operando em altitudes inferiores ao da ocorrência do bloqueio, a velocidade

indicada será maior do que a real, devido à pressão estática presa no sistema, relativamente mais baixa do que a pressão externa.

Um bloqueio da linha de pressão estática também afeta o altímetro e o VSI. A pressão remanescente na linha de pressão estática faz com que o altímetro fique com a indicação presa, como a pressão desta linha, devido ao bloqueio. No caso do VSI, um bloqueio de pressão estática produz uma indicação contínua igual a zero.

Figura 3.13 – Bloqueio da Porta Estática



Fonte: PHAK, 2010.

Algumas aeronaves são equipadas com uma porta estática alternativa na cabine de comando. No caso de uma porta estática bloqueada, abrindo a fonte estática alternativa, introduziremos pressão estática da cabine para a linha de pressão estática, restaurando o sistema. A pressão estática no *cockpit* é menor do que a externa. Verifique o manual da aeronave (AOM / POH) para obter as correções de velocidade, quando estiver utilizando a pressão estática alternativa.

## Seção 2 – Sistema giroscópico

Vários instrumentos de voo utilizam as propriedades de um giroscópio para o seu funcionamento. Os instrumentos mais comuns contendo giroscópios são o coordenador de curva, o indicador de rumo e o horizonte artificial ou indicador de atitude. Entender como esses instrumentos funcionam requer o conhecimento do sistema de energização dos instrumentos, dos princípios giroscópicos e dos princípios de funcionamento de cada instrumento.

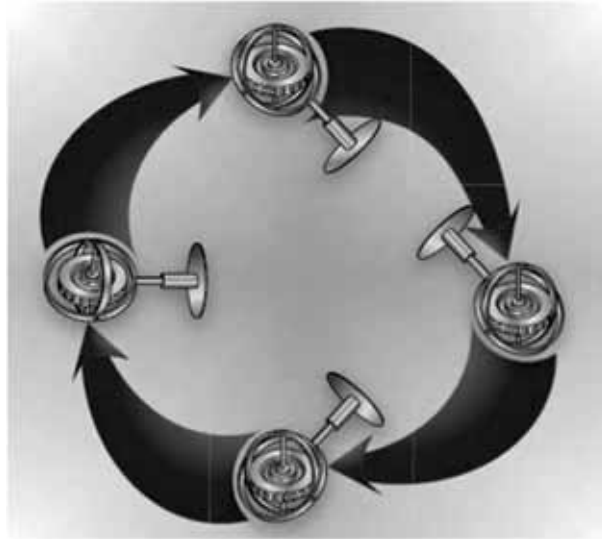
### Princípios giroscópicos

Qualquer objeto girando apresenta propriedades giroscópicas. O rotor projetado e montado para utilizar essas propriedades é chamado de um giroscópio, o qual se constitui em uma roda ou rotor que é apoiado em anéis, de modo que possa ficar girando em qualquer posição. Quando o rotor é posto a girar em alta velocidade, ele apresenta duas propriedades, a **rigidez giroscópica** e a **precessão**.

A rigidez giroscópica refere-se ao princípio de que o rotor de um giroscópio, quando girando em alta velocidade, permanece em uma posição fixa no plano em que está girando. Um exemplo de rigidez no espaço é o de uma roda de bicicleta. Conforme as rodas da bicicleta aumentam a velocidade, elas se tornam cada vez mais estáveis no seu plano de rotação. É por isso que uma bicicleta é muito instável e muito manobrável em baixas velocidades e muito estável e menos manobrável em altas velocidades.

Assim, se os anéis de suporte do rotor (*gimbal rings*) ou sua base são inclinados, virados ou movimentados, o giroscópio permanece no mesmo plano em que foi posto a girar originalmente. O problema é que em manobras radicais, como na acrobacia, o giroscópio pode revirar e apresentar erros, necessitando de novo alinhamento.

Figura 3.14 – Rigidez Giroscópica. O rotor mantém a posição

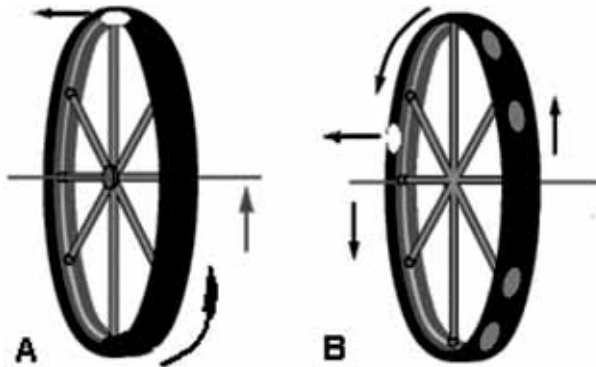


Fonte: PHAK, 2010.

A **precessão** é a inclinação ou giro de um giroscópio em resposta a uma força deflectiva, ou seja, a força aplicada ao rotor com intuito de incliná-lo. A reação a essa força não ocorre no ponto em que foi aplicado, mas sim em um ponto que é de  $90^\circ$  em relação ao plano de rotação. Este princípio permite ao giroscópio determinar uma razão de curva pela sensibilidade da quantidade de pressão criada por uma mudança de direção. A taxa na qual o giroscópio precessa é inversamente proporcional à velocidade do rotor e proporcional à força deflectiva.

Usando o exemplo da bicicleta, a precessão atua sobre as rodas, a fim de permitir que a bicicleta possa fazer uma curva. Quando andando em velocidade normal, não é necessário virar o guidão na direção da curva desejada. O ciclista simplesmente se inclina na direção que ele deseja ir. Como as rodas estão girando no sentido horário, quando vistos do lado direito da bicicleta, se o ciclista se inclina para a esquerda, uma força é aplicada no topo da roda para aquele lado, mas a força realmente funciona a  $90^\circ$  do plano de rotação e tem o efeito de aplicar uma força na parte da frente da roda, fazendo com que a bicicleta venha a se deslocar para a esquerda, como se tivéssemos virado o guidão para aquele lado. Há uma necessidade de virar o guidão em baixas velocidades, devido à instabilidade dos giroscópios, quando estiver girando lentamente.

Figura 3.15 – Precessão. A força aplicada em um ponto da roda terá efeito a 90° do ponto de aplicação.



Fonte: Brain, 2000.

Estas duas propriedades, a rigidez giroscópica e a precessão, servem de base para os instrumentos que orientam o piloto no voo sem referência visual.

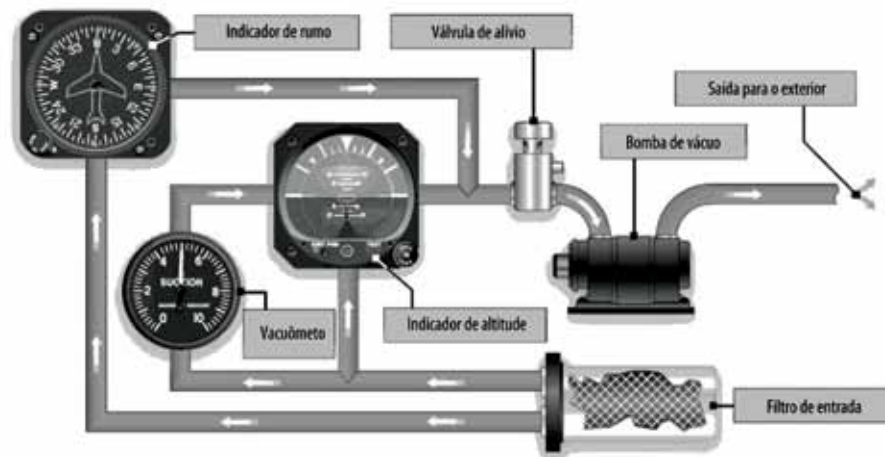
## Fontes de energia

Em algumas aeronaves, os giroscópios são de vácuo, à pressão, ou elétricos. O sistema de vácuo ou pressão faz o rotor do giroscópio girar em alta velocidade, pelo direcionamento de um fluxo de ar contra as palhetas do rotor, como o funcionamento de uma roda d'água ou turbina. O sistema elétrico usa, obviamente, um motor elétrico.

Em algumas aeronaves, o sistema de vácuo ou pressão fornece a energia para o giro direcional e para o indicador de atitude, enquanto que o sistema elétrico fornece a energia para o indicador de curva. A maioria das aeronaves tem pelo menos duas fontes de energia para que pelo menos uma delas garanta o funcionamento do giroscópio e dos instrumentos.

Um sistema de vácuo típico consiste de uma bomba de vácuo com motor, válvula de alívio, filtro de ar, medidor, e tubos necessários para completar as ligações. O medidor é montado no painel de instrumentos da aeronave e indica a quantidade de pressão no sistema (vácuo é medido em polegadas de mercúrio inferior à pressão atmosférica).

Figura 3.16 – Sistema de vácuo



Fonte: PHAK, 2010.

É importante monitorar a pressão de vácuo durante o voo, porque o horizonte artificial e o giro direcional podem fornecer informações não confiáveis quando a pressão de sucção é baixa. Algumas aeronaves são equipadas com uma luz de advertência que se acende quando a pressão de vácuo cair abaixo do nível aceitável.

### Indicador de curva (*Turn Indicator*)

Existem dois tipos de indicadores de curva que podem ser instalados nas aeronaves. Um é conhecido como *Turn & Bank* e o outro como coordenador de curva. Ambos os instrumentos indicam direção da curva e sua coordenação. A coordenação é alcançada observando-se o **inclinômetro**, que consiste em um tubo curvo cheio de líquido, com uma bola pesada em seu interior.

Durante o voo reto horizontal coordenado, a força da gravidade faz com que a bola venha a descansar na parte mais baixa do tubo, centrada entre as linhas de referência. Se a bola não estiver centrada é porque existe uma descoordenação no uso do leme e dos ailerons. Assim, ela poderá ser centrada usando o leme ou variando a inclinação. Para fazer uma curva de boa qualidade, o piloto deve manter a bola centrada ao utilizar os controles de voo. Se a bola não estiver no centro, devemos aplicar pressão no pedal do leme, do mesmo lado para o qual a bola está desviada.

Figura 3.17 – Indicador de Curva. Três situações de uma curva a direita



Fonte: Whitepelican, 2011. Adaptado pelo autor.

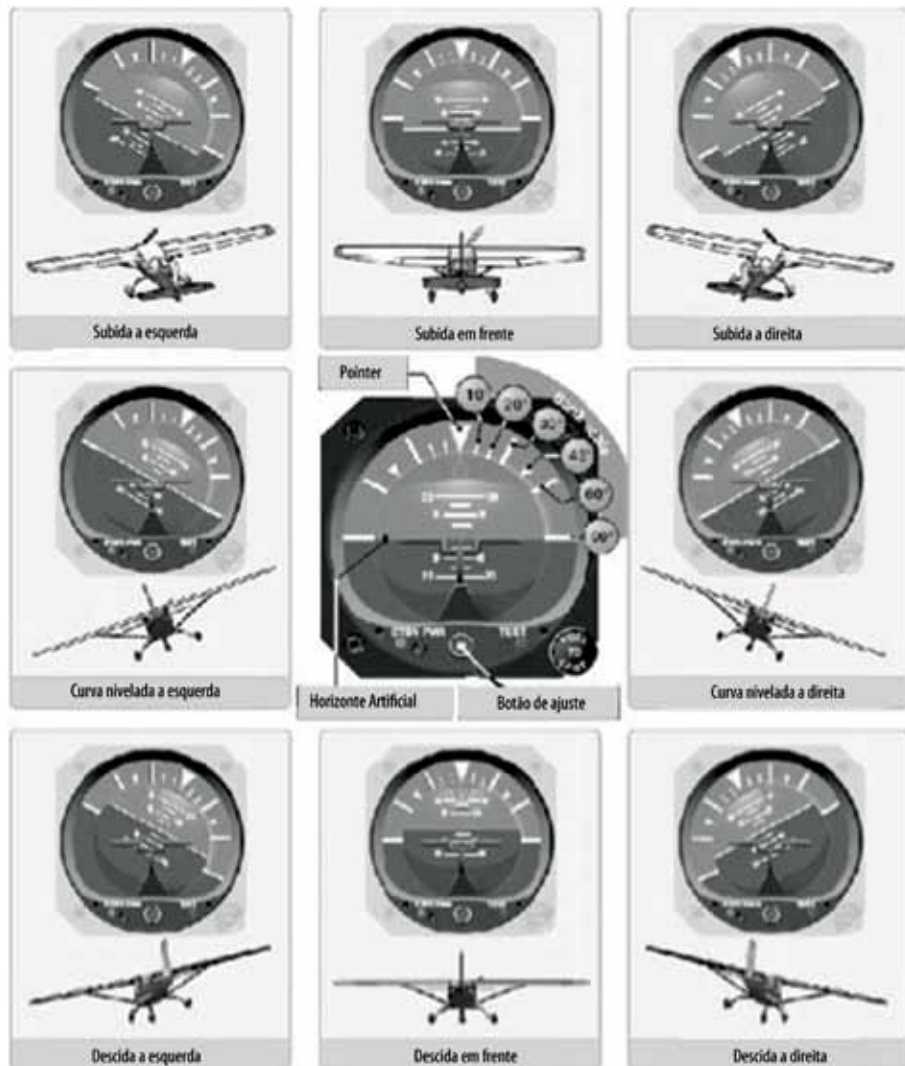
## Horizonte artificial ou indicador de atitude (AI – *Attitude Indicator*)

O horizonte artificial mostra ao piloto a posição da aeronave em relação ao horizonte, ou seja, se a atitude é de nariz alto ou baixo ou de asas inclinadas ou niveladas. O instrumento dá uma indicação instantânea até mesmo para as menores mudanças, sempre que o avião alterar sua posição em relação aos seus eixos longitudinal, transversal e de rolagem.

A evolução do horizonte artificial é o **ADI (*Attitude Director Indicator*)**, que é a integração do diretor de voo ao AI. O ADI, além de informar ao piloto a atitude do avião, informa também como corrigi-la. Essa última é a função diretora.

No AI ou no ADI existem duas escalas, uma no centro que indica o ângulo do nariz do avião em relação ao horizonte, normalmente variando de zero a 30° acima e abaixo do horizonte e outra na parte superior do instrumento, que indica o ângulo de inclinação das asas, normalmente indicando 0°, 10°, 20°, 30°, 45°, 60° e 90° para cada lado. O piloto deve saber interpretar as indicações de atitude do horizonte artificial, como as da figura abaixo.

Figura 3.18 – Indicações de atitude



Fonte: PHAK, 2010.

O giro direcional que é outro instrumento giroscópico básico será discutido com o sistema de bússola.

## Seção 3 – Sistema de bússola

A Terra é um grande imã, girando no espaço e envolta por um campo magnético composto por linhas de fluxo invisíveis, que deixam a superfície a partir do polo norte magnético e retornam no polo sul magnético.

As linhas de fluxo têm duas importantes características: qualquer imã que esteja livre para girar irá se alinhar a elas, e uma corrente elétrica é induzida a qualquer condutor que atravessá-las. A maioria dos indicadores de direção instalada nas aeronaves se baseia em uma dessas características.

### A bússola

Um dos mais antigos e simples instrumentos de indicação de direção é a bússola. Ela é um dos instrumentos básicos requeridos a bordo das aeronaves pelos órgãos homologadores e reguladores das atividades aéreas. Ela indica a proa magnética, ou seja, o ângulo formado entre a direção do norte magnético da Terra e o eixo longitudinal do avião.

Existem dois tipos de bússola: a bússola magnética e a de leitura remota.

A bússola magnética tem seu funcionamento baseado no imã, que tem a propriedade de indicar o norte magnético. O imã é um pedaço de material contendo ferro, atraindo as linhas de fluxo magnético. Independentemente do seu tamanho, todo imã tem dois polos: norte e sul. Quando dois imãs são colocados próximos, dividindo o campo magnético um do outro, os polos contrários se atraem e os iguais se repelem.

Na bússola magnética dois ou mais imãs permanentes são embutidos dentro de uma escala circular móvel, chamada limbo. O limbo está inserido em uma caixa sobre um pivô envolto por um líquido, de modo a deixá-lo livre para girar. A escala gravada no limbo corresponde aos 360 graus de um círculo completo, sendo o Norte indicado a zero grau, o leste a 90 graus, o oeste a 270 e o sul a 180. A bússola magnética é sujeita a erros causados por campos magnéticos espúrios, por fricção ou pelo movimento do avião.

Figura 3.19 – Bússola



Fonte: PHAK, 2010.

A bússola de leitura remota tem um sensor magnético localizado na ponta da asa, livre da interferência de campos magnéticos espúrios. Seus sinais são processados e enviados por um transmissor ao indicador, no painel de instrumentos.

Existe também a bússola de cartão vertical. A bússola magnética comum, além de apresentar vários erros de interferência, apresenta uma leitura confusa. É fácil iniciar uma curva para o lado errado baseado, somente na informação da bússola magnética, já que seu cartão aparenta ser ao contrário. A bússola magnética de cartão vertical elimina esse problema ao apresentar a rosa dos ventos de forma completa e na posição usual a que estamos acostumados a interpretar.

Figura 3.20 – Bússola de cartão vertical

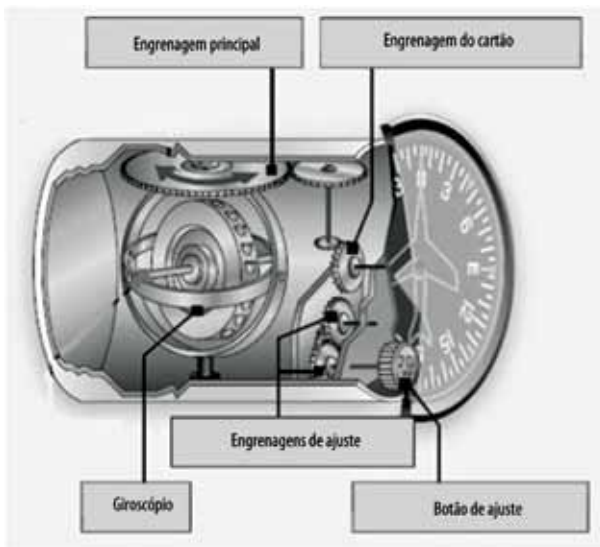


Fonte: PHAK, 2010.

## Giro direcional (*Heading Indicator*)

O indicador de proa é conhecido como giro direcional e é fundamentalmente um instrumento mecânico concebido para facilitar o uso da bússola magnética. São inúmeros os erros apresentados pela bússola magnética, particularmente em ar turbulento. O giro direcional, no entanto, não é afetado pelas forças que fazem da bússola magnética um instrumento difícil de interpretar.

Figura 3.21 – Giro direcional



Fonte: PHAK, 2010.

O funcionamento do giro direcional depende do princípio da rigidez no espaço do giroscópio. O rotor gira em um plano vertical e um cartão de bússola vertical é fixado ao rotor. Como o rotor permanece em posição rígida no espaço, os pontos no cartão também mantêm a mesma posição em relação ao plano vertical do giroscópio. A aeronave, na verdade, gira em torno do giroscópio e, portanto, do cartão, não o contrário. Como a caixa do instrumento e a aeronave giram em torno do eixo vertical do giroscópio, o cartão fornece informações claras e precisas de proa.

Como os painéis de instrumentos se tornaram cada vez mais lotados, o tempo de visualização deles foi se tornando maior e o trabalho do piloto mais complexo. Os fabricantes de instrumentos passaram a trabalhar na combinação desses instrumentos para facilitar a visualização das informações e diminuir a carga de trabalho na cabine. Um bom exemplo disso

é o RMI, que é um instrumento de navegação combinado com uma bússola de cartão vertical.

O cartão de bússola do RMI é impulsionado pelos sinais da válvula de fluxo, e os dois ponteiros são movidos por sinais de rádio de um ADF e de um VOR, proporcionando a visualização direta das marcações radio-navegação.

### **Indicador da situação horizontal (HSI – *Horizontal Situation Indicator*)**

O HSI é uma evolução do giro direcional. Ele recebe as informações de referência de uma válvula de fluxo remota, que utiliza as duas características das linhas de fluxos magnéticos da Terra, para acionar giroscópios e indicar o norte magnético. O HSI também incorpora informações de rádio-navegação, acusando o desvio de uma rota determinada.

## **Seção 4 – Instrumentos dos sistemas do avião e de motor**

Existem vários instrumentos na aeronave que informam ao piloto as condições de seus sistemas. Os mais importantes são os referentes ao grupo motopropulsor, mas qualquer sistema que necessite monitoração de seus dados ou de seus componentes como a sua pressão, quantidade, temperatura, fluxo etc., necessita de um instrumento que forneça essa informação.

### **Indicadores de quantidade**

Todo sistema que contém fluido necessita de monitoramento da sua quantidade, já que a falta dele poderá prejudicar o funcionamento desse sistema. A quantidade de fluido é medida e indicada por liquidômetro, mas de modo geral esses instrumentos também são chamados de indicadores de quantidade. O mais

utilizado nas operações aéreas é o indicador de quantidade de combustível, mas não menos importantes são os indicadores de quantidade de óleo do motor, de fluido do sistema hidráulico, de água potável, entre outros.

O funcionamento do liquidômetro baseia-se em sensores instalados nos reservatórios, que enviam sinais elétricos aos instrumentos indicadores no painel da aeronave.

### **Tacômetro ou conta-giros**

É o instrumento que indica a rotação do motor. Em um avião equipado com hélice de passo fixo, o tacômetro é o indicador de potência do motor. Ele é calibrado em centenas de RPM e fornece uma indicação direta da rotação do motor e da hélice. Normalmente, o instrumento tem faixas coloridas para determinar as limitações operacionais.

A rotação do grupo motopropulsor é controlada pela manete de potência que controla a mistura combustível. Para uma determinada altitude, quanto maior a rotação maior será a potência fornecida pelo motor. Devido à densidade do ar, a potência obtida com 2.300 rpm, a 5.000 pés, é menor do que a fornecida na mesma rotação ao nível do mar.

### **Manômetro**

Os manômetros são instrumentos de medição de pressão. O manômetro de pressão relativa fornece indicações a partir da pressão ambiente, considerada nesse caso como zero. O elemento sensor de pressão é um tubo achatado e enrolado, conhecido como tubo de Bourdon. Ele é aberto em uma extremidade e fechado na outra, de modo que ao ser aplicada uma pressão em seu interior, ele se distende. Por ser construído em metal, o tubo tem uma distensão limitada, mas o efeito é o mesmo do brinquedo conhecido como “língua de sogra”. Esse movimento de distensão é usado para acionar o ponteiro do instrumento.

Nos aviões, os manômetros são, em geral, calibrados em libras-força por polegada quadrada (lbf/pol<sup>2</sup>) ou PSI (*pounds per square inch*). Assim, a pressão do óleo, do combustível, dos sistemas, dos pneus etc., em sua maioria, é medida em PSI.

Nos aviões equipados com hélice de velocidade constante, a potência é controlada pela manete, mas é indicada por um manômetro de pressão absoluta. A pressão absoluta é a pressão em relação ao vácuo. Manômetros de pressão absoluta funcionam com uma cápsula aneroide, como nos altímetros, e são graduados em polegadas de mercúrio (in Hg). Nesse caso, o manômetro mede a pressão da mistura ar/combustível do coletor de admissão do motor, também é conhecido como manômetro de pressão de admissão (MAP).

Em uma condição de rotação e altitude constante, a potência produzida pelo motor é diretamente relacionada com o fluxo da mistura ar/combustível entregue à câmara de combustão. Ao acelerar a manete, o piloto está aumentando o fluxo de ar e de combustível no coletor de admissão, e a indicação MAP aumentará. Por ser um manômetro de pressão absoluta, esse instrumento indicará a pressão ambiente (29.92 in Hg) quando o motor estiver parado. Logo após a partida do motor, a pressão cairá, devido à baixa pressão no coletor de admissão, voltando a aumentar sempre que aumentarmos o fluxo da mistura com o avanço da manete de potência.

## **Termômetro**

Na aviação existem vários itens que necessitam ter sua temperatura monitorada para o cálculo de desempenho ou para acompanhar sua capacidade e limites operacionais. Portanto, em uma aeronave há a necessidade de se coletar os dados de temperatura do motor, dos fluidos dos sistemas, de componentes elétricos e até do ar ambiente e externo. O termômetro é o instrumento utilizado para medir temperatura e existem três tipos, quanto ao princípio de funcionamento, que são os mais utilizados.

O **termômetro elétrico** ou de resistência é o mais adequado para medir a temperatura do ar. Seu funcionamento é baseado em um sensor que apresenta uma resistência elétrica e é colocada em posição para receber o ar em movimento. O sensor irá variar

sua resistência conforme houver variação da temperatura do ar. A variação de resistência medida pelo sensor é amplificada e enviada a um amperímetro que mede a corrente que passa pela resistência e a indica no instrumento em uma escala de temperatura.

O **termômetro de par termoelétrico (*Thermocouple*)** é mais utilizado para altas temperaturas como as encontradas nos motores. Seu funcionamento é baseado em um sensor composto por material bimetálico, chamado de par termoelétrico. Os dois metais do sensor têm propriedades diferentes em relação à variação de temperatura e geram força elétrica quando expostos ao calor. O indicador é um voltímetro que mede a força elétrica produzida pelo termopar e a indica em uma escala de temperatura.

O **termômetro de pressão de vapor** é mais adequado para medir temperatura de fluidos. Seu sensor é composto por um bulbo com um líquido especial em seu interior. Mergulhado no fluido, o líquido do interior do bulbo aumentará a sua pressão com o aumento de temperatura. Um tubo leva essa pressão ao instrumento de medição de pressão, formado por um manômetro de tubo de Bourdon, que a indicará em uma escala de temperatura.

Nos aviões, as escalas de temperaturas dos instrumentos poderá ser em graus Celsius ou centígrados (oC), em graus Fahrenheit (oF), ou ambos.

**Termômetro de Temperatura do Ar Externo (OAT – *Outside Air Temperature*)** – A maioria dos aviões é equipada com um termômetro de temperatura do ar externo calibrado para fornecer as temperaturas nas duas escalas, em oC e em oF. Ele fornece a indicação da temperatura do ar externo para o cálculo da velocidade verdadeira e também para a prevenção das condições de formação de gelo.

## Faixas de utilização

Muitos dos instrumentos aqui apresentados possuem faixas de utilização com código de cores para indicar a condição normal ou anormal do sistema aos pilotos. Há casos em que o instrumento não possui indicação numérica alguma, mas apenas as faixas de utilização coloridas. A convenção de cores segue o seguinte padrão:

- Verde: indicação normal.
- Amarelos: Faixa de atenção ou alerta. Nessa faixa, a operação só é tolerável por certo tempo.
- Vermelha: Indicação de perigo ou de limite excedido. Uma correção imediata é exigida.

## Seção 5 – EFD – Painel de voo eletrônico

Avanços em telas (*displays*) digitais e em componentes eletrônicos têm sido implementados no *cockpit* de aeronaves da aviação geral. Além da melhoria na confiabilidade do sistema, o que aumenta a segurança como um todo, o painel de voo eletrônico (EFD – *eletronic flight display*) tem diminuído o custo total de equipar as aeronaves com aviônicos e painel de instrumentos de primeira linha. Pacotes primários de instrumentação eletrônica são menos propensos a falhas do que seus equivalentes analógicos. Além disso, não é mais necessário criar *layouts* de painel desordenado no desenvolvimento de novos aviões, a fim de acomodar todos os instrumentos de voo necessários separadamente. Em vez disso, é instalado um multi-painel digital de voo, que exibe uma combinação de todos os instrumentos de voo em uma única tela, que é chamada de tela de informações primárias de voo (PFD – *primary flight display*). O “pacote tradicional” de instrumentos agora é exibido em uma única tela de cristal líquido (LCD – *liquid crystal display*).

O avanço tecnológico não se resume as telas. Apesar das fontes de dados e informações serem as mesmas, agora elas são passadas

inicialmente a módulos computadorizados como o ADC (*air data computer*) ou o AHARS (*attitude heading and reference system*), que trabalham esses dados e fornecem muitas outras informações digitalizadas e de forma direta, na tela aos pilotos. Veja a seguir:

- **Fita de velocidade (*Speed Tape*)**

Configurados de forma similar aos *layouts* do painel tradicional, o velocímetro (ASI) está localizado no lado esquerdo da tela e é exibido como uma fita de velocidade vertical. Conforme o avião aumenta a velocidade, os valores maiores vão descendo a partir do topo da fita. A TAS, já calculada pelo ADC, é exibida na parte inferior da fita. Marcações de velocidade para a velocidade VX, VY e rotação (VR) são exibidas para referência do piloto. Um botão adicional permite ao piloto controlar o indicador de referência, também conhecido como bug de velocidade, para ajustar qualquer outra velocidade de referência desejada. Como o velocímetro analógico tradicional, a fita de velocidade eletrônica também exibe os intervalos codificados por cores para a faixa de operação do flap, operação normal, e faixa de atenção ou cautela.

Figura 3.22 – PFD em tela LCD



Fonte: GPS News, 2011.

Os dígitos do valor da fita mudam de cor para vermelho quando a velocidade ultrapassar a VNE, para alertar o piloto da limitação de velocidade máxima.

■ **Indicador de atitude (*Attitude Indicator*)**

Uma melhoria em relação a instrumentação analógica é o indicador de atitude de tamanho maior no EFD. O horizonte artificial abrange toda a largura do PFD. Essa visão expandida oferece melhor referência em todas as fases de voo e em todas as manobras. O indicador de atitude recebe a sua informação a partir do AHRS.

■ **Altímetro (*Altimeter*)**

O altímetro está localizado no lado direito do PFD. Com o aumento da altitude, o valor maior desce do topo da fita de altimetria, com a altitude atual exibida na janela preta, no centro da fita. A altitude é mostrada em incrementos de 20 pés.

■ **Indicador de velocidade vertical (VSI)**

O VSI é exibido à direita da fita altimétrica e pode assumir a forma de um indicador em arco ou uma fita de velocidade vertical. Ambos são equipados com um *pointer* de velocidade vertical.

■ **Indicador de rumo ou proa (*Heading Indicator*)**

O indicador de rumo está localizado abaixo do horizonte artificial e normalmente faz parte do Indicador de Situação Horizontal (*HSI – Horizontal Situation Indicator*). Como no caso do indicador de atitude, o indicador de rumo também recebe a sua informação do magnetômetro, que alimenta informações para a unidade AHRS e, em seguida, para o PFD.

■ **Indicador de curva coordenada (*Turn Coordinator*)**

O indicador de curva coordenada toma uma forma ligeiramente diferente do que na instrumentação tradicional. No EFD ele é parte do indicador de atitude que engloba o indicador de inclinação, o indicador de razão de curva e indicador de derrapagem ou de glissada, todos localizados na parte superior da tela, junto ao *turn pointer* ou ponto de referência de curva. A referência para o voo coordenado vem de acelerômetros contidos na unidade AHRS.

- **Indicador derrapagem / Glissada (*Skid/Slip Indicator*)**

O indicador de curva coordenada do EFD se utiliza do indicador de derrapagem e glissada (*skid/slip*) para informar ao piloto se a curva está adequadamente coordenada entre o aileron e o leme. Ele funciona como a bola do instrumento analógico, aqui representada pelo trapézio, localizado abaixo do triângulo indicador de inclinação. Quando o trapézio está alinhado ao triângulo, formando outro triângulo maior, a curva está correta. Se estiver desalinhado, para dentro ou para fora da curva, o piloto deverá compensar com o leme a derrapagem ou a glissada.

- **Indicador da razão da curva (*Turn Rate Indicator*)**

O indicador da razão da curva é normalmente encontrado acima do cartão de bússola rotativo ou HSI (*horizontal situation indicator*). As marcas de sinalização indicam uma curva padrão ou meio padrão, à esquerda e à direita da referência. Normalmente, indicado por uma linha de tendência, o vetor de tendência estende-se até a marca de sinalização, indicando se a aeronave está em uma curva de razão padrão.

- **Tacômetro**

Este é o único instrumento que não está localizado no PFD. O tacômetro, que indica as rotações do motor e é a referência de potência do motor para o piloto, é normalmente localizado na tela multifunção (MFD – *multi function display*).

As telas eletrônicas podem ser configuradas simplesmente pela instalação de pacotes de software diferentes, o que as torna extremamente versáteis para atender a uma variedade de aeronaves diferentes. Os fabricantes também são capazes de atualizar ou modernizar o painel (*upgrade*) da mesma forma, eliminando a necessidade de substituir instrumentos individuais.

- **Computador de dados de voo (ADC – *Air Data Computer*)**

O EFD utiliza o mesmo tipo de *inputs* dos instrumentos analógicos, no entanto, o sistema de processamento é diferente. As entradas das linhas de pressão do sistema Pitot-estático são recebidas por um computador de dados de voo (ADC). O ADC recebe informações de vários sensores, inclusive do sistema Pitot-estático. Ele então calcula a diferença entre a pressão total e a pressão estática, e gera as informações necessárias para exibir a velocidade no PFD. A temperatura do ar externo também é monitorada pelo ADC e informada a vários componentes dentro do sistema, bem como é exibida na tela PFD.

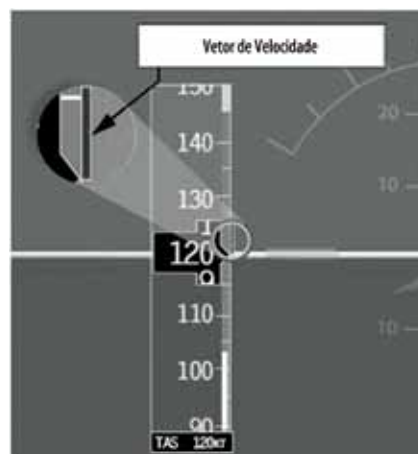
O ADC é um dispositivo em módulo separado que, além de fornecer informações para o PFD, é capaz de fornecer dados para outros sistemas, como o de controle do piloto automático. Em caso de mau funcionamento, o ADC pode ser rapidamente removido e substituído.

A informação de altitude é derivada a partir da porta de pressão estática, como no sistema analógico, no entanto o ADC calcula a pressão barométrica que recebeu e envia um sinal digital para o PFD mostrar a leitura de altitude. Os instrumentos digitais também exibem os vetores de tendência, que mostram ao piloto como a altitude e a velocidade estão progredindo.

- **Vetores de tendência (*Trend Vectors*)**

Os vetores de tendência são linhas magentas que sobem ou descem, tanto no velocímetro quanto no altímetro.

Figura 3.23 – Vetor de velocidade no ASI do PFD



Fonte: PHAK, 2010.

O ADC calcula a razão de variação e exibe a projeção de velocidade para um determinado tempo, por exemplo, a partir de certa razão de aceleração, a linha magenta do ASI indicará qual será a velocidade da aeronave dentro de 6 segundos.

Os pilotos, ao incluir os vetores de tendência na verificação de instrumentos (*instruments scan*) durante o voo, são capazes de controlar com maior precisão a velocidade e a altitude.

### **Sistema de Referência de Atitude e Proa (AHRS – *Attitude & Heading Reference System*)**

Os sistemas eletrônicos de instrumentos de voo substituíram os giroscópios tradicionais por sistemas a laser que são muito precisos e capazes de voar em qualquer atitude sem revirar. Esta capacidade é o resultado do desenvolvimento do Sistema de Referência de Atitude e Proa (AHRS).

O AHRS recebe informações de giroscópios a laser, da válvula de fluxo e de outros sensores, como sistemas inerciais, para então processar esses dados e enviar as informações de atitude e proa para o PFD.

## **Seção 6 – A automação no vôo**

A revolução industrial impactou significativamente a nossa sociedade, particularmente na redução da necessidade de trabalhos manuais por meio da automatização de processos. Nesse aspecto, a automação é entendida como a aplicação de técnicas computadorizadas ou mecânicas para diminuir o uso de mão de obra em qualquer processo, especialmente o uso de robôs nas linhas de produção. A automação diminui os custos e aumenta a velocidade da produção (LACOMBE, 2004).

Também encontramos nos dicionários que o termo automação é definido como o “uso de equipamento ou máquina automática

para exercer a função de uma pessoa” (HORNBY, 1995). O termo automático, nesse contexto, significa “funcionar por si só sem a interferência humana” (HORNBY, 1995). As duas definições focam em dois aspectos principais: o computador e o impacto sobre a atividade humana. Nas últimas décadas, a revolução provocada pelo uso de novas tecnologias de computação e da informática está impactando a habilidade humana em processar informações e em seu processo de tomada de decisões.

A aviação, como uma das indústrias mais sensíveis a novas tecnologias, foi e está sendo enormemente afetada por essas mudanças. Atualmente, observamos um crescente nível de automação tanto das aeronaves como nas operações de controle de tráfego aéreo, mas enquanto a automação vem para melhorar a execução de um trabalho, aumentando a eficiência e a segurança do processo, ela também afeta drasticamente a atuação do “operador”, cuja tarefa passa, em alguns casos, de “ator” para mero “espectador”. Por isso, alguns questionamentos e preocupações foram levantados ao longo de sua implantação, em relação à intervenção do homem neste processo automatizado, o relacionamento homem-máquina, os fatores humanos e o treinamento necessário para o uso pleno e satisfatório da automação.

### **Pequena história da automação nas aeronaves**

Por volta de 1930, um dispositivo de controle de voo giroscópico foi, pela primeira vez, implantado em um avião e chamado de piloto automático (*automatic pilot*) ou *autopilot*. A revista *Popular Science* em sua edição de fevereiro de 1930 publicou um artigo sobre o lançamento do piloto automático para aeronaves, com a seguinte manchete: “Agora – O Piloto Automático – Um notável mecanismo giro-elétrico segura o manche e mantém o avião em seu curso, por três horas, sem intervenção humana.” Por controlar com precisão os controles de voo, esse sistema automático disponibilizava mais tempo ao piloto para dar atenção a outras atividades importantes do voo.

Esse revolucionário passo no desenvolvimento da tecnologia de controles de voo marcou o início de um novo período na história da aviação: a era da automação do voo. Com a introdução do

motor a jato, houve um significativo incremento no desempenho das aeronaves que, combinado com o aumento do tráfego aéreo, do tamanho das aeronaves etc., passou a exigir novos parâmetros na razão de processamento de informações dentro da cabine de pilotagem. A introdução progressiva de aparelhos automáticos capazes de atuar nas funções de controle do voo, navegação, cálculos e comunicação, tem demonstrado o potencial da automação de voo em favor da segurança e economia.

Nas últimas décadas, testemunhamos um rápido progresso na automação das aeronaves, que trouxe uma enorme alteração na aviação. Em uma aeronave comercial moderna não há mais o navegador, o rádio telegrafista ou o engenheiro de voo. Elas são operadas por apenas dois pilotos que, sem a automação que temos hoje, não teriam condições de atingir o nível de precisão de navegação exigido para a separação segura dos aviões entre si ou com obstáculos.

## As oportunidades surgidas com a automação

Segundo dados da ICAO (*International Civil Aviation Organization*), a automação teve um impacto positivo na redução dos acidentes aéreos. A cada nova geração de aeronaves houve uma significativa melhoria na segurança de voo. Hoje em dia, sabemos que os dados de segurança de uma moderna aeronave altamente automatizada são muito melhores se comparado com as aeronaves de gerações anteriores, pois elas propiciam o aumento da precisão da navegação aérea e reduzem os valores mínimos das condições meteorológicas operacionais, permitem melhor obediência às restrições de altitude e velocidade e tem expandido a capacidade de comunicação da aeronave com o solo. Desde o início da expansão da automação na aviação, uma série de estudos (BRAUNE e FADDEN, 1987) confirmou os seus benefícios na operação de voo. Uma pesquisa da *Aviation Safety Report System (ASRS)*, que solicitava aos pilotos dar uma nota de zero a dez, para treze sistemas automáticos utilizados na cabine de comando, obteve uma média geral de 8,56 (RISUKHIN, 2001).

ASRS é um programa de cooperação entre o FAA e a NASA, que permite a qualquer um reportar voluntariamente incidentes aeronáuticos, com o objetivo de fornecer dados para pesquisa e desenvolvimento da segurança de voo.



---

Por que os pilotos adoram essas aeronaves automatizadas?

---

Não é apenas pelo prazer de utilizar novas tecnologias, apesar de ser um dos fatores. A razão principal recai na capacidade dos computadores das aeronaves em obter e processar dados para fornecer de forma simples e direta, por meio dos EFD's (*Electronic Flight Display*), exatamente as informações que o piloto necessita naquele determinado momento. Por exemplo, durante uma aproximação para pouso por instrumentos, o AI (*attitude indicator*) ou horizonte artificial do EFD mostrará as escalas do localizador e da rampa de planeio (*glide slope*), a altura ou altitude de decisão com alerta ao atingi-la, a velocidade e sua tendência (*speed trend*), indicando suas alterações, entre outros dados necessários para se fazer um pouso bem-sucedido.

Mas quando a aeronave estiver em cruzeiro, a maioria dessas informações desaparecerá, deixando apenas as informações de velocidade e vento e as barras diretoras, seguindo o modo de cruzeiro para manter a proa e a atitude da aeronave, utilizando-se do FMS (*flight management system*), o qual produz todos os cálculos necessários, sugere uma variedade de opções de gerenciamento do voo e mantém a trajetória de voo escolhida pelo piloto.

O potencial da automação do voo é surpreendente. A indústria da computação já nos mostrou que praticamente qualquer informação pode ser retratada nos painéis EFD. Hoje já temos até painéis integrados, do tamanho necessário para apresentar todos os dados necessários de vários instrumentos tradicionais, em apenas um ou dois EFD.

Conforme o uso da automação vai se ampliando, a introdução de novas apresentações nas telas dos painéis de instrumentos vai se tornando realidade. O vetor de velocidade, que representa uma das primeiras categorias de informação adicional mostrada no painel, alerta imediatamente o piloto para uma alteração na situação do voo, permitindo que o piloto tome uma ação antecipada de correção.

Hoje em dia, os pilotos já estão acostumados a encontrar aeronaves equipadas com EFD's, indicando cada velocidade necessária para o voo e suas limitações, direção e velocidade do vento, incluindo alerta para *windshear*, formação meteorológica, outros tráfegos na vizinhança, incluindo o alerta para a ameaça de colisão, cartas de navegação e de aproximação, mapas geopolíticos, checklist eletrônico e as condições do terreno sobre o qual está voando. Até mesmo aviões de pequeno porte, como os monomotores, já vêm equipados com EFDs tão sofisticados como o Garmin G1000.

*Windshear* é um fenômeno meteorológico que provoca variação brusca na direção e velocidade do vento afetando significativamente o desempenho da aeronave.

## Os problemas relativos à automação

A aviação comercial moderna, de modo geral, está mais segura do que qualquer outro meio de transporte, conforme mostram as estatísticas da ICAO (*International Civil Aviation Organization*) e dos órgãos governamentais de diversos países. Mas às vezes a sociedade se vê chocada com acidentes de aviões altamente sofisticados.



Por que estes acidentes acontecem? O que necessita ser feito para evitar esses desastres?

Para chegar perto das respostas a essas questões, precisamos, primeiro, olhar os novos problemas que a automação trouxe. Apesar do significativo incremento na segurança de voo, a partir do final da década de 1970, quando as primeiras aeronaves altamente automatizadas como o Boeing 767 e o Airbus 310 foram projetadas e construídas, vimos que nos últimos anos, mesmo com a inclusão de novas tecnologias, como as do A380 ou o do B787, a melhoria da segurança não se refletiu na mesma proporção. Três a cada quatro acidentes com aeronaves automatizadas poderiam ter sido evitados por ação da tripulação (RISUKHIN, 2001).

Segundo Vladimir Risukhin, estudioso russo dos fatores humanos e da automação na aviação, esse desempenho abaixo do satisfatório (do ser humano), nesses casos, tem algumas razões:

- Há evidências de que nem sempre a automação diminui a carga de trabalho do piloto. Às vezes ela até aumenta, principalmente quando a operação de voo sai da normalidade e exige a necessidade de atenção do piloto para monitorar, programar e gerenciar a situação.
- A automação também muda o comportamento do operador no relacionamento de sistemas homem-máquina. O operador humano não mais controla diretamente a máquina e sim a automação dela. Essa é uma mudança fundamental. O piloto que foi treinado para usar o manche e pilotar essas máquinas deve manter essas habilidades e desenvolver outras, que por vezes é muito diferente da habilidade de pilotar um avião.
- Vários erros típicos de pilotos relacionados a incidentes e acidentes já foram identificados por especialistas da aviação (SHEEHAN, 1995), entre eles: falhas na entrada de dados, mau monitoramento das informações e indicações, solução de sistemas que substitui programas computacionais e aplicação de modo de automação inadequado.

Esses erros combinados com a falta de atenção, fadiga ou distração podem ameaçar a segurança de voo. Já temos estatísticas suficientes para entender a reação dos pilotos frente a sistemas automatizados. Os problemas mais comuns que resultaram em incidentes ou acidentes são relacionados às áreas de treinamento, procedimentos de voo e projeto dos sistemas automáticos. As situações mais alarmantes das operações aéreas ocorrem quando a tripulação não entende o que o sistema automatizado está fazendo e não sabe o que fazer para corrigir os desvios. Outro problema muito comum, envolvido com o presente nível de automação dos aviões, é a **complacência** do piloto com situações adversas e o excesso de confiança na automação. Assim, as tripulações tendem a contar com a automação para resolver uma situação em que os controles normais ou a operação manual seriam mais adequados e acabam sendo desconsiderados (ORLADY, 1991).

.....  
Complacência é o ato de tolerar ou de ser condescendente. É deixar acontecer sem reagir.

A automação mudou a essência da profissão de piloto. Atualmente, somente a habilidade de manusear os controles de voo e efetuar manobras com perfeição não é mais suficiente para ser um bom piloto. A capacidade de entender e saber utilizar com eficiência uma aeronave altamente automatizada é outro requisito para o profissional obter um voo seguro, rentável e prazeroso.

O conhecimento e a capacidade de gestão são duas das qualidades mais valorizadas no avião moderno que opera ou pretende operar um avião automatizado. Além do conhecimento dos sistemas automáticos que discutiremos a seguir, várias outras áreas do conhecimento são também vitais para o voo seguro. Os pilotos devem conhecer a si mesmos e aos colegas, conhecer o ambiente em que trabalha, o ambiente de voo e detalhar cada missão a ser cumprida. Em resumo, sugiro a vocês que se dediquem, não só na sua formação inicial, mas por toda sua carreira, a estudar a influência dos fatores humanos na aviação.

## **Componentes de uma aeronave automatizada**

Como todos os outros aviões, uma aeronave automatizada é também composta por sua estrutura onde são instalados todos os seus sistemas como as superfícies de controle de voo e o grupo motopropulsor, mas diferentemente das aeronaves convencionais ela usa sistemas automatizados para operar todos esses sistemas, facilitando o trabalho do piloto e melhorando o desempenho de cada um dos sistemas de controle de voo, de gerenciamento de voo, gerenciamento dos motores, de indicação de parâmetros de voo, de alerta dos sistemas dentre outros.

Nessas aeronaves o acionamento das superfícies de controle de voo é feito por meio de sinais elétricos digitais, gerados por computador, que acionam atuadores hidráulicos. O simples piloto automático passou a ser um complexo sistema automático de controle de voo (AFCS – *automatic flight control system*), composto de vários computadores, unidades de controle e anunciadores que proporcionam diferentes modos e níveis de automação. O controle dos motores também se automatizou, a ponto de informar ao piloto qualquer discrepância de parâmetros e protegê-los contra a possível ultrapassagem de seus limites

operacionais. Há também o controle de potência automático (*autothrottle*), para manter o desempenho necessário ao voo.

A tecnologia dos *cockpits* também evoluiu, o *design* atual de apenas dois pilotos voltados para frente e posicionados lado a lado aumentou significativamente a segurança por sua óbvia redundância e possibilidade de se monitorar o trabalho um do outro. Além disso, a visibilidade para fora em conjunto com fatores ergonômicos gerou melhor segurança, conforto e menor fadiga.

Alguns termos são amplamente utilizados para designar um certo conceito utilizado nas novas cabines de comando. Inicialmente, surgiu o termo “*glass cockpit*”, para designar as cabines com painéis de instrumentos compostos por telas CRT ou de LCD, em lugar dos instrumentos analógicos. Depois surgiu o termo “*dark cockpit*”, para as cabines que deixaram de usar o conceito que mostrava uma luz verde para indicar o que está normal e amarelo (âmbar), ou vermelho, para o que estivesse fora do normal e aderiram a nova filosofia de só haver anunciadora luminosa para os itens que apresentassem alguma anormalidade, o normal, então, passou a ser tudo apagado (*dark*).

Nas novas aeronaves também encontraremos a indicação eletrônica do estado dos sistemas da aeronave (*aircraft system status electronic indication*), que fornece para a tripulação informações importantes a respeito da operação de diversos sistemas da aeronave, como os dados dos motores, do sistema de combustível, hidráulico, elétrico etc. Os dois primeiros sistemas bem-sucedidos desse tipo foram o EICAS (*engine indication and crew alerting system*) do B767 e o ECAM (*electronic centralized aircraft monitor*) do A310, predecessores de outros sistemas similares amplamente utilizados em aeronaves automatizadas.

O painel de instrumentos de uma aeronave automatizada normalmente é composto por dois PFD (*primary flight display*), um para cada piloto, dois ND (*navigation display*), um para cada piloto e um MFD (*multi-function display*), instalado no centro. O PFD nada mais é do que o conjunto integrado dos instrumentos básicos de voo em uma mesma tela. O ND mostra o traçado da rota a ser voada integrado a um mapa e outras informações, como as do radar meteorológico e de tráfego aéreo nas proximidades, entre outras. O MFD é utilizado para exibir as informações do

EICAS ou ECAM. O controle de todos esses elementos é feito pelo EFIS (*electronic flight instrument system*), por meio de dois painéis independentes para cada piloto selecionar as opções, modos, amplitude etc. de cada PFD ou ND.

As aeronaves mais modernas e, principalmente, as menores, são equipadas com um ou mais GDU's (*graphical display unit*) de tamanhos de telas, que variam entre 10" e 15" e integram as funções de PFD / ND e MFD, tudo em uma mesma tela ou em no máximo três telas, em lugar dos cinco *displays* citados anteriormente. Um exemplo disso é o G1000 da Garmin, utilizado em aeronaves leves.

As aeronaves automatizadas também fornecem alertas automáticos para a proximidade com o solo (GPWS *ground proximity warning system* ou TAWS *terrain avoidance warning system*), para *windshear* e para colisão em voo (ACAS *airborne collision avoiding system*).

Com toda essa tecnologia, a operação de uma aeronave automatizada é muito diferente da operação de uma aeronave tradicional. Assim, é importante que o treinamento das tripulações para esse tipo de aeronave seja adaptado para as operações automatizadas que os pilotos encontrarão em seu dia a dia. A capacidade do piloto de entender o funcionamento do sistema automatizado, sua habilidade em manejá-lo e sua capacidade de gerenciamento dos níveis de automação adequados para aquela situação específica é crítica para a segurança de voo.

Assim, o treinamento de pilotos para a aviação moderna requer que, além de saber utilizar o automatismo, o piloto mantenha todas as qualidades do que se convencionou chamar de *airmanship*, ou seja, disciplina, habilidade pessoal, conhecimento, alerta situacional e tomada de decisão (KERN, 1997).



*Airmanship* é uma expressão da língua inglesa, sem equivalente em português, para designar a qualidade da ação do piloto em sua atividade profissional. Ela inclui não só a pilotagem, mas todas as qualidades necessárias para o bom desempenho do profissional como aviador.



## Síntese

Vimos nesta unidade que as aeronaves tem um painel de instrumentos para informar aos pilotos os dados de voo, de navegação, do motor e dos sistemas do avião. Os instrumentos de voo e de navegação são baseados no sistema Pitot-estático, no sistema de bússola e no sistema giroscópico.

O sistema Pitot-estático baseia-se no tubo de Pitot, que coleta dados de pressão do ar de impacto e na porta estática, a qual coleta a pressão do ar estático. Esse sistema fornece duas linhas de pressão, uma dinâmica ou total, proveniente do tubo de Pitot e outra estática, para passar os dados aos instrumentos do avião. O único instrumento que utiliza a pressão do ar de impacto é o velocímetro, os demais só utilizam os dados de pressão estática.

O sistema giroscópico baseia-se no princípio de que qualquer rotor girando em alta velocidade apresenta as propriedades giroscópicas da rigidez no espaço e da precessão. A rigidez giroscópica é a tendência do rotor em movimento giratório de manter sua posição e a precessão é a propriedade de que qualquer força aplicada a esse rotor terá efeito em um plano de 90º do plano de aplicação da força.

A bússola é um dos instrumentos básicos requeridos a bordo das aeronaves. Ela indica a proa magnética, ou seja, o ângulo formado entre a direção do norte magnético da Terra e o eixo longitudinal do avião. Seu funcionamento baseia-se no fato da Terra ser um grande ímã circundado por um campo magnético de linhas de fluxo, que saem do polo norte e terminam no polo sul. As linhas de fluxo têm duas importantes características: qualquer ímã que esteja livre para girar irá se alinhar com elas e uma corrente elétrica é induzida a qualquer condutor que atravessá-las. Os indicadores de rumo baseiam-se nessas duas propriedades.

Além dos instrumentos de voo e de navegação, as aeronaves necessitam de instrumentos para indicar as condições de seus sistemas, como a pressão, temperatura, quantidade, rotação e desempenho, entre outros. Para isso, ela tem, instalados

em seu painel, sensores e indicadores dessas condições como manômetros, termômetros, tacômetros etc.

As aeronaves modernas apresentam uma evolução significativa dos painéis de instrumentos. Essa evolução surgiu da necessidade de integração dos instrumentos para facilitar a varredura de informações pelo piloto e para diminuir sua carga de trabalho.

Avanços em telas (*displays*) digitais e em componentes eletrônicos têm sido implementados no *cockpit* de aeronaves da aviação geral. Além da melhoria na confiabilidade do sistema, o que aumenta a segurança como um todo, o painel de voo eletrônico (EFD – *eletronic flight display*) tem diminuído o custo total de equipar as aeronaves. Pacotes primários de instrumentação eletrônica são menos propensos a falhas do que seus equivalentes analógicos.

O “pacote tradicional” de instrumentos agora é exibido em uma única tela de cristal líquido (LCD – *liquid cristal display*), chamada de multipainel digital de voo, que exibe uma combinação de todos os instrumentos de voo em uma única tela, a qual é chamada de tela de informações primárias de voo (PFD – *primary flight display*).

O avanço tecnológico não se resume às telas. Apesar das fontes de dados e informações serem as mesmas, agora elas são passadas inicialmente a módulos computadorizados, como o ADC (*air data computer*) ou o AHARS (*attitude heading and reference system*), que trabalham esses dados e fornecem muitas outras informações digitalizadas e de forma direta na tela aos pilotos.

Assim, qualquer piloto que quiser operar com segurança necessita entender bem o funcionamento dos instrumentos e a interpretação dos dados fornecidos por eles.



## Atividades de autoavaliação

Ao final de cada unidade, você realizará atividades de autoavaliação. O gabarito está disponível no final do livro didático. Mas, esforce-se para resolver as atividades sem ajuda do gabarito, pois, assim, você estará promovendo (estimulando) a sua aprendizagem.

1) Quais são os grupos básicos de instrumentos das aeronaves?

---

---

---

2) Descreva, em no máximo 20 linhas, os sistemas em que se baseiam os instrumentos de voo e de navegação.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

3) Você está andando de bicicleta, ao fazer a parada levanta a roda dianteira de modo que ela permaneça girando.

a) Com a bicicleta alinhada longitudinalmente e a roda dianteira em movimento o guidão permanece no mesmo lugar. Por quê?

---

---

---

b) Se, a partir dessa posição você inclinar a bicicleta, o guidão virará para o mesmo lado. Por quê?

---

---

---

c) Se você repetir essa experiência, com a roda girando para trás, ao inclinar a bicicleta o guidão virará para o lado oposto. Por quê?

---

---

---



## Saiba mais

Se você desejar, aprofunde os conteúdos estudados nesta unidade consultando as seguintes referências:

HENDERSON, M. F. **Aircraft Instruments and Avionics**. Ed. Jeppesen, 1993.

IMA 100 -12 – Regras do Ar e Serviços de Tráfego Aéreo. Ministério da Aeronáutica. 1999.

TURANZAS, Juan L. F. **Fundamentos de Meteorologia Aeronáutica**. Espanha, 1976.

# Manuais e outros documentos



## Objetivos de aprendizagem

- Conhecer os manuais, *checklists* e demais documentos das aeronaves.
- Saber a importância da documentação da aeronave.
- Identificar nos manuais os procedimentos normais, anormais e de emergência.
- Aprender como estudar uma aeronave por meio dos manuais.



## Seções de estudo

**Seção 1** Documentos gerais

**Seção 2** Manual de Voo

**Seção 3** Conheça seu avião



## Para início de estudo

Sempre que uma aeronave é entregue para voo ela deverá estar acompanhada de seus documentos, incluindo um jogo de manuais com os quais o piloto deverá se familiarizar para poder voar nessa aeronave. No Brasil, exceto para aeronaves estrangeiras que necessitam de autorização específica para operação no país, o RBHA (Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica) 91.203 requer a bordo, no mínimo, os seguintes documentos válidos para a operação de uma aeronave da aviação geral:

- Certificado de matrícula
- Certificado de aeronavegabilidade
- Manual de Voo
- Lista de verificações (*checklist*)
- NSCA 3-5 e 3-7, expedidas pelo CENIPA;
- Apólice de seguro ou certificado de seguro com comprovante de pagamento;
- Licença de estação da aeronave;
- Ficha de Inspeção Anual de Manutenção (FIAM) ou registro dos últimos serviços de manutenção que atestaram a IAM.

Além dos documentos citados, o CBAer (Código Brasileiro de Aeronáutica) determina o controle das horas de voo, da tripulação e da manutenção da aeronave. Para isso, foi criado o Diário de Bordo.

Todos esses documentos são necessários para atender à legislação e garantir à sociedade que essa aeronave está sendo operada dentro dos padrões de segurança estabelecidos. Assim, é importante que o piloto entenda a importância desses documentos e como eles devem ser interpretados, principalmente os registros de voo, de manutenção e o conteúdo dos manuais de voo, que tem a missão de esclarecer quais são as orientações e procedimentos necessários para a correta operação da aeronave.

## Seção 1 – Documentos gerais

Para que uma aeronave possa voar legalmente, ela precisa antes ser registrada pela autoridade aeronáutica. No Brasil, uma das atividades da ANAC é o registro de todas as aeronaves civis brasileiras. Esse controle é feito pelo Registro Aeronáutico Brasileiro (RAB), que, entre outras atribuições, controla marcas de matrícula e nacionalidade, emite certificados de matrícula e de aeronavegabilidade, reconhece direitos reais e de uso, bem como a aquisição de domínio na transferência de propriedade, além do cancelamento de matrículas, registros, inscrições, averbações e fornecimento de certidões.



A aeronave é um bem móvel registrável para o efeito de propriedade, nacionalidade, matrícula, aeronavegabilidade, constituição de direitos reais de gozo e garantia, publicidade e cadastramento geral.

O **Certificado de Matrícula (CM)** é o documento que reúne as características identificadoras da aeronave, bem como os elementos referentes à sua propriedade, constituindo o documento de identificação para efeitos legais. A identificação da aeronave, portanto, é feita por sua matrícula, muitas vezes chamada de prefixo da aeronave e do certificado de matrícula.

Cada aeronave tem matrícula própria, que é inscrita por ocasião do primeiro registro no País.

Para fins de requerimento de matrícula, somente é reconhecido como outorgante o titular do registro existente. Ela é efetuada à vista dos elementos constantes do título e dos documentos apresentados, além do registro anterior que constar dos arquivos. Em todos os registros e em todos os atos relativos às aeronaves deve ser feita referência à marca de matrícula e ao registro anterior, caso existam. Ficam sujeitos a essa obrigação as partes que, por instrumento particular, celebrarem quaisquer atos relativos às aeronaves.

Quando a aeronave tiver sido importada com isenção de direitos aduaneiros, a transferência da propriedade depende, salvo caso de isenção também do adquirente, da comprovação de quitação desses mesmos direitos. As aeronaves, bem como seus componentes, adquiridas com a contribuição financeira da União, ou que vierem a ser pagas total ou parcialmente pela União, não podem ser alienadas, arrendadas, fretadas, cedidas ou transferidas, ainda que em público leilão, sem a autorização prévia da Procuradoria da Fazenda Nacional.

O registro no RAB de aeronave anteriormente matriculada em outro país somente pode ser realizado após a comprovação, pelo requerente, do documento de desregistro, suspensão ou cancelamento do registro estrangeiro emitido pela autoridade aeronáutica do respectivo país.

A matrícula provisória, de acordo com o artigo 111 do CBAer, é relativa à instituição jurídica da propriedade da aeronave, em oposição ao sentido de propriedade plena, por determinar a limitação da propriedade, temporariamente, em razão de restrições ao uso, gozo e disposição dela, consequência de direito real, ônus ou condição resolúvel. O registro no RAB de aeronave já matriculada em outro país pode ser efetuado, pelo novo adquirente, mediante a comprovação da transferência de propriedade; ou pelo explorador, mediante o expresso consentimento do titular do domínio e o cancelamento do registro existente.

O **Certificado de Aeronavegabilidade (CA)** é um documento obrigatório, emitido pela ANAC, o qual comprova que a aeronave está em condições de operar com segurança e cumpre os regulamentos da aviação civil brasileira.

A aeronavegabilidade (*airworthiness*) é a capacidade de uma aeronave realizar um voo seguro ou navegar com segurança no espaço aéreo ao transportar pessoas, bagagens ou cargas, ou na realização de serviços aéreos especializados. Na maioria dos países, particularmente os que integram a Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO), aeronaves civis não podem voar sem primeiro obter um certificado de aeronavegabilidade do órgão governamental responsável.

A aeronavegabilidade depende de três componentes básicos:

- a certificação do projeto da aeronave, que engloba atividades de avaliação de engenharia, simulações, testes de laboratórios e em protótipos e voos experimentais;
- a certificação de fabricação, em que se procura assegurar que cada unidade que sai da linha de montagem, é idêntica ao projeto certificado;
- a conservação da aeronave, que deve ser continuamente mantida por meio de um programa de manutenção/inspeções, geralmente conduzido por uma equipe de mecânicos de manutenção aeronáutica habilitados, podendo contar com o auxílio de um sistema de análise, diagnóstico e gerenciamento da “saúde” e da confiabilidade da aeronave.



O Certificado de Aeronavegabilidade (CA) garante que a aeronave que consta no documento foi projetada, fabricada e é mantida dentro dos padrões estabelecidos pela autoridade aeronáutica.

As **NSCA 3-5 e 3-7**, que são obrigatórias a bordo das aeronaves brasileiras, referem-se aos procedimentos de notificação e confirmação de ocorrências no âmbito do SIPAER, e a responsabilidade dos operadores de aeronaves em caso de acidente ou incidente aeronáutico ou de ocorrência no solo.

As NSCA (Normas dos Sistemas do Comandos da Aeronáutica) são publicações destinadas a reger o funcionamento de um sistema, contendo determinações específicas e disciplinando matérias e assuntos ligados à atividade-meio do sistema considerado. São elaboradas pelos Órgãos Centrais de Sistemas e de aplicação em todas as Organizações do COMAER (Comando da Aeronáutica) que realizem atividades sistematizadas. Uma dessas organizações é o Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA), criado em 1971, por meio do Decreto nº 69.565, como órgão central do Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (SIPAER), cuja competência a ele atribuída é a de “planejar, orientar,

coordenar, controlar e executar as atividades de prevenção de acidentes” voltadas à obtenção e manutenção de um nível aceitável de segurança operacional.

A **Licença de Estação da Aeronave** é o documento que autoriza a instalação e o uso dos rádios de navegação e comunicação da aeronave e é requerida para atender aos procedimentos estabelecidos pela Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações), para a análise de pedidos de licença de estação e expedição deste documento.

A normatização e o grau de conscientização do indivíduo com relação aos seus direitos e deveres colaborou para a implementação das regras que definem os aspectos contratuais e extracontratuais da responsabilidade civil do transportador aéreo. A **apólice de seguro aeronáutico** representa um sustentáculo para a Aviação Civil, pois é um instrumento de garantia da responsabilidade civil que fortalece as atividades realizadas, dando segurança ao desempenho dessas atividades.

O Código Brasileiro de Aeronáutica (CBAer), instituído pela Lei No 7.565/86, determina a obrigatoriedade da contratação de seguros aeronáuticos pelos operadores de serviços aéreos públicos e privados. O Registro Aeronáutico Brasileiro (RAB), atendendo a essa determinação, requer a comprovação da contratação de apólice de seguro para emissão do certificado de aeronavegabilidade das aeronaves.

Uma apólice é um documento emitido por uma seguradora, que formaliza a aceitação do risco objeto do contrato de seguro. Nela estão discriminadas uma série de condições, como o bem segurado, as coberturas e garantias contratadas, o valor do prêmio, assim como o prazo do contrato, entre outras. Os elementos que fazem parte das apólices de seguros são: Condições Gerais, Particulares e Especiais, se houver.

A apresentação da **Ficha de Inspeção Anual de Manutenção (FIAM)** significa, de acordo com o RBHA 91, demonstrar à autoridade aeronáutica que a aeronave está com a sua documentação correta e que ela tem sido corretamente mantida, de acordo com um programa de manutenção aprovado. Assim, o proprietário ou o operador da aeronave deve, pelo menos uma

vez por ano, submeter a sua aeronave a uma verificação de seu plano de manutenção e documentação. A FIAM não pode ser prorrogada e a aeronave estará automaticamente interdita se uma nova FIAM não for atestada um ano após a última execução dessa inspeção. Quando falamos em inspeção anual de manutenção, não é necessário que se faça uma ação de manutenção programada na aeronave, mas apenas a confirmação para a autoridade aeronáutica de que todas as ações requeridas de manutenção foram cumpridas.

Outra determinação do CBAer é o correto registro de voo, da jornada e de ocorrências da aeronave e de seus tripulantes. Desse modo, é obrigatória a existência e o correto preenchimento do **Diário de Bordo**, aplicável a todas as aeronaves brasileiras que operam segundo o RBHA 91, 135 e 121.

Figura 4.1 – Diário de bordo



Fonte: Casa do Aviador, 2011.

Conforme estabelecido no CBAer, o Diário de Bordo deverá ser assinado pelo comandante da aeronave, que também é o responsável pelas anotações nele constantes, incluindo tempo de voo e jornada de trabalho; identificação da tripulação; data do voo; local de pouso e decolagem; horário de pouso e decolagem; total de combustível para cada etapa de voo; natureza do voo; passageiros transportados por etapa; ocorrências no voo; número de ciclos; registro de discrepâncias técnicas constatadas pela tripulação e/ou manutenção; liberação da manutenção e aprovação para retorno ao serviço, entre outros.



a operação da aeronave de forma recomendada ou mandatória ao cumprimento dos requisitos de certificação e dentro dos limites operacionais estabelecidos.

O Manual de Voo também pode ser denominado de “Manual de Operação” ou “Manual do Piloto”. Versões em inglês podem ser denominadas *Aircraft Flight Manual* (AFM), *Pilot’s Operating Handbook* (POH) ou *Pilot’s Flight Manual*.

O POH é publicado para aeronaves de pequeno porte, cujo volume de informações é compatível com a existência de uma publicação única, ou em um único volume.

Existem outras denominações para o Manual de Voo, mas a ANAC recomenda a denominação *Aircraft Flight Manual*.

É recomendável que esses Manuais de aeronaves nacionais sejam publicados em português. Todavia, entende-se que é oneroso ao fabricante nacional emitir e manter atualizadas publicações de conteúdo similar em inglês e português. Para aeronaves de fabricantes estrangeiros, certificadas pela ANAC-GGCP (validações), a exigência de apresentação de um manual em português acarreta um grande esforço. Assim, a ANAC aceita os manuais de aeronaves de fabricantes nacionais e estrangeiros escritos em inglês. Portanto, para o piloto é primordial o conhecimento da língua inglesa, não só para as comunicações em voos internacionais, mas também para a correta compreensão dos Manuais de Voo.

### ***Airplane Flight Manuals (AFM)***

Os AFM e POH são publicações de referência que fornecem informações específicas sobre uma aeronave ou assunto em particular. Elas contêm fatos básicos, informações e instruções ao piloto sobre a operação da aeronave, as técnicas de voo etc., e devem estar disponíveis para uma consulta imediata. Os pilotos devem seguir as instruções, limitações, marcas e placares provenientes de um AFM aprovado.

O POH é uma publicação desenvolvida pelos fabricantes para referência rápida baseada nas informações de um AFM aprovado. Em alguns casos, é conhecida também como QRH (*Quick Reference Handbook*) ou publicação de referência rápida. Deve conter em seu título que as informações ali encontradas são baseadas em um AFM aprovado. Para aeronaves pequenas, fabricadas após 1975, pode ser aprovado como sendo o próprio AFM.

Figura 4.3 – Pilot's Operating Handbook (POH)



Fonte: Arquivo Aeronáutico, 2010.

Apesar de os Manuais de Voo (AFM / POH) serem similares para um mesmo tipo e modelo de aeronave de um fabricante, cada um é único e contém informações específicas para uma aeronave em particular. O fabricante é obrigado a identificar o número de série e o prefixo da aeronave para a qual o AFM / POH foi publicado. Se o manual não identificar a aeronave, ele é um manual genérico e deve ser usado somente para estudo.

Um manual típico AFM/POH é composto por nove seções:

- Seção 1 – *General*;
- Seção 2 – *Limitations*;
- Seção 3 – *Emergency Procedures*;
- Seção 4 – *Normal Procedures*;
- Seção 5 – *Performance*;
- Seção 6 – *Weight and Balance/Equipment List*;
- Seção 7 – *Systems Description*;
- Seção 8 – *Handling, Service, and Maintenance* e
- Seção 9 – *Supplements*.

A seção 1, chamada **General**, trata das informações descritivas básicas e gerais da aeronave. Alguns manuais incluem um desenho com as várias dimensões da aeronave, como sua altura, comprimento, envergadura, distância entre os trens de pouso, raio mínimo de curva no táxi etc. De modo geral, essa seção serve para familiarizar o piloto com a aeronave. O segmento final da seção contém definições, abreviaturas, simbologias e terminologias utilizadas no manual. É importante para a compreensão do manual o conhecimento desses itens.

A seção 2 (**limitations**) trata das limitações impostas durante a homologação da aeronave e aquelas necessárias para a sua operação segura, além de garantir também segurança aos motores, aos sistemas e aos equipamentos. Portanto, ela inclui as limitações operacionais, marcas nos instrumentos, código de cores e os placares básicos.

As limitações são aplicadas em algumas áreas, como:: nas velocidades, nos motores, nos pesos e carregamento, nos sistemas e no voo.

As limitações, muitas vezes, são também informadas em placares, colocados na aeronave contendo informações diretamente relacionadas com a segurança da aeronave e de sua operação.

Figura 4.4 – Placares de aviso e limitações



Fonte: PHAK, 2010.

Na seção 3 (*Emergency Procedures*), nos procedimentos de emergência estão localizadas as listas de verificação (*Checklists*), descrevendo os procedimentos e velocidades recomendados para lidar com vários tipos de emergências ou situações críticas. Algumas das emergências abordadas incluem: falha ou fogo do motor e falhas de sistemas. Os procedimentos para a partida do motor em voo e de pouso na água, também podem estar incluídos nesta seção. Os fabricantes podem mostrar primeiro uma lista de verificação de emergência, de forma abreviada, com a ordem dos itens refletindo a sequência de ação. *Checklists* ampliados que fornecem informações adicionais sobre os procedimentos acompanham a lista abreviada. Para estar preparado para situações de emergência, é necessário memorizar os itens de

ação imediata (*memory items*), que, após executados, devem ser confirmados com a lista de verificação apropriada.

Ainda, os fabricantes podem incluir uma subseção opcional intitulada Procedimentos Anormais. (*Abnormal Procedures*). Essa subseção descreve os procedimentos recomendados para o tratamento de falhas que não são consideradas emergências.

Na seção 4 (*Normal Procedures*), sobre os procedimentos normais, começa a descrição de uma lista das velocidades para as operações normais. A área seguinte consiste na descrição dos vários procedimentos necessários para a operação normal, incluindo todas as fases do voo, acompanhadas dos Checklists específicos de cada fase. Normalmente, essa descrição segue a mesma sequência de um voo normal, ou seja, na sequência das fases do voo como *preflight inspection, before start procedures, after start, taxi procedures, before takeoff, after takeoff, climb, cruise, descent and approach procedures, before landing, after landing* etc. Seguem esses checklists com uma descrição ampliada, apresentada com mais detalhes e informações sobre cada uma dessas fases, entre os vários procedimentos apresentados.

Para não perder passos ou ações importantes dos procedimentos, mantenha-se fiel ao uso dos *Checklists* (listas de verificação). A adesão consistente aos *checklists* aprovados é sinal de um piloto disciplinado e competente.

A seção 5 (*Performance*), que é o desempenho, contém todas as informações exigidas pela regulamentação de certificação da aeronave e quaisquer outras adicionais relevantes, para o piloto poder operar a aeronave com segurança. Gráficos e tabelas de desempenho podem variar em estilo, mas todos contêm a mesma informação básica. Exemplo de informações de desempenho encontradas na maioria dos manuais de voo inclui um gráfico ou tabela para conversão de velocidade calibrada para velocidade verdadeira, velocidade *stall*, em várias configurações, e dados para determinar o desempenho de decolagem, subida, cruzeiro e de pouso.

A seção 6 (*Weight and Balance*) sobre peso e balanceamento, contém todas as informações exigidas pela autoridade aeronáutica para calcular o peso e balanceamento de uma aeronave, incluindo a lista de equipamentos instalados na aeronave e seu peso básico

operacional. É normal encontrar nessa seção exemplos de problemas práticos de peso e balanceamento fornecidos pelo fabricante.

A seção 7 (*Systems Description*), sobre descrição de sistemas, descreve os sistemas da aeronave de forma adequada à compreensão do piloto que terá maior probabilidade de operar a aeronave. Por exemplo, um fabricante pode assumir que para uma aeronave avançada, um piloto experiente estará lendo as informações e, portanto, conhecimentos básicos dos sistemas não serão discutidos. O oposto poderá ocorrer para aeronaves mais simples e menores. De modo geral, a descrição dos sistemas é acompanhada por quadros sinópticos ou desenhos dos sistemas e seus componentes, para melhor visualização do seu funcionamento.

A seção 8 (*Handling, Service and Maintenance*), sobre tratamento, assistência e manutenção descreve a manutenção e as inspeções recomendadas pelo fabricante e os regulamentos. Manutenção ou inspeções adicionais podem ser exigidas pela emissão de AD (*airworthiness directive*) aplicável à aeronave em questão ou aos seus componentes.

Essa seção também descreve a manutenção preventiva que pode ser realizada, bem como os procedimentos recomendados pelo fabricante para os serviços e cuidados da aeronave no solo, como o abastecimento de combustível, reboque da aeronave, conexão de equipamentos externos, hangaragem etc.

A seção 9 (*Supplements*), que é a suplementar, contém as informações necessárias para se operar a aeronave de forma segura e eficiente, quando são instalados sistemas e equipamentos opcionais (não fornecidos com o avião padrão). Algumas dessas informações podem ser fornecidas pelo fabricante da aeronave ou pelo fabricante do equipamento opcional. A informação adequada é inserida no Manual de Voo, no momento em que o equipamento é instalado. Pilotos automáticos, sistemas de navegação e sistemas de ar condicionado são exemplos de equipamentos descritos nesta seção.

Figura 4.5 – Manuais de equipamentos opcionais



Fonte: PHAK, 2010.

Outras seções poderão ser incluídas a critério do fabricante. Alguns fabricantes fornecem o manual de informação ou do proprietário de aeronave. Mas cuidado! Esse não é um Manual de Voo, pois fornece apenas informações genéricas, não é aprovado por autoridade aeronáutica, não é mantido atualizado e não substitui o AFM/POH. O Manual de Voo é uma importante fonte de informação para o piloto e deverá estar sempre ao seu alcance durante as operações.

### Seção 3 – Conheça sua aeronave

Existe realmente um tipo especial de confiança quando alguém se dispõe a colocar sua vida nas mãos de outro. Você confiaria sua vida a alguém que acabou de conhecer ou que mal conhece? Provavelmente, não, mas mesmo assim todos os dias centenas de tripulantes embarcam em aeronaves com as quais não estão totalmente familiarizados.

A habilidade do aviador em desenvolver uma relação direta com sua aeronave é um indicador importante da sua capacidade profissional. Aquele que estuda cada detalhe de si mesmo, do

ambiente de voo e da máquina e consegue desenvolver um vínculo real homem-máquina, atinge a excelência profissional.

O aprendizado de aeronaves complexas, seus sistemas, as características de voo, procedimentos e técnicas podem ser um empreendimento difícil até para o mais experiente aviador, mas, felizmente, há uma abordagem sistemática à aprendizagem e à compreensão dos sistemas de qualquer aeronave que vamos discutir nesta seção.

Os psicólogos e psicopedagogos falam em diferentes níveis de aprendizado. Um deles, o psicólogo Abraham Maslow (1968) aponta quatro níveis de aprendizagem que podemos aplicar:

- NIVEL 1 – O ponto inicial, o nível mais baixo, em que todos começam o aprendizado, é chamado de “**ignorância inconsciente**”, isto é, não temos conhecimento de nada, mas estamos inconscientes disso.
- NIVEL 2 – O segundo nível chama-se “**ignorância consciente**”, aquele em que sabemos que não sabemos. E como se chega a ter essa consciência? Em alguns casos, chegamos a ela por informação de terceiros; em outros, nós mesmos a descobrimos.
- NIVEL 3 – O terceiro nível é o do “**conhecimento consciente**”, aquele em que temos sempre em mente um conhecimento adquirido. Quando estamos aprendendo a dirigir, por exemplo, dirigimos sempre pensando nos movimentos que temos de fazer.
- NIVEL 4 – O último nível é o do “**conhecimento inconsciente**”, no qual dominamos tão bem certo conhecimento que nem pensamos mais nele. Depois de algum tempo de volante, entramos no carro, ligamos o motor, soltamos o freio, engrenamos as marchas e praticamos todos os atos necessários para rodar com um veículo sem pensar muito neles. Aliás, a maior parte do tempo em que dirigimos, pensamos em outras coisas, e não no ato de dirigir.

Então, de modo geral, a maneira de avaliar a compreensão do assunto é medir a habilidade de alguém saber usar o conhecimento adquirido quando necessário. Nesse contexto, o aprendizado é dividido em seis níveis:

- a) Conhecimento: a aprendizagem se dá pela pura memorização de teorias.

Ex: Decorar nomes, dados e fatos repetindo-os fielmente.

- b) Compreensão: pelo raciocínio, o aluno traduz o conhecimento, utilizando seu próprio vocabulário para decodificá-lo, sem necessariamente relacioná-lo com outra teoria ou implicação mais complexa.

Ex: A capacidade para compreender uma ironia, metáfora ou simbolismo. A capacidade de captar a ideia de um sistema e saber explicar essa ideia.

- c) Aplicação: o uso de abstrações e regras científicas em situações concretas.

Ex: Aplicação em outro trabalho de conceitos usados em um trabalho anterior.

A capacidade de aplicar uma regra científica aprendida numa situação nova.

A capacidade de prever o efeito provável de uma modificação num fator, em uma situação física-mecânica anteriormente em equilíbrio.

- d) Análise: esmiuçar uma teoria em partes para melhor compreendê-la, permitindo, inclusive, novas pesquisas sobre aqueles dados desdobrados.

Ex: Habilidade para distinguir fatos de hipóteses a partir de informações e fatos apresentados. A habilidade para compreender as inter-relações das ideias de partes dos sistemas.

- e) Síntese: combinar elementos e partes esmiuçadas pela análise, para formar um todo que constitua um padrão ou estrutura que antes não estava evidente.

Ex: Habilidade para escrever, organizando as ideias e expressões de forma clara e objetiva. Capacidade de relatar uma experiência pessoal verbalmente, de forma objetiva. Capacidade de planejar uma unidade didática para uma determinada situação de ensino ou treinamento.

- f) Avaliação: julgamento a respeito do valor de um trabalho ou material a partir de critérios próprios ou fornecidos.

Ex: A capacidade de avaliar a probabilidade geral de precisão no registro de fatos, a partir da atenção dada ao trabalho ou à documentação, prova etc.

Assim, quanto mais completo for nosso aprendizado, maior será o nível de retenção e complexidade do conhecimento adquirido.

Há também um desses níveis de aprendizado que é chamado de conhecimento inerte. É similar ao nível do “conhecimento consciente” de Maslow em que temos o conhecimento, mas necessitamos dispendir um esforço para pô-lo em prática, pois ainda não conseguimos fazê-lo inconscientemente.



Conhecimento inerte é aquele que não consegue ser resgatado e colocado em prática em situações de *stress*.

---

As situações estressantes impedem o uso desse conhecimento inerte, que se figura pouco sedimentado em nosso sistema cognitivo, isso pode dar uma falsa sensação de segurança, pois não vai nos ajudar em situações críticas de voo. Assim, só com repetidas formas de assimilação do conhecimento o teremos de forma plena e resgatável na mais estressante situação. A leitura, o treino e a vivência nos darão a plena forma do conhecimento.



Então, como devemos estudar para que o assunto nos esteja acessível quando necessário?

---

A resposta está em nossa habilidade de reforçar itens críticos do conhecimento e simultaneamente conseguir associar o conhecimento geral da aeronave ao nosso contexto da aviação, principalmente pela prática e uso constante desse conhecimento. A memorização ou a retenção do assunto acontece com a passagem do impulso nervoso que carrega a informação pelo sistema límbico, que é a área da afetividade. Quanto mais praticarmos um conhecimento e quanto mais essa prática estiver associada a situações prazerosas, pessoalmente sensíveis, mais fácil será a fixação deste conhecimento.



---

“O conhecimento existe em duas formas. Ou sabemos o assunto nós mesmos, ou sabemos onde iremos encontrá-lo”. Samuel Johnson (1709-1784).

---

## Início de estudo

Para que o estudo seja efetivo, precisamos primeiro vencer a tendência a querer partir direto para os procedimentos operacionais para descobrir “como se voa com esta máquina”. Paciência é uma virtude e também o primeiro passo para obter o conhecimento sobre o avião em estudo.

Comece seu estudo da aeronave lendo a seção *General Description* do AFM. Não se preocupe em decorar o assunto e não espere muito dele, apenas entenda como é a sua nova aeronave e tenha em mente que essa leitura está preparando-lhe para um estudo mais profundo adiante.

Após esse passo, vamos direto para a matéria fundamental que deve estar sempre viva em nossa memória – as ações críticas do *emergency procedures e limitations*. Esse é um conhecimento salva-vidas, portanto, devemos estudar esses dois assuntos de modo profundo e constante.

Existem três modos de estudar as limitações e os procedimentos de emergência, e eu recomendo que você utilize todos eles. Primeiro, leia esses assuntos e procure decorá-los. Segundo, use

o avião como auxílio de treinamento. Crie um “teatrinho” em que você representa o piloto executando esses procedimentos na cabine de comando. Se você ainda não tem acesso à cabine do avião ou de um dispositivo de treinamento, monte um painel com o *layout* da cabine no seu local de estudo. Os aviadores são, em geral, muito criativos; há painéis incrivelmente realistas montados por estudantes. Use essa cabine para simular os procedimentos de emergência, repetindo as ações de cada fase.

Para reforçar a memorização das limitações dos vários sistemas, toque no instrumento relacionado e cite as limitações pertinentes. Finalmente, pratique, em um simulador de voo, as manobras e procedimentos de emergência aos olhos atentos de um instrutor.



---

Por que é melhor treinar em um simulador?

---

Se um simulador não estiver disponível, é recomendado que você treine no próprio avião, mas saiba que o custo do treinamento poderá ficar exorbitante e há um risco inerente a esse tipo de treinamento na própria aeronave. Portanto, discuta exaustivamente com seu instrutor as manobras a serem feitas antes de iniciar o treinamento em voo real. Exija dele um relato (*briefing*) detalhado de como as manobras serão executadas, quais serão os limites aceitáveis para este voo e como o instrutor irá atuar em caso de necessidade de correção imediata.



---

Ler, praticar e executar – os três passos para a retenção do conhecimento.

---

Esses três passos, estudo teórico, treinamento estático e simulação em voo vão reforçar seu aprendizado e prover a retenção do conhecimento adquirido, de modo que ele não lhe falte quando mais precisar.

O estudo dos procedimentos normais repete a mesma receita dos três passos. Nesse caso, é mais fácil assimilar já que são procedimentos que se repetirão sempre que formos fazer um voo.

Daí a importância da disciplina de voo, que nos faz agir sempre da mesma forma, seguindo um padrão predeterminado. Em pouco tempo, atingiremos o nível do conhecimento inconsciente, se algo não for feito, sua falta nos chamará a atenção.

O estudo dos sistemas deverá ser desenvolvido buscando sempre evoluir seu nível de aprendizado dentro dos seus seis níveis. Primeiro o conhecimento, depois a compreensão, a aplicação e toda sequência de melhora na sua avaliação do conhecimento descrita anteriormente. Desse modo, comece lendo e siga evoluindo seus estudos até conseguir explicar a outra pessoa, resumidamente, como o sistema funciona e quais são seus componentes e limitações. Essa técnica é particularmente útil para os exames orais dos *check rides*.

### **A chave para a *expertise***

A chave para se tornar um *expert* sobre uma determinada aeronave é ter um plano contínuo de estudo para a fase após a avaliação (*check ride*) e com o programa de treinamento inicial completo. Há diversas maneiras de executar um plano assim, mas a combinação de duas técnicas, a revisão sistemática e o questionamento da experiência têm funcionado bem para a maioria dos pilotos.

Revisão sistemática significa seguir um plano específico para revisar os dados técnicos e operacionais da sua aeronave, de forma regular e contínua. Um plano anual é o mais comum, com um tópico específico para cada mês. A leitura do assunto já é um bom começo, mas o ideal é que você passe a formular algumas questões antes de iniciar o estudo.



---

Auxilia a compreensão do conteúdo e possibilita a relação da teoria-prática. Pode ser criado pelo professor ou por reproduções de notícias publicadas, por exemplo.

---

Ao formular a questão – “Quais equipamentos ficarão inoperantes se eu perder minha fonte elétrica AC?” – você terá seu tempo e atenção focados no ponto específico e espantará o maldito sono, que sempre surge quando iniciamos a releitura dos manuais.

Outra coisa: procure guardar as anotações de seus estudos. Se não ajudarem para nada, pelo menos lhe mostrarão há quanto tempo está longe dos livros.

O segundo método, que chamei de questionamento da experiência, usa as ocorrências de voo para disparar um novo estudo. Uma falha apresentada no último voo da aeronave pode ser um exemplo disso. A pesquisa junto à equipe de manutenção sobre o problema e a busca na teoria relativa ao sistema associado sobre os motivos da falha e quais são os procedimentos que devemos executar para o caso em questão enriquecerá seu conhecimento. Essa técnica é formidável, além de muito útil, pois agrega relevância ao estudo. O início de um estudo não precisa ocorrer somente em seus próprios voos. A leitura de um fato ou a experiência trocada com os colegas pode ser da mesma valia.



---

A notícia de um acidente em que os tubos de Pitot foram bloqueados durante um voo em formações meteorológicas pesadas, pode abrir questionamentos e estudos sobre vários assuntos como: falhas do sistema Pitot-estático, comportamento dos instrumentos e do sistema automático de voo, turbulência, formação de gelo, técnicas de pilotagem e tudo mais que possa ser encontrado sobre o fato relacionado.

---

É normal, nesses casos, a busca pela informação ir além dos manuais e dados técnicos e operacionais da aeronave. Um piloto sério e determinado na busca pelo conhecimento não irá se deter pela falta de informação, mas a procurará por todos os meios, inclusive contatando fabricantes, centros de treinamento, examinadores ou a própria autoridade aeronáutica.

A combinação dessas duas técnicas de estudo lhe dará um robusto crescimento do seu conhecimento da aeronave e da aviação como um todo. A chave desse crescimento está em suas mãos, pois só você saberá ao certo os assuntos que lhe causam dúvidas e como deverá tratá-los.

## **Conhecimento pela troca de experiência**

Muitas das informações que você irá procurar não estão escritas em livros ou manuais. Algumas características de voo e considerações ergonômicas de seu avião serão melhor compreendidas em conversas com pilotos mais experientes na aeronave. Informações importantes também poderão ser encontradas ao analisar banco de dados de incidentes e acidentes ou do fabricante. O ponto aqui é ganhar conhecimento com a experiência de outros, sendo que a soma do conhecimento de todos os pilotos, de várias aeronaves e locais, é muito maior do que a relatada em livros e manuais. Então, não deixe de ter uma atitude inquisitiva e questionadora sobre sua operação, sempre que tiver uma oportunidade de aprender com a experiência alheia.



O aprendizado pela troca de experiência é, além de tudo, um aprendizado inteligente, pois evitará que você venha a aprender de modo mais duro e difícil que é a experiência pelo próprio erro.

---

## Cada aeronave é um caso único

Mesmo que você conheça tudo sobre o modelo de seu avião, ainda assim haverá algo a mais a descobrir e entender sobre a sua aeronave. Assim como os indivíduos, as aeronaves são diferentes entre si em muitas coisas. Uma grande diferença entre as aeronaves é seu histórico de manutenção. O aviador deve estar familiarizado com os trabalhos de manutenção já executados na aeronave e os que ainda não ocorreram. Segundo, verifique sobre grandes inspeções ou paradas de manutenção. As chances de aparecer problemas após essas revisões são maiores do que em voos normais. Os trabalhos efetuados também podem indicar algum problema anterior.



---

Certa vez, acompanhando um engenheiro em uma avaliação de compra da aeronave, deparamo-nos com uma troca da fixação de uma das asas. Estranhando o fato de o trabalho não ter sido feito em ambas as asas, fomos à procura de uma documentação que justificasse o serviço e encontramos o relato de que a aeronave havia enfrentado uma turbulência severa. A compra foi abortada.

---

Terceiro, sempre verifique nos documentos os itens que foram substituídos desde o último voo. Você será o “*test pilot*” para esses itens. Quarto, seja precavido sempre que encontrar a seguinte resposta da manutenção: “efetuado teste no solo, ok”. Isso significa, muito provavelmente, que o mecânico não conseguiu replicar no solo as condições do problema no voo anterior. Esteja preparado para a reincidência da falha e tenha um plano para lidar com ela, preferencialmente coletando mais informações para ajudar na manutenção. Finalmente, sempre que for voar em outro avião que não está entre aqueles que você acompanha, pergunte ao mecânico ou ao piloto que costuma voar com a aeronave se há algo especial sobre ela. Uma pergunta simples assim pode encontrar resposta valiosa e muito importante, ou pelo menos, deixá-lo de consciência tranquila quanto ao voo.



---

Informação específica da aeronave pode ser um pequeno amassado, certo ajuste para fechar a porta ou a origem de um ruído que irá lhe incomodar o voo todo, se não souber como identificá-lo.

---

## **Compartilhe seu conhecimento com a equipe**

Independentemente de estar voando em um avião de treinamento, em voo solo, ou se faz parte de uma tripulação de um jato multimotor, o seu conhecimento deve ser dividido entre todos que trabalham, para que o voo aconteça. Passar todas as informações que você sabe ao mecânico, ao despachante ou ao próximo tripulante que lhe acompanha ou irá assumir um voo naquela aeronave pode ser muito importante. Lembre-se: “Ninguém sabe mais do que todos nós juntos!”



## Síntese

Para que possamos voar e manter nossa aeronave dentro dos padrões estabelecidos de segurança, devemos atender aos requisitos estabelecidos pelo fabricante e pela autoridade aeronáutica.

O piloto conhecerá quais são esses requisitos ao consultar os documentos de sua aeronave e os publicados pela autoridade aeronáutica. Por isso, esses documentos são obrigatórios nas cabines das aeronaves, entre eles, os Manuais de Voo, o Certificado de Matrícula e o Certificado de Aeronavegabilidade.

Para conhecer como funciona sua aeronave, suas limitações e seu melhor desempenho, o piloto deverá estudá-la consultando seu Manual de Voo (AFM) que, dividido em nove principais seções, traz as principais informações para a operação segura e correta da aeronave.

Ninguém poderá ter a certeza de que saberá o suficiente para enfrentar qualquer situação a qual possa surgir durante o voo. Mesmo para o mais experiente e estudioso aviador, por vezes, surgem-lhe dúvidas sobre seu conhecimento dos procedimentos e sistemas de sua aeronave. Mas é essa dúvida que alimenta o grande aviador na busca do conhecimento. O irônico disso tudo é que aqueles que se julgam perfeitos conhecedores de tudo são os mesmos ameaçados dos maiores riscos.

O experiente aviador se revelará naqueles que souberem aplicar um plano sistemático e disciplinado de aprendizado contínuo, que durará por toda a sua carreira. Use um tempo para criar um sistema de aprendizado que funcione para você. Ajuste-o de tempos em tempos, se necessário. Alinhe-se a ele com firmeza e compartilhe com outros, principalmente com os mais novos. Sua carreira será um sucesso!



## Atividades de autoavaliação

Ao final de cada unidade, você realizará atividades de autoavaliação. O gabarito está disponível no final do livro didático. Mas, esforce-se para resolver as atividades sem ajuda do gabarito, pois, assim, você estará promovendo (estimulando) a sua aprendizagem.

1) Quantos são os documentos obrigatórios na aeronave e quais são eles?

---

---

---

2) Você foi admitido recentemente em uma empresa aérea e terminou seu treinamento inicial. Descreva como irá manter seu nível de conhecimento atualizado e como poderá implementá-lo.

---

---

---

---

3) Pesquise na web qual é o documento que trata das normas e procedimentos para a confecção e emissão de Diário de Bordo das aeronaves civis brasileiras. Identifique no documento quem são os responsáveis pelas assinaturas requeridas no diário de bordo.

---

---

---

---

4) Comente, por meio de 6 a 8 linhas, por que o autor sugere o uso dos três passos: Ler, Praticar e Executar para a retenção do conhecimento?

---

---

---



### Saiba mais

Se você desejar, aprofunde os conteúdos estudados nesta unidade consultando as seguintes referências:

CBAer Código Brasileiro de Aeronáutica. Lei 7.565 de 19 de dezembro de 1986.

KERN, Tony. Redefining Airmanship. New York: McGraw-Hill 1997.

KERN, Tony. Flight Discipline. New York: McGraw-Hill 1998.

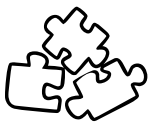
TURNER, Thomas P. Checklist & Compliance. Controlling Pilot Error Series.

# Inspeção e manutenção



## Objetivos de aprendizagem

- Entender quais são os requisitos de manutenção de uma aeronave.
- Conhecer os procedimentos de manutenção.
- Relacionar a manutenção da aeronave e a segurança de vôo.
- Saber analisar documentos de manutenção.



## Seções de estudo

**Seção 1** Aeronavegabilidade

**Seção 2** Inspeções de manutenção

**Seção 3** *Minimum Equipment Lists* – MEL

**Seção 4** Manutenção preventiva



## Para início de estudo

O autor contou com a colaboração do Engenheiro Adílio Marcuzzo Júnior na elaboração do texto desta unidade. O conteúdo de autoria de Marcuzzo Jr., entre outros escritos do engenheiro, podem ser visualizados no site: <http://www.manutencaodeaeronaves.eng.br>.

A manutenção de aeronaves é definida como a conservação, inspeção, revisão e reparação, incluindo a substituição de peças, ou seja, é o conjunto de ações requeridas para manter ou aperfeiçoar a aeronavegabilidade e a confiabilidade previstas no projeto da aeronave e de seus sistemas, subsistemas, e componentes, durante toda a vida operacional dela.

Entre as várias ações requeridas na manutenção, estão:

- o desenvolvimento de programa de manutenção de aeronave, de acordo com as especificações dadas pelo fabricante;
- o monitoramento, controle e implementação de diretrizes de aeronavegabilidade emitidas por órgãos reguladores da aviação civil;
- o monitoramento, controle e implementação de boletins de serviço publicados pelo fabricante da aeronave ou do componente específico, visando a sua melhoria;
- a execução de revisão geral, reparo, inspeção, ou qualquer outra tarefa de manutenção, de acordo com o programa de manutenção da aeronave e com os dados do fabricante;
- a realização de inspeções periódicas requeridas, baseadas no tempo calendárico ou no tempo em serviço ou em ciclos de voo/aterrissagem.

Uma manutenção regular e adequada garante que uma aeronave se encontre com um padrão aceitável de navegabilidade ao longo de sua vida operacional. Para isso, os serviços de manutenção deverão ser executados por profissionais habilitados em oficinas reconhecidas, segundo norma específica da agência reguladora,

e o piloto tem então a função do cliente, ou do gerente que requer, acompanha e verifica os trabalhos executados dentro dos requisitos exigidos.

Assim, nesta unidade iremos desenvolver os estudos de modo a compreender a importância dos programas de manutenção, dos controles e inspeções destes programas, para que servem os boletins de serviço e as diretrizes de aeronavegabilidade, além de saber quando e como poderemos voar em uma aeronave que está com um equipamento inoperante.

## Seção 1 – Aeronavegabilidade

Como já vimos, a aeronavegabilidade (*airworthiness*) é a capacidade de uma aeronave de realizar um voo seguro ou navegar com segurança no espaço aéreo, ao transportar pessoas ou coisas na realização de serviços aéreos.

A aeronavegabilidade depende de três componentes básicos:

- a certificação de seu projeto, que engloba atividades de avaliação de engenharia, simulações, testes de laboratórios e em protótipos e voos experimentais;
- a certificação de fabricação, na qual se procura assegurar que cada unidade saída da linha de montagem é idêntica ao projeto certificado;
- a manutenção da aeronave, que deve ser continuamente mantida por meio de um programa de manutenção/inspeções, geralmente conduzido por uma equipe de mecânicos de manutenção aeronáutica habilitados, podendo contar com o auxílio de um sistema de análise, diagnóstico e gerenciamento da “saúde” e da confiabilidade da aeronave.

Nós, como proprietários ou operadores das aeronaves, podemos interferir diretamente na aeronavegabilidade de um avião somente na execução de sua manutenção, visto que ao recebê-la para voo ela já deverá estar certificada para o seu desenvolvimento e fabricação.

O próprio regulamento afirma que “o proprietário ou o operador de uma aeronave é primariamente o responsável pela conservação dela em condições aeronavegáveis, incluindo o atendimento aos regulamentos pertinentes.” Isso significa que quando a aeronave é operada conforme os RBAC 91, 121 ou 135, o operador é obrigado a realizar o controle da manutenção programada e corretiva, o que, em outras palavras, significa que o operador tem que conhecer o programa de manutenção da aeronave, o qual engloba as tarefas de inspeções, o controle de componentes com vida limite, o controle de inspeções e revisões programadas e o cumprimento de diretrizes de aeronavegabilidade e boletins de serviço de cumprimento compulsório.

No caso de uma empresa de transporte aéreo (RBAC 121 ou 135), já é previsto a obrigatoriedade de contratação de um funcionário que irá responder pelo Controle Técnico de Manutenção (CTM) da empresa e que fará o controle da manutenção programada de cada aeronave, porém, para o operador que voa conforme o RBAC 91, não há obrigatoriedade de contratar profissional de manutenção como seu funcionário, entretanto, isso não o exime de sua responsabilidade, conforme definido nos regulamentos. Toda vez que algum item de uma aeronave fizer parte da manutenção programada, o operador é quem deverá saber qual a data, as horas totais ou ciclos totais que determinarão o deslocamento da aeronave para uma oficina, a fim de se efetuar as tarefas de manutenção que estiverem vencidas. Nenhuma oficina ou fabricante tem a responsabilidade de avisar qualquer operador sobre o vencimento de itens de manutenção programada de sua aeronave.

Somente durante a realização de uma IAM (Inspeção Anual de Manutenção), a oficina é obrigada a fazer o levantamento do histórico de manutenção de uma aeronave para confirmar se ela cumpre todos os requisitos da regulamentação. Após a conclusão da IAM, novamente é o operador que assume o controle da manutenção de sua(s) aeronave(s).

Finalizadas as tarefas de manutenção e o fechamento da ordem de serviço, toda a cópia da documentação gerada deverá ser arquivada na Seção de Registro de Manutenção (SRM), a qual que deverá ter pastas individuais da documentação das aeronaves mantidas pela oficina.

Em uma oficina homologada conforme o RBHA 145, o inspetor designado para a ordem de serviço é o profissional responsável por atualizar o programa de manutenção de uma aeronave durante uma IAM e também por verificar novas diretrizes de aeronavegabilidade emitidas, ou se as publicações técnicas e fichas de inspeção, que estão sendo usadas pela equipe, estão atualizadas conforme a lista de revisões de publicações de cada fabricante.

É muito importante que os inspetores saibam que a responsabilidade legal pela qualidade do serviço executado em uma aeronave é totalmente deles. Nenhum funcionário de uma seção de SRM tem qualquer responsabilidade legal, caso algum item de manutenção programada vencido não seja incluído na ordem de serviço durante uma IAM. Por isso, é dever do inspetor conhecer os capítulos dos manuais de manutenção das aeronaves e nossa legislação aeronáutica e verificar se o programa de manutenção da aeronave está sendo corretamente atualizado pela empresa onde ele exerce a função de inspetor designado.

Conforme descrito nos regulamentos, o inspetor é o responsável pelo retorno ao serviço de uma aeronave e, no caso de uma IAM, significa confirmar que a aeronave está cumprindo todos os requisitos de aeronavegabilidade. Quanto à documentação gerada após a realização das tarefas de manutenção, são os nomes e assinaturas do mecânico e do inspetor que estarão registrados nas fichas de inspeção, ordens de serviço e nos registros de cadernetas, portanto, não há vínculo do pessoal da Seção de Registro de Manutenção (SRM) com a qualidade do serviço executado ou erros em registros na documentação da aeronave.

No caso de proprietários ou operadores que possuem programas de manutenção ou de inspeções aprovados, a oficina deverá solicitar os manuais desses programas, que trazem as instruções para a realização dessas tarefas de manutenção. É responsabilidade do operador verificar se a oficina cumpriu corretamente os requisitos de seu programa de manutenção.

Resumindo: o planejamento da manutenção e a guarda permanente da documentação de sua frota é dever do operador, tendo esse um departamento de CTM ou não, enquanto que a função da oficina é executar as tarefas de manutenção programadas ou corretivas, solicitadas pelo operador, e manter registros de manutenção das aeronaves de seus clientes em sua Seção de Registro de Manutenção, pelo período definido em nossa legislação.

## O planejamento de manutenção

Para entender como funciona uma oficina aeronáutica, vamos acompanhar como seria um planejamento de execução de um serviço de manutenção de aeronave em uma oficina, assim, você saberá a importância desse **planejamento** e como acompanhar a execução dos serviços solicitados.

O item "O planejamento de manutenção" é uma contribuição de Marcuzzo e Loredó, 2011.

Planejar tarefas em manutenção de aeronaves requer uma análise prévia dos seguintes tópicos básicos, a fim de se evitar atrasos e desperdícios:

- Mão de obra;
- Material;
- Serviços de terceiros;
- Ferramentas.

A análise da mão de obra requer planejar quantas pessoas efetuarão os serviços de manutenção, suas especialidades, treinamento e experiência na tarefa executada. No caso de uma inspeção ou discrepância, pode-se utilizar uma só pessoa qualificada se o item não for item de inspeção obrigatória (IIO), o que possibilita menor custo, tanto para a oficina quanto para o operador, devido à redução do tempo de trabalho executado por cada pessoa nos itens da ordem de serviço. Esse tempo de trabalho é calculado pelo número de H/h (Homens/hora) utilizados.

Fatores muito importantes e que determinam o sucesso da atuação da mão de obra durante a execução das tarefas são o nível de treinamento do profissional e a sua experiência na

execução da tarefa. Para atingir a produtividade almejada nas tarefas de manutenções preventivas, as empresas de manutenção de aeronaves necessitam executar treinamentos periódicos, com os técnicos em cada item descrito nas fichas de inspeções dos manuais de manutenção das aeronaves e dos motores em que a oficina esteja homologada pela ANAC.

Os prazos de execução deverão ser sempre revistos e aferidos, para que se conheçam os tempos médios das tarefas similares executadas em diversas aeronaves. Na maioria das vezes, a demora na execução dos serviços será corrigida com treinamento e aquisição de novas ferramentas. Após a identificação e correção dos problemas, o índice homem/hora vai diminuir, possibilitando que um orçamento mais preciso seja oferecido ao cliente, tornando a empresa mais competitiva. Um outro fator que contribui para a melhoria da produtividade é checar os motivos de um retrabalho (geralmente efetuados como garantia pela oficina) e eliminar as causas.

A previsão de material é de vital importância para o cumprimento do prazo de entrega da aeronave. Manter estoques mínimos e kits básicos dos itens de manutenção preventiva é uma forma de se evitar transtornos e imprevistos, principalmente em se tratando de material aeronáutico que, na maioria das vezes, é importado.

As empresas de manutenção devem executar um planejamento, pesquisando junto às fichas de inspeção das aeronaves em que estão autorizadas a trabalhar, quais são as tarefas que necessitam de material para sua execução como, por exemplo, a substituição de um filtro do sistema de combustível da aeronave previsto em ficha de inspeção. Deverá ser feita uma análise junto aos procedimentos para substituição de tal componente quanto à necessidade de troca de outros elementos como *ó-rings*, juntas, arame de freio etc., e qual a quantidade a ser substituída, deixando-os em estoque antes da chegada da aeronave. Essa análise permite que seja montado um kit para a execução dessa tarefa no futuro, facilitando a confecção de um orçamento e tornando-o mais preciso.

Pessoas e empresas que prestam serviços terceirizados (laboratórios de aviônicos, manutenção de componentes, serviços de ensaios não destrutivos etc.) também devem ser orientadas quanto ao

nível de qualidade exigido pela oficina de manutenção e, se for o caso, devem receber treinamento para atingi-lo. Como no caso de fornecedores de peças, as empresas que prestam serviços têm que ter como foco o prazo e a qualidade das tarefas executadas. As empresas contratantes desses serviços devem executar auditorias em seus fornecedores para garantir que existe qualidade e comprometimento com os prazos e com a segurança de voo.

Quanto às ferramentas, é importante citar que a oficina deve mantê-las em quantidade suficiente para cada mecânico, ou seja, que esse não necessite interromper seus serviços por falta de alguma ferramenta em sua caixa, causando perda de produtividade. Cada vez que um mecânico se desloca da aeronave em que está trabalhando para procurar uma ferramenta ele começa a consumir um tempo de trabalho (tempo parado) da tarefa em execução, provocando perda da produtividade e, em alguns casos, comprometendo a segurança de voo da aeronave.

As ferramentas especiais são outro fator importante para redução de custos e prazos na execução de vários itens, uma vez que a falta dessas acarreta mais paradas e despesas pela necessidade da contratação de terceiros. As ferramentas especiais costumam caro e devem ser monitoradas quanto a sua intensidade de uso, por tarefa e custos diversos (manutenção, aferição, calibração), criando-se uma taxa de preço ajustada para elas. É muito importante agregar ao custo de um orçamento o emprego dessas ferramentas. Em alguns casos, a falta de ferramenta pode influir negativamente na segurança de voo, quando procedimentos não homologados são criados na tentativa de substituir a falta dela.

Outras ferramentas, como os programas de computação, auxiliam no planejamento de tarefas de manutenção, pois facilitam o cálculo e controle das tarefas, a interligação entre elas, a duração de cada uma e a finalização do serviço, a divisão das equipes por tarefas e custos envolvidos.

Uma vez que o planejamento de manutenção foi bem avaliado e dimensionado pela oficina de manutenção, a entrega de uma aeronave no prazo, no custo e na qualidade de serviço previstos resultará no objetivo final que é a satisfação do operador da aeronave.

## O programa de manutenção

Um dos requerimentos do RBAC é a existência de um programa de manutenção para aeronave. Na verdade, se adequadamente utilizado, esse requisito é uma ferramenta para controlar e até diminuir o custo operacional de uma dada aeronave ou frota. Com exceção das grandes empresas aéreas que operam segundo o RBAC 121, o mais frequente é seguir sem questionamentos o programa de manutenção básico elaborado pelo fabricante das aeronaves.

Um programa de manutenção é um documento que define todas as tarefas a serem realizadas na aeronave ou na frota, entre elas as inspeções de manutenção e seu controle, o controle de componentes com vida limite, o serviço ou substituição de componentes, o controle de revisões programadas e o cumprimento de diretrizes de aeronavegabilidade e boletins de serviço de cumprimento compulsório.

Esse programa, se diferente do estabelecido pelo fabricante da aeronave, deve ser submetido à aprovação ou aceitação da Autoridade Aeronáutica, assim como qualquer modificação nele efetuada só poderá ser implantada após apreciação daquela autoridade.



---

É importante que o programa de manutenção seja executado e documentado conforme descrito, para que a aeronavegabilidade da frota seja mantida e os custos de manutenção permaneçam dentro de um patamar razoável para a empresa. Além disso, uma aeronave bem mantida é um patrimônio com baixa depreciação, ou seja, seu valor de mercado permanece acima da média, quando comparado com o de outras aeronaves em geral.

---

## CTM – Controle Técnico de Manutenção

O CTM ou controle técnico de manutenção, como o nome diz, fornece o histórico de manutenção da aeronave. É ele que acompanha, controla e atualiza todos os dados e documentos relativos ao uso e manutenção da aeronave, além de determinar as futuras intervenções e manutenções preventivas.

Normalmente, apenas uma pessoa é suficiente para fazer o CTM. Pela legislação em vigor, não existe obrigatoriedade de instrução para a pessoa que exerça tal função, embora a tendência atual é de que um técnico, tecnólogo ou engenheiro com experiência em atividades de manutenção de aeronaves sejam os profissionais mais procurados devido à responsabilidade técnica dessa função. Se a pessoa não tiver formação técnica, é necessário um bom treinamento e acompanhamento prévios até que ela esteja apta a exercer essa atividade.



---

O que faz uma pessoa que trabalha no CTM – Controle Técnico de Manutenção?

---

É atribuída, resumidamente, a um profissional de CTM, a execução das seguintes tarefas, entre outras:

- Organizar e manter atualizada a biblioteca técnica da empresa;
- Efetuar o controle de assinaturas e o recebimento de diretrizes de aeronavegabilidade e boletins de serviço;
- Atualizar as fichas de inspeção relativas aos planos de manutenção das aeronaves;
- Manter os arquivos de serviços efetuados e informação de pessoal técnico da empresa;
- Efetuar controle de manutenção das aeronaves.

Esse último tópico é que originou o nome CTM, pois a atividade de se efetuar o controle técnico de manutenção nada mais é do

que ter um histórico da manutenção preventiva estabelecido pelo fabricante para cada modelo de aeronave e, por meio dela, planejar paradas da aeronave devido ao vencimento de inspeções, revisões e trocas de componentes, diretrizes e boletins de serviço.



---

Plano de manutenção é o planejamento das tarefas necessárias à execução do programa de manutenção.

---

Os controles podem ser **horário**, **calendário** ou **cíclico**. O controle horário é relativo às horas de voo da aeronave. O controle calendário é referente ao tempo real ocorrido em dias, meses ou anos, desde a última inspeção. O controle cíclico refere-se ao número de ciclos ocorridos durante a vida útil do equipamento. Normalmente, um ciclo é considerado como um voo completo entre a partida, decolagem, pouso e corte do motor.

No caso dos motores, pode ser considerado um ciclo como sendo o período entre o início de uma aceleração em potência de decolagem até o corte do motor ou o início de uma nova aceleração na mesma potência. Assim, normalmente um voo compreenderá apenas um ciclo motor, mas em alguns casos pode haver mais de um ciclo para o mesmo voo, como ocorre quando há uma arremetida ou no treinamento de tripulantes em um voo local, com vários toques e arremetidas (pousos e decolagens em sequência).

Observem que quando um profissional monta um plano de manutenção, toda atenção na execução do CTM deve estar focada em efetuar um trabalho sem erros, pois qualquer controle que não esteja de acordo com o programa do fabricante ou da empresa aérea pode causar sérios prejuízos financeiros, até mesmo colocar em risco a segurança de voo da aeronave que está sendo controlada.

Imaginem que um erro foi cometido no controle de vida útil de um componente. Se o erro originar a troca do componente antes da vida limite prevista, o operador terá prejuízos financeiros, principalmente se for uma peça de custo elevado. Se o erro resultar em uma previsão de troca do componente após a vida limite, o operador passará a correr sérios riscos, pois a aeronave poderá voar com um componente de vida útil já vencida, podendo falhar para a função que foi projetado.

Atualmente, contamos com diversos softwares que nos auxiliam como planilhas eletrônicas, programas feitos especialmente para o controle de aeronave ou mesmo programas personalizados que as empresas podem desenvolver com a ajuda de um profissional de tecnologia de informação.

Portanto, o departamento de CTM é de vital importância para os operadores de aeronaves que queiram manter suas aeronaves aeronavegáveis e pelas empresas de manutenção que queiram oferecer um serviço com alto padrão de qualidade e segurança aos seus clientes.

## **Seção 2 – Inspeções de manutenção**

Embora os requisitos de manutenção variem de acordo com diferentes tipos de aeronaves, a experiência mostra que as aeronaves precisam de algum tipo de manutenção preventiva a cada 25 horas de voo ou menos, e de alguma outra manutenção menor, pelo menos a cada 100 horas, e todas precisam ser inspecionadas, no mínimo, uma vez a cada 12 meses. O intervalo entre inspeções depende do tipo de operações em que a aeronave está envolvida, das condições climáticas da região onde ela é operada, das instalações de hangaragem, da idade e construção da aeronave.

Como já afirmado anteriormente, o operador ou proprietário da aeronave é o responsável por manter a aeronave em perfeitas condições de navegabilidade e para isso deverá providenciar as inspeções necessárias em intervalos específicos para determinar o estado geral da aeronave, bem como a correção de qualquer defeito que surgir entre as inspeções.



As inspeções são exames visuais e tácteis para determinar a condição de um componente ou de uma aeronave.

---

Apesar de fazer parte do conceito de manutenção, atestar a atividade de inspeção requer lançamentos em registros primários diferentes dos outros itens de manutenção, manutenção preventiva, recondicionamento, modificações e reparos, conforme previsto nos regulamentos. Cada operador deve seguir as regras estabelecidas pela autoridade aeronáutica para seus respectivos registros de programas de inspeção adotados.

Outra diferença é que as inspeções possuem listas de verificações que devem ser assinadas pelo mecânico que executa cada tarefa e, no caso de ser considerada uma tarefa que tenha um item de inspeção obrigatória (IIO), um inspetor qualificado deverá analisar a qualidade do serviço executado pelo mecânico. Essas listas de verificações devem estar sempre atualizadas, conforme a última revisão do manual de manutenção do produto aeronáutico, é dever do inspetor responsável pela inspeção certificar-se de que sua equipe está utilizando uma ficha atualizada.

Nossa autoridade aeronáutica estabeleceu que os operadores devem decidir por três modalidades de inspeções, conforme o peso máximo de decolagem, tipo e quantidade de motores de sua aeronave e do regulamento em que ela é operada:

- A IAM (Inspeção Anual de Manutenção) que atesta aeronavegabilidade de uma aeronave;
- A inspeção equivalente a 100 horas de operação da aeronave, que cada fabricante pode estabelecer;
- A inspeção progressiva que cada fabricante ou operador podem desenvolver.

Essas inspeções devem cobrir todas as áreas de uma aeronave, ou seja, deve ser realizada pelo menos uma inspeção, de ponta a ponta (tip-to-tail), a cada ano, para que o operador receba a certificação de aeronavegabilidade de sua aeronave. As áreas da aeronave e os documentos a serem inspecionados devem abranger:

- Os trens de pouso de nariz e principais e seus alojamentos;
- O compartimento de aviônicos;

- O compartimento do piloto – *cockpit*;
- A cabine geral da aeronave;
- A fuselagem traseira e a empenagem;
- As asas;
- O grupo motopropulsor;
- Os cheques operacionais;
- Os boletins de serviço quando citados nas tarefas de inspeção;
- As diretrizes de aeronavegabilidade;
- Os equipamentos de emergência;
- A documentação de bordo da aeronave;
- Os itens de certificação de tipo.

Com relação a pequenas aeronaves com motores convencionais (peso máximo de decolagem aprovado menor ou igual a 12.500 lbs) e aviões monomotores à turbina, devem ser seguidas as seguintes regras:

- a) A IAM deve ser atestada por oficina homologada ou pelo operador 135, se esse não estiver isento de efetuar essa inspeção anual pela autoridade aeronáutica.
- b) Se o operador, no caso operando pelo RBAC 91, decidir pela inspeção de 100 horas, ele terá que escolher o programa do fabricante para o seu modelo de aeronave e, anualmente, poderá atestar o cumprimento desta inspeção, conforme citado nos manuais de manutenção dos fabricantes.
- c) No terceiro caso, ou seja, a inspeção progressiva, em um operador 91 ou 135, poderá desmembrar os itens requeridos por uma inspeção anual, em inspeções de rotina e detalhadas, que ao final de um ano devem cobrir toda a aeronave, conforme previsto em uma inspeção anual.

Com relação a grandes aeronaves (peso máximo de decolagem aprovado maior do que 12.500 lbs) e aviões multimotores à turbina e helicópteros à turbina, os operadores podem escolher entre os seguintes programas de inspeções, os quais,, teoricamente estariam isentos de atestar uma inspeção anual de manutenção por oficina homologada (RBHA 91):

1. Um programa de inspeção para aeronavegabilidade continuada, fazendo parte de um programa de manutenção de aeronavegabilidade continuada em uso, por uma empresa aérea operando esse tipo e modelo de aeronave, conforme especificações técnicas emitidas, segundo o RBAC 121 ou 135, ou operando o mesmo tipo e modelo de aeronave, segundo o RBAC 135 e mantendo-o segundo 135.411(a)(2).
2. 2) Um programa de inspeções, aprovado segundo o parágrafo 135.419 do RBAC 135 e correntemente em uso por uma empresa homologada, segundo o referido regulamento.
3. 3) Um programa atualizado de inspeções recomendado pelo fabricante.
4. 4) Qualquer outro programa de inspeção, estabelecido pelo proprietário ou operador da aeronave e aprovado pela ANAC.

Além dessas inspeções programadas requeridas pela autoridade aeronáutica, o fabricante estabelece, também, inspeções especiais, que cobrem itens de revisão geral e inspeções programadas de componentes, programas de prevenção de corrosão, bem como, inspeções necessárias após as seguintes condições:

- Operações em áreas costeiras;
- Operações em áreas poluídas ou com alta umidade;
- Operações em turbulência severa;
- Impactos por raios;
- Pouso com impacto;

- Inspeção por parada brusca de motor;
- Operações em terrenos macios.

## **Inspeção anual de manutenção – IAM**

A Inspeção Anual de Manutenção (IAM) é feita para demonstrar à autoridade aeronáutica que a aeronave está com a sua documentação correta e que ela tem sido corretamente mantida, de acordo com um programa de manutenção aprovado pelo fabricante, ou com um programa de inspeções progressivas aprovado pela autoridade aeronáutica, especificamente para o operador, ou com um programa de inspeções de 100 horas, aprovado de acordo com o regulamento específico.

Isso significa que o proprietário ou operador da aeronave deve, pelo menos, uma vez por ano submeter a sua aeronave a uma verificação de seu plano de manutenção e documentação por um mecânico credenciado, uma oficina homologada ou um operador homologado, conforme é aplicável.

A Inspeção Anual de Manutenção não possui extensão e a aeronave estará automaticamente interdita se uma nova IAM não for atestada um ano após a última execução dessa inspeção. Quando falamos em inspeção anual de manutenção, não é necessário que se faça uma ação de manutenção programada na aeronave, mas confirmar para a autoridade aeronáutica que os prazos para cumprimento de inspeções e controles de componentes estabelecidos pelos programas dos fabricantes ou nos programas de operadores aprovados pela ANAC estão dentro dos limites de horas, ciclos e tempo calendário previstos, as diretrizes de aeronavegabilidade foram analisadas e cumpridas, os equipamentos e sistemas estão em perfeito funcionamento, grandes modificações ou reparos estão incorporados, conforme instruções corretas, e a aeronave está em conformidade com seu TCDS (*Type Certificate Data Sheet*) ou EA (Especificação da Aeronave).

Outro requisito importante durante a realização de uma IAM é o de fazer funcionar o motor ou os motores da aeronave, para determinar se o desempenho deles cumprem as recomendações do fabricante.

Cada empresa que ateste uma IAM tem um prazo para entregar a DIAM (Declaração de Inspeção Anual de Manutenção) à ANAC. A partir do momento em que a IAM é atestada e os dados da DIAM estiverem corretos, a aeronave já é considerada aeronavegável, mesmo que o sistema informatizado da agência reguladora não esteja atualizado, nenhum inspetor de aviação civil poderá interditar a aeronave pelo código 8 (IAM vencida), uma vez que a FIAM (Ficha de Inspeção Anual de Manutenção) atestada por uma empresa homologada estará anexa à documentação da aeronave.



“Lembrem-se de que a burocracia não pode, jamais, se sobrepor ao bom senso, uma vez que a aviação, seja ela executiva ou comercial, é uma poderosa ferramenta de trabalho e de integração nacional, em que empresários investem muito dinheiro e esforço para a operação segura e eficiente de suas aeronaves”. (MARCUIZZO JR., 2011:3).

Em alguns casos, uma aeronave pode ser isenta do cumprimento de IAM como as aeronaves inspecionadas, conforme um programa de manutenção aprovado e aceito, e grandes aviões, aviões multimotores com motores à turbina e helicópteros com motor à turbina, uma vez que cumpram um programa atualizado de inspeções recomendado pelo fabricante. Mais detalhes dessas isenções poderão ser encontrados nos regulamentos ou consultando a autoridade aeronáutica.

## Outras inspeções

Existem outras inspeções específicas de alguns equipamentos como os altímetros, o *Transponder*, o ELT (*Emergency Locator Transmitter*) etc., que devem ser executadas segundo um plano específico, devido a importância desses equipamentos para a segurança de voo. Normalmente, são verificações da sua instalação, seu funcionamento e da sua aferição para garantir que a aeronave atenda aos requisitos mínimos de operação.

## **Inspeção pré-vo**

Outra importante inspeção é aquela realizada pelo piloto logo antes do voo. Os itens de uma inspeção pré-vo constam do AFM ou POH da aeronave. Quando cumpridos pelo piloto, garantem que a aeronave está em condições de realizar um voo seguro.

Normalmente, a inspeção pré-vo tem uma sequência sistemática predeterminada, iniciando-se em um ponto da aeronave, circulando em torno dela enquanto procede às verificações estabelecidas, encerrando-se praticamente no mesmo ponto, cobrindo todos os itens importantes e essenciais à operação e segurança do voo.

## **Inspeção pré-compra**

Do mesmo modo que uma pessoa que está comprando um automóvel usado pede uma orientação a um mecânico de confiança, um operador que esteja pensando em comprar uma aeronave usada não deve fazê-lo sem antes solicitar os serviços de um mecânico ou empresa homologada, para o tipo de aeronave que pretenda adquirir por meio de uma inspeção de pré-compra. Os referidos autores ainda comentam:

Uma aeronave exige alto investimento em sua compra e se algum serviço de manutenção não efetuado ou discrepâncias não observadas anteriormente puderem ser previstos antes da compra de uma aeronave o comprador poderá renegociar o preço com o proprietário atual conseguindo até um desconto no preço de venda. (MARCUSO JR. E LOREDO, 2011, p.1).

A seguir, algumas recomendações importantes antes da compra de qualquer aeronave:

- Verificar se o plano do fabricante está sendo mantido de maneira correta;
- Verificar se os componentes estão com os limites de vida válidos e tempo entre revisões não expirados;

- Instruções de diretrizes de aeronavegabilidade e boletins de serviços cumpridos;
- Grandes modificações e grandes reparos aprovados, conforme legislação vigente;
- Histórico de acidentes anteriores;
- Inspeção operacional e cheque de motores;
- Inspeção quanto à corrosão em áreas críticas;
- Verificação da limpeza do sistema de combustível (aeronaves cujos operadores não tenham como procedimento de rotina, podem estar com o sistema de combustível e demais acessórios contaminados);
- Inspeção boroscópica dos motores;
- Verificação do padrão de qualidade das empresas que executaram manutenções anteriores.



---

Uma dica: o comprador deve ser informado pelo mecânico ou pela oficina que executam a inspeção, em alguma cláusula do contrato da pré-compra, que áreas não inspecionadas, ou por não autorização do proprietário ou por vontade do comprador, não serão de responsabilidade de quem inspeciona se houver algum problema ou discrepância que necessite ação corretiva posterior ao período da inspeção de pré-compra. (MARCUIZZO JR. E LOREDO, 2011.p.2).

---

Se várias aeronaves estiverem sendo avaliadas e a condição de conservação delas forem equivalentes, o futuro proprietário pode solicitar, a quem está realizando a pré-compra ou outras oficinas, um estudo visando à previsão de gastos, baseado no vencimento dos itens do plano de manutenção de cada uma, para que a escolha recaia, preferencialmente, naquela cujos gastos com a manutenção planejada seja a menor pelo período de um, dois ou mais anos após a compra, ou pelo tempo que o comprador preferir.

Esse estudo é muito importante, pois corrigir algumas discrepâncias, hoje, é muito mais barato que a revisão de um motor, a qual deveria ser efetuada daqui a dois ou três anos.

Outros cuidados devem ser tomados quanto à correta escolha durante a compra da aeronave, como o tipo de operação, autonomia necessária, tamanho, tempo em que se pretende ficar com a aeronave, estudo financeiro com relação à depreciação etc. O importante é que o operador efetue a compra de um equipamento que satisfaça as suas reais necessidades e sem custos adicionais, os quais não estejam em seu planejamento de gastos com a manutenção.

### **Seção 3 – *Minimum Equipment Lists* – MEL**

Os regulamentos e a certificação de uma aeronave requerem que todos os instrumentos e equipamentos estejam operativos antes de cada partida. Mas, por vezes, podemos nos encontrar em uma situação em que estamos em uma base sem recursos apropriados para a manutenção da aeronave e constatamos a falha de um equipamento.



A aeronave deve ser retida até a correção do problema ou poderá voar sob certas condições?

---

O Engenheiro Paulo Serra explana bem sobre esse questionamento.  
O texto que segue até o final do item é de sua autoria.

O MEL – *Minimum Equipment List* – é uma antiga instituição da aviação comercial que já foi chamado de lista GO/NO- GO (Ir / Não Ir), mas sua importância evoluiu muito nas duas últimas décadas, com o aumento da complexidade e da automação dos aviões.

O MEL é derivado do MMEL (*Master minimum Equipment List*), um documento que faz parte do processo de certificação do avião, requerendo aprovação específica das autoridades homologadoras. Ele cobre situações relativamente comuns, ao permitir que um avião seja liberado (despachado) para voo com deficiências conhecidas e/ou itens em pane. Nesse documento, são listados os componentes e funções que podem estar inoperantes antes do início de um voo em decorrência, seja da sua pouca importância relativa na segurança operacional, seja pelo fato da função estar resguardada por redundâncias.

Nesse documento, bem como nos seus derivados DDPM (*Dispatch Deviations Procedures Manual*) e CDL (*Configuration Deviations List*), são ainda indicadas as limitações e ações de manutenção e/ou operacionais que devem ser implementadas para que o voo possa ser despachado de modo a mitigar um eventual aumento do risco à segurança, com isso, busca-se manter, sem perdas significativas, as condições de aeronavegabilidade do avião.

Os aviões modernos são projetados para atender e exceder os níveis mínimos de segurança requeridos pelos regulamentos, de forma a permitir – entre outras coisas – uma maior flexibilidade operacional ao avião, ou seja, que ele possa continuar sua programação de voos, sem atrasos nem cancelamentos decorrentes de problemas técnicos, como panes ou maus funcionamentos.

Essa flexibilidade operacional é, hoje, um importante fator de sucesso comercial dos aviões. O MMEL, elaborado pelo fabricante do avião, decorre diretamente do que chamamos *Safety Assessment*, sendo um dos primeiros subprodutos dele. O *Safety Assessment* é a metodologia que envolve uma série de avaliações e análises com o objetivo de demonstrar que um avião atende e excede os requisitos mínimos de segurança e aeronavegabilidade exigidos pelos regulamentos.

Em seguida, esse MMEL pode ser adaptado por cada operador aos seus próprios padrões operacionais, transformando-o num documento interno, chamado MEL (*Minimum Equipment List*), que também deve ser aprovado pela sua autoridade aeronáutica, do local de registro da aeronave. A diferença entre eles é, em geral, apenas na forma, e o MEL não pode ser mais tolerante que o MMEL.

O MMEL estabelece, portanto, quais os itens, dispositivos ou funções do avião podem estar inoperantes para que ele possa ser despachado com segurança. Mas estabelece também os condicionantes, ou seja, tal função pode estar inoperante ou operando com deficiências, desde que tal outra função esteja disponível e funcionando normalmente. Existe quase sempre algum tipo de compensação ou precaução a ser observada, de forma a não permitir uma degradação significativa do nível de segurança.

Recupera-se, com essas precauções, uma boa parte da redução do nível de segurança causada pela inoperância ou pela pane de alguma coisa. Na filosofia do MMEL, não há quase nada gratuito: toda tolerância tem um “preço” a ser pago.

Apesar da aparência que possa ter de um relaxamento ou de uma redução do nível de segurança, na realidade não o é. Na aviação moderna, ele é fruto de um extenso trabalho de análise de engenharia, cuja finalidade é dar flexibilidade operacional aos aviões, mas sem comprometer o seu nível de segurança. Essa flexibilidade se traduz no que chamamos de *technical dispatch reliability*, ou seja, a capacidade operacional do avião de cumprir o seu programa de voos sem atrasos ou cancelamentos de ordem técnica (aqueles decorrentes de panes de equipamentos, mau funcionamento ou perda de funções essenciais). É conhecido também como o índice de despacho ou de confiabilidade técnica. Quanto mais intensiva é a programação de voos de um operador, mais importante é o MMEL, pois, sem ele, qualquer pane de pequena importância manteria o avião no solo, aguardando reparos e/ou peças, com os atrasos se propagando em cascata para os voos subsequentes.

Um avião moderno, para ter sucesso comercial, precisa de um índice de despacho (*technical dispatch reliability*) de pelo menos 99%, ou seja, precisa cumprir, no mínimo, 99% dos voos programados sem atrasos ou cancelamentos de ordem técnica. Nessas circunstâncias, o MMEL é de extrema importância para o operador. Ele é o resultado de uma análise em que se determinou, de forma científica, às custas de centenas de milhares de horas de trabalho de engenheiros altamente especializados, o que pode ou não ser aceito. E para o que pode, quais as estratégias de compensação que acompanham essa aceitação, sejam elas sob a forma de ações de manutenção, de precauções operacionais, de procedimentos etc.

Portanto, o MMEL é a consequência de um projeto feito com margens de segurança adicionais para levar em conta a necessidade do que estamos chamando de flexibilidade operacional; a arquitetura das diversas funções deve dispor

de redundâncias e dispositivos de *back-up* para suportar essa necessidade. Se o avião não for projetado levando isso em conta, o MMEL não fará milagres.

O MMEL requer discernimento no seu uso. Os 7 mil Boeing 737 entregues já completaram mais de 80 milhões de voos; a aviação comercial está num ritmo de 21 milhões de voos por ano. É absolutamente impossível, na elaboração de um MMEL, prever todas as situações pelas quais uma frota de aviões vai passar na sua vida operacional, e isso transfere uma boa parte desse julgamento para os departamentos de engenharia de operações e de manutenção dos operadores.

Disso decorrem alguns problemas: o primeiro é que o MMEL avalia situações de deficiências ou perda de funções individualmente, ou, no máximo, condicionando cada deficiência a outras funções relacionadas. Por exemplo: permite-se um dos geradores inoperante, desde que o APU e o gerador do APU estejam operando normalmente. Permite-se um VHF em pane, desde que o outro VHF e mais o HF estejam operando normalmente. Permite-se um radioaltímetro inoperante, desde que o avião não necessite operar um ILS CAT II. E assim por diante. Mas o MMEL não trata de panes múltiplas de funções não relacionadas. Ou seja, ele permite, por exemplo, despachar o avião com um VHF inoperante, ou com um gerador inoperante, mas nada é dito sobre o avião ser despachado com um VHF inoperante e com um gerador inoperante.

Tradicionalmente, os casos de panes múltiplas não relacionadas ficam sujeitos à decisão do Comandante. Melhor dizendo: panes múltiplas aparentemente não relacionadas. Por exemplo, a primeira geração de jatos de passageiros requeria que o aquecimento de parabrisas estivesse funcionando, para resistir ao impacto de pássaros, função essa que estaria aparentemente ligada à operação, em condições de formação de gelo. Para resistir ao impacto de pássaros, o MMEL dava como item *no-go*, para a falha de aquecimento de parabrisas, quaisquer que fossem as condições meteorológicas.

Num avião moderno, concebido com a tecnologia *highly integrated and complex systems* – sistemas complexos e altamente integrados – as coisas são ainda menos evidentes. A interconexão de sistemas complexos por barramentos digitais, com um grande número de trocas de informação (*cross-task, ou exchanged functions*) e softwares elaboradíssimos, traz, como consequência adversa, mais caminhos de propagação de falhas e aumenta enormemente a dificuldade de se entender o funcionamento das coisas. O problema reside, portanto, na

capacidade de o Comandante avaliar situações muito complexas e tomar decisões que impactam na segurança do voo, com as limitações de tempo, sob pressões comerciais e – pelo fato de estar lidando com sistemas integrados e complexos – muitas vezes sem o conhecimento no nível de profundidade necessário para uma tomada de decisão correta.

O segundo problema é a necessidade de um bom senso técnico – *engineering judgement* – ao interpretar um MMEL. Cabe ao operador ajustá-lo em função de suas rotas, das pistas em que opera, das condições meteorológicas predominantes na sua área de operação etc. Essa é uma das razões para haver o MMEL e o MEL. O MMEL pode ser o mesmo, mas um operador na Escandinávia não deve usar o mesmo MEL que um operador na África do Norte. Não se pode operar, por exemplo, uma rota polar (Santiago – Melbourne ou Amsterdam – Tokyo), interpretando o MMEL da mesma forma que numa operação em rotas curtas. Para um avião comercial, em muitas rotas até o toalete é *no-go!*

Um terceiro problema é o tempo de exposição àquela condição operacional, sempre um fator importante na avaliação de qualquer risco. Podemos aceitar uma função inoperante, mas por quanto tempo? Certamente não de forma indefinida. A prática usual dos fabricantes é a de limitar o tempo de exposição ao mínimo necessário, para que o operador possa retornar o avião a uma base ou local onde existam recursos materiais e humanos para que o reparo seja feito. Certas situações mais simples podem tolerar uma operação com deficiências por até alguns dias, mas isso terá que ser compensado com algum tipo de mitigação do risco.

Nesse caso, o bom senso técnico implica que se um avião com deficiências passar por uma base de manutenção na qual existam recursos para o reparo, esse deve ser feito. Quando esse cuidado não é observado, e a manutenção é diferida para um próximo *check*, o tempo de exposição àquela condição anormal de voo aumenta, e os riscos também aumentam, proporcionalmente. Nos voos ETOPS (*Extended Twin-Engine Operations*), por exemplo, a mitigação do risco prolongado é feita exigindo-se – entre outras coisas – uma certificação especial do avião, do operador, e um MMEL, obviamente muito mais restritivo.

Em certos momentos, todos os fatores acima podem estar presentes simultaneamente, como resultado de julgamentos (ou interpretações) feitos por pessoas diferentes, em momentos e situações diferentes, cada uma com o seu foco e sob suas próprias pressões. Quando isso acontece, a operação assume um nível de risco que pode ser inaceitável.

Eng. Paulo Serra, 2009.

## Seção 4 – Manutenção preventiva

O programa de manutenção da aeronave já é uma manutenção preventiva, se considerarmos a filosofia desse tipo de manutenção, que é o de manter a máquina ativa e em perfeitas condições. Mas na aviação geral chamamos de manutenção preventiva o trabalho considerado simples e de fácil execução, como operações menores de manutenção ou troca de pequenas peças, não implicando trabalho em conjuntos complexos.

Para esse tipo de manutenção, não é necessário a contratação de pessoal especializado. O próprio piloto responsável pela aeronave poderá executar isso, ou alguém sob a sua orientação.

São consideradas ações de manutenção preventiva a limpeza e conservação da aeronave, incluindo lavagem e polimento da pintura, abastecimento de combustível, de óleo do motor, de fluido hidráulico, de água potável, pequenos reparos no acabamento do interior das aeronaves que não envolvam desmontagem e montagem de partes da cabine, troca de baterias, trocas de cinto de segurança, de assentos ou partes dos assentos, por outros aprovados para a aeronave em questão, troca de rodas e pneus, serviços para completar o ar e óleo do amortecedor, lubrificação de partes simples que não envolvam desmontagem e montagem de peças, substituição de lâmpadas por outras de mesmas características, atualização de softwares e banco de dados dos computadores de voo, enfim, qualquer serviço ou trabalho simples de executar e que não exija conhecimento especializado, ferramentas especiais ou a montagem de conjuntos complexos.

Trabalhos de conexões ou desmontagem em sistemas importantes, como o elétrico, hidráulico, os controles de voo etc., por mais simples que sejam, não podem ser considerados nesse conceito de manutenção preventiva, pois exigem pessoal especializado ou uma oficina homologada para executá-los.

Mesmo sendo considerados de simples execução, esses trabalhos de manutenção preventiva devem seguir o prescrito nos manuais aprovados da aeronave ou de seu fabricante. Normalmente, esses procedimentos são encontrados na seção 8 do AFM, a qual trata de *Handling and Services*.

## Limpeza de aeronaves

Segundo Loredó (2011), quando executamos limpeza das partes externas das aeronaves, devemos seguir os procedimentos descritos nos manuais de manutenção da aeronave em questão. De acordo com o autor:

Existem vários problemas associados com lavagens utilizando procedimentos impróprios, especialmente quando estes são efetuados com lavagens sobre alta pressão de água e agentes de limpeza. As lavagens utilizando alta pressão não são recomendadas para limpeza das partes externas das aeronaves incluindo trem de pouso e motores. (LOREDO, 2011, p.1).

Esse tipo de limpeza pode incorrer em alguns agravantes:

- remover graxa dos rolamentos das rodas;
- danificar a pintura das áreas expostas ao jato de água;
- remover os agentes lubrificantes dos pinos e das buchas das articulações das tesouras dos trens de pouso;
- provocar infiltração de água pelos furos de drenagem da fuselagem, além de prejudicar as articulações dos pinos das dobradiças das comportas dos trens de pouso;
- um spray acentuado próximo ao compartimento de aviônicos pode facilitar a penetração de umidade, criando condições para formação de corrosão nos componentes eletrônicos e danos aos componentes elétricos que estiverem instalados naquela seção.

A seguir, Loredó (2011) enuncia nove pontos importantes a serem observados antes do início da execução da limpeza de uma aeronave:

1 – Consultar o manual de manutenção para obter conhecimento dos procedimentos citados no mesmo.

2 – Verificar, junto ao capítulo 12 do manual de manutenção, as localizações dos pontos de lubrificação das partes externas, como articulações do trem de pouso, dobradiças, articulações das portas de acesso, fechaduras, rodas, freios, regiões dos rolamentos das fixações dos controles de voo, trilhos dos flapes, trilhos dos slats etc. Após o reconhecimento, deve ser evitada a pulverização dos agentes de limpeza nesses pontos.

3 – Assegurar que todas as tomadas estáticas e tubos de Pitot estejam com capas protetoras para evitar a infiltração de água. Muito cuidado deve ser tomado quando forem utilizados tapes para proteger estas partes. Devemos usar fitas de cores vermelho ou laranja e tamanho de fácil visualização, para evitar esquecimento das mesmas após a limpeza.

4 – Assegurar que a porta de acesso, janela de emergência e as janelas de mau tempo estejam corretamente fechadas.

5 – Usar somente os produtos de limpeza recomendados pelo manual de manutenção, tomando o cuidado de usar o agente certo para cada região indicada. Na maioria dos manuais de manutenção, é indicado o uso de sabão neutro, misturado com água e uma esponja de celulose. Detergentes pesados podem provocar a perda de brilho da pintura, seguido de “envelhecimento” precoce da superfície.

6 – Conhecer os cuidados que devem ser tomados durante a limpeza dos parabrisas e janelas. Essas partes são suscetíveis a riscos e danos provocados por ataques químicos causados por limpeza inadequada. Nunca utilize vassouras e panos que tenham sido usados na limpeza de outras áreas da aeronave para limpar os parabrisas e janelas, pois podem conter impurezas, como poeira e outras partículas abrasivas que podem arranhar esses componentes. O ideal para limpeza dos parabrisas e janelas é o uso de água corrente para remoção de impurezas, com o auxílio das mãos, tomando o cuidado de remover anéis e alianças antes do início do trabalho.

7 – Evitar que a solução de sabão e água seque na aeronave, isso poderá provocar manchas na pintura.

8 – Não usar panos que foram utilizados nos trem de pouso, para limpar outros pontos da aeronave.

9 – Após a limpeza da aeronave verificar se não houve infiltrações de água, seque as partes possíveis, remova todas as fitas ou protetores instalados e verifique se existe algum ponto que deve ser lubrificado na aeronave.

## **Diretriz de Aeronavegabilidade – *Airworthiness Directives (AD)***

Ferramenta importante no princípio da aeronavegabilidade continuada, as diretrizes de aeronavegabilidade (AD) asseguram que as aeronaves voem com segurança, mesmo após o período de certificação, pois mesmo com todo o avanço da tecnologia empregada no desenvolvimento de uma aeronave, erros de projeto, defeitos em componentes, fadiga de material ou erros de operação, entre outros problemas podem ser detectados no decorrer da vida de um equipamento.

A diretriz é emitida pela autoridade aeronáutica de cada país, após análise de uma condição insegura existente em um produto aeronáutico que possa se desenvolver em outros produtos do mesmo projeto. Como resultado da análise de algum acidente investigado ou condição insegura reportada em relatórios de confiabilidade mecânica, relatórios de dificuldades em serviço e relatórios de interrupção de voo emitidos por operadores; relatório de defeito ou de condição não aeronavegável reportados por oficinas de manutenção ou boletins e cartas de serviço editadas por fabricantes, a autoridade emite a diretriz, tornando obrigatórias as correções das anormalidades constatadas. Portanto, não somente o fabricante, mas as oficinas e operadores têm papel fundamental na emissão de novas diretrizes, uma vez que são responsáveis e devem emitir e enviar à autoridade aeronáutica os relatórios com a descrição dos problemas encontrados no dia a dia de suas atividades.

O Boletim de Serviço (BS) é um documento emitido pelo fabricante do produto aeronáutico (aeronave, motor, equipamento e componente), com o objetivo de corrigir falha ou mau funcionamento desse produto, ou nele introduzir modificações e/ou aperfeiçoamentos ou, ainda, visando à implantação de ação de manutenção ou manutenção preventiva aditiva àquelas previstas no programa de manutenção básico do fabricante.

Um BS, mesmo classificado como “mandatório” pelo fabricante, somente terá caráter mandatório quando a autoridade aeronáutica do país de origem do produto aeronáutico emitir uma Diretriz de Aeronavegabilidade ou estabelecer no próprio Boletim de Serviço o seu caráter mandatório, ou ainda, quando incorporado por referência por meio de outro documento mandatório.

É importante observar que os procedimentos descritos nas diretrizes prevalecem sobre aqueles emitidos nos boletins de serviço, ou seja, se um boletim foi cumprido antes da emissão de uma AD, e essa estabeleceu cumprimento de inspeções ou tarefas com períodos e regras diferentes das descritas nos boletins, os procedimentos do boletim devem ser desconsiderados e a AD deverá ser cumprida conforme as novas instruções.

Outro detalhe que deve ser conhecido, é que o cumprimento das AD's brasileiras prevalece sobre as estrangeiras, quando emitidas para a correção de uma mesma condição insegura, mesmo que o procedimento da AD brasileira seja menos rigoroso da estrangeira, para determinado produto.

Os operadores devem observar as datas de efetivação das AD's e o vencimento dessas com relação ao prazo e às horas de voos disponíveis para o cumprimento das instruções da diretriz, ou correm o risco de terem suas aeronaves retidas no solo pela autoridade aeronáutica, até que se cumpram os requisitos da diretriz em questão.



## Síntese

Nesta unidade, você estudou que uma manutenção regular e adequada garante que uma aeronave se encontre com um padrão aceitável de aeronavegabilidade ao longo de sua vida operacional. O operador ou proprietário da aeronave é o responsável por manter a aeronave em perfeitas condições de navegabilidade, para isso, deverá providenciar as inspeções necessárias em intervalos específicos para determinar o estado geral da aeronave, bem como providenciar a correção de qualquer defeito que surgir entre as inspeções.

Para garantir a execução dos serviços necessários de manutenção, o proprietário ou operador da aeronave é o responsável pelo cumprimento de um programa de manutenção que define todas as tarefas a serem realizadas na aeronave ou na frota, entre elas, as inspeções de manutenção e seu controle, o controle de componentes com vida limite, o serviço ou substituição de componentes, o controle de revisões programadas e o cumprimento de diretrizes de aeronavegabilidade e boletins de serviço de cumprimento compulsório. Para isso, os serviços de manutenção deverão ser executados por profissionais habilitados em oficinas reconhecidas, segundo norma específica da agência reguladora.

Para respeitar os requisitos dos órgãos reguladores e poder usufruir das vantagens de um programa de manutenção, o proprietário ou operador da aeronave deverá montar um controle técnico de manutenção (CTM), de modo a obter um histórico da manutenção preventiva estabelecida pelo fabricante para cada modelo de aeronave, assim, por meio dela, pode planejar paradas da aeronave devido ao vencimento de inspeções, revisões e trocas de componentes, diretrizes e boletins de serviço.

Discutimos também como podemos operar uma aeronave com equipamentos inoperantes dentro de padrões de segurança aceitáveis e sem infringir os regulamentos, ao saber analisar uma MEL (*Minimum Equipment Lists*) e como podemos executar pequenos serviços de manutenção sem a necessidade de pessoal especializado, somente seguindo as orientações do fabricante para uma manutenção preventiva.



## Atividades de autoavaliação

Ao final de cada unidade, você realizará atividades de autoavaliação. O gabarito está disponível no final do livro didático. Mas, esforce-se para resolver as atividades sem ajuda do gabarito, pois, assim, você estará promovendo (estimulando) a sua aprendizagem.

- 1) Descreva qual é a diferença entre o programa de manutenção e o plano de manutenção de uma aeronave.

---



---



---

- 2) Analise se o uso do MEL para a tomada de decisão sobre a capacidade de operação de uma aeronave é uma ferramenta útil ao Comandante da aeronave, ou se é apenas mais um instrumento de pressão do operador para que o voo aconteça de qualquer maneira.

---



---



---



---

- 3) Faça uma pesquisa na internet e verifique quais são os profissionais que podem atuar na área de manutenção de aeronaves.

---



---



---



## Saiba mais

Se você desejar, aprofunde os conteúdos estudados nesta unidade consultando as seguintes referências:

MARCUZZO JR, Adílio. **Legislação Aeronáutica Comentada** – Ênfase em Manutenção. ASA Brasil 2011.

REITHMAIER, Larry. **Maintenance & Mechanics.** Controlling Pilot Error Series. McGraw-Hill New York. 2001.

## Aeronave comercial típica



### Objetivos de aprendizagem

- Discutir o conceito de aviação comercial.
- Conhecer uma aeronave comercial típica.
- Relacionar os estudos desta disciplina com a descrição da aeronave.
- Entender a construção e operação de uma aeronave de grande porte.



### Seções de estudo

**Seção 1** O avião comercial

**Seção 2** O Boeing 737

**Seção 3** O Airbus 320



## Para início de estudo

Desde o final da década de 1950, o conceito de um avião comercial permanece praticamente inalterado. Evoluíram os motores, os materiais utilizados em sua construção, a tecnologia utilizada na cabine de comando, mas o conceito permanece o mesmo. Nesse período, houve apenas o surgimento das aeronaves de fuselagem larga ou *wide bodies*, que são mais empregadas em voos de longo curso e uma tentativa de introduzir aviões supersônicos, como foi o caso do Concorde. Fora isso e excluindo os aviões de pequeno porte utilizados em rotas regionais que ainda usam motores turboélice, as aeronaves comerciais são muito parecidas em conceito e construção com aquelas dos anos 60.

Entre todas as aeronaves comerciais conhecidas, duas se destacam pelo seu sucesso de vendas e utilização. O Boeing 737 já é quase cinquentão e continua firme e forte no mercado, e o Airbus 320, vinte anos mais jovem, veio para enfrentá-lo numa disputa acirrada. Ambos estão em fase de renovação, o A320Neo e o B737Max prometem melhor desempenho, maior economia de combustível e, portanto, menor custo operacional.

Nesta unidade, você conhecerá um pouco da aviação comercial e o surgimento e o desenvolvimento dessas máquinas e sua relação com o que estudamos nesta disciplina.

## Seção 1 – O avião comercial

Os americanos o chamam de *airliner*, o inglês de *Jet transport*, mas para nós é apenas o avião comercial. Apesar desse tipo de aeronave ser comum no mundo todo, ela opera somente em alguns aeroportos e seu objetivo é atender as necessidades da aviação comercial.



Mas o que é aviação comercial?

Não há uma definição única e precisa para o que seja aviação comercial, ela varia de país para país, mas de modo geral se entende que o uso de aeronaves para o transporte pago de passageiros ou carga é a definição mais comum.



**Avião Comercial** – é uma aeronave de médio ou grande porte, de asa fixa, geralmente operada por uma linha aérea, a qual é proprietária ou arrendatária do aparelho, cuja função primária é transportar carga ou passageiros pagantes.

Segundo dados do governo federal e do DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo), o Brasil tem 5.565 cidades (IBGE 2010) e aproximadamente 720 aeródromos ou aeroportos públicos, mas a aviação comercial utiliza apenas uma pequena parte deles e atende diretamente pouco mais de 100 cidades. Esse baixo índice de aproveitamento dos aeroportos é explicado sob o ponto de vista econômico que varia de rota para rota e depende de um grande número de fatores relacionados, como: demanda, **custo assento-km**, frequência e velocidade.

De acordo com Oliveira e Silva (2008), a viabilidade da aviação comercial precisa se assentar desejavelmente – pelo lado da demanda – em operar nas regiões onde existam consumidores que dão elevado valor a seu tempo, em número suficiente para dar viabilidade econômica à atividade. A demanda é a quantidade de passageiros que se interessam por pagar para voar aquela determinada rota, e frequência será a quantidade de voos necessários para atender a essa demanda. É interessante notar que se há uma demanda de 150 passageiros por dia para uma determinada rota, ela não será atendida por apenas um voo com aeronave desta capacidade. A demanda é sensível a horário e, nesse caso, seria mais interessante colocar dois ou mais voos em diferentes horários, com aeronaves de menor capacidade.

Custo assento-km – É um valor monetário correspondente aos gastos por assento e por quilômetro de uma dada viagem que representa um indicador financeiro utilizado para comparação de custos operacionais.

A operação de uma aeronave tem alguns custos fixos, independente do seu tamanho e vários outros custos variáveis que aumentam gradativamente, de forma lenta, com o aumento do seu tamanho. O resultado é que o custo assento-km diminui com o aumento da capacidade do avião. Assim, para uma mesma rota é justificável utilizar a maior aeronave que o tráfego demandado solicitar, desde que se mantenha o número de frequências em um nível adequado.

Ao mesmo tempo, a demanda por aeronaves modernas e mais velozes exigiram maior capacidade de combustível para atender ao consumo dos motores mais potentes e para obter a vantagem de fazer vários trechos de rotas curtas e médias, sem a necessidade de abastecimento, ou para atender a demanda de tráfego de trechos mais longos entre grandes centros. Essas duas exigências, aumento da capacidade e do alcance de voo, resultaram em aviões maiores, que, obviamente, são mais pesados.

Por isso, a fabricação de grandes aeronaves turboélice cessou com o advento do motor a jato e o surgimento de aviões maiores e mais rápidos, em detrimento daqueles com grupo motopropulsor de concepção mais antiga. O motor à reação proporcionou as qualidades necessárias para atender as demandas do avião comercial moderno. Duas delas, o tempo de viagem e a utilização da aeronave, destacam-se de outras pelo conforto e confiabilidade, em comparação com aeronaves de geração anterior.

O maior apelo do voo comercial ao passageiro é o menor tempo gasto na viagem. Imagine uma rota comercial utilizada por dois tipos de avião, um com o dobro da velocidade do outro. Posso afirmar que o avião mais rápido poderia fazer o dobro de viagens que seu concorrente, ou poderíamos usar metade da frota necessária para atender as necessidades de tráfego daquela determinada rota, com conseqüente economia de capital investido e de custo total operacional, mesmo que o custo da aeronave seja maior. Por esse motivo, a evolução ocorrida na década de 1950 foi significativa para a aviação comercial, que saiu da velocidade de 370 Km/h (200 nós), em média, com os aviões a pistão no início da década, para 650 Km/h (350 nós), com motores turboélices (em meados dessa década) e atingiu os 850 Km/h (450 nós) ao final dos anos 50, com os motores a reação.

A mesma evolução ocorreu com a capacidade dos aviões que saiu de 66 passageiros do DC-6, para mais de 100 do Comet, que foi o primeiro avião comercial a jato. No final dos anos 50, o B707 já operava com mais de 140 passageiros. Em 1965, a Douglas anunciava o lançamento da série 61 e 63 do DC-8 para até 269 passageiros, a maior capacidade de passageiros de um avião comercial, até a chegada do Jumbo B747.

Após essa revolução ocorrida no desenvolvimento e construção de aeronaves, a aviação comercial efetivamente se dividiu em áreas de atuação, conforme a distância e a demanda de passageiros. Desse modo, ela é classificada como aviação de longo curso, para os voos de longa distância ou intercontinentais, e alta densidade de tráfego, aviação de média distância ou doméstica, para os voos de distância média ou curta e de alta frequência e, finalmente, os voos regionais, para aqueles de curta distância, que atendem a uma região específica e são alimentadores dos voos de média e longa distância.

## Classificação do avião comercial

### ■ Aviões *wide-body*

Os maiores aviões são os jatos *wide-body* ou de fuselagem larga. Essas aeronaves são também conhecidas por seus dois corredores independentes entre as fileiras de poltronas por todo o comprimento da cabine de passageiros. Aeronaves nessa categoria são os Boeings 747, 767, 777, 787, Airbus A300/A310, A330, A340, A380, Lockheed L-1011 TriStar, McDonnell Douglas DC-10 e MD-11. Essas aeronaves são normalmente utilizadas para voos de longo curso entre *hubs* das companhias aéreas, representados por grandes cidades com muitos passageiros.

### ■ Aviões de fuselagem estreita

É a classe mais comum de aviões comerciais e é composta por aeronaves com fileiras de até seis assentos e corredor único. Esses aviões são geralmente usados para rotas de média distância e de maior frequência. Exemplos incluem os Boeings 737, 757, a família do Airbus A320 e da Embraer E-Jets 190. Aviões mais antigos, como o Boeing 707, 727, McDonnell Douglas DC-8, DC-9 e MD-80 e o Fokker 100 também se enquadram nesta categoria.

### ■ Avião regional

É o avião utilizado pelas companhias aéreas e companhias aéreas regionais para atender às necessidades de frequência e níveis de serviço oferecido pelas empresas com aviões maiores. Nesta categoria, há aeronaves a jato e turboélices. Esses aviões são caracterizados por ter capacidade inferior a 100 assentos, mas com lavatórios e *galley*, além de comissária de bordo para prover serviço aos passageiros, similar ao das empresas maiores. Aeronaves típicas nesta categoria incluem a série de jatos regionais Embraer ERJ 135/145 e Bombardier CRJ, junto aos aviões turboélice DASH-8, ATR 42/72 e Saab 340/2000.

## Seção 2 – O Boeing 737

Segundo dados da própria empresa, a Boeing se tornou a maior empresa do segmento aeroespacial, com a união ou compra de empresas concorrentes ou de outras áreas da indústria aeronáutica. É a maior fabricante de aviões comerciais e militares combinados, mas esse não era o cenário das décadas de 1940 e 50.

A empresa se especializara na aviação militar e dominava uma tecnologia de ponta na fabricação de aeronaves, mas com o final da Segunda Grande Guerra verificou-se que apesar do sucesso de sua tecnologia militar, o sucesso financeiro não era o mesmo. Estava claro que o futuro da Boeing seria baseado na fabricação de aeronaves comerciais (SUTTER, 2006).

Mas a Boeing estava atrasada em relação aos seus concorrentes. Quando a Pan Am introduziu o Boeing 377 Stratocruiser, em 1949 – um luxuoso avião comercial, quadrimotor a pistão – a Douglas dominava o mercado da aviação comercial a pistão com vários modelos, e já haviam concorrentes desenvolvendo projetos com motores turboélice de maior desempenho.

Nessa época, os construtores estavam sob pressão das companhias aéreas para a fabricação de aviões maiores e de melhor desempenho, mas era claro que desde os voos pioneiros do início

do século, o desenvolvimento tecnológico da construção de aeronaves não havia sido acompanhado pela tecnologia dos propulsores, os quais não atingiam a potência necessária para atender a capacidade de construção das aeronaves (SUTTER, 2006).

A visão empresarial da Boeing em antever a era do jato comercial foi o seu diferencial. Foi uma aposta arriscada para a época. Ela saiu dos motores a pistão, deixou os motores turboélice de lado e passou direto a projetar e construir uma grande aeronave a jato. Em 26 de outubro de 1958, a Pan Am lançava o Boeing 707 nas rotas do Atlântico Norte, ligando a costa leste americana à Europa. Foi um enorme sucesso e um marco na história da aviação. O B707 foi o terceiro jato comercial a entrar em serviço, mas foi ele que melhor demonstrou a capacidade de inovação da era do jato, que se consolidaria na década seguinte.

Seguindo o sucesso do B707, a série de aviões comerciais da Boeing foi sendo ampliada nas décadas seguintes. Utilizando uma designação de aparelhos que ficou famosa por iniciar e terminar com o número sete, a fabricante criou inicialmente o 727, projetado para rotas de curta e média distância. Ele se tornou o principal apoio para rotas de longo curso das empresas aéreas, pois tinha desempenho para operar em aeroportos onde o 707 não conseguia operar.

Seguiram-se a ele o 737, 747, 757, 767, 777 e o mais novo membro o 787. É interessante notar que somente os modelos 737 e 747, projetados no início da era do jato, conseguiram se manter atrativos para a aviação comercial por várias décadas, apenas com algumas atualizações periódicas. Os mais antigos 707 e 727 deixaram de ser produzidos nos anos 70 e 80. O B757 deixou de ser produzido em 2004 e o 767 está em fase final de produção. Isso demonstra que o conceito desses dois projetos foi realmente inovador.

## **A ideia do B737**

No final de 1958, a Boeing anunciou um estudo de projeto para um avião bimotor para ser um alimentador de rotas mais longas e completar a família de jatos de passageiros da empresa. A Boeing queria um verdadeiro jato de curta distância para competir com o

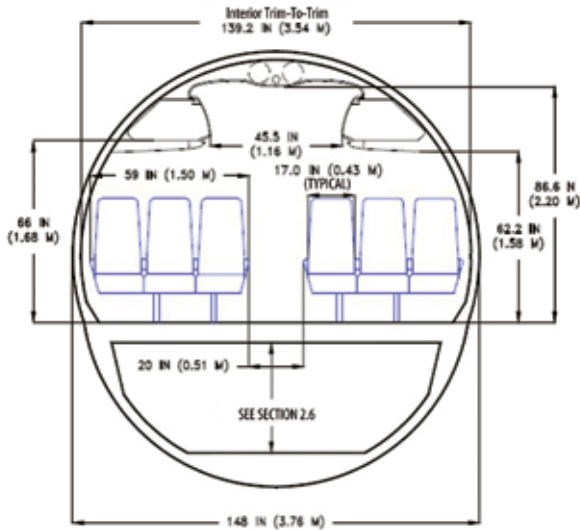
Caravelle, BAC One-Eleven e com o DC-9, mas estava atrasada em relação a eles. O DC-9 estava prestes a voar, o One-Eleven foi bem em seu programa de ensaios em voo, e o Caravelle já estava em serviço há 5 anos.

A especificação original de 1964, para o B737, determinava uma capacidade de 60 a 85 passageiros e um alcance econômico entre 100 e 1000 km. Como resultado das negociações finais para lançamento do projeto com a Lufthansa, que era a sua “patrocinadora”, a capacidade foi aumentada para 100 passageiros, mas os demais fatores de carga e alcance foram mantidos. Assim, a primeira encomenda de 10 aeronaves pela empresa alemã foi colocada em fevereiro de 1965, e o projeto seguiu em frente.

## **O projeto**

A Boeing precisava de algo diferente, pois entendia que a grande procura por aeronaves dessa categoria era geradora de uma forte concorrência para o 737. Para poupar tempo de produção e ter o avião no mercado o mais rápido possível, a Boeing deu ao 737 a mesma seção transversal da fuselagem utilizada no 707 e no 727, ou seja, a largura do corpo da aeronave seria o mesmo, de modo que havia uma padronização de interior das três aeronaves. Até os paletes de carga poderiam ser os mesmos para os três jatos. Mas a maior vantagem da adoção dessa fuselagem em relação aos concorrentes, foi a maior capacidade de passageiros com a adoção das fileiras de 6 assentos, um a mais que o padrão dos concorrentes.

Figura 6.1 – Seção transversal da cabine com fileira de 6 assentos



Fonte: Boeing, 2007.

A instalação dos motores do 737 sob as asas foi outro diferencial. Todos os projetos de jatos desse tamanho, na época, tinham os motores instalados na empenagem, com formato em “T”, inclusive o 727 da Boeing. Ao colocar os motores nas asas, os engenheiros da empresa conseguiram melhor aproveitamento interno e aumento do número de assentos no 737 para um mesmo comprimento de fuselagem, além disso, facilitaram os serviços de manutenção ao nível do chão, melhoraram o conforto com o alívio de vibração e do ruído interno.

O 737 foi projetado para ser simples e robusto, de modo a não depender de infraestrutura para operar em pequenos aeroportos. Ele deveria ser ágil o suficiente para exigir o menor tempo de solo possível, a fim de permanecer mais tempo em voo do que no chão, gerando faturamento para a empresa aérea. Essa simplicidade trouxe outra inovação: a tripulação de apenas dois pilotos. A estação para o engenheiro de voo foi abolida no *cockpit* do 737, em função não só da simplicidade, mas da redundância dos sistemas e da melhor confiabilidade. Foi o primeiro jato comercial a operar com tripulação simples de dois pilotos.

Em fevereiro de 1968, o primeiro 737 entrava em serviço. A Lufthansa foi o único cliente a comprar o modelo 737-100 novo de fábrica, sendo que apenas 30 unidades foram produzidas ao

todo. Já a versão alongada, denominada de 737-200, teve ampla preferência no mercado, e foi produzida durante vinte anos na versão original, com poucas alterações. A VASP foi a primeira empresa brasileira a operar esse modelo. O Boeing 737-200, prefixo PP-SMA, é um avião histórico da aviação brasileira por ter servido à VASP entre 1969 e 2005. Foi o primeiro do Brasil e da América Latina. Na história da aviação, chegou a ser recordista por voar 35 anos seguidos por uma só companhia. Ele está em processo de restauração para compor o acervo do Museu da TAM.

A partir de 1984, passou a ser produzida a série que ficou conhecida como 737 *Classic*, modelos 737-300 737-400 e 737-500. Em 1993, a Boeing lançou a versão atual, chamada de 737 NG ou *Next Generation*, composta pelos modelos -600/ -700/ -800 e -900.

## Conceituação e estrutura

O 737 é um avião comercial a jato, de asa baixa, bimotor, de fuselagem estreita (*narrow-body*) e corredor único produzido pela Boeing. Sua produção utiliza a construção semimonocoque, ou seja, aquela em que o revestimento é parte estrutural da aeronave. Os modelos fabricados recentemente já utilizam os novos processos de construção com materiais compostos em várias partes.

A fuselagem é construída em alumínio. A estrutura das asas é de liga de alumínio-alloy, revestida com material resistente à corrosão. O cone de nariz, parte das asas, as carenagens da fuselagem, as carenagens dos flapes e outros componentes não estruturais são construídos a partir de materiais compostos à base de fibra de vidro e fibra de carbono reforçados (CFRP – *carbon fiber reinforced plastic* e GFRP – *glass fiber reinforced plastic*). A parte traseira das **nacelles** dos motores é construída de compósitos à base de grafite, Kevlar e fibra de vidro.

Nacelle ou Nacele – É o habitáculo feito para acomodar o motor da aeronave. Tem um formato aerodinâmico para também diminuir o arrasto que seria provocado pela exposição dos componentes do motor.

Figura 6.2 – Nacelle do motor do B737

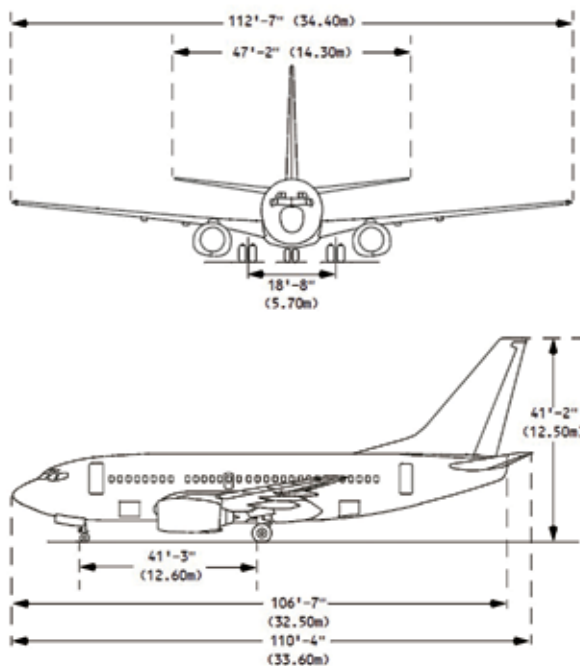


Fonte: Wikipedia, S/D.

O primeiro conjunto de asas projetado especificamente para o modelo 737 falhou em ensaios destrutivos estáticos de bancada ao ser submetido a cerca de 95% da capacidade de carga máxima projetada, tendo que ser reprojetoado. O fato acabou dando ao modelo uma asa cantilever de excelente performance, capaz de operar tanto em pistas curtas como em cruzeiro de grande altitude, com muita eficiência. A série NG ganhou uma nova asa mais moderna e ainda mais eficiente. Em fevereiro de 2000, surgiram os *winglets* de ponta de asa produzida de material composto à base de carbono, que oferece benefícios adicionais de desempenho em termos de aumento do alcance e de carga útil, e uma consequente economia de combustível.

O *winglet* é um componente aerodinâmico posicionado na extremidade livre da asa de uma aeronave, que tem por função diminuir o arrasto induzido relacionado ao vórtice de ponta de asa. Em geral, tem a forma de uma aba vertical ou levemente inclinada.

Figura 6.3 – Principais dimensões B737-700



Fonte: Boeing, 2012.

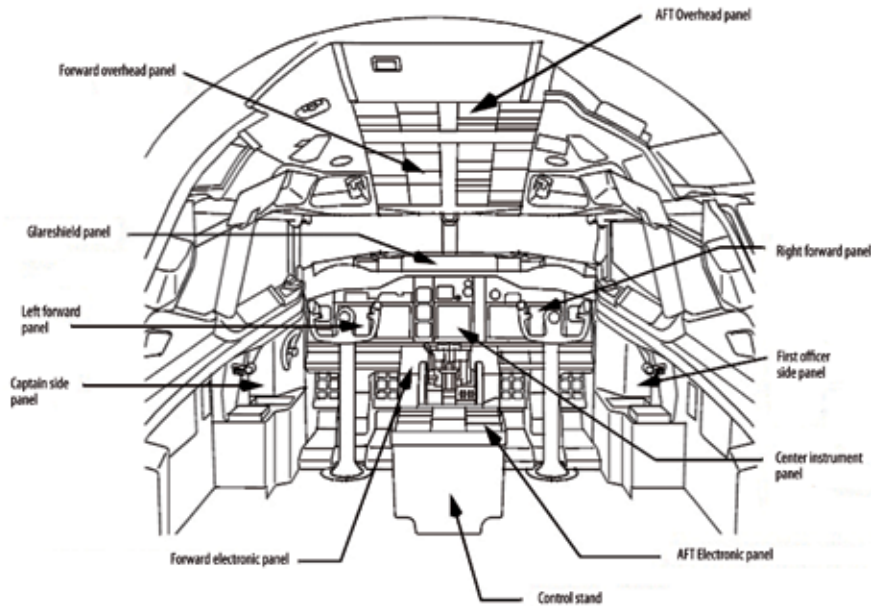
No início de 2004, foram desenvolvidas alterações de desempenho para a operação em pistas curtas (SFP – Short Field Performance), em resposta a uma solicitação da companhia brasileira Gol de Transportes Aéreos. Uma das linhas mais lucrativas da empresa é a chamada “ponte aérea”, que liga as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro com diversos voos diários. A necessidade de operar no Aeroporto Santos Dumont, no Rio de Janeiro, com alta densidade de passageiros, sempre obrigou todas as empresas aéreas a restringir os pesos de decolagem e pouso, pois das duas pistas naquele aeroporto, a mais longa possui apenas 1323m de comprimento. As modificações disponibilizadas com o pacote SFP são opcionais nos 737-600, 700 e 800 e padrão nos 900ER. Tais melhorias incluem: maior potência dos motores, *slats* selados no bordo de ataque para maior sustentação e maior deflexão dos *spoiler* no solo. O pacote proporciona menores velocidades de pouso e decolagem e maior capacidade de carga paga. O primeiro 737-800 SFP foi entregue a Gol, no final de julho de 2006.

A empenagem também sofreu alterações conforme o avião foi sendo modernizado. Atualmente, a deriva, ou estabilizador vertical, é bem maior que o do modelo original, em virtude do aumento de potência dos motores e do tamanho da aeronave. As superfícies de controle também sofreram alterações para melhorar sua eficiência.

## **O Cockpit**

O arranjo da cabine de comando é bastante lógico e feito para a operação de dois homens. Apesar de conter inúmeros comandos, painéis, circuit breakers, switches e mostradores, eles estão divididos por setores de painéis e ao alcance de pelo menos um piloto, com prioridade para o da esquerda. Sobre a cabeça dos pilotos estão dois conjuntos de painéis que abrigam os controles dos principais sistemas da aeronave, como o hidráulico, de combustível, pressurização etc. Nos painéis frontais estão os instrumentos de voo e no glareshield os controles do sistema automático de voo.

Figura 6.4. – Arranjo da Cabine de Comando

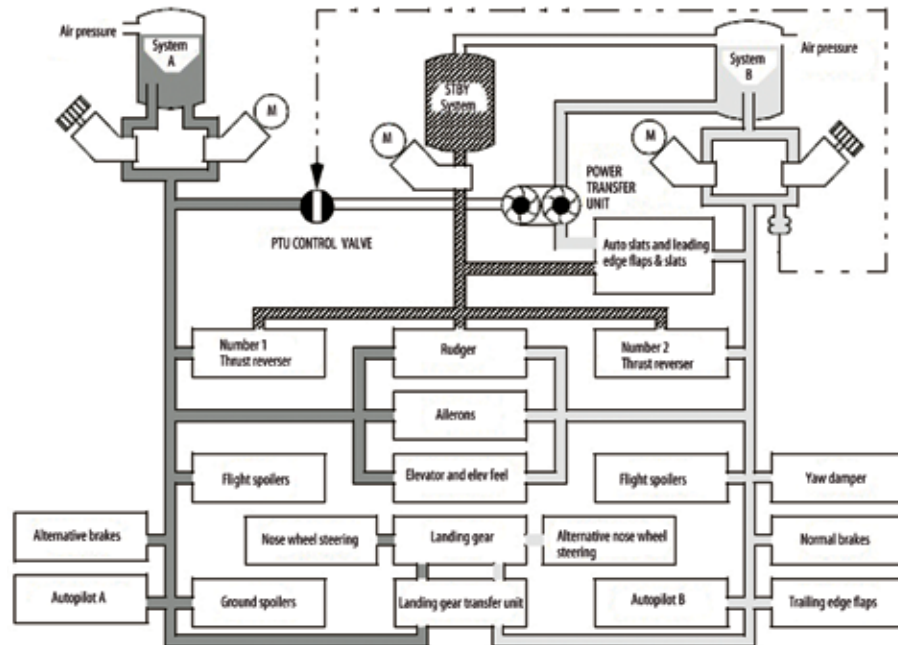


Fonte: Boeing, 2012.

## Sistema hidráulico, trem de pouso e controles de voo

O 737 tem três sistemas hidráulicos: sistema A, sistema B e sistema *standby*. O sistema *standby* é uma redundância ao A ou B, e é utilizado quando perde-se um deles.

Figura 6.5 – Distribuição do sistema hidráulico



Fonte: Boeing, 2012.

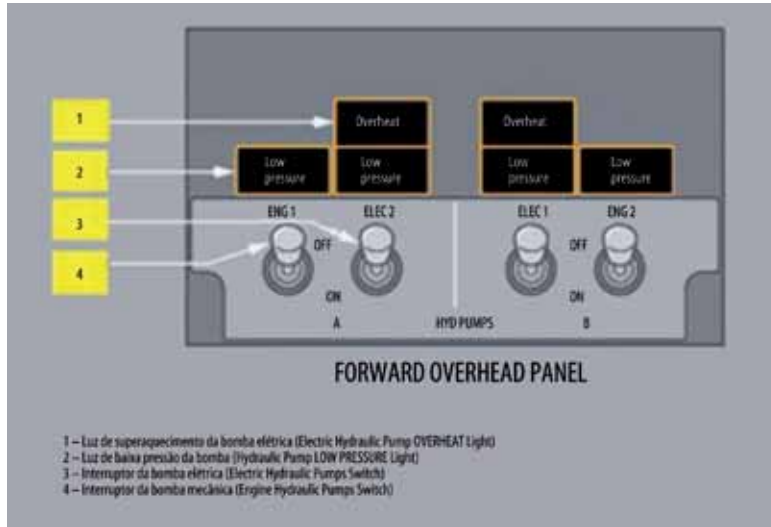
Os seguintes sistemas utilizam a força do sistema hidráulico para operar seus componentes:

- Controles de voo
- Trem de pouso
- Controle direcional da roda de nariz
- Flaps e slats
- Freios das rodas
- Reversores
- Autopilot

Conforme podemos observar na figura que representa a distribuição do sistema hidráulico, cada um dos sistemas tem um reservatório independente, que é pressurizado para garantir o fornecimento de fluido para todas as bombas. Os dois sistemas principais, A e B, têm duas bombas hidráulicas, uma elétrica

e outra mecânica, movida pelo motor da aeronave. O sistema standby tem apenas uma bomba elétrica.

Figura 6.6 – Painel do Sistema hidráulico (Hydraulic Panel)

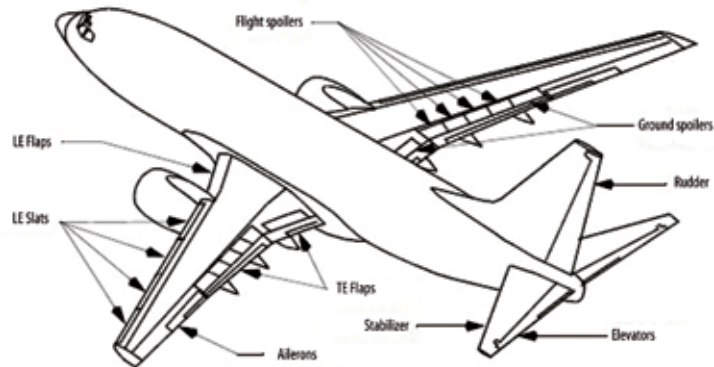


Fonte: Smartcockpit, 2012.

Os controles de voo primários, aileron, leme horizontal (*elevator*) e leme vertical (*rudder*), são acionados hidráulicamente. A energia hidráulica para isso é fornecida a partir de sistemas hidráulicos A e B. Qualquer um dos dois sistemas principais, A ou B pode operar todos os controles primários de voo, sem perda de eficiência e controle da aeronave. Os ailerons e *elevators* podem ser operados manualmente se necessário, para provocar os movimentos de rolagem ou arfagem.

Para o movimento de guinada (*yaw*), o leme vertical pode ser operado pelo sistema *standby*, se o sistema A e/ou B não estiver disponível. Para o movimento de rolagem (*roll*), os ailerons são assistidos por *spoilers*, para melhor eficiência e menor carga estrutural para as asas em voo. Os *spoilers* são acionados hidráulicamente e operam proporcionalmente ao movimento do aileron. Eles também servem como freio aerodinâmico em voo ou para quebrar a sustentação após o pouso, de modo a obter melhor eficiência dos freios das rodas, garantindo que o peso do avião estará sobre elas. A sustentação necessária em baixa velocidade para pousos e decolagens é fornecida com a extensão dos flaps e slats das asas, pelo sistema B. Alternativamente, essas superfícies podem ser estendidas eletricamente.

Figura 6.7 – Localização dos controles de voo



Fonte: Boeing, 2012.

A aeronave é equipada com trem de pouso triciclo de tipo retrátil, operado hidraulicamente. Possui amortecedores óleo-pneumáticos, projetados pela Boeing. O trem de pouso do 737NG tem sido extensivamente redesenhado. O trem dianteiro ficou mais longo para aliviar as altas cargas dinâmicas e o compartimento do trem do nariz foi levado um pouco mais para a frente. O trem principal também é maior para atender ao aumento do comprimento da fuselagem das séries -800/900 e é construído com base nos projetos do 757/767, a partir de um único bloco de titânio.

Figura 6.8 – Trem de pouso principal



Fonte: Avia films, 2012.

As rodas principais se retraem lateralmente e formam a vedação do compartimento, pois ele não tem portas. As rodas de nariz se retraem para a frente e são guardadas por comportas. Por isso,

o trem de pouso dianteiro é escamoteável, pois fica recolhido e fechado em seu compartimento, mas o trem principal é retrátil, já que não há comportas que cubram as faces externas das rodas de fora, que ficam aparentes quando o trem está recolhido. Para melhor condição aerodinâmica essas rodas têm calotas.

Figura 6.9 – Trem de pouso retrátil



Fonte: Avian Spectator, 2012.

O conjunto de freio padrão do 737 é fabricado em liga de aço alloy, chamada de Cerametalix<sup>®</sup>, mas desde 2008 a Boeing oferece a opção do freio de carbono fabricado pela Goodrich em Duracarb<sup>®</sup> ou pela Messier-Bugatti em SepCarb<sup>®</sup>. Em ambos os casos o conjunto ficou 300 Kg mais leve e dura o dobro daquele que o feito de aço.

## Motores e sistema de combustível

Os modelos originais 737-200 usavam os motores Pratt & Whitney JT8D-7, que desenvolviam, inicialmente, o empuxo de 14.000 libras. Com a evolução do motor, ao final da produção do B737 -200, o motor utilizado era o JT8D-17R, que gerava até 17.400 libras de empuxo.

A partir do lançamento da série *Classic*, os 737 têm sido equipados com o mesmo motor até hoje – o CFM-56 fabricado por um empreendimento conjunto (*Joint venture*) entre a americana GE (General Electric) e a francesa SNECMA (*Société Nationale d'Étude et de Construction de Moteurs d'Aviation*), que se tornou uma referência em termos de durabilidade e confiança.

Com um projeto mais moderno e com alta razão de derivação, o CFM56-3 provou ser quase 20% mais eficiente do que o JT8D. Um problema inicial com esse motor foi o seu tamanho físico e a necessária distância livre em relação ao solo, o que foi superado pela montagem dos acessórios nas laterais e deixar a parte inferior da nacelle “achatada”. Os motores foram movidos à frente com pequena inclinação para cima, o que também aumentou a distância ao solo.

Uma das melhorias mais significativas no grupo motopropulsor tem sido em relação aos níveis de ruído. Os originais JT8D-9 motores de 1967 produziam um **contorno de ruído** de 75 decibéis de 20 km, ao longo da trajetória de decolagem, o suficiente para atrapalhar uma conversa normal dentro de casa. Desde 1997, com a introdução do 737-700 e o modelo de motor CFM56-7B, o contorno de ruído de 75 decibéis é agora de apenas 3,5 quilômetros de comprimento (BRADY, 2012).

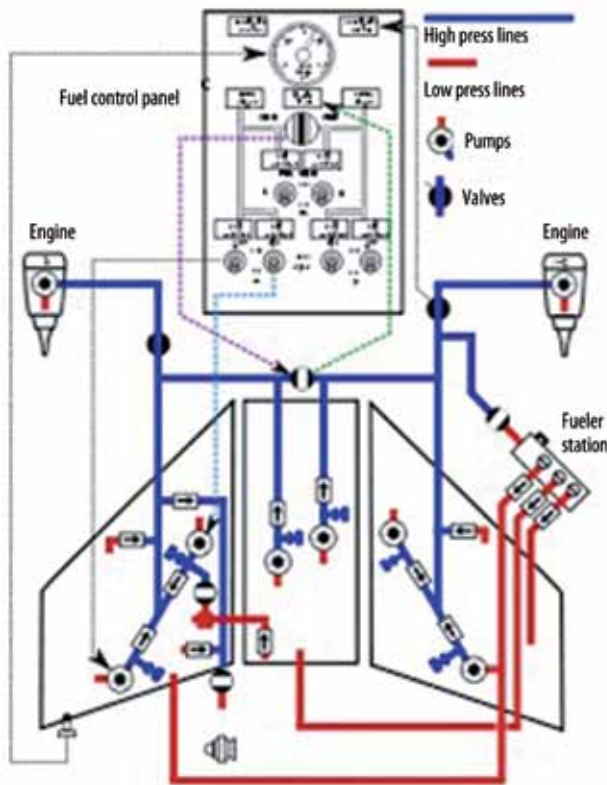
Contorno de ruído é a área em volta da aeronave, normalmente de formato oval, limitada pelo valor de medida de ruído. Uma área de contorno de ruído de 75db é aquela em que o ruído dentro dela é maior que 75db.

O 737 também possui um motor auxiliar (APU – Auxiliary Power Unit) para fornecer energia elétrica e pneumática, com capacidade para a partida dos motores.

Nos modelos NG, o controle de potência dos motores é feito pelo movimento das manetes que enviam sinal para o FADEC (*Full Authority Digital Engine Computer*), que é um sistema constituído por um computador digital, chamado de controlador eletrônico do motor (EEC Electronic Engine Controller) e seus acessórios relacionados, que controlam todos os aspectos do desempenho do motor da aeronave, inclusive o fluxo de combustível necessário, conforme solicitado pelo ajuste da manete de potência.

O sistema de combustível é composto por três tanques, sendo um deles em cada asa e um tanque central. A capacidade máxima declarada do sistema é de 20.800 Kg, para os modelos 737NG. A quantidade é medida pelos capacitores instalados nos tanques, que enviam sinais para os indicadores do cockpit.

Figura 6.10 – Distribuição do sistema de combustível



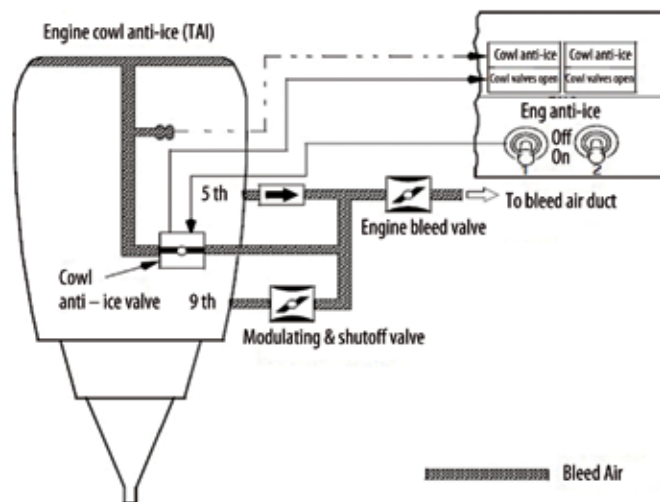
Fonte: Wikipédia, 2012.

Cada tanque possui duas bombas elétricas de combustível que estão instaladas em redundância à bomba mecânica do próprio motor. Prioritariamente, cada motor é suprido pelo tanque do mesmo lado, mas se necessário é possível utilizar o tanque do lado oposto ou transferir combustível entre os tanques, utilizando a válvula chamada *Crossfeed* ou de transferência. Por questões operacionais e de segurança, cada motor tem uma válvula de corte de combustível conhecida como *shutoff valve*. O óleo do motor é resfriado por meio de um radiador com fluxo de combustível. Assim, consegue-se não só o resfriamento do óleo, como também o aquecimento do combustível, evitando seu congelamento.

## Sistema antigelo

O 737 é equipado com um completo sistema de proteção contra chuva e gelo. As janelas frontais e laterais do cockpit, os probes de Pitot e outros sensores do sistema Pitot estático são aquecidos eletricamente. O limpador de parabrisa também é operado eletricamente. O sistema antigelo do motor e das asas utiliza ar quente sangrado do motor e distribuído para aquecer essas partes, mas a operação do sistema é eletricamente controlada.

Figura 6. 11 – Sistema antigelo do motor



Fonte: Boeing, 2012.

## Sistema pneumático, ar condicionado e pressurização

O ar sangrado do motor, do APU ou fornecido por uma fonte externa quando está no solo, é a fonte do sistema pneumático (*Bleed Air System*). Dependem de ar do sistema pneumático os sistemas de ar condicionado e de pressurização, sistema antigelo do motor e das asas, a pressurização dos reservatórios hidráulicos e a partida dos motores, entre outros. A sangria de ar é controlada por uma válvula chamada Bleed Air valve. Há uma interconexão entre as linhas de ar dos motores, sendo separadas por uma válvula de isolamento (Isolation Valve).

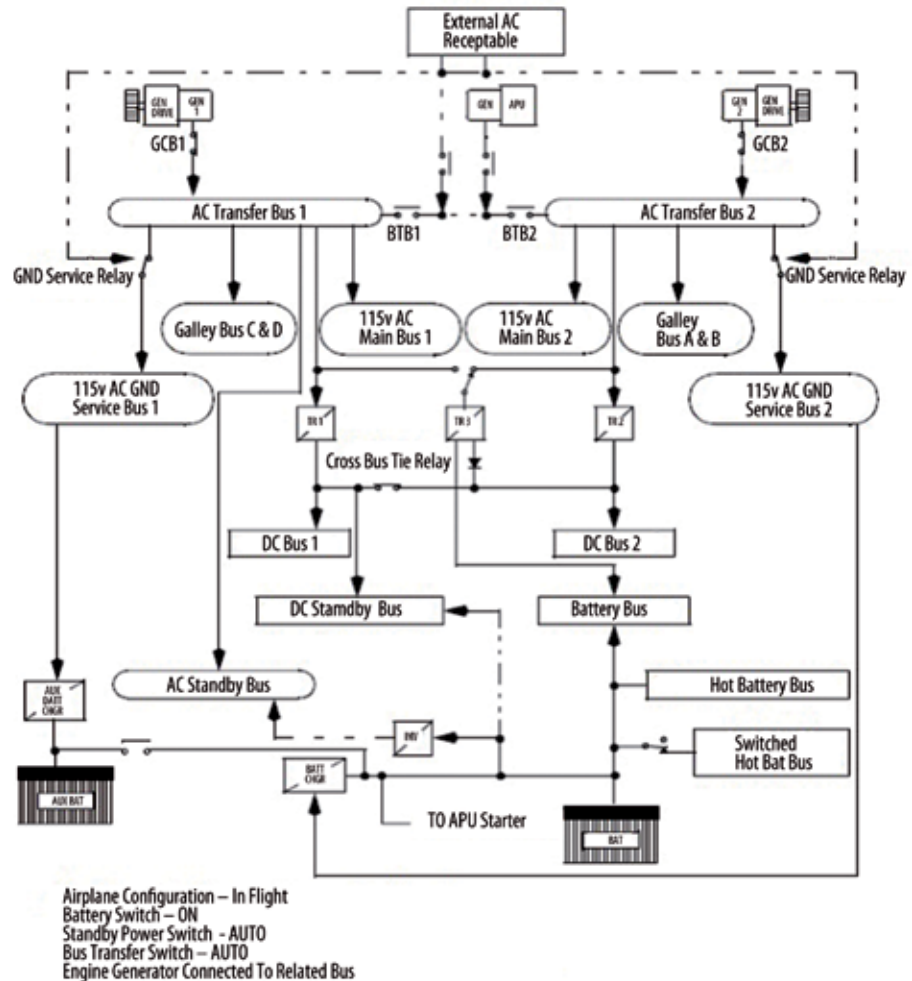
Ar condicionado de temperatura controlada é fornecido para a cabine por meio de dois condicionadores (Air Conditioning Packs) que processam o ar recebido do sistema pneumático. Normalmente, cada Pack processa o ar do lado do respectivo motor, mas apenas uma Pack é suficiente para manter a temperatura e a pressurização até o limite do teto operacional.

A pressão da cabine é controlada em todas as fases do voo pelo *cabin pressure control system*, que possui dois controles automáticos e um manual. O sistema utiliza o ar recebido pelo sistema de ar condicionado, que é parcialmente expelido da aeronave. Os controles ajustam o fluxo de ar expelido para manter a cabine pressurizada por meio do controle da saída de ar pelas válvulas reguladoras de escape de ar (Outflow Valve). Duas válvulas de alívio são a segurança de que o limite diferencial de pressão não será ultrapassado.

## **Sistema elétrico**

O sistema elétrico é provido primariamente por dois IDGs (*Integrated Drive Generator*), os quais suprem eletricidade em corrente alternada trifásica de 115 volts e 400 ciclos (hertz). Cada gerador supre a sua própria barra de energia em operação normal e pode manter as barras essenciais e não essenciais da barra oposta, no caso de falha de um gerador.

Figura 6.12 – Esquema do sistema elétrico do B737



Fonte: Boeing, 2012.

Os transformadores retificadores e a bateria principal e seu carregador suprem eletricidade em corrente contínua de 28 volts. O gerador do APU também pode suprir energia AC para as barras de transferência no solo ou em voo.

Há dois princípios básicos na operação do sistema elétrico do 737:

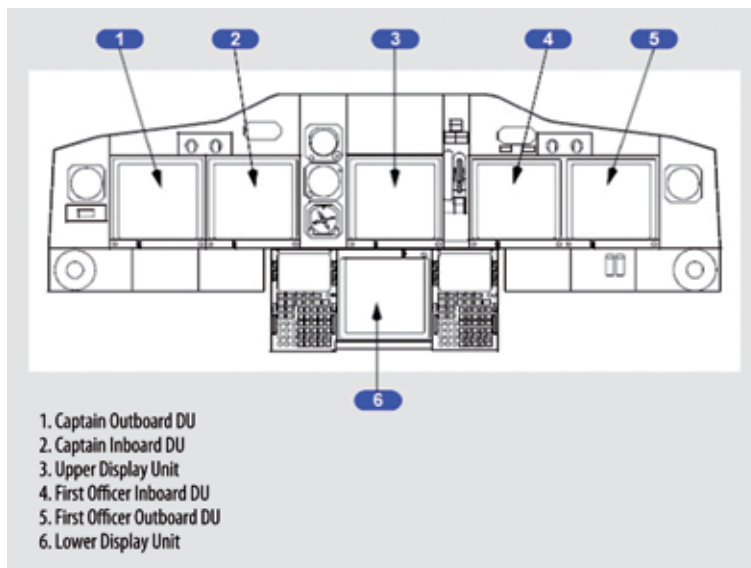
- Não há paralelismo entre as fontes de energia AC;
- Uma fonte de energia ao ser conectada a uma barra de transferência, automaticamente desconecta a que estava na mesma barra.

Esse sistema elétrico é dividido em três subsistemas de energia: Sistema AC, sistema DC e sistema standby. As baterias principal e auxiliar também servem como backup para os sistemas AC, DC e Standby.

## Instrumentos de voo e automatismo

Seis telas planas de LCD chamadas de DUs (Display Unit) fornecem todas as informações de voo e dos sistemas da aeronave para a tripulação.

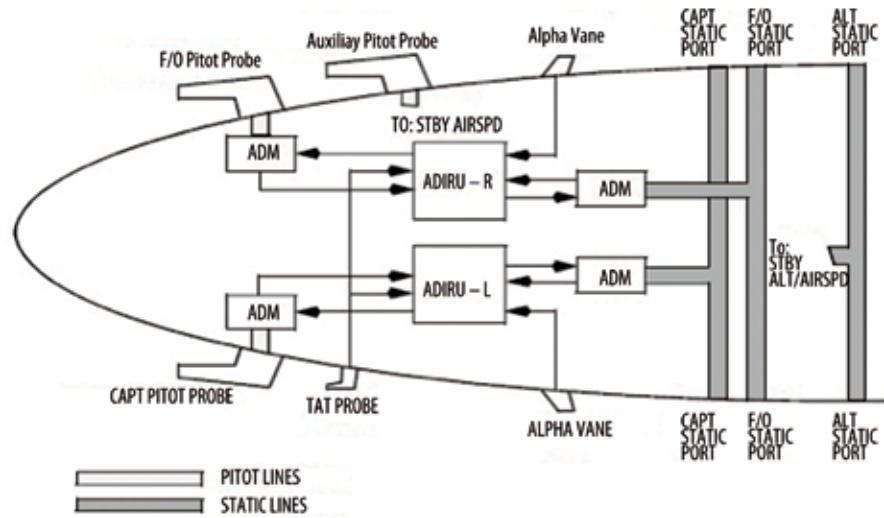
Figura 6.13 – Painéis esquerdo, direito e central



Fonte: Boeing, 2012.

A fonte de dados de voo como velocidade, altitude, posição e atitude é fornecida pelo ADIRS (Air Data Inertial Reference System), o qual nada mais é do que um sofisticado sistema Pitot estático, digital, computadorizado, integrado a um sistema inercial de posição em lugar da velha bússola magnética. Os principais componentes do sistema são um probe de temperatura (TAT), dois sensores de ângulo de ataque (Alfa Vane), três tubos de Pitot, seis portas de captação de pressão estática (static ports), duas unidades de referencia inercial (ADIRU) e quatro módulos de dados de voo (ADM).

Figura 6.14 – Componentes do ADIRS



Fonte: Boeing, 2012.

O EFIS (Electronic Flight Instrument System) utiliza os DUs para exibir as informações necessárias à tripulação. Ele apresenta de forma dinâmica e colorida as informações para manutenção da trajetória de voo desejada. Além das informações básicas de velocidade, atitude, proa, altitude e razão de subida ou descida, o EFIS mostra o modo automático de voo em uso, as informações do ILS, a radio altitude, os mínimos de aproximação, o alerta GPWS e indicação de TCAS. Mas o mais importante é que as informações são exibidas conforme são necessárias e de forma a atender a lógica do *glass cockpit*. Assim, as informações de voo estarão no PFD, normalmente exibidas no *Outboard DU*.

Para completar, temos o ND (Navigation Display), que exibe todas as informações do HSI (*Horizontal Situation Indicator*), acompanhadas de informações de rádio navegação (ADF/ VOR / ILS), do radar e de alguns dados de voo, como velocidade verdadeira e de solo, direção e intensidade do vento, entre outros. As informações do ND são exibidas no *Inboard DU* de cada lado. Existem quatro modos de exibição do ND, que podem ser selecionados: MAP (mapa) que é recomendado para a maior parte das fases de voo, pois exibe a posição da aeronave relativa à rota planejada sobre um mapa em movimento, APP (*approach*) ou VOR que exibem a rota, vento e as informações de navegação ILS ou VOR para o procedimento de aproximação e PLAN (plano), exibindo a informações da rota com a posição em relação ao norte verdadeiro.

O sistema de gerenciamento de voo FMS (*Flight Management System*) do 737 compreende vários outros sistemas que se integram com o objetivo de auxiliar a tripulação no trabalho de controle da aeronave, navegação, de otimização do desempenho da aeronave em voo, monitoramento do combustível e utilização dos equipamentos disponíveis para o voo automático. As funções do voo automático incluem o controle da navegação lateral LNAV e vertical VNAV do avião. As informações visuais incluem um mapa para orientação de posição da aeronave e marcas de referência (Bugs) no velocímetro e no indicador de N1 do motor. Os componentes do FMS são os seguintes:

- Flight Management Computer System – FMCS
- Autopilot /Flight Director System – AFDS
- Autothrottle – A/T
- Inertial Reference System – IRS
- Global Positioning System – GPS

Cada um desses componentes é um sistema individual que pode ser utilizado em diversas combinações ou independentemente. O termo FMS, como afirma a própria Boeing em seu manual do 737, refere-se ao conceito de composição entre esses componentes independentes, num sistema integrado que fornece o gerenciamento contínuo de navegação automática, de orientação de voo e de desempenho. O FMS dá à tripulação o controle da trajetória do voo e dos parâmetros de desempenho da aeronave, de modo centralizado no cockpit.

O FMCS (Flight Management Computer System) é o coração deste sistema integrado que coleta dados e executa cálculos computacionais de navegação e desempenho e fornece comandos de controle e de referência. Normalmente, esse sistema é chamado apenas de FMC, já que esse termo é universalmente conhecido e não representa uma única unidade computacional, e sim todo um conjunto de computadores integrados na mesma função.

O FMC utiliza as informações do plano de voo inseridas pela tripulação, dados dos sistemas da aeronave e informações do banco de dados do próprio FMC, para calcular a presente posição

da aeronave, e os comandos necessários para as superfícies de controle e para os motores requeridos, a fim de efetuar uma ótima trajetória de voo. O FMC envia esses comandos para o autopilot, autothrottle e diretor de voo. Informação de mapa e de rota são fornecidas para os DUs. No painel de controle do EFIS é possível selecionar a informação desejada a ser exibida nos NDs. Há também um painel de controle do modo operacional MCP (Mode Control Painel), utilizado para selecionar o modo operacional a ser utilizado pelo A/T e AFDS.

O controle da aeronave no voo automático é dado pelo AFS (Automatic Flight System), que é composto pelo sistema de piloto automático e diretor de voo AFDS (Autopilot Flight Director System), além do sistema de controle de potência A/T (autothrottle). O AFDS é um sistema duplo, com dois computadores individuais de controle de voo FCC (Flight Control Computer), que enviam sinais de comando para seus respectivos atuadores hidráulicos de pitch e roll. Assim, operam as superfícies de controle por meio de dois sistemas hidráulicos distintos. Veja quanta redundância! Os FCCs também operam os diretores de voo nos respectivos AI (Attitude Indicator), como informação aos pilotos.

O sistema de navegação baseia-se no FMS que trabalha as informações de posição do sistema inercial IRS, do ADIRS e do GPS, além de informações dos sistemas de rádio navegação como os ADF, VOR/ DME e ILS, para calcular a rota solicitada pelo plano de voo inserido no FMC, por meio do CDU (Control Display Unit), pelos tripulantes. O FMS pode sintonizar automaticamente estações de rádio navegação e determinar o curso de navegação lateral. O *database* do FMS tem as informações necessárias para se voar rotas, SIDs, STARs, órbitas de espera, e outros procedimentos por instrumentos. Para a navegação vertical, os cálculos do FMS incluem dados de consumo de combustível, velocidades ideais e altitudes recomendadas.

### Seção 3 – O Airbus 320

Na década de 1960, os europeus haviam perdido a corrida da era do jato. Nenhum fabricante europeu isoladamente fazia frente aos gigantes americanos e nenhum modelo de aeronave comercial a jato dos fabricantes europeus conseguia concorrer com os modelos americanos. Ao mesmo tempo, os europeus, devido às características de sua aviação comercial – rotas médias de alta densidade e frequência, necessitavam de aeronaves maiores e de alcance menor do que as oferecidas pelos americanos. A solução surgiu com a ideia de se montar um consórcio europeu de fabricantes, onde cada um seria responsável pela fabricação de parte da aeronave. Em 29 de maio de 1969, os ministros francês e alemão Jean Chamant e Karl Schiller assinaram durante o Salão de Le Bourget, em Paris, o memorando de lançamento do programa A300. O jato era o primeiro *widebody* europeu e voaria apenas em outubro de 1972, já como um modelo Airbus. Mas as bases para a criação do consórcio – que contou posteriormente com a participação de ingleses e espanhóis – estavam lançadas. Em dezembro de 1970, a Airbus era fundada oficialmente.

Mas os primeiros tempos da empresa foram de descrédito. Os norte-americanos, que dominavam o cenário de jatos de passageiros, desdenharam do consórcio, imaginando que ele teria o mesmo fim de outras iniciativas multinacionais dos europeus: o fracasso por desentendimentos entre os parceiros. Não foi o que ocorreu e logo a Airbus, com o A300, foi seguida pela Boeing, que criou o B767 para ser seu rival. Enquanto isso, McDonnell Douglas e Lockheed ficaram pelo caminho. Hoje, o mercado de jatos comerciais é dividido duramente entre Boeing e Airbus. Apesar dos protestos quanto à injeção de dinheiro público em ambas empresas, esse cenário continuará ainda por muitos anos.

## **A ideia**

O sucesso inicial do consórcio foi fraco. Em 1979, estavam em serviço 81 aviões e a carteira de pedidos de clientes do consórcio era de 256 aeronaves. Nesse ritmo, ele também teria dificuldade para enfrentar os concorrentes americanos. A Airbus nessa época já sabia que precisava ampliar sua carteira de produtos. Inicialmente, lançou uma versão menor e de maior alcance do modelo pioneiro chamado de A310, que entrou em serviço em 1982, mas isso não era suficiente.

Normalmente, um fabricante utiliza uma família básica de aeronaves para conquistar e fidelizar clientes que tem potencial para comprar aviões maiores e mais caros. Outro aspecto comercial importante é que é mais fácil vender um avião menor e mais barato do que aviões maiores e caros. Assim, a Airbus decidiu fabricar um modelo de 150 lugares, que pudesse ser facilmente diversificado em uma família de aeronaves. E foi o lançamento do A320, em 1981, que garantiu à Airbus ser um importante construtor no mercado da aviação – o avião tinha 400 encomendas antes do seu primeiro voo, comparado com as 15 encomendas para o A300, em 1972.

## **O projeto**

A Airbus precisava de algo diferente, pois entendia que havia grande procura por aeronaves dessa categoria, e ela estava atrasada em relação aos modelos concorrentes. Seu projeto foi inspirado no B727, um campeão de vendas na época, mas que já mostrava sinais de enfraquecimento. O avião seria do mesmo tamanho do B727, porém, mais econômico, com a utilização de apenas dois motores mais modernos e com maior capacidade de carga paga. Após a crise do petróleo de 1973, a Airbus considerou prioritária a maior eficiência do projeto, com foco no baixo consumo de combustível.

A fabricante europeia investiu pesado em tecnologias digitais de última geração, não só para o controle do consumo do motor, mas também para aumentar a eficiência de desempenho da aeronave, por meio de seus controles de voo. O A320 é considerado como

o primeiro avião comercial a ser equipado com controles de voo *fly-by-wire*, além de FADEC (Full Authority Digital Engine Control), FMGS (Flight Management and Guidance System) e EFIS (Electronic Flight Instrument Display), entre outras tecnologias, mas o Concorde já contava com sistema digital de controles de voo. Outra vantagem que o A320 veio mostrar frente ao B737 foi a sua velocidade que, ironicamente inspirada no B727, era maior do que a do concorrente direto. Enquanto que as séries original e clássica do B737 voavam a velocidade de **Mach .74**, o A320 foi projetado para voar a Mach .78.

### Conceituação e estrutura

O A320 é um avião comercial a jato de curto ou médio alcance, de asa baixa cantilever, bimotor, de fuselagem estreita (*narrow-body*) e corredor único produzido pela Airbus. O A319 é a versão encurtada do modelo e o A321 é a versão alongada. Tem cauda convencional de estabilizador único e leme, e asas enflechadas a 25 graus, otimizados para a velocidade máxima operacional de Mach 0,82. Sua produção utiliza a construção semimonocoque, e ele foi o primeiro avião comercial a utilizar uma quantidade significativa de material compósito na fabricação de sua estrutura. A montagem da cauda é feita quase que inteiramente desse tipo de material. A seção transversal da fuselagem é maior que a do B737, proporcionando um potencial aumento das receitas por meio de:

- Maior conforto aos passageiros, com assentos e corredor mais largos;
- Maior espaço para bagagem de mão dentro da cabine;
- Maior capacidade de carga;
- Capacidade de utilizar container de carga compatível com aeronaves *Wide-body*;
- Tempo de parada em solo (turnaround) mais rápida.

Número Mach – É uma unidade de medida de velocidade utilizada pelas aeronaves de alto desempenho. É definida como a relação entre a velocidade do objeto e a do som. Assim, um avião que voa a Mach .80 tem a velocidade de 80% da velocidade do som.

O A320 tem capacidade para até 180 passageiros, podendo chegar a 220 no modelo A321. É equipado com motores turbofan de alta derivação, montados sob as asas. A tecnologia avançada aplicada à aerodinâmica, estrutura, sistemas e grupo motopropulsor oferecem custos reduzidos por meio de:

- Eficiência no consumo de combustível;
- Controle mais preciso da trajetória de voo;
- Redução dos custos de manutenção;
- Maior confiabilidade;
- Tempo reduzido de resolução de problemas de manutenção.

Introduzido ao serviço em Março de 1988, o A320 representa o maior avanço tecnológico aplicado a um único modelo de aeronave civil desde a introdução do motor a jato.

## O Cockpit e instrumentos de voo

O A320 foi o primeiro avião comercial com um sistema de controle de voo totalmente digital tipo *fly-by-wire*. Seu projeto incluiu também o conceito integral de uma cabine digital – Full Glass Cockpit – em comparação com as versões híbridas encontrados em outros modelos de aviões da época.

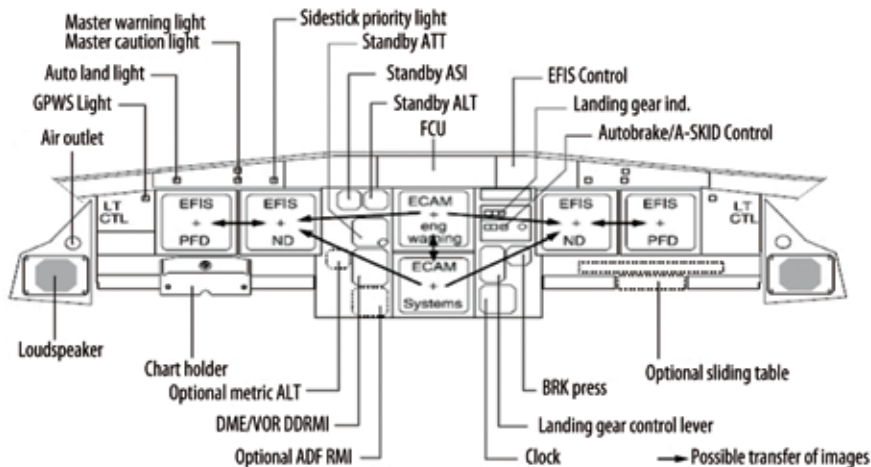
Figura 6.16 – Cabine de comando do A320



Fonte: Airbus, 2012.

Ele é equipado com EFIS (*Electronic Flight Instrument System*) composto de seis DUs (*Display Unit*), intercambiáveis e com *side stick* instalado nas laterais da cabine, em lugar do manche, o que proporciona uma visão dos instrumentos de voo totalmente desobstruída, além de possibilitar a colocação de uma mesa escamoteável em frente de cada piloto. O A320 também possui o ECAM (*Electronic Centralized Aircraft Monitor*), que dá informações relevantes para a tripulação sobre todos os sistemas da aeronave.

Figura 6.17 – Painel frontal do A320 – EFIS – ECAM



Fonte: Airbus, 2012.

Os primeiros aviões A320 utilizavam DUs originais de CRT (*Cathode Ray Tube*), mas, atualmente, são utilizadas as telas de LCD (*liquid crystal display*), as quais são mais leves e confiáveis e geram menos calor do que as telas CRT.

Os painéis dos instrumentos de voo do Comandante (Captain – CAPT) e do Primeiro Oficial (First Officer – F/O) são espelhos um do outro, ambos incorporam duas unidades de telas lado a lado (DUs) – O DU esquerdo é um PFD (*Primary Flight Display*), e o direito é um ND (*Navigation Display*). Na parte central do painel dianteiro há mais dois DUs, que fazem parte do sistema ECAM. Esse arranjo acabou por se tornar padrão da indústria para a configuração de *Glass Cockpit*, pois facilita uma melhor visibilidade em todos os DUs, na configuração normal e também em caso de reconfiguração e transferência de telas (PFD ND ou ECAM ND).



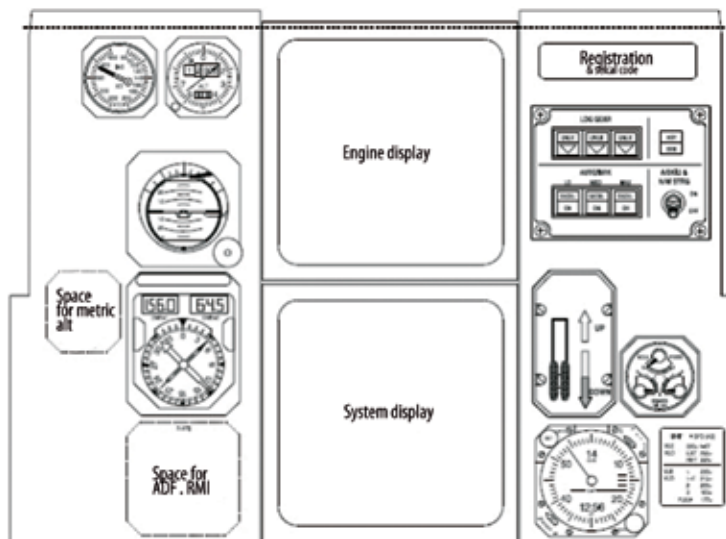
Figura 6.19 – ND no modo ROSE VOR



Fonte: Airbus, 2012.

Os dois DUs do painel central estão instalados um sobre o outro, sendo o superior o DU 1 e o inferior o 2. O DU 1 é chamado de Engine Display, pois é nele que são exibidos os principais parâmetros de motor e seus limites, além do total de combustível, posição dos flaps e slats e alertas. No DU 2 chamado de System Display são exibidos os diagramas sinópticos dos sistemas da aeronave e o status da aeronave, com uma lista de todos os itens operacionais mais importantes.

Figura 6.20 – Painel Central



Fonte: Airbus, 2012.

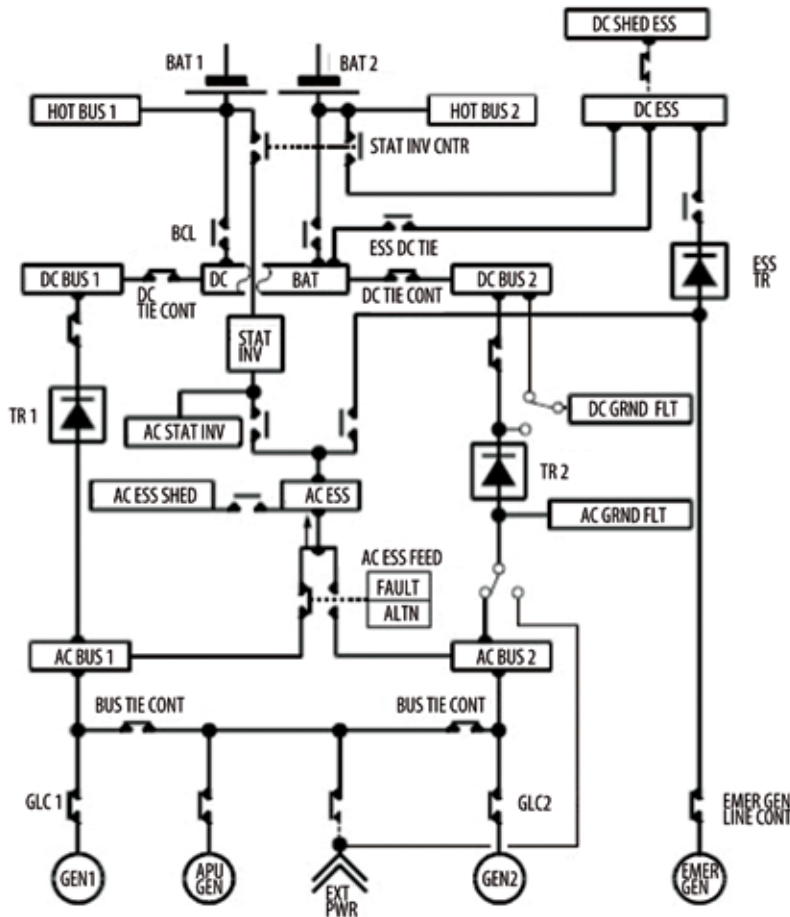
No painel central ainda temos os instrumentos standby, o controle e indicações do trem de pouso e dos freios e um relógio.

## Sistema Elétrico

A geração de energia elétrica do A320 compreende:

- Dois geradores de corrente alternada de 90kVA, de potência nominal, acoplados cada um a um motor.
- Uma unidade de potência auxiliar (APU) com um gerador AC de 90kVA, de potência nominal.
- Um gerador de emergência de 5 kVA, de potência nominal, movido hidraulicamente pela RAT (Ram Air Turbine), que é uma turbina atuada pelo ar de impacto e é acionada automaticamente, em caso de perda total da energia dos geradores principais.
- Um conector de fonte externa no solo para 90kVA de potência.
- Um sistema elétrico de corrente contínua (DC) fornecida por três transformadores retificadores idênticos (TRU – Transformer Rectifier Unit). Dois deles são normalmente utilizados pelo sistema, e o terceiro é usado na configuração de emergência do sistema quando da perda dos geradores principais AC ou da falha de uma ou ambas TRUs.
- Duas baterias de capacidade nominal de 23Ah cada uma, a fim de fornecer, no solo, uma fonte autônoma de energia, principalmente para a partida da APU, ou em voo, na configuração de emergência prover alimentação elétrica para alguns equipamentos, até a extensão da RAT e após a extensão do trem de pouso.

Figura 6.21 – Arquitetura do sistema elétrico do A320



Fonte: Airbus, 2012.

Em funcionamento normal, cada sistema AC é independente e ligado ao gerador do motor correspondente, que fornece energia para as barras AC e, por meio das TR, para as barras DC. Em caso de falha do gerador, o sistema é automaticamente abastecido com energia da APU ou do gerador do outro motor. Em caso de perda total dos geradores, o gerador de emergência acionado pela RAT provê energia para as barras essenciais AC e DC.

## Sistema Hidráulico

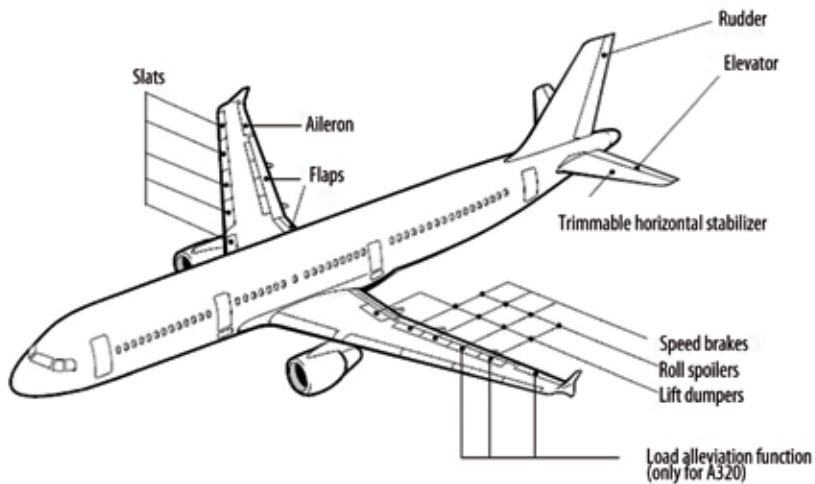
O A320 tem três sistemas totalmente independentes, com denominação por cor: sistema verde, amarelo e azul. Em funcionamento normal, a pressão hidráulica necessária aos componentes do sistema é fornecida por três bombas. Em cada motor tem uma bomba mecânica atendendo um sistema, o verde para o motor 1 e o amarelo para o motor 2.

Uma bomba elétrica atende ao sistema azul. A redundância do sistema garante que, em caso de falha ou funcionamento anormal da bomba do motor nº 1, o sistema verde passa a ser pressurizado pelo sistema amarelo por meio de uma PTU (*Power Transfer Unit*), que é uma unidade reversível de transferência de potência, ou seja, é uma “bomba” acionada pela energia do outro sistema. Nesse caso, não há interligação das linhas de fluidos, apenas o uso de energia gerada por um sistema pelo outro. O mesmo é válido para a falha da bomba do motor nº 2 e para o sistema amarelo. Só que para esse sistema ainda há uma bomba elétrica para pressurizá-lo, em caso de falha da bomba mecânica e da PTU. O sistema azul se manterá pressurizado pela RAT (Ram Air Turbine), no caso da falha da bomba elétrica ou da falta de energia para acioná-la.

## Controles de Voo

O controle de voo do A320 é feito pelas superfícies de comando primárias, como em qualquer outro avião que utiliza ailerons e lemes horizontal e vertical (Elevator and Rudder). Ele também utiliza superfícies secundárias para auxiliar as primárias ou para melhorar o desempenho do voo.

Figura 6.22 – Superfícies de controle do A320

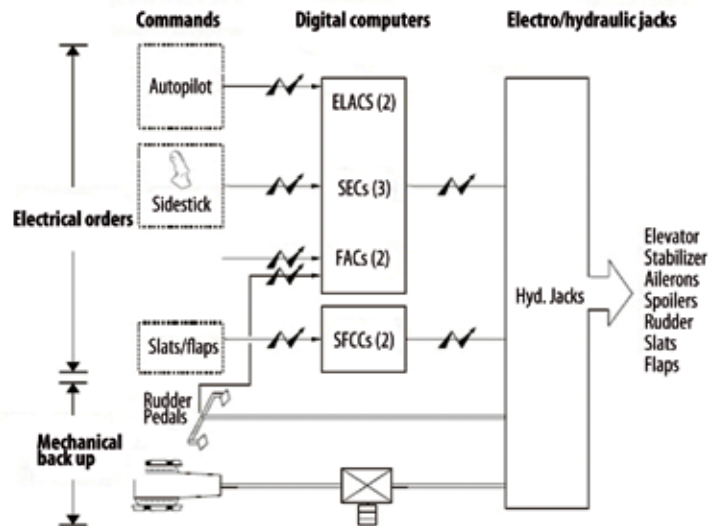


Fonte: Airbus, 2012.

A diferença para outras aeronaves está no fato de que o sistema de controle de voo é completamente gerenciado por computadores que controlam o voo e o protegem contra manobras fora da capacidade da aeronave. O EFCS (Electrical Flight Control System) apresenta proteções para atitudes anormais, *stall*, *windshear*, excesso de esforço e de velocidade.

O controle de voo é obtido pelas superfícies convencionais que são atuadas hidraulicamente, mas o sinal de comando para as superfícies são elétricos para os movimentos de rolagem e arfagem, e mecânicos para o movimento de guinada, mas com *yaw dumping*, *turn coordinator* e o *trim* assegurados eletricamente.

Figura 6.23 – Princípio de sinais de comando do EFCS



Fonte: Airbus, 2012.

O EFCS possui três tipos de computador:

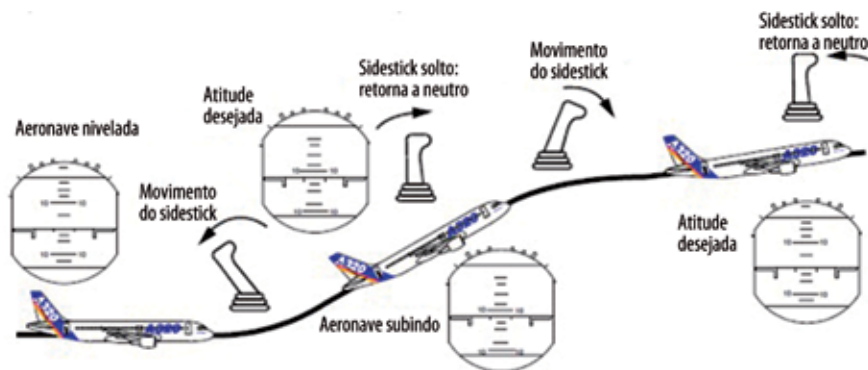
- ELAC (*Elevator Aileron Computer*) – para assegurar os comandos de profundor e estabilizador (*Elevator and Stabilizer*) e do aileron. São dois ELAC que compõem o sistema.
- SEC (*Spoiler Elevator Computer*) – São três computadores para garantir a operação dos spoilers, sendo que dois deles são garantia de atuação (*Standby*) dos *elevators* e do controle de estabilidade.
- FAC (*Flight Augmentation Computer*) – São dois computadores que fazem o controle da atuação do leme (*Rudder*) eletricamente e os cálculos de velocidades exibidos nos PFDs.

Além desses três principais tipos de computador, há mais dois SFCCs (*Slats Flaps Control Computer*) para o controle dessas superfícies e dois FCDCs (*Flight Control Data Concentrator*) que captam e utilizam os dados dos ELACs e SECs para enviá-los ao ECAM e a outros sistemas. A redundância do sistema é garantida não só pela quantidade de computadores ou pelo tipo de computador empregado, mas também pelo uso de processadores de fabricantes diferentes (Motorola e Intel), pela divisão de cada

ELAC e SEC em duas unidades fisicamente separadas, sendo uma de controle e outra de monitoramento. Assim, para cada conjunto ELAC /SEC há quatro diferentes softwares em uso.

Desde a introdução da aeronave, o comportamento do sistema *fly-by-wire*, equipado com proteção total do envelope de voo, é uma experiência nova para muitos pilotos. Nesse sistema, o piloto não movimenta diretamente as superfícies de controle, mas envia sinais digitais aos computadores do sistema de controle de voos, que entendem, checam e calculam um novo sinal a ser enviado à superfície de controle. Além disso, num sistema convencional, a deflexão da superfície de comando é proporcional ao movimento do manche. No sistema do A320 não há relação proporcional direta entre o movimento do *sidestick* e a posição da superfície de controle.

Figura 6.24 – Operação do Sidestick



Fonte: Airbus, 2012.

Considerando uma analogia simplista, a operação de pilotagem por meio do *sidestick* é similar à utilização do joystick para os jogos de computador. Com o *sidestick* em neutro, o avião manterá a trajetória atual de voo. Se quiser iniciar uma subida, por exemplo, puxe o *sidestick* até o nariz da aeronave se posicionar na atitude desejada, então, solte-o. O avião se manterá nessa trajetória até que haja um novo *input* do piloto ou a aeronave não tenha mais capacidade de mantê-la. Note que não há necessidade de contrariar o movimento inicial do *sidestick* para interromper o movimento de ajuste de atitude da aeronave, como é comum na pilotagem convencional com manche, basta apenas soltar o *stick* para retornar a posição neutra e interromper o movimento. O mesmo é válido para fazer uma curva, descida etc. Isso faz com que a pilotagem nesse sistema seja feita com menor carga de trabalho, mais precisa e suave.

## Trem de pouso

Principais características:

- Trem de pouso triciclo convencional com amortecedores de ação direta.
- Trem principal retrai lateralmente e o de nariz recolhe para frente.
- São eletricamente controlados por dois LGCIU (Landing Gear Control/Interface Unit), atuando hidraulicamente, com alternativa de extensão no modo de queda livre e travamento por mola.
- O uso dos LGCIUs é alternado a cada ciclo de retração / extensão.
- No caso de falha de um LGCIU, ao reciclar a alavanca do trem de pouso há transição do controle para o outro LGCIU.
- Os freios são de carbono e, normalmente, atuados pelo sistema hidráulico verde. Para o sistema alternado ou de emergência, assim como para o freio de estacionamento, é utilizado o sistema amarelo.

O sistema de frenagem e de controle direcional no solo é exercido pela BSCU (*Brake and Steering Control Unit*), a qual é uma unidade computacional completamente digital de dois canais que controla as seguintes funções:

- Controle normal do sistema de frenagem.
- Controle antiderrapante das rodas (Anti-skid), normal e alternado.
- Função de freio automático (Auto Brake) de três intensidades LO, MED, MAX.
- O processamento do comando direcional da roda de nariz (nosewheel steering).
- O monitoramento de todas as funções acima.

## Sistema de combustível

O sistema é composto por um tanque de combustível em cada asa e um tanque central. No modelo A320, os tanques de asa são divididos em duas células, a interna e a externa. Na ponta de cada asa há um tanque de ventilação. O combustível é fornecido aos motores por meio de bombas de reforço. Cada tanque está equipado com duas bombas idênticas. As bombas dos tanques das asas operam permanentemente, com uma pressão menor do que as do tanque central, por isso esse tanque é o primeiro a alimentar os motores, exceto durante a decolagem e a recirculação de combustível, quando as bombas do tanque central são desligadas automaticamente.

Quando o combustível desse tanque termina e as bombas apresentam baixa pressão, os tanques de asas passam a alimentar os motores. Em cada asa há duas válvulas de transferência elétricas que se abrem automaticamente quando o nível de combustível remanescente na célula interna for baixo (cerca de 750 kg), para garantir a drenagem do combustível da célula externa para a interna. Para manter o combustível aquecido nas baixas temperaturas do voo em altitude e para resfriar a IDG e o óleo do motor, o combustível é recirculado por meio de uma série de válvulas controladas pelo FADEC.

Na operação normal do sistema não é necessária nenhuma atuação da tripulação. Todas as indicações de quantidade de combustível estão disponíveis para os pilotos no DU superior do ECAM, pelo sistema FQI (Fuel Quantity Indication). O sinóptico do sistema pode ser apresentado no DU inferior, de acordo com a lógica do ECAM. O alerta de baixa quantidade é totalmente independentemente do FQI. Em operação anormal, a alimentação de combustível para o motor pode ser selecionada manualmente, e a partir de qualquer tanque, via válvula de alimentação cruzada (*cross-feed valve*).

## Controles dos motores

O Controle de empuxo dos motores é operado por meio dos computadores FADEC (Full Authority Digital Engine Control), que controlam o funcionamento dos motores, de modo a fornecer o mais adequado desempenho e o melhor consumo de combustível em cada fase do voo, além de prover a proteção necessária à operação dos motores, dentro de parâmetros específicos, tanto na operação manual pelas manetes de potência, como na operação automática (Autothrust), com manetes fixas. O FADEC é um sistema eletrônico que incorpora uma unidade de controle do motor totalmente redundante, chamada ECU (*Engine Control Unit*) e uma EIU (*Engine Interface Unit*), que faz a integração de dados dos motores com outros sistemas da aeronave. Cada motor tem o seu FADEC que proporciona as seguintes funções operacionais:

- Controle da queima de combustível,
- Proteção dos limites do motor,
- Partida automática do motor;
- Gerenciamento de energia;
- Fornecer dados para a indicação da condição e parâmetros do motor no *cockpit*;
- Controle do reversor.

Há um ECU localizado em cada motor, com dois canais redundantes (ativo e standby) cada um, tendo uma fonte de energia separada para garantir a partida do motor no solo ou em voo.

Além disso, um alternador dedicado do ECU garante energia própria e autossustentável, sempre que a rotação do motor (N2) estiver acima de 12%. Um EIU por motor está localizado na baía de aviônicos da aeronave, com o intuito de preservar a segregação de sistemas por segurança e integridade. Os limites de parâmetros a serem utilizados pelo FADEC dependem do modo de limite de potência selecionado pela tripulação, por meio da manete.

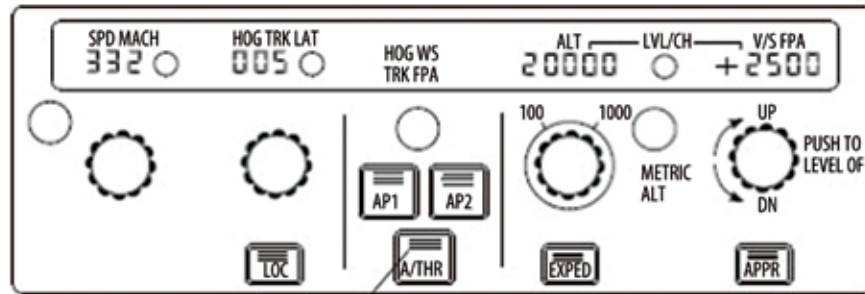
Há seis posições ou detentes no curso da manete, cada um representando um modo de potência. A posição de referência é a de marcha lenta (Idle). À frente dela há mais três posições representando os modos de potência de subida – Max Climb ou Flex Takeoff, potência máxima contínua – MCT Max Continuous Thrust, e potência máxima de decolagem ou de arremetida – Max Takeoff or GA Go-around Thrust. Atrás da posição Idle há mais duas referentes aos modos de reversão de potência. De acordo com a posição da manete, o FADEC calcula e comanda a potência necessária para o melhor desempenho dentro dos limites operacionais.

## Sistema Automático de Voo

O sistema de voo automático (AFS) é controlado pelo cálculo das ordens recebidas e os envia ao EFCS (Electrical Flight Control System) e ao FADEC, para controlar as superfícies de voo e os motores. Quando o AFS não estiver ativo, o controle de voo será feito da mesma maneira pelo EFCS e pelo FADEC, só que as ordens virão do sidestick e da manete de potência, ou seja, será o que chamamos de voo manual.

O FMGS (Flight Management and Guidance System) é uma integração do AFS (Automatic Flight System) e do FMS (Flight Management System), que fornece aos pilotos as funções necessárias para automatizar inúmeras tarefas de pilotagem e gerenciamento do voo, reduzir sua carga de trabalho e melhorar a segurança e regularidade do controle do voo. Ele é composto por dois FMGCs (Flight Management and Guidance Computers), dois FACs (Flight Augmentation Computers), dois MCDUs (Multipurpose Control and Display Units) e um FCU (Flight Control Unit). O FCU é a unidade instalada no Glareshield, que serve de interface direta de curto prazo entre os pilotos e os FMGCs, ou seja, é o painel do “piloto automático”. Nele você pode selecionar e executar comandos isolados de subida, descida, alterações de proa e de velocidade, entre outros.

Figura 6.25 – FCU



Fonte: Airbus, 2012.

O MCDU é a interface de longo prazo entre os pilotos e o FMGC permite o gerenciamento completo do voo. Ele é o painel do FMS. Nele você poderá programar todo o voo, desde a decolagem até o pouso, incluindo informações de desempenho, de navegação vertical e lateral.

Figura 6.26 – MCDU



Fonte: Deltava.org, 2012.

O FMGC recebe os inputs dos pilotos por meio do FCU ou do MCDU e fornece:

- Gerenciamento da navegação do voo, otimização do desempenho, sintonia dos auxílios rádio navegação e gerenciamento da exibição de informações aos pilotos.
- Gerenciamento da orientação do voo para os comandos do piloto automático (EFCS), para os comandos das barras diretoras de voo (Flight Director Command Bars) e para os comandos de potência do motor (FADEC).

Assim como em outros equipamentos, o FMGS trabalha as informações de posição do sistema inercial IRS, do ADIRS e do GPS, além de informações dos sistemas de rádio navegação como os VOR, DME e ILS, para calcular a posição atual da aeronave e fornecer a navegação lateral proposta pelo plano de voo inserido pelo MCDU.

## Sistema de controle ambiental

A Airbus simplificou e integrou o sistema pneumático de ar condicionado e de pressurização em um único sistema, chamado de ECS (Environmental Control System) ou sistema de controle ambiental. Ar de alta pressão é fornecido para o ar-condicionado, partida dos motores, pressurização, antigelo das asas, para pressurizar o reservatório de água e o reservatório hidráulico. A operação do sistema é eletricamente monitorada por dois computadores BMC (*Bleed Monitoring Computers*) e é controlada pneumaticamente.

Há um sistema de detecção de vazamento para analisar qualquer superaquecimento em torno dos dutos de ar quente. O ar-condicionado proporciona a renovação de ar contínua e o controle da temperatura em três zonas da cabine, de forma independente (cockpit, cabine dianteira e cabine traseira). Duas *Packs* de ar-condicionado e uma unidade dedicada à mistura de ar quente/frio, com o ar recirculado, fornecem a distribuição de ar necessária para as três zonas da cabine. A temperatura é ajustada de modo ótimo pela adição de ar quente do motor na unidade de mistura, por meio de três válvulas.

O ajuste da temperatura da cabine é feita por um controlador de zona e dois controladores de carga. O sistema de controle da pressurização é de operação totalmente automática, sem intervenção da tripulação. Apresenta um controle duplo e se alterna automaticamente em caso de falha. A pressurização é mantida por uma única válvula (Outflow), acionada por três motores, sendo dois deles por controladores automáticos. Na operação normal, a altitude da cabine e a razão de variação da pressão são automaticamente controladas pelas informações do plano de voo do FMGC, como nível de voo, altitude da pista, ajuste de altímetro, tempo para atingir o nível de cruzeiro e o tempo para o pouso no destino.



## Síntese

Nesta unidade, vocês conheceram o que é um avião comercial e dois exemplos de sucesso desses aparelhos. Puderam relacionar alguns detalhes da construção dessas aeronaves, os seus principais componentes, os materiais empregados com o que vocês estudaram ao longo desta disciplina. Para facilitar o entendimento do funcionamento de um avião comercial, fizemos uma pequena introdução desses dois modelos a vocês: o Boeing 737 e o Airbus A320, relatando, principalmente, as áreas que foram discutidas nas unidades anteriores. Não tive nenhuma intenção em fornecer ensinamentos básicos ou profundos sobre esses aparelhos, mesmo porque esse não era nosso objetivo, mas sim tentar fornecer uma simples descrição geral para matar a curiosidade daqueles que um dia poderão ter o prazer de pilotar uma dessas máquinas.



## Atividades de autoavaliação

Ao final de cada unidade, você realizará atividades de autoavaliação. O gabarito está disponível no final do livro didático. Mas, esforce-se para resolver as atividades sem ajuda do gabarito, pois, assim, você estará promovendo (estimulando) a sua aprendizagem.

- 1) Faça uma análise da Ponte Aérea Rio- São Paulo e explique por que o Electra deixou de ser operado nessa rota, após ter sido, por anos, o principal avião dessa operação.

---

---

---

---

---

- 2) Qual foi o principal fator de sucesso do B737 e do A320?

---

---

---

- 3) Faça uma pesquisa na internet e comente porque os dois fabricantes lançaram os modelos A320Neo e o B737Max.

---

---

---

---



## Saiba mais

Se você desejar, aprofunde os conteúdos estudados nesta unidade consultando as seguintes referências:

AIRBUS INDUSTRIES, **Technical Training Manual**, 2000.

AIRBUS INDUSTRIES, **Flight Deck and System Briefing for Pilots**, 1998.

BOEING COMPANY, **Flight Crew Training Manual**, 2000.

OLIVEIRA, A. V. M. **Transporte Aéreo: Economia e Políticas Públicas**. São Paulo: Pezco Editora, 2009.

OLIVEIRA, A. V. M. e Silva, L. H. S. **Constituição do Marco Regulatório para o Mercado Brasileiro de Aviação Regional**. Abril de 2008.

SUTTER, Joe. **747: Creating the World's First Jumbo Jet and Other Adventures from a Life in Aviation**, Smithsonian Books, 2006





## Para concluir o estudo

O estudo da disciplina Conhecimento Geral das Aeronaves (Asa Fixa) teve como objetivo oferecer o conhecimento aeronáutico básico usando como referência a aeronave, seus sistemas, funcionamento, limitações e operação, de modo a introduzir o aluno no amplo espectro de conhecimento que será necessário para o desenvolvimento de sua carreira na área de aviação.

Discutimos aqui os princípios relativos à construção da aeronave, à importância e funcionamento dos seus sistemas e à compreensão das informações fornecidas pelos instrumentos das aeronaves. Vimos também que as aeronaves apresentam limitações e outras informações operacionais pertinentes ao manual de voo e a outros documentos apropriados; além disso, compreendemos que para manter sua aeronavegabilidade é preciso cumprir procedimentos para manutenção das células, dos sistemas e dos grupos motopropulsores.

Mas o mais importante foi que ao longo desta disciplina você foi desafiado a, cada vez mais, ampliar sua base de conhecimentos aeronáuticos, que uma vez sedimentados, irão auxiliá-lo em toda a sua carreira na aviação e distingui-lo entre os profissionais da aérea.

Você adquiriu conhecimentos a respeito de várias técnicas para o estudo, de forma sistemática, sobre assuntos relativos à aviação e como ampliá-los durante a conquista de sua experiência profissional, conquista essa que nunca se encerrará durante sua vida.

Espero que tenha gostado e que siga em busca de novos desafios.





## Referências

AÉROCLUB DE FRANCE. **Les concours d'aviation**. *L'Aérophile*. Paris, 12º ano, nº 10, out. 1904, p. 224-225.

AIRGYRO AVIATION (2012). Velocity – Pusher. Disponível em: <http://www.merchantcircle.com/business/Airgyro>. Aviation.801-794-3434/picture/gallery. Acesso em: 16 ago. 2012.

ANJUNGSAINSSMKSS (2011). Multiplicação hidráulica. Disponível em: <http://anjungssainssmkss.files.wordpress.com/2011/08/hydraulics.jpg?w=645>. Acesso em: 16 ago. 2012.

AVIATION SPECTATOR (2012). Trem de pouso retrátil. Disponível em: <http://www.aviationspectator.com/topics/military-aviation>. Acesso em: 20 ago. 2012.

BELLIS, M. History of Airships and Balloons. Disponível em: [http://inventors.about.com/od/astartinventions/ss/airship\\_2.htm](http://inventors.about.com/od/astartinventions/ss/airship_2.htm). Acesso em: 16 ago. 2012.

BERTHANLANFFY, Ludwig Von. Teoria Geral dos Sistemas. Rio: Vozes, 1975.

BLOOMBERG, D. A. Fotojornalismo. Arquivo pessoal. Disponível em: <http://www.danielacker.com/>. Acesso em: 16 ago. 2012.

BOEING (2007). Airplane description. Disponível em: <http://www.boeing.com/commercial/airports/acaps/737sec2.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2012.

BRASIL. **Regulamento Brasileiro de Aviação Civil No. 141** – RBAC141 “Escolas de Aviação Civil”.

\_\_\_\_\_ **Regulamento Brasileiro de Aviação Civil No. 23** – RBAC141 “Requisitos de aeronavegabilidade: aviões categoria normal, utilidade, acrobática e transporte regional”. ANAC, 2005. Disponível em: [http://www2.anac.gov.br/transparencia/audiencias/5%20-%20Notificacao%20de%20Proposta%20de%20Regra%20\(NPR\)%20-%20RBAC%20141.pdf](http://www2.anac.gov.br/transparencia/audiencias/5%20-%20Notificacao%20de%20Proposta%20de%20Regra%20(NPR)%20-%20RBAC%20141.pdf). Acesso em: 15 ago. 2012.

\_\_\_\_\_ **Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica No. 91** – RBHA91 “Regras Gerais de Operação para Aeronaves Civis”. ANAC, 2005. Disponível em: <http://www2.anac.gov.br/biblioteca/rbha/rbha091.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2012.

\_\_\_\_\_ Instrução do Comando da Aeronáutica Nº.100-12 – ICA 100-12 “Regras do Ar e Serviços de Tráfego Aéreo”. ANAC, 2009. Disponível em: <http://publicacoes.decea.gov.br/download.cfm?d=1439&tipo=alt>. Acesso em: 15 ago. 2012.

\_\_\_\_\_ Lei Nº.7565 – CBAer “Código Brasileiro de Aeronáutica”. ANAC, 1986. Disponível em: <http://www2.anac.gov.br/biblioteca/leis/cba.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2012.

CLARK, Joshua. Como funciona a lei de Murphy. How stuff works. Disponível em: <http://pessoas.hsw.uol.com.br/lei-de-murphy3.htm>. Acesso em: 16 ago. 2012.

DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL AVIATION. Airframe and Powerplant Mechanics Airframe Handbook (Publication AC65-15A). Washington, DC: US Administration Standards Division. 1976. p. 4. ISBN 0-16-036209-1.

GIBBS-SMITH, Charles H. **Sir George Cayley’s Aeronautics, 1796 – 1835**. London: H.M. Stationery Office, 1962.

FAA. Pilot’s Handbook of Aeronautical Knowledge. EUA, 2008.

\_\_\_\_\_. Pilot’s Handbook of Aeronautical Knowledge. EUA 2003.

HENDERSON, M.F. **Aircraft Instruments and Avionics**, Ed. Jeppesen -1993.

HOMA, Jorge M. **Aeronaves e motores: conhecimentos técnicos**. São Paulo: Asa Edições e Artes Gráficas Ltda. 2010.

HOOKE, Robert. Artificies for flying (1655). Disponível em: <http://roberthooke.com/Default.htm> . Acesso em: 15 ago. 2012.

HOOKED ON RC AIRPLANES. Características geométricas de uma hélice. Disponível em: <http://www.hooked-on-rc-airplanes.com/>. Acesso em: 16 ago. 2011.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **Manual de instrucción**. 1. ed. Montreal: ICAO, 1977.

KERN, Tony. **Flight Discipline**. New York: McGraw-Hill 1998.

\_\_\_\_\_, Tony. **Redefining Airmanship**. New York: McGraw-Hill 1997.

KROES, M.J. **Manual Systems Description**. Aircraft Maintenance and Repair, McGraw-Hill, New York, 1993.

LOMBARDO, D. A. **Advanced Aircraft systems**. New York, McGraw-Hill, 1999.

MARCUZZO JR., Adílio – **Legislação Aeronáutica Comentada** – Ênfase em Manutenção. ASA Brasil, 2011.

MARTINS, B. **Conhecimentos Técnicos de Aeronaves**. São Paulo, 2010.

MICHAELIS. Dicionário da língua portuguesa. Ed. Melhoramentos, 2009. Disponível em: <http://michaelis.uol.com.br/>. Acesso em: 16 ago. 2012.

MIT. Inventor of the week. **Paul kollsman**: Barometric Altimeter. MIT School of Engineering, 2005. Disponível em: <http://web.mit.edu/invent/iow/kollsman.html>. Acesso em: 20 ago. 2012.

PHAK. Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge. Disponível em: [http://www.faa.gov/library/manuals/aviation/pilot\\_handbook/](http://www.faa.gov/library/manuals/aviation/pilot_handbook/). Acesso em: 16 ago. 2012.

PRADINES, Luiz. **Fundamentos da teoria de voo**. Edições Inteligentes. Brasil, 2004.

REITHMAIER, Larry. **Maintenance and Mechanics**. Controlling Pilot Error Series. New York: McGraw-Hill 2001.

RISUKHIN, Vladimir. **Automation**. Controlling Pilot Error Series. New York: McGraw-Hill 2001.

SAINTIVE, Newton Soler. **Teoria de Voo** – introdução à aerodinâmica. ASA Brasil 2001.

SCHIAVO, Acyr Costa. **Conhecimentos Técnicos e Motores para Pilotos**. EAPAC: Rio de Janeiro.

SMARTCOCKPIT (2012). Hidraulic Panel. Disponível em: <http://www.smartcockpit.com/aircrafts-models.html>. Acesso em: 20 ago. 2012.

TALAY, T. **Introduction of Aerodynamics of Flight**. Washington DC. NASA 1975.

TEXTUAL CREATIONS. Conjunto de trem de pouso. Disponível em: [http://textualcreations.ca/Flash\\_Gallery\\_V19/TurboCAD\\_V19\\_Gallery.html](http://textualcreations.ca/Flash_Gallery_V19/TurboCAD_V19_Gallery.html). Acesso em: 16 ago. 2012.

TURANZAS, Juan L.F. **Fundamentos de Meteorologia Aeronáutica**-Espanha 1976.

TURNER, Thomas P. **Checklist & Compliance**. Controlling Pilot Error Series. McGraw-Hill New York 1997.

WAPEDIA (2011). Classificação das asas. Disponível em: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Asa\\_voadora](http://pt.wikipedia.org/wiki/Asa_voadora). Acesso em: 16 ago. 2012.

WHITEPELICAN (2011). Indicador de curva. Três situações de uma curva à direita. Disponível em: <http://whitepelican.aero/academy/general/instruments>. Acesso em: 20 ago. 2012.

WIKIPEDIA. Nacele. Disponível em: <http://pt.m.wikipedia.org/wiki/Nacele>. Acesso em: 20 ago. 2012.

WIKIPEDIA (2012). Aircraft fuel system. Disponível em: [http://en.wikipedia.org/wiki/Aircraft\\_fuel\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Aircraft_fuel_system). Acesso em: 20 ago. 2012.





## Sobre o professor conteudista

Antonio Carlos Vieira de Campos é Piloto de Linha Aérea com mais 17.000 horas de voo e 35 anos de carreira, sendo 25 deles na função de comando de aeronaves de médio e grande porte, como, por exemplo, o Boeing 737 e o MD11, em viagens pelos cinco continentes.

Foi instrutor e examinador credenciado em todas as aeronaves que comandou na aviação comercial, e ainda atua como comandante de aeronaves executivas em voos internacionais e como instrutor de simulador de Airbus A320, além de trabalhar na formação inicial de pilotos.

Tem formação técnica na área de mecânica e superior em administração de empresas.

Atuou em cargos executivos na área de operações da VASP S/A e foi um dos executivos fundadores da GOL Linhas Aéreas, exercendo o cargo de Gerente de Operações.

Hoje comanda também uma empresa prestadora de serviços de assessoria empresarial nas áreas de treinamento, composição de tripulação e gerenciamento de aeronaves executivas.

É estudioso do erro humano e do gerenciamento de risco.

Recebeu a Medalha “Mérito - Santos Dumont” do governo brasileiro, por “destacados serviços prestados à aeronáutica brasileira”.





# Respostas e comentários das atividades de autoavaliação

## Unidade 1

1)

- a) semimonocoque
- b) Leme, ailerons, profundor / dispositivos hipersustentadores
- c) semicantilever / parte superior / cantilever

2) Os esforços estruturais são a tração, a flexão, a torção, a compressão e o cisalhamento. O esforço numa corda esticada é o exemplo de tração. Apertar um parafuso com uma chave de boca provoca um esforço de torção. Um peso aplicado sobre uma mola provoca a compressão e a aplicação de uma força numa ponta de uma régua que está fixa ou presa pela outra ponta, isso provocará a flexão. A flexão é que provoca tensões opostas, sendo as de tração na face externa da curvatura da peça e tensões de compressão na face interna. A aplicação de esforços opostos em duas réguas rebitadas entre si provocará o cisalhamento ou "corte" do rebite. Todos estes esforços na estrutura do avião são causados por forças de natureza aerodinâmicas.

3) Com ângulo de ataque neutro ou positivo a asa tem sustentação e subirá. Com vento relativo de velocidade constante, quanto maior o ângulo de ataque maior será a sustentação. Com ângulo de ataque constante, quanto maior a velocidade do vento maior a sustentação. Se o ângulo de ataque se tornar muito grande pode perder sustentação. A asa tenderá a ir para trás, devido à força de arrasto.

## Unidade 2

1) A principal diferença entre ambos é o conceito do princípio da física conhecido como **Lei de Pascal**, que assegura a incompressibilidade dos fluidos e a total transmissão de forças com perdas mínimas, o que é válido para os fluidos hidráulicos, como os óleos, e não para o ar, que é compressível. Por isso, o sistema pneumático é mais rápido, porém, gera menor força que o sistema hidráulico. A simplicidade maior e o peso menor contribuem para o uso do sistema pneumático em aeronaves menores, onde não há grandes exigências de força e energia.

2) As vantagens desse sistema sobre outros métodos de transmissão de energia são:

- **Projeto mais simples.** Na maioria dos casos, um conjunto de poucos componentes irá substituir complicadas ligações mecânicas.
- **Flexibilidade.** Componentes podem ser adaptados e instalados com grande flexibilidade. Dutos, linhas e mangueiras, ao invés de elementos mecânicos rígidos, praticamente eliminam os problemas de instalação.
- **Suavidade.** Os sistemas hidráulicos são suaves e silenciosos em operação.
- **Controle.** O controle de uma vasta gama de velocidade fluxo e força é facilmente obtido.
- **Custo.** Alta eficiência com a perda de atrito mínimo mantém o custo baixo para transmissão de energia. Na aviação, isso significa conjuntos compactos, menor peso e menor consumo de combustível.
- **Proteção contra sobrecarga.** Válvulas automáticas de alívio do sistema protegem contra a sobrecarga.

A principal desvantagem de um sistema hidráulico é a necessidade de cuidados especiais para manter as peças de precisão livres de desgaste. Proteção contra a corrosão, sujeira, deterioração da lubrificação, e outras condições ambientais adversas é muito importante.

3) O motor aeronáutico deverá atender, num futuro próximo, as exigências de eficiência de consumo de combustível e de restrições à poluição ambiental aplicadas aos motores automotivos. Assim, é possível prever que teremos num futuro próximo motores flex com combustíveis de fontes renováveis, como o etanol, motores de ciclo diesel modernos, como os já homologados na Europa e elétricos ou híbridos, como os já experimentados por pesquisadores.

- 4) Se em tempo calmo deixarmos cair de uma janela as duas tiras de papel assim preparadas, com a parte torcida para baixo, elas irão girar tão rapidamente em torno de um eixo vertical que não poderemos distinguir as duas tiras uma da outra, ao mesmo tempo, cairão vagorosamente. Isso acontece porque as extremidades livres funcionam como uma curiosa hélice e ganham sustentação com o aumento da rotação, de modo a reduzir a velocidade da queda.

### Unidade 3

- 1) Instrumentos de voo, instrumentos de navegação, instrumentos do motor e instrumentos da aeronave.
- 2) O sistema Pitot-estático baseia-se no tubo de Pitot que coleta dados de pressão do ar de impacto e na porta estática que coleta a pressão do ar estático. Esse sistema fornece duas linhas de pressão. Uma de pressão dinâmica ou total, proveniente do tubo de Pitot, e outra de pressão estática, para passar os dados aos instrumentos do avião.
- O sistema giroscópico baseia-se no princípio de que qualquer rotor girando em alta velocidade apresenta as propriedades giroscópicas da rigidez no espaço e da precessão. A rigidez giroscópica é a tendência de o rotor em movimento giratório manter sua posição, e a precessão é a propriedade de que qualquer força aplicada a esse rotor terá efeito em um plano de 90º do plano de aplicação da força.
- A bússola é um dos instrumentos básicos requeridos a bordo das aeronaves. Ela indica a proa magnética, ou seja, o ângulo formado entre a direção do norte magnético da Terra e o eixo longitudinal do avião. Seu funcionamento baseia-se no fato da Terra ser um grande ímã circundado por um campo magnético de linhas de fluxo que saem do polo norte e terminam no polo sul. As linhas de fluxo têm duas importantes características: qualquer ímã que esteja livre para girar irá se alinhar com elas e uma corrente elétrica é induzida a qualquer condutor que atravessá-las. Os indicadores de rumo baseiam-se nessas duas propriedades.
- 3)
- a) O principal fator contribuinte foi o bloqueio do tubo de Pitot, causando informações errôneas de velocidade.
- b) Foi recomendado enfatizar nos treinamentos da tripulação a importância do reconhecimento de mau funcionamento do velocímetro e do sistema pitot-estático.

4)

a) A roda girando tem o mesmo princípio da rigidez giroscópica, por isso, mantém sua posição.

b) Com a roda girando para a frente, ao inclinar a bicicleta você estará aplicando uma força lateral na parte superior da roda que, pelo princípio da precessão, resultará em uma força aplicada a 90º desse ponto, ou seja, no ponto frontal da roda que virará o guidão para o mesmo lado da inclinação.

c) Como agora a roda gira para trás, pelo mesmo princípio da precessão, o ponto de aplicação da força estará no ponto traseiro da roda, fazendo o guidão girar para o lado oposto ao da inclinação.

## Unidade 4

1) São dez documentos obrigatórios. Nove deles exigidos e discriminados pelo RBHA 91.203 mais o Diário de Bordo exigido pelo CBAer.

2) A elaboração de um plano de estudo contínuo de aprendizagem, baseado na revisão sistemática e no questionamento da experiência, poderá não só manter o profissional atualizado com seus conhecimentos, como também implementá-los significativamente.

3) Conforme IAC 3151, o termo de abertura e encerramento do diário de bordo poderá ser assinado pelo proprietário e/ou operador da aeronave, pelo piloto que tenha vínculo empregatício ou contrato de trabalho com o operador e tenha a função

de comandante da aeronave, referente ao Diário de Bordo em questão ou pelo Chefe do Setor de Operações, ou ainda o Piloto-Chefe da empresa, a qual a aeronave está vinculada operacionalmente.

4) Entre os níveis de aprendizado está o do conhecimento inerte, que se figura pouco sedimentado em nosso sistema cognitivo. Assim, só com repetidas formas de assimilação do conhecimento o teremos de forma plena e resgatável na mais estressante situação. A leitura, o treino e a vivência nos darão a plena forma do conhecimento.

## Unidade 5

1) O programa de manutenção é o documento que define todas as tarefas a serem realizadas na aeronave ou na frota, entre elas as inspeções de manutenção e seu controle, o controle de componentes com vida limite, o serviço ou substituição de componentes, o controle de revisões programadas e o cumprimento de diretrizes de aeronavegabilidade e boletins de serviço de cumprimento compulsório, enquanto que o plano de manutenção é estabelecido para cumprir o programa de manutenção e determinar as paradas da aeronave para a execução de inspeções, revisões e trocas de componentes, diretrizes e boletins de serviço.

2) O MEL é uma importante e útil ferramenta tanto para o Comandante como para o operador da aeronave, pois ele possibilita a flexibilidade operacional com garantias de riscos mitigados para a segurança de voo, ainda facilita o acordo e a interação entre o piloto e o operador, na tomada de decisão sobre a capacidade operacional de um avião.

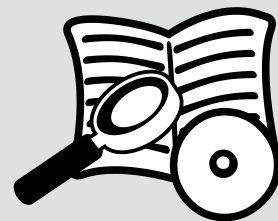
3) De acordo com nossa legislação aeronáutica, os seguintes profissionais poderão atuar na manutenção de aeronaves:

- Auxiliar de Manutenção de Aeronaves;
- Técnico em Manutenção de Aeronaves ou Mecânico de Manutenção Aeronáutica;
- Tecnólogo em Manutenção de Aeronaves;
- Engenheiro Mecânico;
- Engenheiro Aeronáutico.

## Unidade 6

- 1) A operação Ponte Aérea é uma rota de alta demanda e alta frequência que exige aviões mais rápidos e maiores. Quando a nova geração de jatos conseguiu a homologação para operar em pista curta como a do aeroporto Santos Dumont não havia mais razão para se manter um avião menor e mais lento como o Electra nesta operação.
  
- 2) Nos dois casos foi a inovação no uso de tecnologias, cada qual a sua época. Para o B737 foi o projeto de construção de uma cabine mais espaçosa e sistemas mais simples com a colocação de motores sob as asas. Para o A320 foi o uso de sistemas digitais em uma nova filosofia operacional e o uso de materiais compósitos na construção.
  
- 3) As empresas aéreas estão constantemente pressionando os fabricantes por aviões com melhor desempenho e menor custo operacional. O lançamento de um motor mais eficiente foi determinante para a remotorização dos dois modelos.

# Biblioteca Virtual



Veja a seguir os serviços oferecidos pela Biblioteca Virtual aos alunos a distância:

- Pesquisa a publicações on-line  
<[www.unisul.br/textocompleto](http://www.unisul.br/textocompleto)>
- Acesso a bases de dados assinadas  
<[www.unisul.br/bdassinadas](http://www.unisul.br/bdassinadas)>
- Acesso a bases de dados gratuitas selecionadas  
<[www.unisul.br/bdgratuitas](http://www.unisul.br/bdgratuitas)>
- Acesso a jornais e revistas on-line  
<[www.unisul.br/periodicos](http://www.unisul.br/periodicos)>
- Empréstimo de livros  
<[www.unisul.br/emprestimos](http://www.unisul.br/emprestimos)>
- Escaneamento de parte de obra\*

Acesse a página da Biblioteca Virtual da Unisul, disponível no EVA, e explore seus recursos digitais.

Qualquer dúvida escreva para: [bv@unisul.br](mailto:bv@unisul.br)

---

\* Se você optar por escaneamento de parte do livro, será lhe enviado o sumário da obra para que você possa escolher quais capítulos deseja solicitar a reprodução. Lembrando que para não ferir a Lei dos direitos autorais (Lei 9610/98) pode-se reproduzir até 10% do total de páginas do livro.

# UnisulVirtual

A sua universidade a distância



UNISUL



9 788578 172268 >