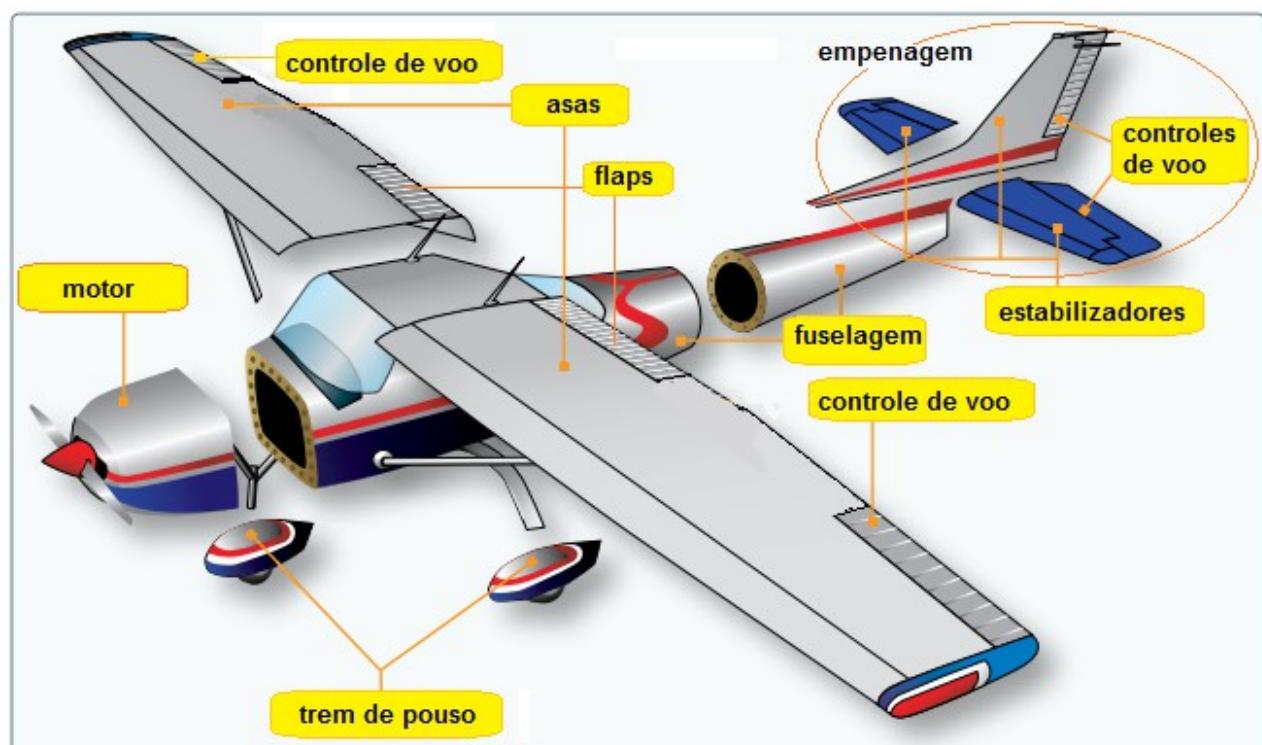
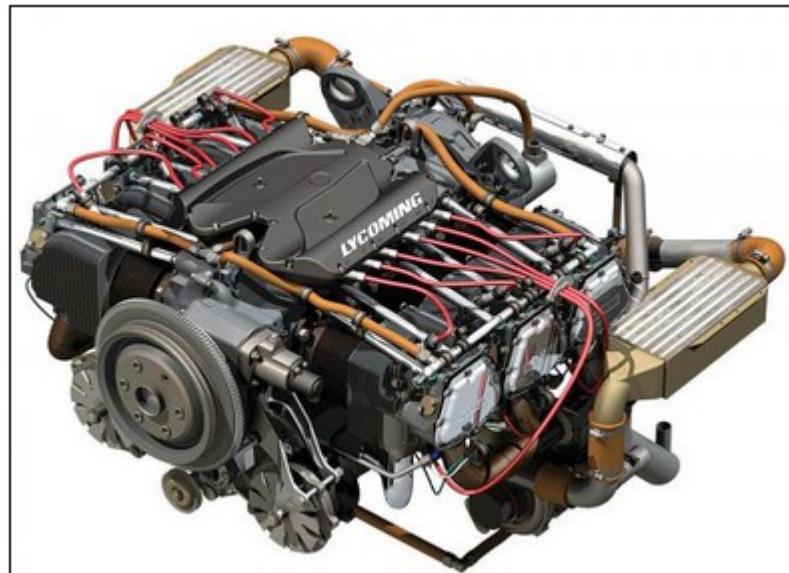


AERONAVES E MOTORES - PP



CONHECIMENTOS TÉCNICOS

ÍNDICE

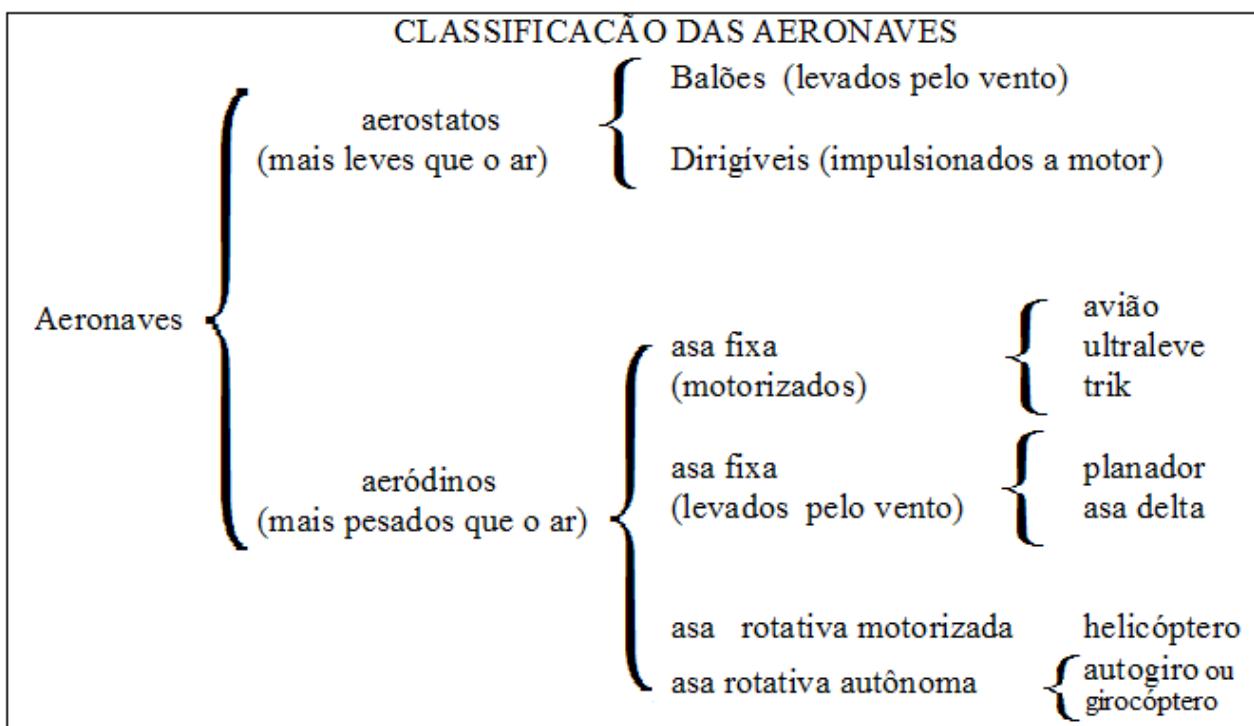
Conteúdo	página
1.AERONAVES	1
2.O AVIÃO E SEUS COMPONENTES	3
3.FORMAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA	19
4.MOTORES	59
5.INSTRUMENTOS	108
6.HÉLICES	122
7.SISTEMA DE PRESSURIZAÇÃO	124
8.SISTEMA DE CALEFAÇÃO	126
9.SISTEMA DE AR CONDICIONADO	127
10.SISTEMA DE OXIGÊNIO	131
11.SISTEMA ANTI-INCÊNDIO	133
12.SISTEMA ANTI-GELO	134
13.INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO	135

<http://www2.anac.gov.br/habilitacao/manualCursos.asp>

1. AERONAVES

1.1. Definição de aeronave: É todo aparelho capaz de se sustentar e navegar no ar.

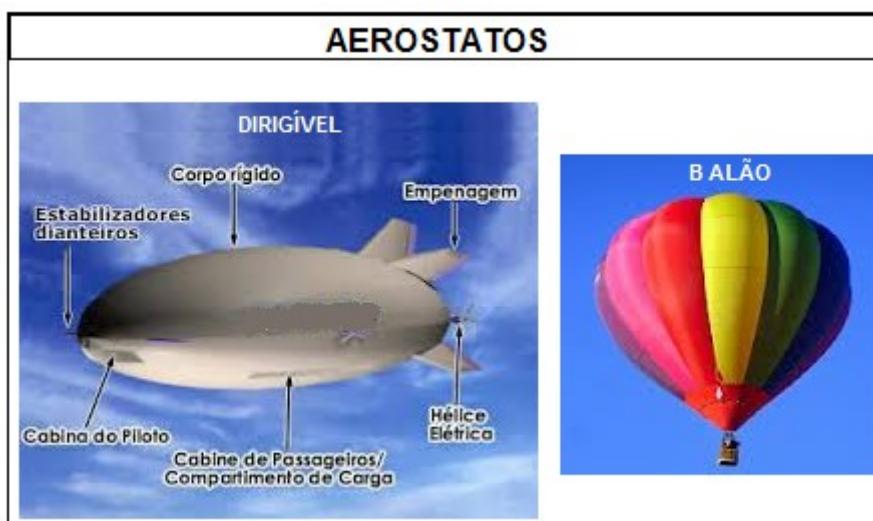
1.2. Classificação das aeronaves:



A palavra “aerostato” é composta por [aero = ar] e [statos = estático], portanto, não deve ser escrita como “aeróstato” como aparece frequentemente.

Aerostato – a sua sustentação no ar não requer que o mesmo esteja em movimento, e se dá por dois princípios da Física:

- Princípio de Arquimedes: “Todo corpo imerso em um fluido sofre um empuxo para cima, proporcional ao peso do fluido deslocado pelo corpo”.



- Princípio das densidades dos fluídos: “fluídos menos densos tendem a subir quando imersos em um fluido mais denso”. Sabe-se que a densidade dos gases diminui com o seu aquecimento, por isso, um dos meios de fazer subir um balão é com ar aquecido controladamente. A outra maneira é utilizar balões herméticos, preenchidos com gases mais leves que o ar, como Hélio ou Hidrogênio.



A palavra “aeródino” é composta por [aero = ar] e [dino = dinâmica].

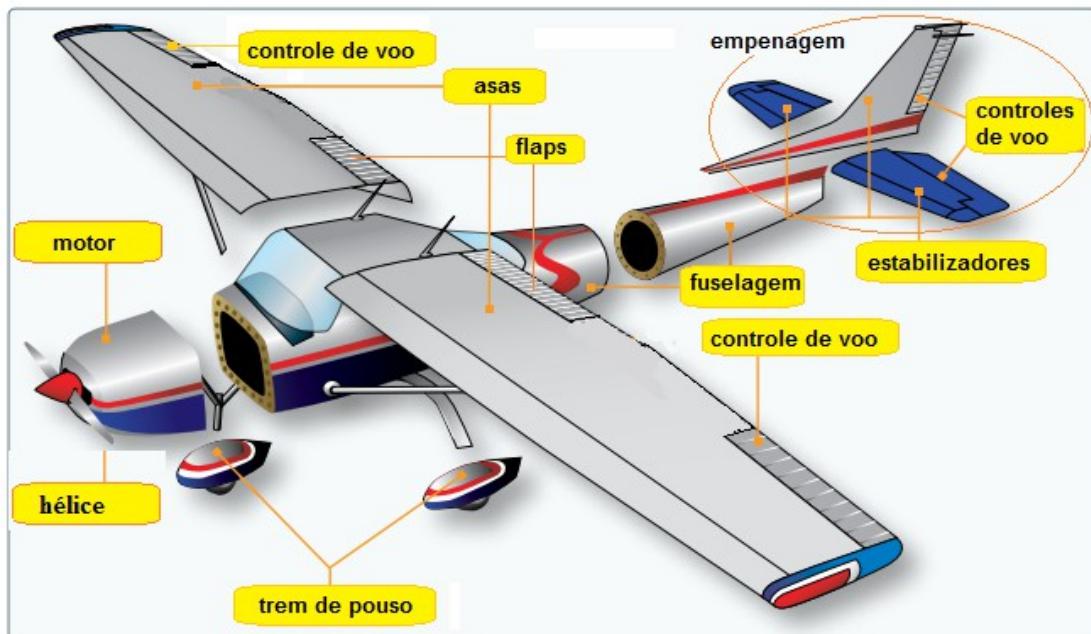
Aeródino - se sustenta em voo quando há movimento suficiente de suas asas em relação ao ar, e com ângulo de ataque adequado.

Assunto estudado em Teoria do voo.

2 - O AVIÃO E SEUS COMPONENTES

2.1 - Partes principais: O avião é composto por três grandes partes:

- Estruturas
- Grupo moto-propulsor
- Sistemas



Estururas	{ Fuselagem Empenagem (estabilizadores horizontal e vertical) Asas Superfícies de controle do voo e hipersustentadores Outros (trem de pouso, portas, escadas, janelas, etc...) }
Grupo moto-propulsor	{ Motor a explosão e hélice Motor a reação e suas variáveis. }
Sistemas	{ Combustível Elétrico Hidráulico Pneumático Climatização Anti-congelante Controles de voo Navegação Rádio }

Todos os sistemas serão detalhados adiante.

2.2. Esforços estruturais – Os esforços mecânicos impostos aos materiais provocam deformações que, de acordo com sua amplitude, podem ser revertidas, ou provoquem danos permanentes nesses materiais. Os principais tipos são:

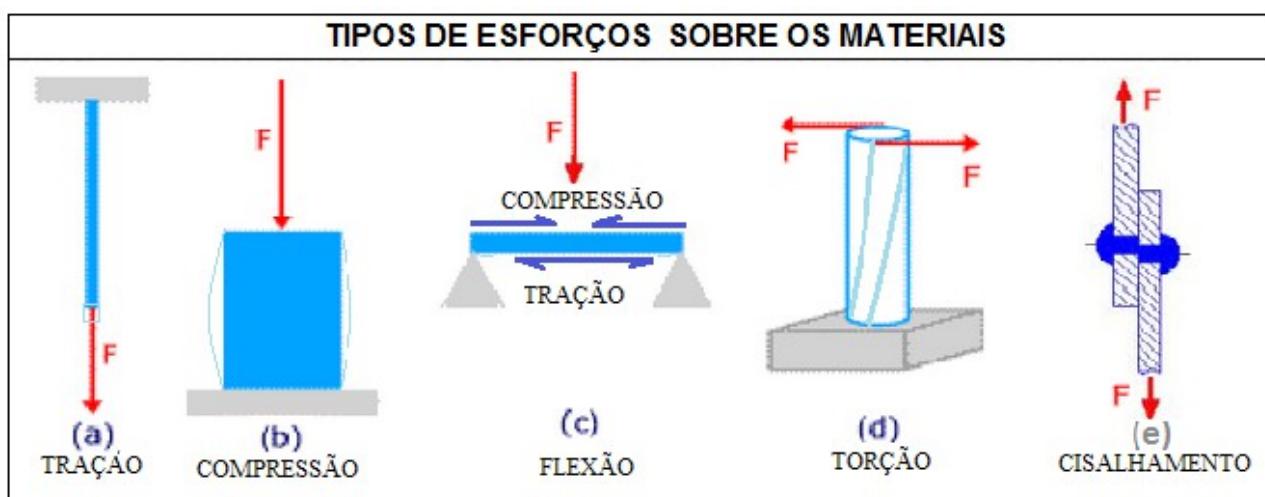
(a) *Tração* - Solicitação que tende a alongar o corpo, semelhante aos cabos de aço de um guindaste ao levantar uma carga.

(b) *Compressão* - Solicitação que tende a encurtar o corpo, no mesmo sentido da força aplicada, semelhante às colunas (pilares) de um prédio.

(c) *Flexão (flambagem)*- Solicitação que tende a curvar um corpo, tanto apoiado horizontal como verticalmente, semelhante a uma prancha flexível, entre dois apoios nas extremidades. É composta por duas solicitações antagônicas, em relação ao ponto de aplicação da força: tração, no lado oposto, e compressão, no lado da aplicação da força.

(d) *Torção*- Solicitação que tende a torcer o corpo, através de uma rotação angular (torque) sobre o eixo geométrico do corpo, semelhante ao eixo cardan dos caminhões.

(e) *Cisalhamento ou Corte*- Solicitação que tende a cortar o corpo, ocorre com o deslocamento paralelo em sentido oposto de duas seções contíguas, semelhante ao corte de uma tesoura ou guilhotina.



Uma aeronave é projetada para suportar basicamente dois tipos de cargas.

- Cargas no solo: São solicitações à estrutura da aeronave durante seu deslocamento no solo, (taxiamento, decolagem e pouso).
- Cargas em vôo: São solicitações à estrutura da aeronave durante o voo normal, em manobras, em voo sob rajadas de vento e voo sob vórtices de esteira de turbulência.

As duas classes de cargas citadas podem ser divididas em:

- Cargas de superfície: Atuam sobre a superfície da estrutura.
- Forças de corpo: Atuam sobre o volume da estrutura e são geradas pela gravidade e por efeitos de inércia.

Durante o voo, quer seja nivelado, de manobras, ou devido a uma rajada de vento, a estrutura de um avião estará sujeita às cargas aerodinâmicas, devido às diferenças de pressão encontradas nas

diversas partes do avião.

A distribuição das pressões sobre a superfície da aeronave provoca esforços de cisalhamento, tração, compressão, torção e flexão em todos os pontos dessa estrutura.

2.3. Materiais de uso aeronáutico - As partes estruturais dos aviões são construídas com materiais leves, resistentes ao estresse mecânico, flexíveis, e resistentes às intempéries.

Com essas características temos os tubos e perfis de alumínio ou de aço, que podem ser soldados. Atualmente são usados tubos e perfis de fibra de materiais compósitos, dentre os quais destacam-se os de matriz plástica reforçada com fibras de vidro ou carbono, ou ainda, as ligas de alumínio reforçadas com filamentos de boro.

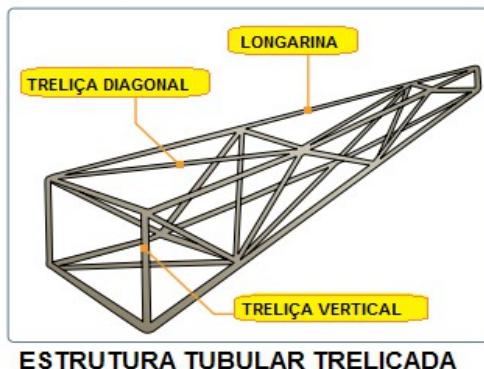
Os revestimentos dessas estruturas são feitos com chapas de alumínio, lonas, ou compósitos. A fixação dos revestimentos é feita com parafusos, rebites e adesivos.

Os preenchimentos das “paredes” da fuselagem servem para dar isolamento acústico e térmico ao ambiente interno da aeronave, e são feitos com mantas de lã de vidro ou resina de Poliuretano.

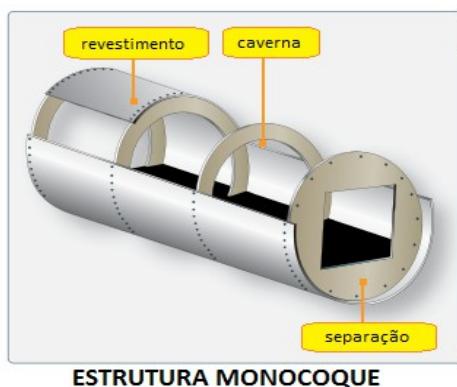
2 .4. Fuselagem - é a parte do avião onde estão fixadas as asas e a empunhadura. É a célula principal da aeronave, onde ficam os tripulantes, passageiros, cargas e todos os sistemas e dispositivos acessórios do avião.

Os três principais tipos de estrutura da fuselagem são:

- **tubular treliçada**: usada em aeronaves experimentais de pequeno porte;

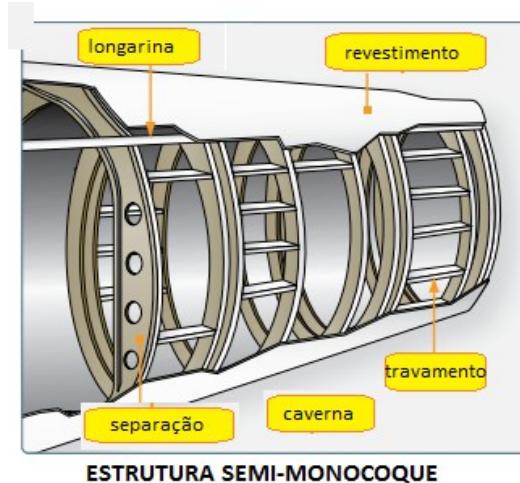


- **monocoque**: modelada por vários perfis (cavernas) em sequência, fixados pelas placas de



revestimento, que passam a compor a parte estrutural da fuselagem.

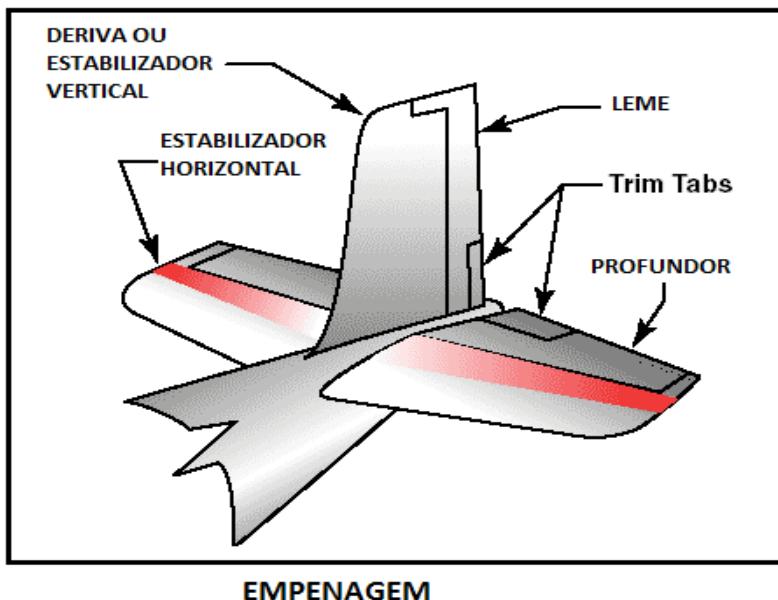
- **Semi-monocoque:** mesmo princípio da monocoque, mas dotada de várias traves e longarinas interligando as cavernas, não dependendo somente do revestimento para dar capacidade estrutural de sustentação aos esforços mecânicos.



A escolha dos materiais e do arranjo estrutural da fuselagem, depende do porte da aeronave e de sua finalidade.

2.5. Empenagem – é a parte traseira da aeronave onde estão os dois estabilizadores, vertical e horizontal, e suas respectivas superfícies de comando.

- O estabilizador horizontal faz com que a aeronave seja estabilizada horizontalmente num voo plano, ou, através dos profundores, comandadar as manobras de levantar (cabrar) ou baixar (picar) o “nariz” da aeronave.
- O estabilizador vertical (deriva) faz com que a aeronave seja estabilizada num voo reto, ou, através do leme de direção, comandadar as manobras de guinar à esquerda ou à direita.

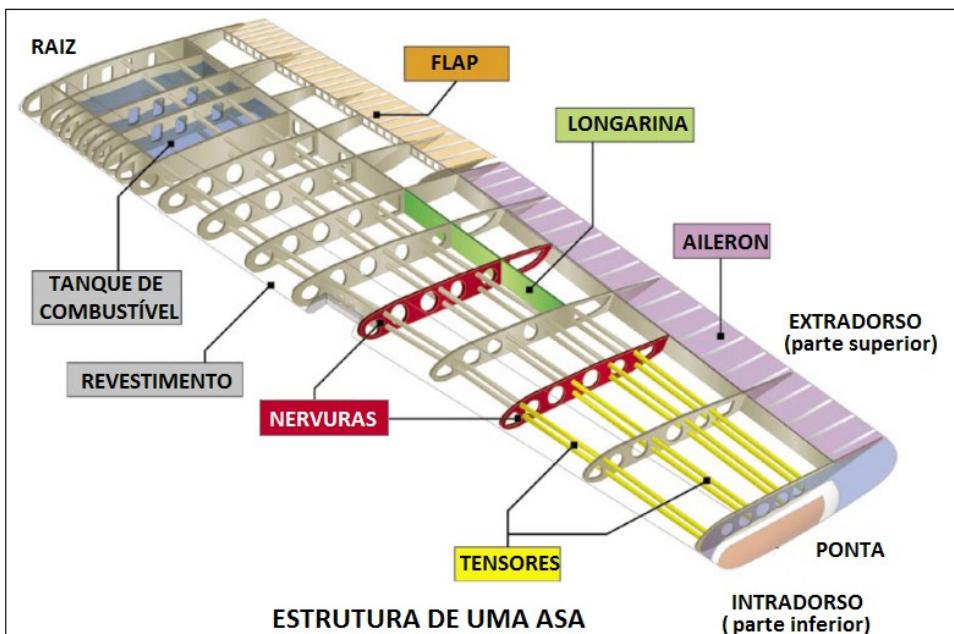


2.6. Asas – são as superfícies com perfil de aerofólio, vários formatos de plantas, e criam a sustentação da aeronave ao se deslocar no ar, acima de determinada velocidade mínima.

Assim como a fuselagem, a construção das asas tem vários arranjos estruturais, de acordo com o porte, a finalidade da aeronave, e principalmente, a sua velocidade operacional.

No espaço interno das asas ficam os tanques de combustível da aeronave.

Abaixo mostramos os principais arranjos de peças que compõem a estrutura de uma asa.



As Longarinas (spars): peças chatas, com várias formas construtivas, montadas na vertical (a cutelo), alcançam toda a extensão da asa, servem para suportar esforços verticais da sustentação e peso das aeronave.

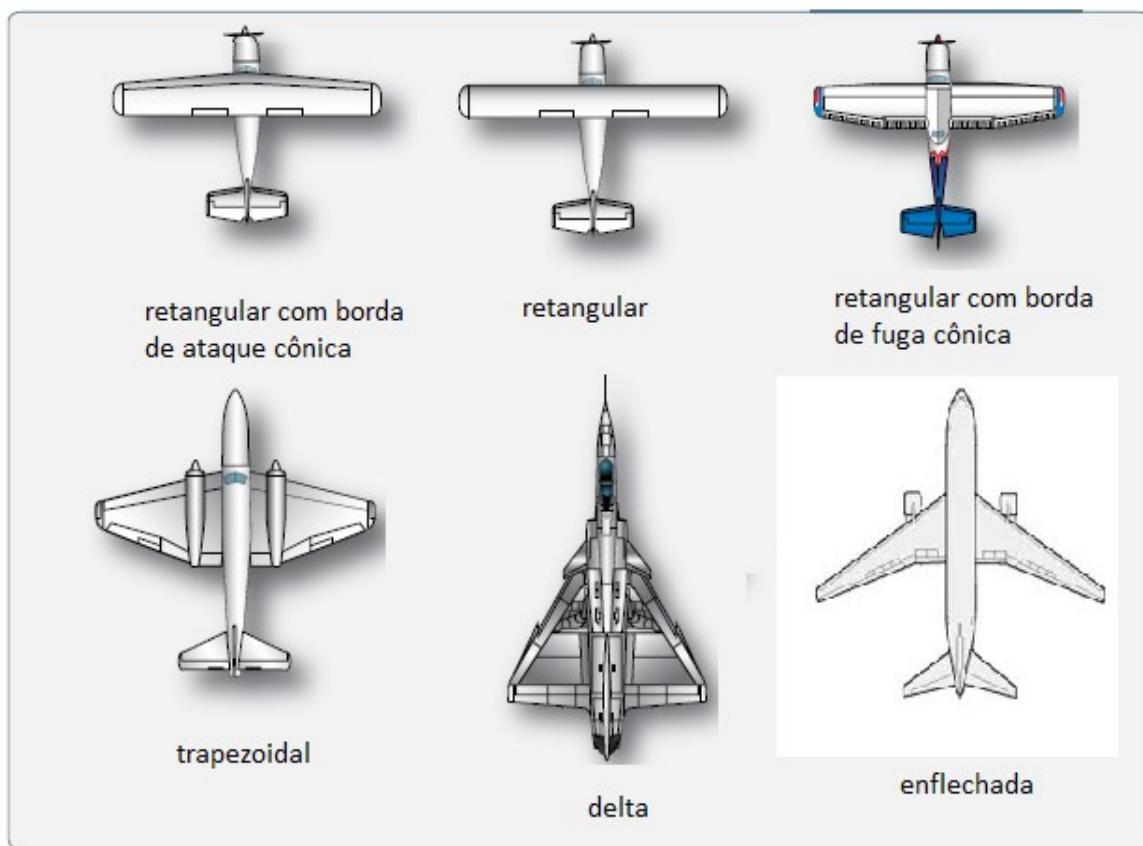
As Nervuras (ribs): peças chatas, com várias formas construtivas, também montadas na vertical e perpendiculars às longarinas, servem para distribuir a carga das longarinas e dar forma ao perfil da asa.

Estais ou tensores (stringers): peças de cabo de aço que fazem a “amarração”, completando o trabalho estrutural das longarinas, suportando os esforços de tração da asa. São montados paralelos às longarinas ou em diagonal entre as nervuras, formando “X”.

Revestimento (skin): placas de metal, plástico ou tecido impermeabilizado para compor a parte estrutural e dar acabamento à superfície, para escoamento laminar do ar.

De acordo com a utilização da aeronave, e principalmente a sua velocidade, as asas podem assumir as seguintes formas (em planta):

- Retangulares: aeronaves de pequeno porte, com propulsão por motor a explosão.
- Trapezoidais: aeronaves de pequeno porte, com propulsão por motor a explosão.
- Enflechada: aeronaves rápidas, sub-sônicas, de propulsão por jato.
- Delta: aeronaves rápidas, ultra-sônicas.



FORMAS DAS ASAS

De acordo com sua posição na fuselagem, as asas são classificadas como:

- Baixas
- Médias
- Altas

De acordo com a fixação na fuselagem, as asas são classificadas como:

- Cantilever (baixas, médias e altas) : sem braços externos de reforço.
- Semi-cantilever (altas e parasol) : com braços externos de reforço.

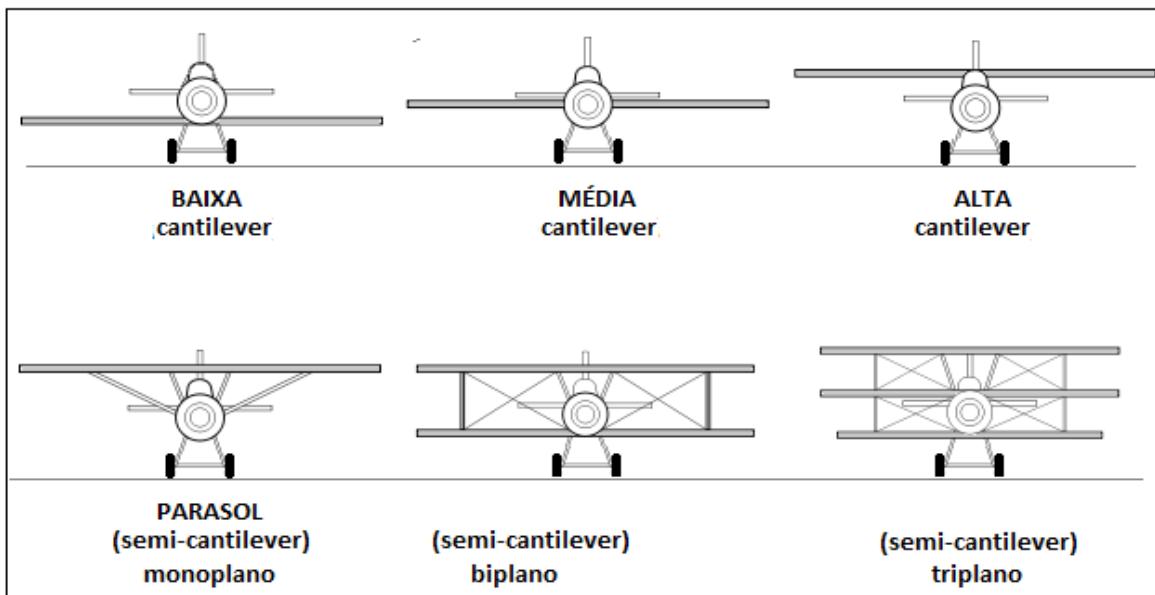
De acordo com o ângulo das asas em relação à linha horizontal, as asas podem ter:

- Diedro positivo (para asas baixas): asas inclinadas para cima.
- Diedro negativo (para asas altas): asas inclinadas para baixo.

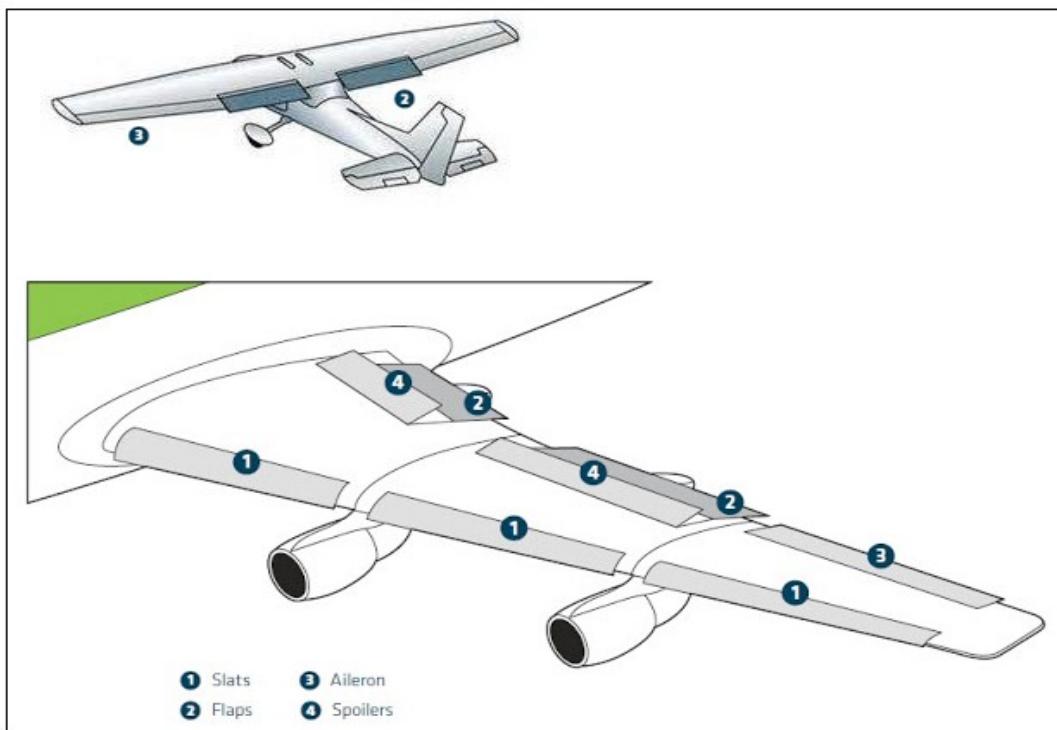
De acordo com o número de asas, as aeronaves são classificadas como:

- monoplano: uma asa.
- Biplano: duas asas sobrepostas e paralelas.

Triplano: três asas sobrepostas e paralelas.



2.7. Dispositivos hiper-sustentadores – As aeronaves a jato têm como principal característica a alta velocidade operacional, por isso, a área das asas é projetada para o caso da maior velocidade.



Mas existem dois momentos de um voo em que a velocidade de todas as aeronaves de asa fixa será muito baixa, portanto, nesses momentos, as asas devem ter uma área maior: na decolagem e no pouso. Por isso existem os dispositivos de alteração da área das asas e também do seu perfil aerofólico:

- **FLAPS** – são superfícies articuladas, podendo ser extensíveis para trás e para abaixo, aumentando a área e a forma das asas, portanto provocando maior sustentação e arrasto. São localizados na borda traseira das asas (borda de fuga), do centro para a região

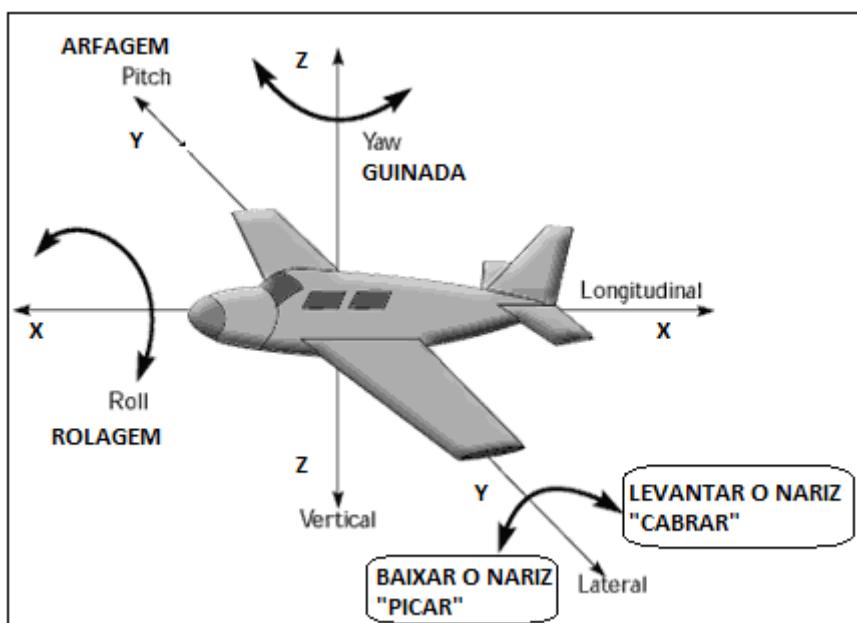
próxima à fuselagem (raiz da asa). Só podem ser utilizados em baixa velocidade. Os flaps são utilizados em todos os tipos de aviões.

- SLATS – são peças articuladas, sobrepostas à borda dianteira das asas (borda de ataque), em quase toda sua extenção, com o mesmo formato aerodinâmico das bordas, e que se expandem pra diante e para baixo. Os Slats são utilizados em aviões de alta velocidade.
- SLOTS – são fendas fixas, posicionadas paralelamente e próximas à borda dianteira das asas, utilizados em aeronaves de porte médio, com a mesma finalidade dos slats.

2.8. Comandos de voo - Um avião é um veículo que navega comandado pelo piloto que, a partir da cabine, utiliza dispositivos interligados por algum meio de transmissão de força e movimento para acionar as “superfícies de comando”.

No estudo da Empenagem e das Asas já tivemos o primeiro contato com essas superfícies, que são classificadas em:

- superfícies primárias ou atuadores.
- superfícies secundárias, ou compensadores.



Para entender o princípio dos comandos de voo é necessário posicionar o avião em um sistema de três eixos ortogonais da geometria espacial, e os respectivos movimentos da aeronave ao redor desses eixos. Os três eixos se cruzam em um ponto chamado Centro de Gravidade (CG) da aeronave:

- Eixo “x” ou eixo longitudinal – uma liha imaginária que passa pelo centro da aeronave, do nariz até a cauda.
- Eixo “y” ou eixo lateral – uma linha imaginária que passa pelas asas, de uma extremidade à outra.
- Eixo “z” ou eixo vertical – uma linha imaginária que passa perpendicularmente no ponto de cruzamento dos eixos “x” e “y”.

2.8.1. Os dispositivos que estão na cabine de comando

- **Manche (Yoke)** – a maioria na forma de semi-guidon, com movimentos para frente e para

trás e movimentos de giro à esquerda e à direita, de maneira isolada ou combinada. Pode ser também na forma de alavanca (Stick), com movimentos para frente e para trás e movimentos à esquerda e à direita, de maneira isolada ou combinada.

- Os movimentos para frente e para trás atuam nos profundos (elevators) localizados no estabilizador horizontal para a manobra de arfagem;
- Os movimentos à direita ou à esquerda atuam nos ailerons localizados nas extremidades das asas, nas bordas de fuga, para a manobra de rolagem;

Esses dispositivos são posicionados em neutro por dispositivos tensores.

Geralmente existem dois manches (ou dois sticks), um para o piloto e outro para o co-piloto. Os movimentos dos manches são interligados mecanicamente.

Alguns aviões de pequeno porte usam apenas um stick localizado no centro da cabine de comando, com a extremidade na forma de “Y” para disponibilizar os comandos tanto para o piloto, como para o co-piloto.



manche esquerdo manche direito



stick central

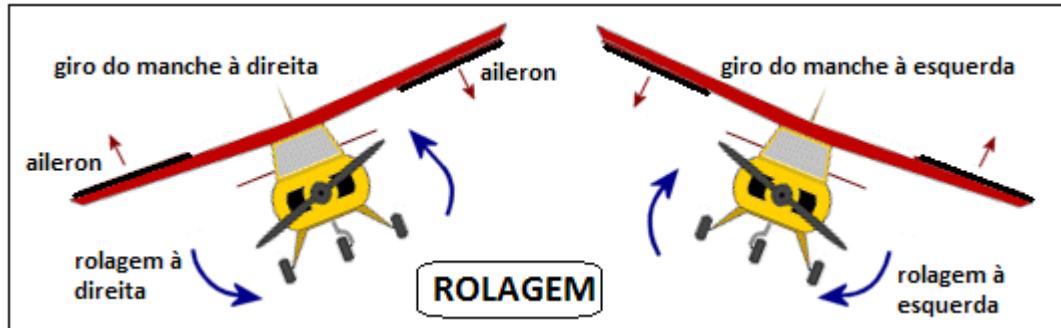
- **Dois pedais e respectivos suportes móveis** – localizados abaixo dos manches, os suportes de cada par de pedal são interligados mecanicamente e permitem fazer um movimento de gangorra (quando um vai à frente, o outro se movimenta para trás), e os pares da direita e da esquerda se movimentam juntos. A operação destes dispositivos se dá da seguinte forma:
 - A parte superior de cada pedal aciona o freio da respectiva roda do trem de pouso principal, e devem ser acionadas com a ponta dos pés. No deslocamento reto, aplicar os freios simultaneamente e nas curvas, aplicar de modo diferencial, freando a roda do lado interno da curva.
 - A parte inferior de cada par, que são os suportes, são acionados pelos calcanhares e atuam em duas funções:
 - **guinada lateral**: movimenta o leme, localizado no estabilizador vertical;
 - **manobras no solo**: controla a direção da roda secundária do trem de pouso (bequilha ou triquelha);



Os suportes dos pedais são posicionados em neutro por dispositivos tensores.

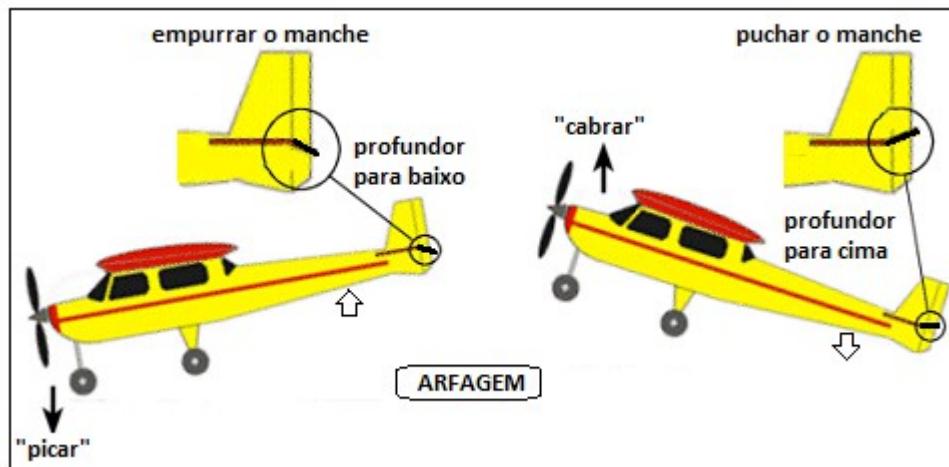
2.8.2. As superfícies de comando primárias:

- **Ailerons (Ailerons)** – localizados nas extremidades das asas, nas bordas de saída, são abas móveis, com movimentos interdependentes, se um aileron sobe, o outro desce, e com isso provocam a “rolagem” (Roll) da aeronave ao redor do eixo “x” (longitudinal).



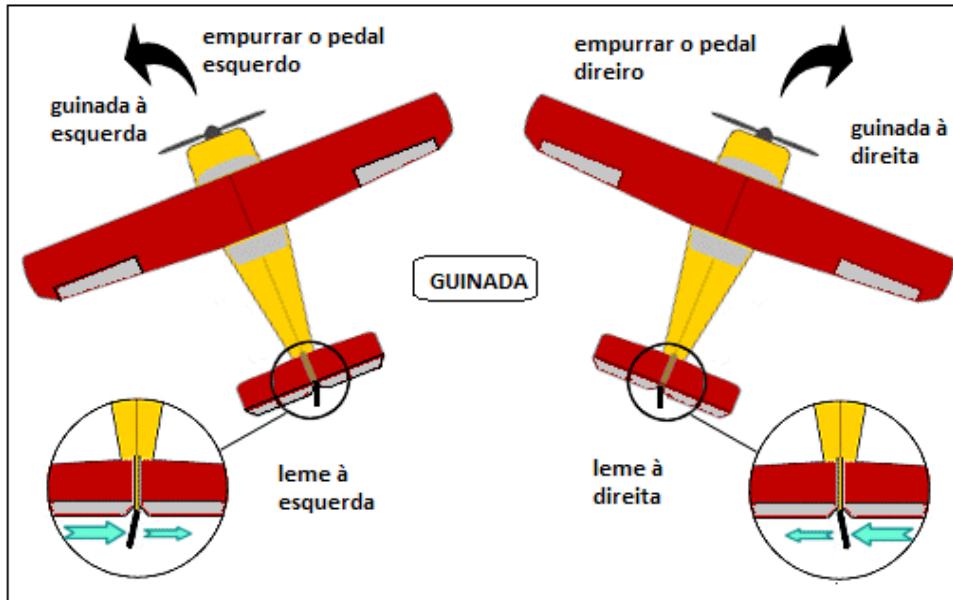
móveis, com movimentos interdependentes, se um aileron sobe, o outro desce, e com isso provocam a “rolagem” (Roll) da aeronave ao redor do eixo “x” (longitudinal). Girar o manche ou levar o stick para a esquerda leva o aileron esquerdo para cima e a asa esquerda pra baixo, e vice-versa. O movimento de rolagem da aeronave é combinado com o movimento de guinagem para fazer curvas horizontais à direita ou à esquerda. O movimento de rolagem só é feito isoladamente em acrobacias.

- **Profundores (Elevators)** – localizados nas bordas de fuga direita e esquerda dos estabilizadores horizontais, são abas móveis, com movimento simultâneo, os dois profundos atuam sincronizados, para cima ou para baixo, e com isso provocam a “arfagem” (Pitch) da aeronave ao redor do eixo “y” (lateral). Empurrar à frente o manche ou o stick leva os profundos para baixo e o nariz da aeronave para baixo (picar). Puxar o manche ou o stick para trás leva os profundos para cima e o nariz da aeronave para cima (cabrar).



- **Leme de direção (Rudder)** – localizado na borda de fuga do estabilizador vertical (deriva), é uma aba móvel, com movimentos à esquerda ou à direita o que provoca a “guinada” (Yaw) da aeronave ao redor do eixo “z” (vertical). Empurrar à frente o pedal direito (o pedal esquerdo recua junto) gira o leme para a direita e o nariz da aeronave guina à direita. Esse

movimento é combinado com a rolagem da aeronave para o mesmo lado, para fazer curvas horizontais. O movimento de guinada feito isoladamente coloca em risco a sustentação da aeronave.



- **Spoilers** – localizados no extradorso das asas, são abas móveis, no mesmo plano da superfície superior das asas, que se levantam pela parte traseira, criando uma força de arrasto. Têm três utilizações:
 - em voo: são acionados simultaneamente nas asas direita e esquerda, num curso controlado pelo piloto, para aumentar o arrasto, e assim, forçar as aeronave a descer mais rapidamente numa manobra de aproximação, por exemplo.
 - Em voo: podem ser utilizados individualmente nas curvas horizontais, junto com o aileron da asa do lado da curva.
 - No momento do pouso: são acionados simultaneamente, em curso total, para atuarem como freios aerodinâmicos.



spoilers utilizados em voo



spoilers utilizados no pouso

2.8.3. Superfícies de comando secundárias (compensadores) – são pequenas abas móveis que ficam na borda de saída da respectiva superfície de comando primária. Geralmente são movimentadas em sentido contrário à superfície primária, para a proveitar a força aerodinâmica

contrária, com dois objetivos:

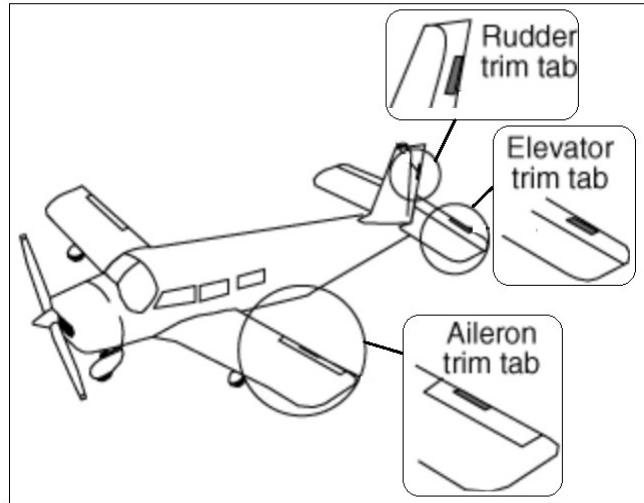
- minimizar o esforço para movimentar a superfície primária;
- fazer a compensação da posição da superfície primária, posicionando-a automaticamente de acordo com as demandas aerodinâmicas do voo. (assunto detalhado na apostila Teoria do voo)

2.8.4. As superfícies de comando secundárias podem ser dos tipos:

- Compensadores fixos - só podem ser ajustados no solo;
- Compensadores comandáveis - podem ser ajustados pelo piloto durante o voo, a partir da cabine, para ajuste fino da superfície primária (trimagem);
- Compensadores automáticos – acionados pelo movimento da superfície primária;

Verificações e ajustes nos comandos de voo – nas aeronaves de pequeno porte o mecânico deve verificar o seguinte:

- Alinhamento dos comandos – colocar todos os compensadores em “neutro”, assim como o manche ou stick e pedais. Verificar se todas as superfícies secundárias e primárias estão “centradas”. Caso necessário, fazer as devidas correções.
- Verificação dos batentes – os batentes têm como objetivo limitar os cursos de atuação dos comandos, para se evitar manobras com excesso de carga “g” (peso gravitacional), o que pode danificar a aeronave ou provocar acidente. Respeitar as recomendações do fabricante da aeronave.
- Verificação e ajustes na tensão dos cabos: cabos frouxos provocam mal funcionamento e oscilações nas superfícies de comando, enquanto cabos muito tensionados provocam “emperramento” dos movimentos e danos em polias e no próprio cabo.
- Verificação e correção de balanceamento – algumas superfícies de comando principais são dotados de mecanismo (peso com posição regulável) para balanceamento. Essa verificação deve ser feita sempre que houver pancadas, deformações ou repintura dessas superfícies.



2.9. Trem de pouso (Landing gear) – O trem de pouso de uma aeronave de asa fixa consiste de unidade principal e auxiliar.

A unidade principal forma o mais importante apoio da aeronave no solo ou na água, e pode incluir alguma combinação de rodas, flutuadores, esquis, equipamentos, amortecedores, freios, mecanismos de retração com controles e dispositivos de aviso, carenagens, acabamentos e membros estruturais necessários para fixar algum dos itens citados à estrutura da aeronave.

As unidades auxiliares do trem de pouso dos aviões terrestres consistem de instalações para roda do nariz (triquilha) ou de cauda (bequilha).

Os aviões anfíbios, hidroplanos ou especiais para neve são dotados de flutuador principal, flutuadores auxiliares, esqui, etc, com os necessários reforços e carenagens.

A direção dos aviões terrestres nas manobras de taxiamento e decolagem é feita com as unidades auxiliares (bequilha ou triquilha) e nos aviões anfíbios ou hidroplanos, com lemes instalados nos flutuadores principais.

2.9.1. Quanto ao local de pouso e decolagem, os aviões podem ser:

- Terrestres – utilizam trem de pouso.
- Hidroplanos – exclusivos para água, utilizam somente flutuadores.
- Anfíbios – operam tanto em solo como na água e utilizam flutuadores e trem de pouso.



2.9.2. Quanto ao arranjo das rodas, os trens de pouso podem ser de dois tipos:



- **Convencional:** duas rodas principais dianteiras, posicionadas à frente do Centro de Gravidade (CG) e uma roda auxiliar traseira (bequilha). Este tipo de trem de pouso é encontrado em alguns aviões antigos. Em solo, o avião fica com a cabine muito elevada em relação à cauda, dificultando a visão da pista à frente, além de deixar as asas com um ângulo de ataque muito elevado. O taxiamento é feito somente com a visão lateral da pista, e a corrida para decolagem tem que ser feita com a cauda levantada e o leme atuando como elemento de controle da direção, em vez da rodinha traseira. No pouso, deve-se evitar o toque brusco do trem principal (dianteiro) para não haver o “capotamento à frente” ou pilonagem. (ver pouso em três pontos na apostila Teoria do voo).
- **Tricíclo:** uma roda auxiliar dianteira (triquilha) e duas rodas principais traseiras, posicionadas atrás do Centro de Gravidade (CG). É o tipo mais em uso. Em solo, o avião

fica praticamente nivelado, permitindo perfeita visão da pista tanto para taxiar como para decolar. No pouso, o trem principal (traseiro) é que toca inicialmente no solo, e praticamente não há risco de pilonagem.

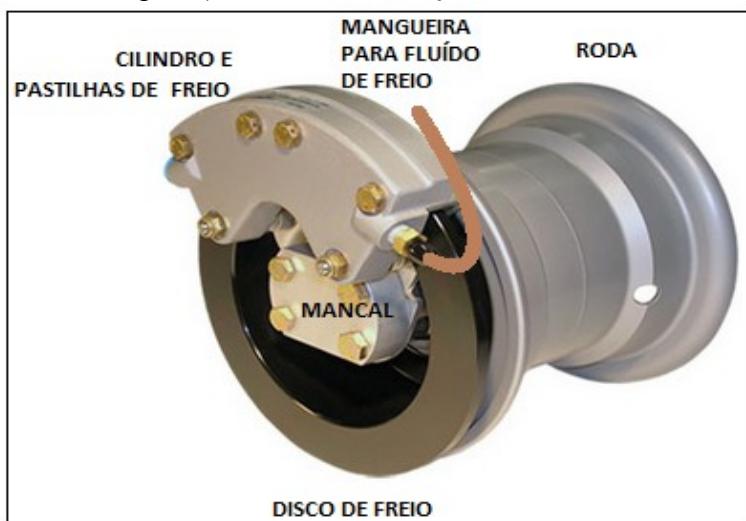
2.9.3. Quanto ao recolhimento após a decolagem, os trens de pouso podem ser:

- Fixos – sem movimentação após a decolagem. Usados em aeronaves de baixa velocidade.
- Retráteis – recolhem-se até encostar na fuselagem. Usados em aeronaves de média velocidade.
- Escamoteáveis – recolhem-se totalmente para compartimentos fechados por uma tampa na fuselagem. Usados em aeronaves de alta velocidade.

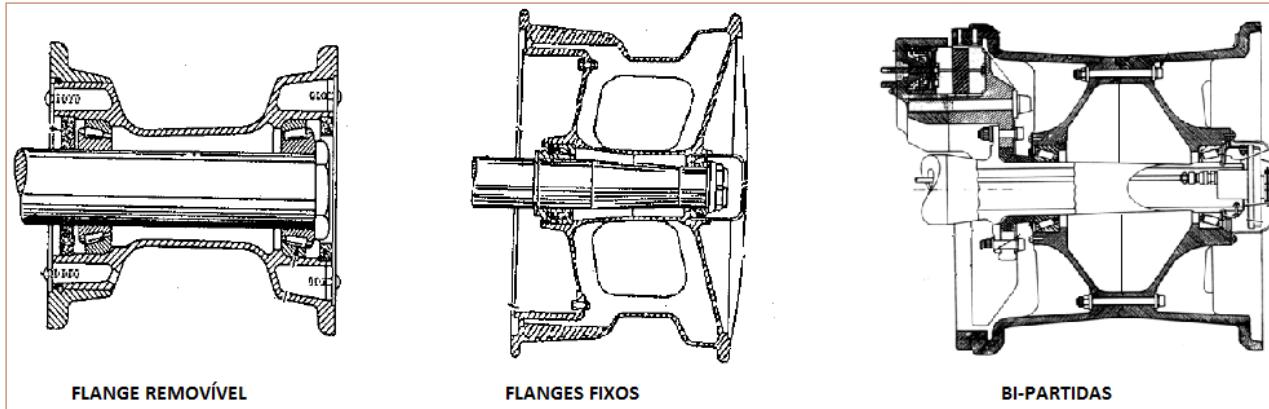
Os trens de pouso retráteis ou escamoteáveis devem ter sinalização na cabine indicando se estão abaixados ou recolhidos, e também travados, nas duas situações.

2.9.4. Principais partes dos trens de pouso:

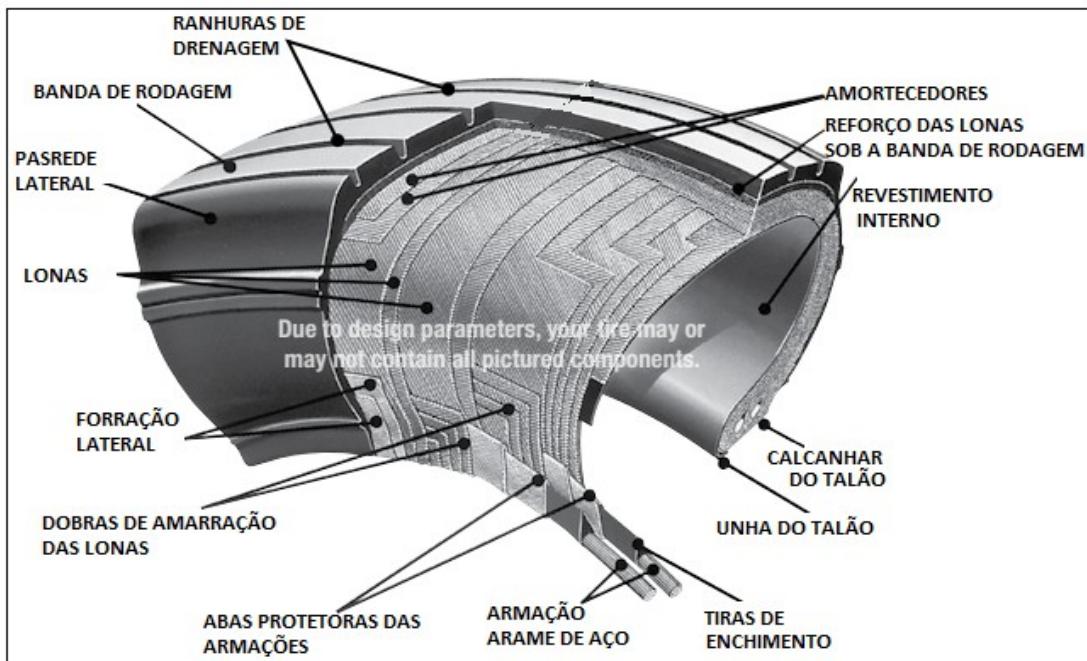
- I. Suportes principais (pernas de força) – Existem em aviões de todos os portes, e nas aeronaves de pequeno porte são as hastes de suporte das rodas do conjunto principal, e podem ser:
 - Hastes de aço, rígidas, articuladas no ponto de fixação à fuselagem, permitindo um movimento de afastamento das rodas (desvantagem) quando estiverem trabalhando no solo. Essa bertura é amortecida por tirantes de borracha, interligando as duas pernas, e com isso, consegue-se algum amortecimento de impacto no pouso ou nas manobras em solo.
 - Hastes de aço, flexíveis, fixadas rigidamente na fuselagem, mas que produzem um pouco de amortecimento de impacto no pouso ou nas manobras em solo.
- II. Dispositivo mecânico para guiar o trem auxiliar nas manobras de solo.
- III. Eixos e mancais: servem para suportar as rodas.
- IV. Freios: somente as rodas do trem de pouso principal são dotadas de freio, que pode ser de lonas/tambor ou pastilhas/disco, com acionamento por sistema hidráulico, permitindo manobras no solo através da frenagem diferencial ou assimétrica. A função “freio de estacionamento” é comandada por dispositivo exclusivo, e utiliza as mesmas partes (atuador, pastilhas ou sapatas) do freio de serviço.



V. Rodas: são os suportes dos pneus. No trem de pouso principal, são montadas junto com os discos de freio. Existem três tipos: Rodas bipartidas (é o tipo mais popular), flange removível e rodas com calha central e flange fixo.



VI. Pneus: são de construção exclusiva para uso aeronáutico, adequados para cada tipo de aeronave. Podem ser de alta ou baixa pressão e com ou sem câmara de ar.



Nas aeronaves de médio e grande porte, o trem de pouso principal e o auxiliar passam a ter outras configurações, pois ganham conjuntos de amortecedores hidráulicos ou hidro-pneumáticos, idênticos aos utilizados nos automóveis, além de outros dispositivos, como suportes articulados, braços estabilizadores e amortecedores de chimmy (oscilações laterais durante corridas de pouso ou decolagem) no trem auxiliar.

VII. Braços de torque (tesouras) : feitos com barras articuladas, são utilizados quando há amortecedores no prolongamento do suporte principal da roda. Servem para manter o alinhamento.

VIII. Amortecedores: servem para amortecer impactos no pouso e nas manobras de solo.

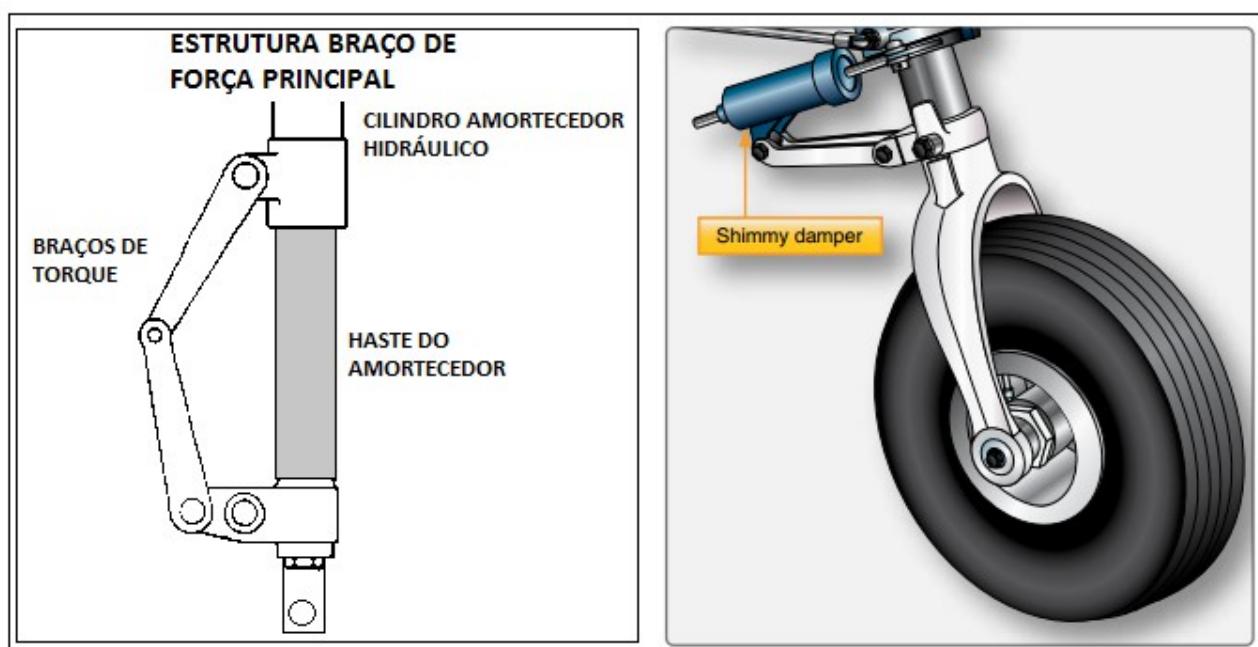
IX. Compensadores chimmy: utilizados no trem auxiliar pois este é dotado de mecanismo de direção, portanto o suporte da roda é pivotado e tende a oscilar quando a aeronave ganha velocidade no solo. Trata-se de um pequeno amortecedor hidráulico, fixado horizontalmente,

de forma a neutralizar o movimento de “s” .

IX. Compensadores chimmy: utilizados no trem auxiliar pois este é dotado de mecanismo de direção, portanto o suporte da roda é pivotado e tende a oscilar quando a aeronave ganha velocidade no solo. Trata-se de um pequeno amortecedor hidráulico, fixado horizontalmente, de forma a neutralizar o movimento de “s” .

X. Dispositivo hidráulico para guiar o trem auxiliar nas manobras de solo.

XI. Dispositivo para baixar/recolher: são utilizados nos trens de pouso retráteis ou escamoteáveis, geralmente com acionamento elétrico ou hidráulico, mas dotados de recurso para acionamento manual, em caso de emergência. Estes conjutos devem ter sinalização na cabine indicando se estão abaixados ou recolhidos, e também travados nas duas situações.



2.9.5. Quanto à forma de pousar ou decolar, os aviões são classificados em:



- VTOL (vertical take-off and landing) – decolagem e pouso verticais, como os helicópteros.
- STOL (short take-off and landing) – decolagem e pouso curtos.
- CTOL (conventional take-off and landing) – decolagem e pouso convencionais.

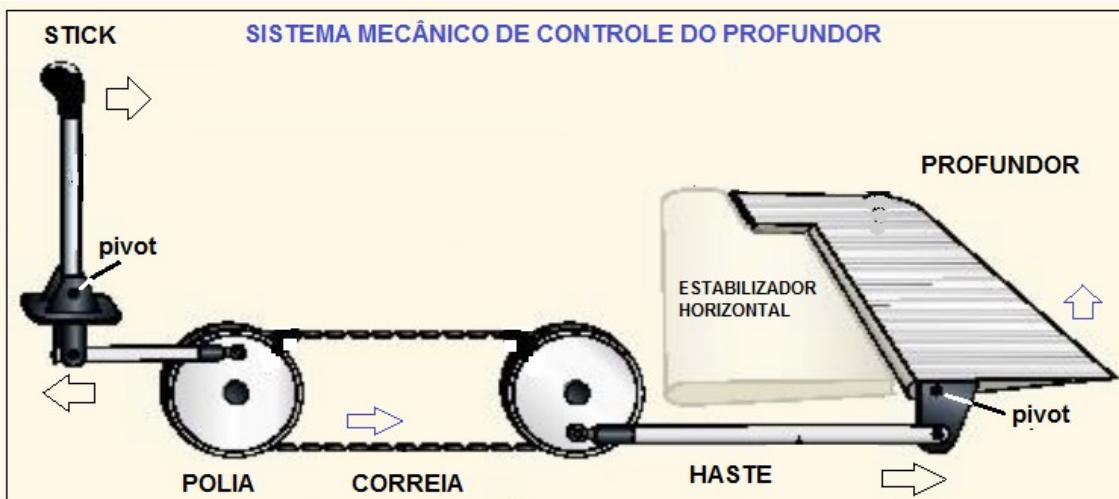
3 - FORMAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA

Existem três formas de transmissão de energia (força e movimento) para aplicações em equipamentos:

- I. **Sistema Mecânico:** alavancas, engrenagens, cremalheiras, polias, eixos, mancais, buchas, correntes, correias, cabos flexíveis, esticadores, batentes, comutadores, excêntricos, manivelas, volantes, molas, etc...
- II. **Sistemas Fluídicos:**
 - Sistema Pneumático: Venturi, bomba de vácuo, compressor, reservatórios, purificadores, tubulações, válvulas, atuadores lineares, motores, instrumentos, etc...
 - Sistema Hidráulico: Bombas, reservatórios, purificadores, tubulações, válvulas, atuadores lineares, motores, instrumentos, etc...
- III. **Sistema Elétrico:** geradores, transformadores, condutores elétricos, comutadores, controladores, proteções, motores, iluminação, atuadores, sensores, sinalizadores, processadores, monitores, instrumentos, etc...

3.1. Sistema mecânico - o sistema de acionamento mecânico, usado nos pequenos aviões é o ideal pela sua simplicidade, por ser barato, confiável, durável e de fácil manutenção. São utilizados para movimentar as superfícies de comando.

Exemplo de sistema mecânico utilizado em aviões de pequeno porte: controle do profundo.



Os mecanismos deste tipo não podem ser usados em aviões de médio e grande porte por envolver maiores distâncias entre o ponto de comando e o ponto de atuação, assim como o aumento das forças necessárias para atuar os elementos de controle.

3.2. Sistemas fluídicos - Os dois sistemas fluídicos, hidráulico ou pneumático, são regidos pela Lei de Pascal:

A pressão aplicada em um fluido estático e confinado em um recipiente, é a mesma em todas as direções e exerce forças (F) iguais, em áreas (A) iguais, sempre perpendiculares à superfície desse recipiente.

Definições fórmulas e unidade de medida:

Pressão – Força dividida pela área.

$$P = F / A$$

Unidade de medida de Pressão: Pascal = 1 N / m².

Outras unidades de medida relacionadas:

$$1 \text{ Kgf} / \text{cm}^2 = 98066,52 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Kgf} / \text{cm}^2 = 0,98 \text{ bar}$$

Relação entre Áreas (A), Forças (F) e deslocamentos (s) – considerando um sistema fluídico simples, com pressão P igual em todos os pontos, onde temos um cilindro primário, com área do êmbolo A1, submetido a uma força F1 e que se desloca no espaço s1, e do outro lado, um cilindro atuador secundário, com área do êmbolo A2, entregando uma força F2 e que se desloca no espaço s2, teremos as seguintes relações matemáticas:

$$A_2 / A_1 = F_2 / F_1$$

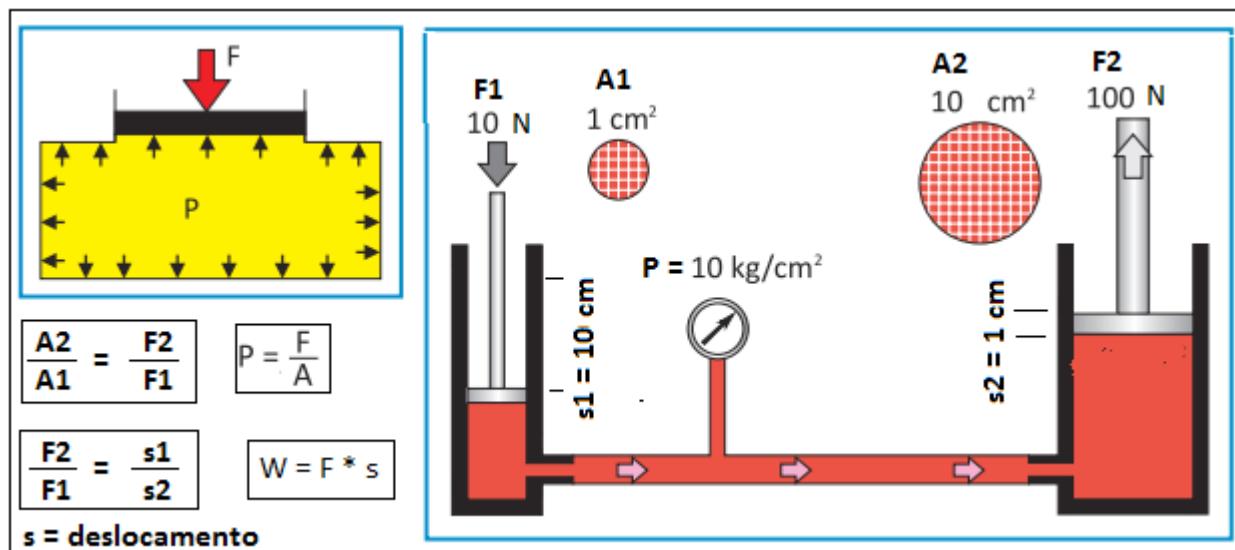
$$F_2 / F_1 = s_1 / s_2$$

Rendimento Mecânico do sistema ou ganho de força (*r*) – Como os sistemas geralmente são projetados para prover um ganho de força, teremos sempre A1 menor do que A2, e com as relações matemáticas acima, podemos intuir que o Rendimento Mecânico (*r*) é um número adimensional, e será maior do que 1 (*r* > 1) quando houver ganho de força, e será diretamente proporcional à relação entre a área do êmbolo do cilindro atuador e a área do êmbolo do cilindro primário, ou à relação entre a força resultante e a força aplicada:

$$r = A_2 / A_1$$

ou

$$r = F_2 / F_1$$



Nota: a figura acima representa o *princípio de funcionamento* do freio dos automóveis ou das aeronaves de pequeno porte.

Nesse sistema, o deslocamento (s) do êmbolo atuador, com área maior (A2), em relação ao êmbolo primário, de área menor (A1), será *inversamente proporcional ao rendimento mecânico*:

$$s_2 = (F_1 * s_1) / F_2 \quad \text{ou}$$

$$s_2 = (A_1 * s_1) / A_2$$

Portanto haverá uma perda de deslocamento do êmbolo de maior área (A2), em relação ao de menor área (A1), na mesma proporção do rendimento mecânico.

Exemplo

Dados: A1 = 0,01 m² ; A2 = 0,1 m² ; F1 = 5 N ; s1 = 0,2 m;

Pedem-se: F2, r e s2

$$\text{Cálculo de } F2 \implies F2 = (A2 * F1) / A1 \implies F2 = (0,1 * 5) / 0,01 \implies F2 = 50 \text{ N}$$

$$\text{Cálculo de } r \implies r = A2 / A1 \implies r = 0,1 / 0,01 \implies r = 10$$

$$\text{Cálculo de } s2 \implies s2 = (F1 * s1) / F2 \implies s2 = (5 * 0,2) / 50 \implies s2 = 0,02 \text{ m}$$

Nota-se claramente que a perda de deslocamento do êmbolo de área A2, em relação ao êmbolo de área A1, foi de 10 vezes, na mesma proporção do ganho de força.

3.2.1. Sistema hidráulico – utiliza fluído hidráulico líquido, cujos tipos mais comuns para uso industrial, são:

1. óleo mineral aditivado com substâncias apropriadas;
2. líquido composto de água/glicol.

As características do óleo hidráulico mineral, são:

- uma combinação de um óleo de base e de demais aditivos (antidesgaste, detergentes, antioxidantes, antiespuma, inibidores de corrosão, entre outros).
- Pode entrar em combustão quando pulverizado (por vazamentos sob pressão) em locais submetidos a altas temperaturas (tubos de escapamento ou exaustor de turbina), ou centelhamento (curto-círcuito elétrico, fagulhas produzidas pelo atrito de aço com abrasivo, etc.).
- Grande poder de lubrificação das peças móveis do seu sistema.
- Não danifica as vedações standard dos componentes do seu sistema.
- É tóxico;
- Agide o meio ambiente quando vaza para o solo ou águas;

As características do fluido composto de água/glicol:

- Os fluidos hidráulicos à base de água e glicol sintético contêm de 35% a 60% de água em forma de solução (não emulsão), além de aditivos (antiespuma, anticongelante, inibidores de corrosão e ferrugem e antidesgaste).
- Não entra em combustão;
- Menor capacidade de lubrificação das peças móveis do seu sistema.
- Danifica as vedações standard dos componentes do seu sistema, demandando vedações de material adequado.
- não são tóxicos;
- são biodegradáveis.
- sua escala de temperatura é relativamente baixa: de 0 ° C a 49 ° C.
- A evaporação da água causa a deterioração das suas propriedades;

Componentes de um sistema hidráulico complexo (dependendo da aplicação, um sistema pode ter menos componentes do que aparece na lista abaixo):

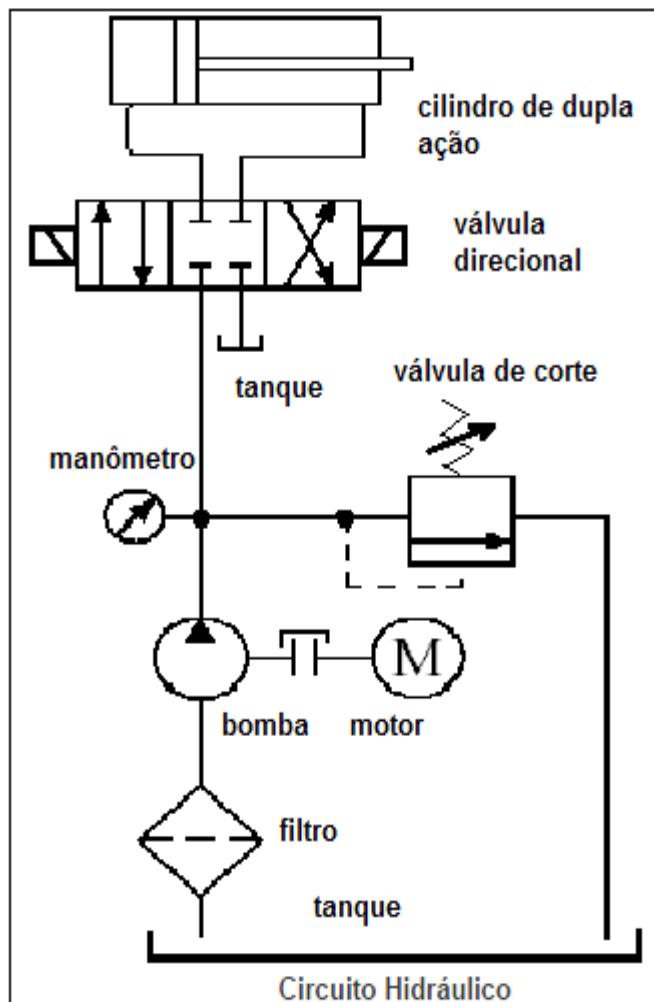
- reservatório e fluído;
- sensores e instrumentos para indicação de nível e temperatura do fluido e indicadores de obstrução de filtros;
- bomba principal;
- bomba manual de emergência;
- radiador de calor do fluido;
- filtro na liha de pressão;
- filtro na linha de sucção;
- filtro na linha de retorno;
- válvulas de retenção;
- válvulas by-pass nos filtros;
- válvula reguladora da pressão de trabalho do sistema;
- válvula limitadora da pressão máxima do sistema;
- acumuladores;
- válvulas direcionais manuais de controle dos atuadores;
- válvulas direcionais elétricas de controle dos atuadores;
- válvulas proporcionais para controle de posicionamento de precisão dos atuadores;
- tubulações rígidas e mangueiras;
- elementos de conexão e derivação;
- elementos atuadores lineares: cilindros;
- elementos atuadores rotativos: motores;
- sensores de posição dos atuadores;
- elementos eletrônicos de controle;
- botoeiras elétricas para acionamento de bomba e de válvulas;
- indicadores luminosos de posição dos atuadores;
- indicadores luminosos e sonoros de alarmes;

Vantagens do sistema hidráulico aplicado nos aviões:

- pouco peso em relação à capacidade de transmissão de energia;
- facilidade de instalação;
- simplicidade de inspeção;
- requisitos mínimos de manutenção;
- operação eficiente e segura;

O sistema hidráulico de um avião atende a diversas funções:

- descida e recolhimento dos trens de pouso;
- movimentação dos flaps, slats e spoiles;
- freios das rodas do trem de pouso;
- movimentação das superfícies de controle do voo: leme, ailerons e profundor;



3.2.2. Sistema pneumático – É o sistema dedicado a manipular o ar atmosférico para produção de trabalho.

3.2.2.1. Produção de vácuo - os instrumentos giroscópicos funcionam a partir da rotação do volante, e para isso, uma linha de vácuo é ligada ao corpo do instrumento para fazer girar esse volante com altíssima velocidade. Existem duas maneiras de implementação destes sistemas para produção de vácuo:

- tubo de Venturi em aeronaves de pequeno porte;
- bomba de vácuo em aeronaves de médio e grande porte;

3.2.2.2. O tubo de Venturi - é um artefato muito simples, constando de um tubo dotado de um estreitamento da sua seção somente em determinado ponto, e em seguida sua seção original é restaurada.

Sua utilização para geração de vácuo baseia-se no Princípio de Bernoulli: “um fluido em circulação num tubo, sob determinada pressão e velocidade de escoamento, ao passar por um “estrangulamento” da seção desse tubo, nesse ponto de estrangulamento a velocidade de escoamento aumenta e a pressão diminui”. Ao passar o estrangulamento, tanto a velocidade como

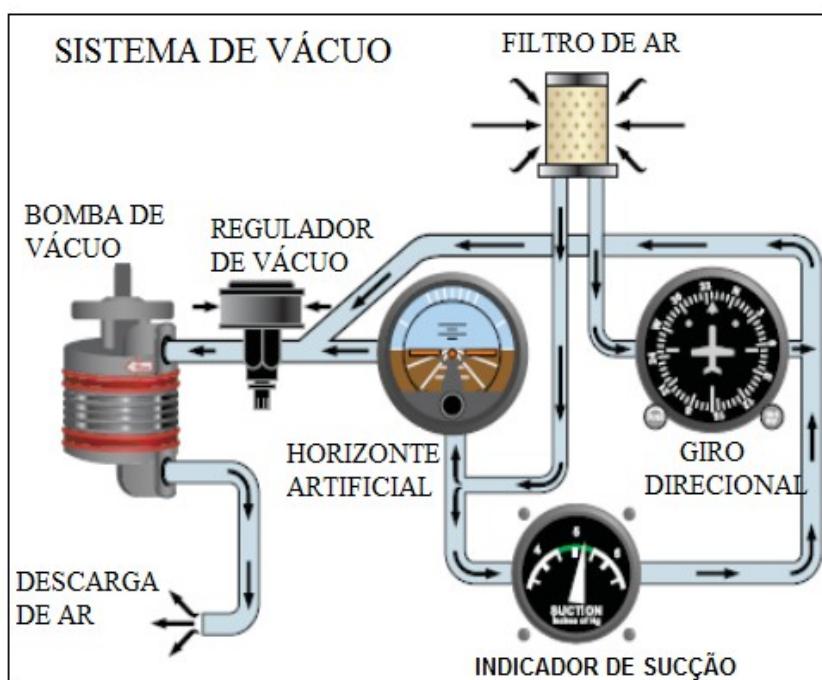
a pressão voltam aos valores iniciais.



A tomada de vácuo é feita exatamente no centro do estrangulamento do tubo, conforme visto na figura, através de tubulação que vai interligar os instrumentos dotados de dispositivo giroscópico. Esses instrumentos têm suas carcaças ligadas ao ar ambiente, para haver a circulação de ar a partir de cada instrumento, imerso na pressão atmosférica ambiente, para o tubo de Venturi, onde há uma pressão menor.

A localização do tubo (ou tubos) de Venturi é sempre num local capaz de receber o fluxo de ar produzido pela hélice, de forma que o funcionamento dos instrumentos se inicie antes mesmo da aeronave estar em voo.

3.2.2.3. Bomba de vácuo – É uma bomba em que a linha de sucção (pressão menor do que a



pressão atmosférica ambiente) é utilizada para acionar os instrumentos com dispositivo giroscópico. Depende de uma fonte de energia (motor) para seu acionamento, por isso pode ser acoplada a um motor (hidráulico ou elétrico) exclusivo, ou pode ser acoplada ao motor principal da aeronave.

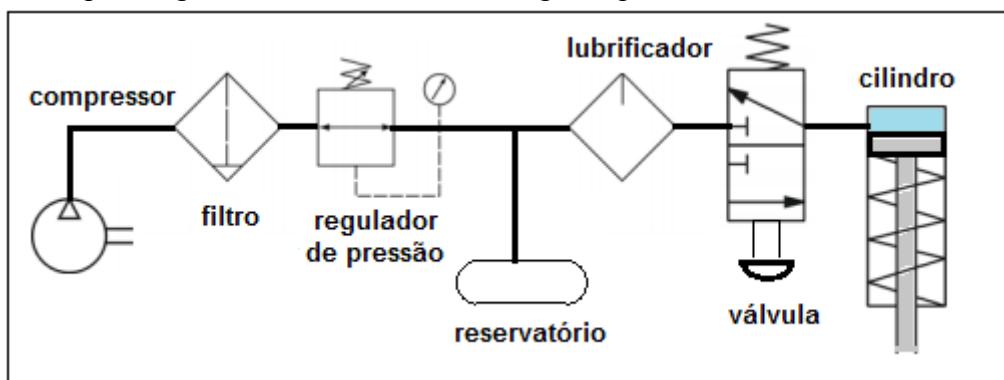
3.2.2.4. Sistema de ar comprimido

Nos aviões de grande porte o ar comprimido é utilizado para:

- inflar as “botas” de degelo nas bordas de ataque das asas;
- pressurização de cabines;
- sistema de ar condicionado;
- operação de portas;
- emergência (backup) de alguns sistemas hidráulicos;
- pressurização do reservatório do sistema hidráulico;
- pressurização do sistema de água;
- sistema de ar condicionado;
- partida dos motores;

Quanto à pressão os sistemas pneumáticos dos aviões são classificados em:

- Baixa pressão: ar comprimido produzido no próprio avião, com pressão entre 1 e 10 psi.
- Média pressão: ar comprimido produzido no próprio avião, com pressão entre 100 e 150 psi.
- Alta pressão: ar comprimido estocado em garrafas, e quando necessário, é utilizado por curto tempo. As garrafas vazias serão recarregadas por unidades externas, no solo.



Os sistemas pneumáticos produtores de ar comprimido utilizam os seguintes componentes (dependendo da aplicação, um sistema pode ter menos componentes do que aparecem na lista abaixo, que representa um sistema complexo):

- reservatório de ar comprimido;
- sensores e indicadores das diversas pressões do sistema;
- sensores e indicadores de obstrução de filtros;
- filtros de sucção do ar;
- compressor;
- válvula limitadora da pressão máxima do sistema;
- tomada para utilização de ar comprimido no solo;
- radiador de calor do ar comprimido;
- separador de água;
- dosador de óleo;
- válvulas de retenção;
- válvulas by-pass nos filtros;
- válvula reguladora da pressão de trabalho do sistema;

- válvula limitadora da pressão máxima do sistema;
- válvulas direcionais manuais de controle dos atuadores;
- válvulas direcionais elétricas de controle dos atuadores;
- tubulações rígidas e mangueiras;
- elementos de conexão e derivação;
- elementos atuadores lineares: cilindros;
- elementos atuadores rotativos: motores;
- sensores de posição dos atuadores;
- elementos eletrônicos de controle;
- botoeiras elétricas para acionamento do compressor e de válvulas;
- indicadores luminosos de posição dos atuadores;
- indicadores luminosos e sonoros de alarmes;

Ao contrário dos sistemas hidráulicos, em que o fluido retorna para o tanque, nos sistemas pneumáticos o fluido é devolvido à atmosfera após sua utilização nos atuadores.

Desvantagens dos sistemas pneumáticos em relação aos sistemas hidráulicos:

- ar comprimido é econômico entre 6 e 7 bar de pressão, inviabilizando sistemas que necessitem altos ganhos de força.
- Compressibilidade do ar: não é possível manter constantes as velocidades dos atuadores e isso implica em baixa precisão de posicionamento.
- Preparação do ar: impurezas e umidade causam desgaste prematuro dos elementos pneumáticos.
- ruído: provocado pelo escape do ar nos elementos atuadores;

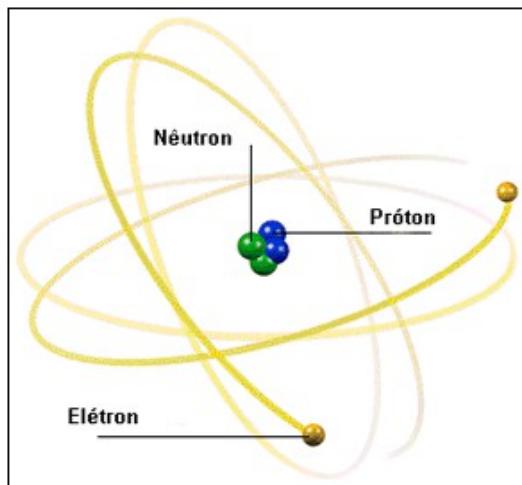
3.3. Sistema elétrico – iniciaremos por uma abordagem teórica de eletricidade e magnetismo, seus princípios e grandezas, para em seguida tratarmos de um sistema elétrico de um avião de pequeno porte, objeto deste estudo.

3.3.1. O Átomo

Tudo que ocupa lugar no espaço é matéria. A matéria é constituída por partículas muito pequenas chamadas de átomos. Os átomos, por sua vez, são constituídos por partículas subatômicas: elétron, próton e neutron.

- O elétron é a carga negativa (-) fundamental da eletricidade e gira ao redor do núcleo do átomo em trajetórias concêntricas denominadas de órbitas ou camadas.
- O próton é a carga positiva fundamental (+) da eletricidade e formam o núcleo do átomo, juntamente com os neutrons. É o número de prótons no núcleo que determina o número atômico dos átomos.

No seu estado natural um átomo está sempre em equilíbrio pois contém o mesmo número de prótons e elétrons. Como cargas contrárias se anulam, e o elétron e o próton possuem o mesmo valor absoluto de carga elétrica, isto torna o átomo natural num átomo neutro.

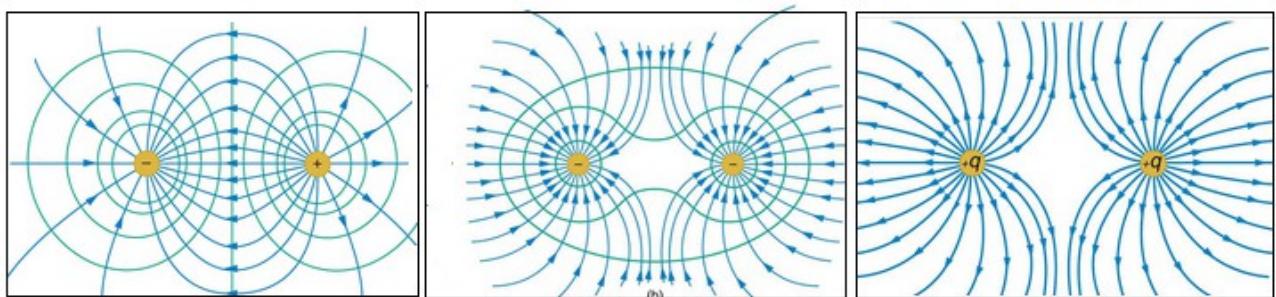


3.3.2. Íon - é um átomo que está com falta ou excesso de elétron na sua última camada. Quando o material perde um elétron de valência, transforma-se num Cátion, ou seja, fica “carregado” positivamente, pronto para aceitar um elétron da vizinhança, para voltar ao seu equilíbrio natural.

Quando o material ganha um elétron a mais na sua camada de valência, transforma-se num Ânion, ou seja, fica “carregado” negativamente, pronto para doar um elétron para a vizinhança, para voltar ao seu equilíbrio natural.

Alguns íons podem adquirir uma estabilidade, se o ganho ou perda de elétron deixar sua última camada com oito elétrons, ficando eletricamente estável.

3.3.3. Campo elétrico - toda carga elétrica tem capacidade de exercer força. Isto se faz presente no campo eletrostático que envolve cada corpo carregado. Quando corpos com polaridades opostas são colocados próximos um do outro, o campo eletrostático se concentrará na região compreendida entre eles. Se um elétron for abandonado no interior desse campo, ele será repelido pela carga negativa e atraído pela carga positiva.



Princípios fundamentais:

- Cargas iguais se repelem e cargas contrárias se atraem.
- A força de atração ou repulsão entre cargas elétricas diminui com o quadrado da distância entre elas.
- As linhas de força saem das cargas positivas e entram nas cargas negativas.

3.3.4. Capacitores - são componentes elétricos passivos, capazes de armazenar e fornecer energia temporariamente. São construídos com duas placas condutoras delgadas, montadas lado a lado e separadas por um material isolante (dielétrico) de fina espessura. Seu funcionamento é baseado no

princípio da indução eletrostática, onde teremos três situações:

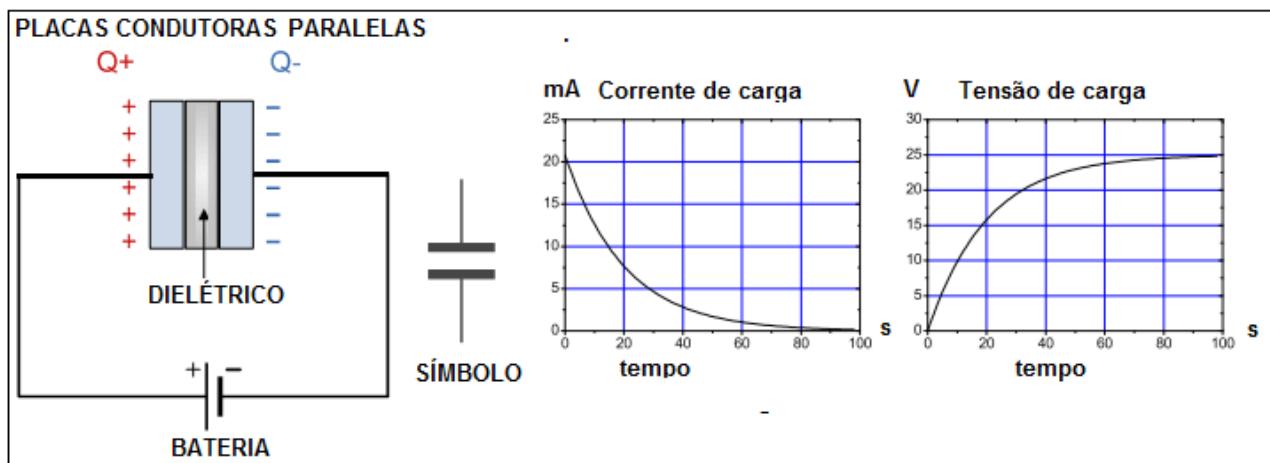
- Um capacitor está descarregado quando as suas placas estiverem com o mesmo tipo de cargas elétricas e a diferença de potencial em seus terminais for zero.
- Um capacitor está completamente carregado quando suas placas estiverem saturadas de cargas elétricas de polaridades opostas, e a tensão nos seus terminais será a mesma da forte que o carregou.
- Um capacitor estará parcialmente carregado quando perdeu cargas elétricas e a tensão nos seus terminais está com um valor intermédio entre zero e o valor da tensão da fonte.

Se ligarmos um Capacitor em corrente contínua, instantaneamente aparecerá no circuito uma corrente máxima, limitada apenas pela capacidade da fonte e da resistência ômica do circuito, e a tensão em seus terminais será zero (tensão de curto-círcuito). Com o decorrer do tempo a corrente vai decrescer exponencialmente, ao mesmo tempo em que a tensão vai crescendo, também exponencialmente, até completar a carga do capacitor. Neste ponto a tensão nos seus terminais será igual à tensão da fonte e a corrente será zero. Se retirarmos o capacitor carregado do circuito, ele permanecerá carregado. Risco de choque elétrico!

O capacitor descarregado não tem resistência ômica no início da carga e se comporta como um curto-círcuito, por isso deve ser sempre ligado com um resistor limitador em série. A sua resistência vai crescendo exponencialmente ao longo do processo de carga e ao final será infinita (dependente do dielétrico).

A Capacidade de armazenar energia é a Capacitância (C), dada em Farads (F), e é diretamente proporcional à área de suas placas (A) e à constante de isolamento (ϵ) do material entre as placas e inversamente proporcional à distância (d) entre as placas.

Um Farad significa um Coulomb ($6,25 \cdot 10^{18}$) de cargas elétricas (e) por um Volt. Como tem um valor muito elevado, os capacitores são fabricados com submúltiplos: uF (micro Farad), nF (Nano Farad) e pF (pico Farad).



$$C = \epsilon \cdot A / d$$

Os capacitores podem ser planos ou cilíndricos, fixos ou variáveis, despolarizados ou polarizados, e são fabricados com diversos materiais dielétricos. Um parâmetro importante é a tensão máxima de

trabalho (V).

3.3.5. Isolantes - um material isolante elétrico é aquele cujos átomos possuem a última camada completa ou quase completa. Isso faz com que esses elétrons da camada de valência fiquem muito presos ao núcleo, portanto, não migram com facilidade para a vizinhança.

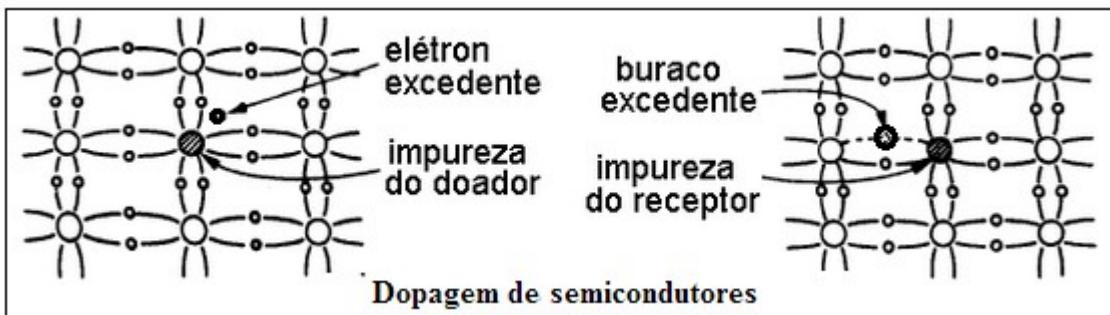
Os melhores isolantes são as substâncias compostas, como é o caso da borracha, mica, teflon e baquelite, porque os átomos se combinam, formando estruturas complexas, e seus elétrons de valência ficam mais fortemente ligados a estas estruturas.

Semicondutores - a principal característica de um material semicondutor é que a última camada dos seus átomos tem quatro elétrons de valência. Os materiais semicondutores que preenchem esse requisito são o Germânio (Ge) e o Silício (Si), sendo que o Silício é o mais utilizado atualmente pela indústria de componentes eletrônicos. Tanto o Germânio como o Silício têm estrutura cristalina.

Dopagem de semicondutores - os semicondutores para serem usados na fabricação dos componentes eletrônicos de estado sólido, como diodos, transistores e circuitos integrados, precisam ser agregados a outros materiais, através do processo chamado Dopagem. Esses agregados irão alterar a estrutura do semicondutor, da seguinte forma:

- Agregando-se materiais de valência três (Alumínio ou Boro) ao silício puro, teremos um material semicondutor tipo P.

A partir de então, sua estrutura cristalina fica com “falta” de um elétron nos pontos onde estão as ligações com o material agregado (buraco), e assim ele fica apto a “receber” um elétron de outro material da vizinhança para neutralizar sua ligação atômica, e com isso gerar uma corrente elétrica entre esses materiais.

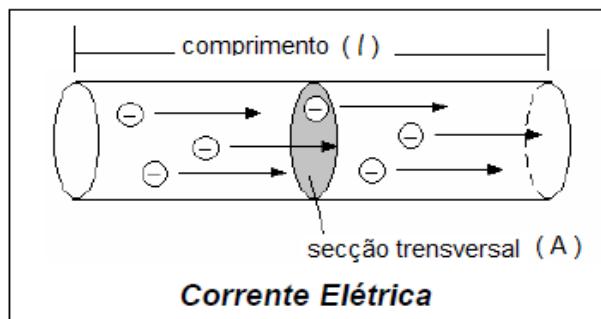


- Agregando-se materiais de valência cinco (Arsênio, Antimônio ou Fósforo) ao silício puro, teremos um material semicondutor tipo N. A partir de então, sua estrutura cristalina fica com “excesso” de um elétron nos pontos onde estão as ligações com o material agregado, e assim ele fica apto a “doar” um elétron para outro material da vizinhança, para neutralizar sua ligação atômica, e com isso gerar uma corrente elétrica entre esses materiais.

3.3.6. Corrente elétrica (I) - até agora vimos a eletricidade estática, onde os elétrons se acumulam, se transferem ou se distribuem assimetricamente nos objetos induzidos, mas sem haver um movimento permanente dessas cargas. Agora veremos a eletricidade dinâmica, onde há a movimentação permanente de cargas elétricas nos materiais condutores. Essa movimentação de cargas é chamada de Corrente Elétrica.

A unidade de medida da Corrente elétrica (I) é o Ampére (A), que corresponde à circulação de um

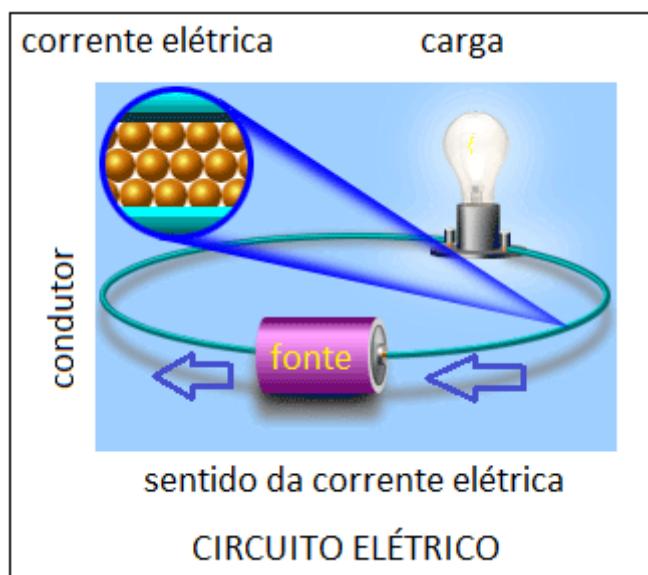
Coulomb ($6,25 \cdot 10^{18}$) de cargas elétricas (e) por segundo, através de uma seção reta de um condutor físico ou num feixe de elétrons numa válvula eletrônica.



3.3.7. Tipos de corrente elétrica – temos dois tipos de corrente elétrica, de acordo com o fluxo de cargas no tempo:

- corrente direcional ou contínua (CC), representada pelo sinal de igual (=). Os elétrons circulam somente em uma direção;
- corrente alternada (CA), representada por um til (~). Os elétrons circulam por um tempo numa direção, depois circulam por igual tempo na direção oposta, e assim, sucessivamente;

Esses tipos de corrente dependem dos tipos das fontes geradoras de tensão elétrica, conforme veremos adiante quando tratarmos dos diversos tipos de geradores.



A corrente elétrica só ocorre dentro de um círculo elétrico fechado, composto basicamente por uma fonte geradora, condutores e uma carga, como uma lâmpada, por exemplo.

3.3.8. Tensão elétrica (V) - para haver corrente elétrica é necessário uma Força que provoque a circulação dos elétrons nos condutores. Uma analogia para entender o significado da Tensão elétrica é imaginarmos uma fonte geradora de tensão como uma “bomba rotativa” para forçar a circulação dos elétrons no circuito.

A unidade de medida da tensão elétrica, ou diferença de potencial, é o Volt (V), que corresponde à Energia potencial de um Joule (E) movimentando um Coulomb ($6,25 \cdot 10^{18}$) de cargas elétricas.

$$\mathbf{V} = \mathbf{E} / \mathbf{C}$$

Um gerador de tensão sempre converte algum tipo de energia em eletricidade.

Através de geradores estáticos:

- Química: pilhas e baterias;
- Luminosa: células fotovoltaicas;

Através de geradores rotativos:

- Térmica: motores a combustão ou a vapor;
- Hidráulica: turbinas hidrelétricas;
- Eólica: geradores a vento;

Curiosidade: o microfone é um gerador mecânico que utiliza a energia sonora para gerar uma corrente elétrica de baixíssima intensidade.

3.3.9. Sentido convencional - o estudo científico da eletricidade, desde os primórdios, sempre considerou, convencionalmente, o borne positivo dos geradores como de potencial mais elevado do que o borne negativo, intuindo que os portadores de carga circulavam no circuito, do positivo para o negativo.

3.3.10. Sentido real da circulação da corrente elétrica – Os geradores reais são dispositivos dotados de uma saída de elétrons, ou borne negativo (-) com o retorno desses elétrons pelo borne positivo (+). Daí se conclui que o sentido real da circulação da corrente elétrica é do borne negativo para o borne positivo.

3.3.11. Resistência elétrica - é o grau de dificuldade da passagem da corrente elétrica pelos materiais, que é diretamente proporcional ao comprimento (l) do material e à sua resistividade específica (ρ) e inversamente proporcional à secção transversal ou área (A).

$$\mathbf{R} = \rho \cdot (l / A)$$

Ou seja, comparando materiais com a mesma resistividade, a resistência será maior para o mais comprido e menor para o de maior secção transversal.

A unidade de medida da resistência elétrica (R) é o Ohm (Ω), representado pela letra ômega do alfabeto grego.

3.3.12. Resistividade específica dos materiais (ρ) - representada pela letra grega Rô, é uma constante física, associada a cada material, e é dada em Ωm (ohm x metro).

Exemplos de resistividades de alguns materiais:

Material	(ρ) em $\Omega \cdot m$ a 20 °C	Material	(ρ) em $\Omega \cdot m$ a 20 °C
Prata	1.59×10^{-8}	Chumbo	2.2×10^{-7}
Cobre	1.72×10^{-8}	Manganin	4.82×10^{-7}
Ouro	2.44×10^{-8}	Constantan	4.9×10^{-7}
Alumínio	2.82×10^{-8}	Mercúrio	9.8×10^{-7}
Tungstênio	5.60×10^{-8}	Nicromo	1.10×10^{-6}
Niquel	6.99×10^{-8}	Carbono	3.5×10^{-5}
Latão	0.8×10^{-7}	Germânio	4.6×10^{-1}
Ferro	1.0×10^{-7}	Silício	6.40×10^2
Estanho	1.09×10^{-7}	Vidro	10^{10} a 10^{14}

3.3.13. Lei de Ohm - a relação matemática entre as três principais grandezas presentes em um circuito elétrico é dada pela Lei do Ohm, que estabelece:
A corrente elétrica (I) em um ponto de um circuito fechado é diretamente proporcional à tensão (U), e inversamente proporcional à resistência (R).

$$I = V / R$$

Dessa expressão podemos tirar : $V = I \cdot R$

$$R = V / I$$

3.3.14. Potência elétrica em corrente contínua – ao se estabelecer uma corrente elétrica num condutor, teremos naturalmente o aumento de sua temperatura, provocado pelo efeito Joule, que é causado pela agitação dos elétrons. Esse aumento de temperatura será diretamente proporcional à intensidade da corrente elétrica nesse condutor.

A potência elétrica (P) é a energia (E) aplicada para estabelecer a corrente elétrica, dividida pelo tempo (t).

$$P = E / t \quad \text{onde a energia é dada por:} \quad E = P \cdot t$$

A unidade de medida da Potência elétrica é o Watt (W);

A unidade de medida da Energia elétrica é o Joule (J);

A unidade de medida de tempo (t) é o segundo (s);

A avaliação prática da potência elétrica em corrente contínua é feita a partir da relação matemática das três principais grandezas presentes no circuito, de acordo com a fórmula abaixo:

$$P = V \cdot I$$

Potência das cargas resistivas:

$$P = V^2 / R$$

$$P = I^2 \cdot R$$

3.3.15. Condutores elétricos - são fabricados com materiais metálicos, bons condutores, dotados de capa isolante, e em casos especiais, dotados de malhas metálicas de blindagem. São escolhidos em função dos seguintes parâmetros:

- Material condutor – os melhores condutores de uso comercial são de cobre ou alumínio.
- Flexibilidade – os flexíveis são formados por múltiplos condutores finos e encordoados, e se aplicam onde é necessário a mobilidade da fiação. Os rígidos são formados por condutores

singelos e utilizados em fiações fixas.

- Isolamento – depende do nível de tensão presente no condutor : maior tensão , isolamento mais espesso e com materiais de alto poder dielétrico.
- Bitola ou secção – determinada pelo material do condutor, pelo comprimento e ventilação da fiação e pela corrente que irá conduzir.
- Cor do isolamento (capa) – nos circuitos de corrente contínua os condutores de polaridade positiva (+) são vermelhos e os de polaridade negativa (-) são pretos; os condutores de outras funções são geralmente brancos, com identificação escrita em toda a sua extensão; se forem usados condutores coloridos, o fabricante fará a devida codificação no manual do equipamento.

3.3.16. Pilhas e baterias – São geradores eletroquímicos, cujos principais parâmetros são:

- Tensão nominal (**V**) em Volts;
- Resistência interna (**R_i**) em miliohm;
- Capacidade de Carga em Ampére / hora (**A / h**): indica o valor da capacidade de armazenamento de carga elétrica. Se uma bateria entrega 5A por 20 horas, sua capacidade de carga é $5 \times 20 = 100 \text{ A/h}$;
- Máxima corrente de carga (**I carga**) em Ampére (somente para pilhas ou baterias recarregáveis);

O termo bateria é usado hoje para identificar células voltaicas interconectadas, como a bateria de automóvel. O termo pilha é normalmente usado para dispositivos que contenham apenas uma célula voltaica como, por exemplo, as pilhas secas .

As pilhas e baterias são classificadas em primárias e secundárias. As primárias são aquelas que não podem ser recarregadas, como as pilhas “comuns” e alcalinas. Já as secundárias são as que podem ser recarregadas, por exemplo, as baterias de carro e de celular.

Conforme os materiais empregados na sua fabricação as baterias podem ser:

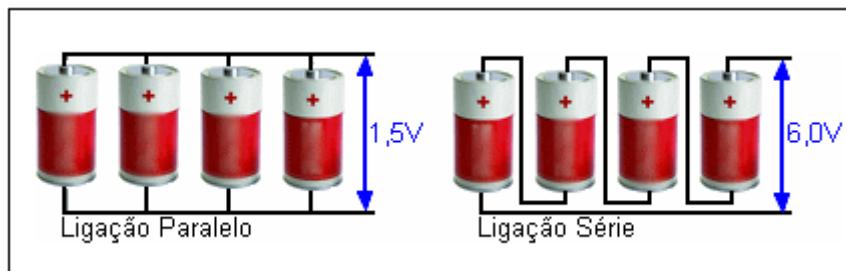
- chumbo;
- níquel-ferro;
- níquel-cromo;
- íon-lítio

Conforme o tipo de eletrólito podem ser:

- ácidas;
- alcalinas;

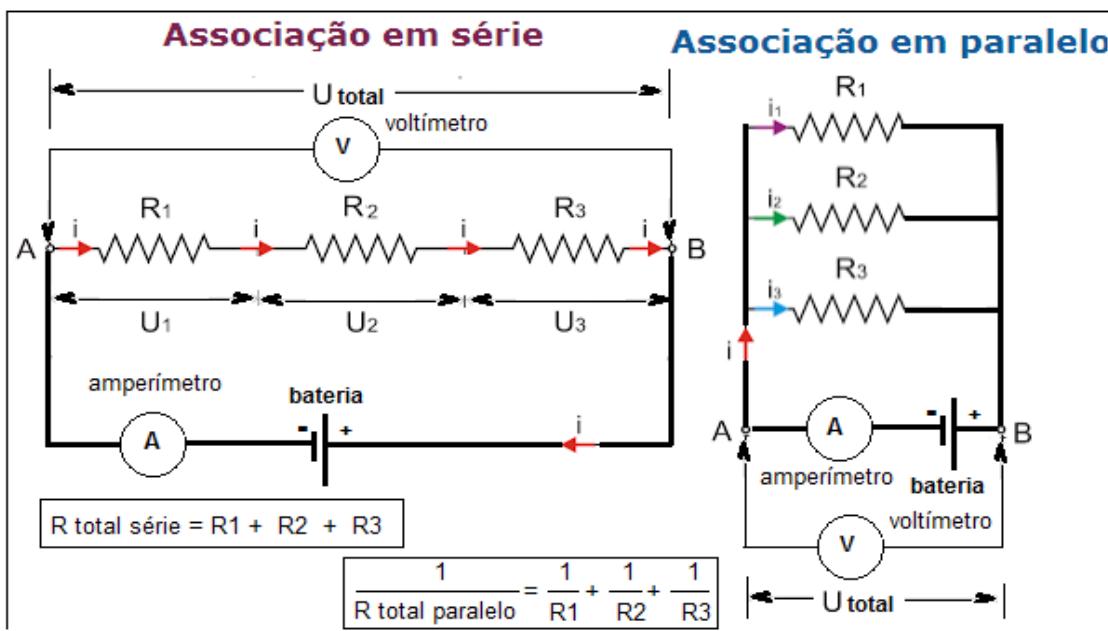
3.3.17. Circuitos de associação de pilhas e baterias – as fontes de tensão podem ser associadas de duas formas:

- Em paralelo (somam-se as correntes): só permitido para fontes com o mesmo valor de tensão. A tensão será a mesma de qualquer fonte associada, mas a corrente será a soma de todas as correntes das fontes.
- Em série (somam-se as tensões):



3.3.18. Circuitos de associação de cargas - as cargas podem ser qualquer aparelho elétrico consumidor de eletricidade, como lâmpadas, resistores de aquecimento, motores elétricos, solenóides, etc...

As cargas podem ser associadas de três formas:

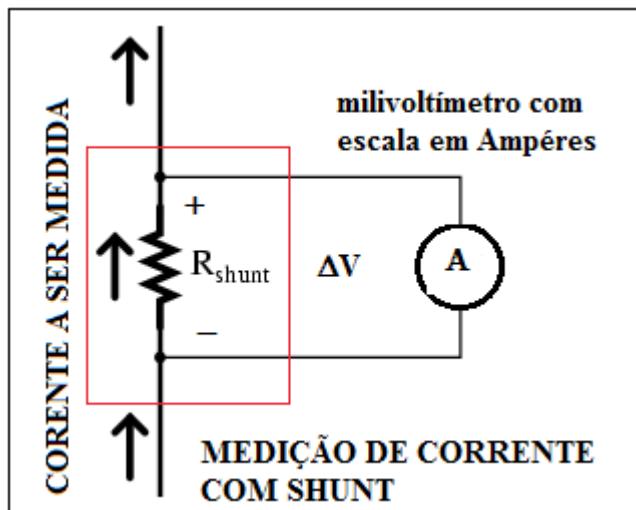


- Em paralelo: mesma tensão em todas as cargas mas a corrente de cada carga depende da sua resistência. Quanto mais cargas em paralelo, menor a resistência total e maior o consumo de corrente: risco de sobrecarga.
- Em série: a corrente é igual em todas as cargas, e seu valor é determinado pela soma de todas as resistências das cargas. A tensão em cada carga será dada pelo produto da sua resistência pela corrente do circuito. Quanto mais cargas em série, menor a tensão individual de cada carga: pode haver sub-tensão.
- Associação mista: quando tiverem circuitos em série e paralelo compondo o circuito total. A implementação de um circuito misto requer uma análise muito criteriosa, através da conversão de cada grupo em uma carga singela equivalente, e a associação total vista como uma associação dessas cargas singelas;

Nos circuitos de corrente contínua os aparelhos consumidores ou cargas indutivas, após um tempo inicial de energização, se comportam como resistivos.

3.3.19. Medição de corrente – existem duas formas de medir corrente contínua:

- Direta – utilizando o amperímetro ligado em série e é indicado somente para baixas correntes.
- Indireta, com Shunt de corrente – é indicado para correntes de alto valor, e é feito por uma barra de latão, com baixíssima resistência, de valor conhecido (Shunt), que é ligada em série com o circuito. Haverá uma queda de tensão (ΔV) em milivolts nessa barra, de acordo com a lei de Ohm, e a indicação da corrente é feita por um milivoltímetro (fundo de escala de 60 mV), ligado nas extremidades dessa barra, e com sua escala adaptada para indicação em Ampéres. São especificados, no Brasil, pela NBR 5180.



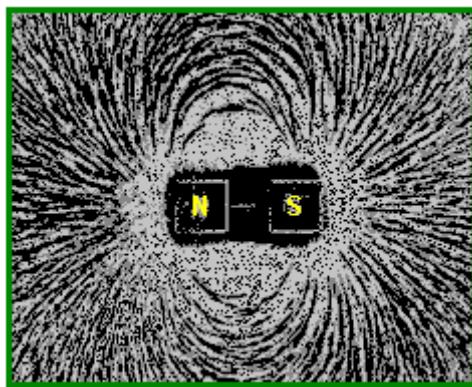
3.3.20. Medição de tensão - o instrumento utilizado é o voltímetro, que é ligado em paralelo com a fonte de tensão.

3.3.21. Queda de tensão – nos circuitos em série, se medirmos a tensão nos bornes de cada carga, teremos a queda de tensão que essa carga produz no circuito, de acordo com a Lei de Ohm, de forma que todas as quedas de tensão somadas, darão o valor da tensão da fonte.

3.3.22. Magnetismo e ímãs - magnetismo é o poder de certos materiais da natureza atrair pedaços de ferro ou outros metais denominados ferromagnéticos. São denominados Ímãs, e suas extremidades, ou polos, têm poder de atração opostos.

Os polos de um ímã são denominados de Norte e Sul, e isso deve à denominação dos polos terrestres pois uma agulha magnética livre para girar (bússola) sempre apontará seu polo Norte para o polo Norte geográfico da terra, que na verdade, é um polo Sul magnético.

3.3.23. Campo magnético - a força magnética do ímã atua no espaço ao seu redor e pode ser materializada visualmente se colocarmos uma folha de papel com limalha de ferro distribuída sobre o ímã, nela fica representada a área de influência o campo magnético que se distribui em “linhas de campo” entre os dois polos. Ficou convencionado que as linhas do campo magnético saem do polo Norte e entram no polo Sul.



3.3.24. Princípios do magnetismo

- Polos iguais se repelem e polos diferentes se atraem.
- Os polos de um ímã são inseparáveis.
- Um material ferromagnético pode ser imantado por outro ímã por contato ou proximidade.

Linhas de Campo Magnético	Os polos de um ímã são inseparáveis

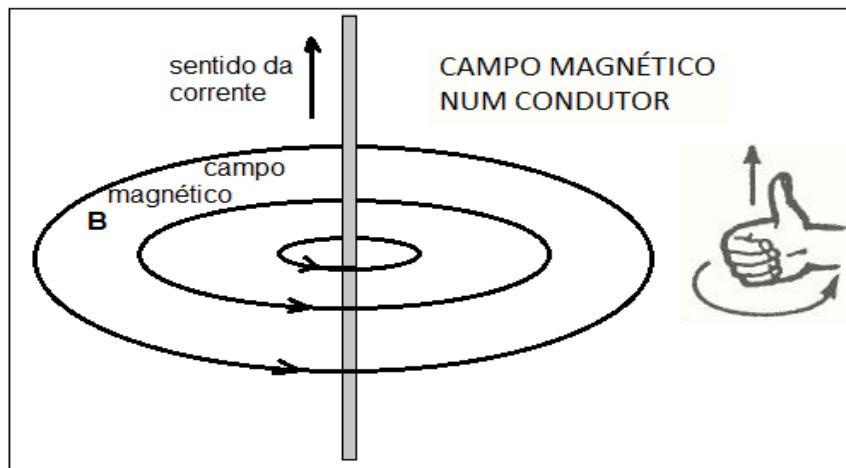
3.3.25. Interação entre eletricidade e magnetismo:

Indução magnética: ao variarmos um campo magnético (um ímã, por exemplo) perpendicularmente

INDUÇÃO MAGNÉTICA		

a um condutor, essa variação induz uma força eletromotriz que vai deslocar os elétrons do condutor, gerando portanto uma corrente elétrica.

- Por outro lado, um condutor percorrido por uma corrente elétrica gera um campo magnético ao seu redor e esta propriedade é utilizada para construir os solenóides, os transformadores de tensão ou de corrente e os motores elétricos.



- Auto indutância (L): quando a intensidade de corrente varia num condutor, o seu campo magnético também varia. Essa variação do campo vai induzir no próprio condutor uma força contra-eletromotriz, cuja corrente se oporá à causa que lhe deu origem. É isto que causa o centelhamento ao desligarmos um interruptor de luz, ou a centelha de uma vela de ignição ao abrir o contato do platinado.

A unidade de medida da Auto-indutância (L) é o Henry (H), que significa um tensão induzida (V_L) de um Volt quando a corrente variar na taxa de 1 A / s.

$$L = V_L / (\Delta I / \Delta t)$$

3.3.26. Indutores – são componentes elétricos passivos, capazes converter corrente elétrica em campo magnético. São fabricados por um longo condutor elétrico em forma de bobina espiral, que podem ter seu núcleo de ar ou de um material ferro-magnético, e cujos polos magnéticos são definidos pela regra da mão esquerda (sentido real da corrente elétrica circulando na bobina): se colocarmos os dedos da mão esquerda ao redor da bobina, no mesmo sentido da corrente elétrica, o dedo polegar apontará para o polo Norte do indutor.

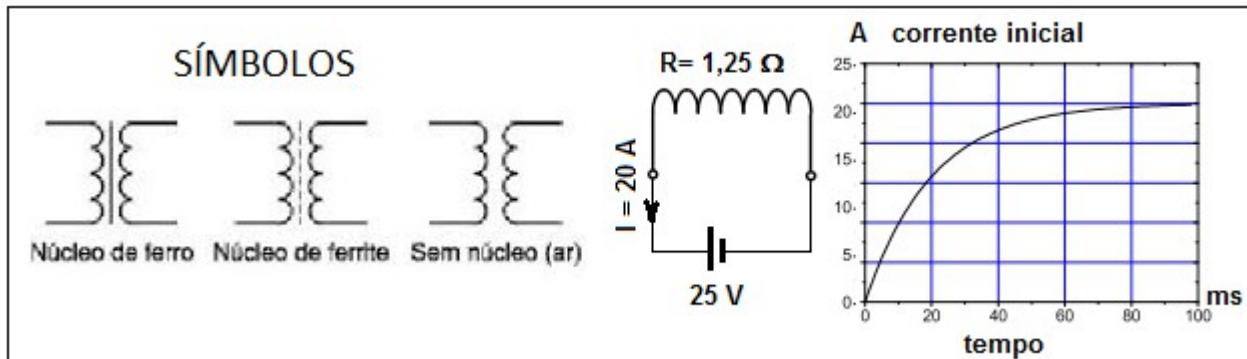


Quando ligados em circuitos de Corrente Contínua, seu magnetismo é fixo como um ímã.

A indutância (L) é dada em Henry (H) e é diretamente proporcional ao quadrado do número de espiras (n^2), à área de sua secção reta (A), dada em m^2 , e à permeabilidade magnética (μ) do material do núcleo. É inversamente proporcional ao seu comprimento (l), dado em metros.

$$L = \mu \cdot N^2 \cdot A / l$$

Os núcleos dos indutores devem ter alta permeabilidade magnética e baixo remanente (devem desmagnetizar ao cessar a corrente elétrica no indutor). Os materiais mais utilizados são chapas de ferro-silício e Ferrite (óxido de ferro aditivado com um metal).



Se ligarmos um Indutor com determinada resistência ômica em corrente contínua, através de um circuito ideal, sem resistência ômica, instantaneamente a tensão da fonte aparecerá nos seus terminais, enquanto que a corrente irá crescer exponencialmente desde zero até atingir o valor limitado pela resistência do próprio indutor. Esse atraso no crescimento da corrente é por causa da força contra eletromotriz do indutor. Durante esse processo a tensão não se altera, e no final, a queda de tensão ($I \cdot R$) sobre o indutor deverá ser igual à tensão da fonte.

O indutor se opõe às variações de corrente, por isso é um excelente filtro de ruído elétrico e rádio-frequências.

O indutor tem a sua resistência ômica própria, em função do material, do comprimento e da secção do condutor utilizado na sua fabricação. Essa resistência pode se alterar com a temperatura.

Ao desligarmos o indutor do circuito, haverá um brusca interrupção da corrente, e isso cria uma força contra eletro-motriz que vai gerar uma contra-corrente, que “salta” no ar entre os contactos que se desligaram. O indutor desligado não permanece carregado.

3.2.27. Eletroímãs – Muitas aplicações industriais requerem ímãs bastante poderosos ou ímãs que possam ser “ligados” e “desligados”, e nestes casos, são utilizados os eletroímãs, que são indutores com núcleo de material ferromagnético e construção adequada a cada aplicação.

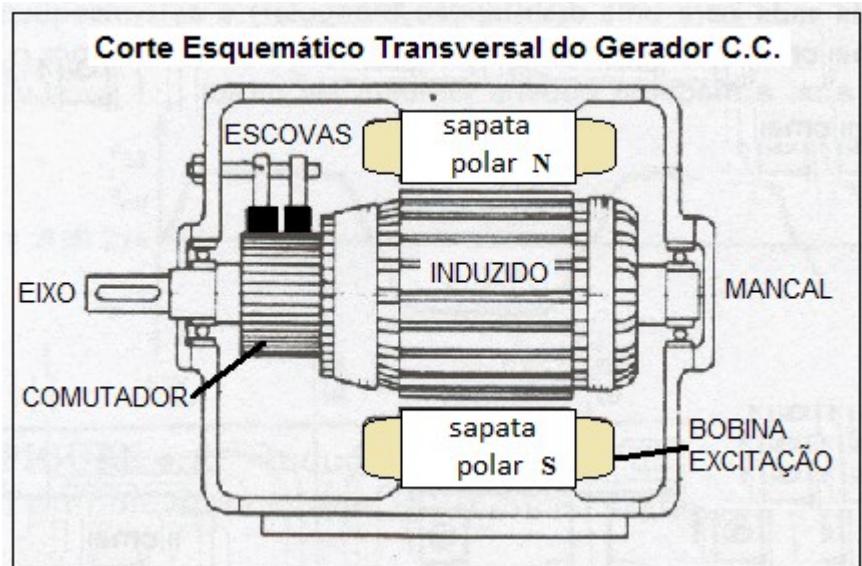
3.3.28. Aplicações dos eletroímãs:

- Solenóides ou atuadores lineares;
- Relés: desde micro-relés até os contactores de alta corrente;
- Eletroímãs para elevação de cargas ferrosas;
- Separadores da peças ferrosas;

3.3.29. Geradores – são máquinas elétricas rotativas que utilizam os princípios da indução magnética para gerar internamente uma corrente alternada polifásica, que é retificada por *comutação mecânica sequencial* das fases, e entregue na saída através de duas escovas coletores, uma positiva e a outra negativa, na forma de *corrente direcional pulsada (DC)*.

3.3.30. Principais parâmetros dos geradores:

- Tensão nominal: sempre acima do valor da Tensão da bateria do sistema. Sistema de 12 Vcc o gerador entrega 14 Vcc, com a corrente nominal.
- Corrente nominal: máxima corrente entregue em regime contínuo.
- Corrente de curto-círcuito: Corrente máxima que pode ser entregue por curto espaço de tempo, sem danificar o gerador.



Na parte fixa, ou carcaça, ficam as bobinas de campo ou de excitação que criam os polos magnéticos indutores, e as escovas coletores. Na parte rotativa (rotor) ficam o induzido (bobinas das fases, dentro das ranhuras polares), o comutador formado por barras de cobre dispostas axialmente e ligadas às extremidades das bobinas induzidas. Atualmente os geradores são menos utilizados, por conta do uso dos Alternadores.

A tensão gerada pelos geradores é muito dependente da velocidade de rotação, por isso são utilizados os Reguladores Automáticos de Tensão, que podem ser do tipo a relé ou eletrônicos, e que controlam a corrente do Campo.

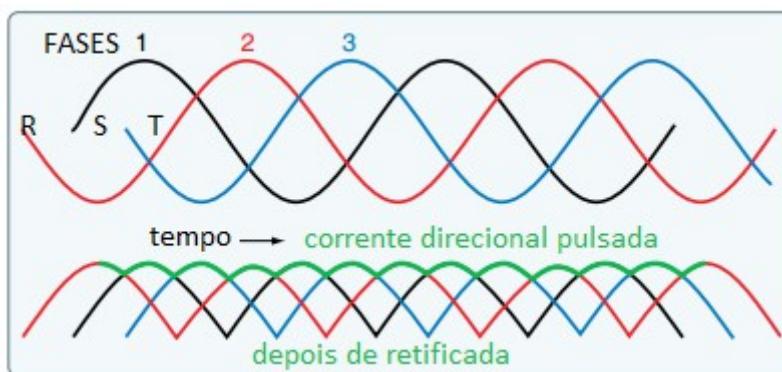
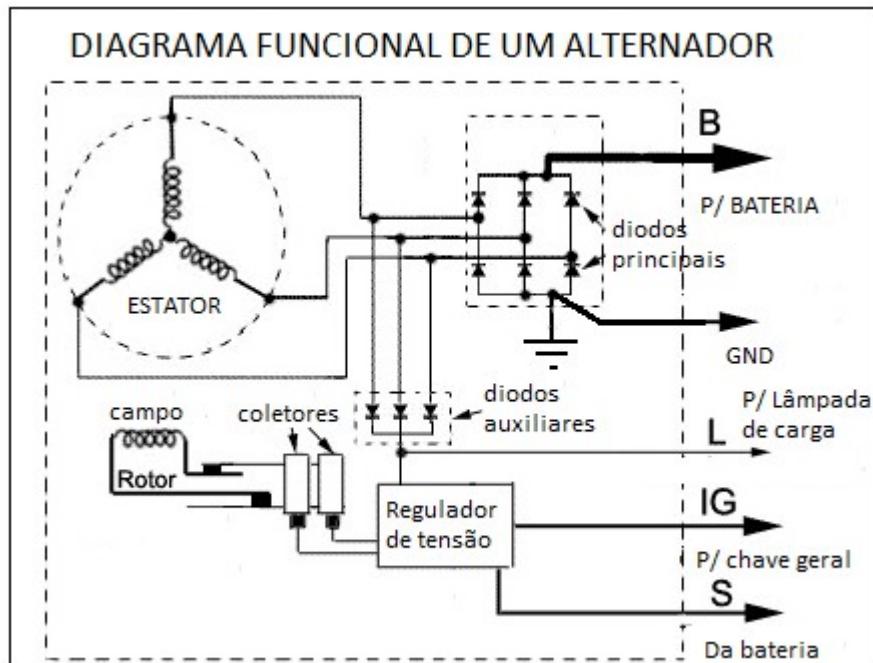
3.3.31. Motores elétricos de corrente contínua - são utilizados para partida (Starter) do motor a combustão do avião ou como atuadores rotativos de precisão nos comandos de voo.

3.3.32. Alternadores – são máquinas elétricas rotativas que utilizam os princípios da indução magnética para gerar internamente uma corrente alternada trifásica, que é retificada por diodos, e entregue como corrente direcional pulsada, através dos bornes positivo e negativo.

Na parte fixa, ou carcaça, ficam as bobinas das fases e o banco principal de diodos retificadores, além das escovas de excitação do campo magnético, que recebem corrente retificada do estator, via

Regulador Automático de Tensão.

Na parte rotativa (rotor) ficam as sapatas polares magnéticas com as bobinas de campo e os anéis coletores contínuos, que recebem, através das escovas, a corrente de excitação devidamente regulada pelo Regulador Automático de Tensão eletrônico, uma vez que a tensão gerada nos Alternadores, também é muito dependente da velocidade de rotação.



3.3.33. Principais parâmetros dos Alternadores:

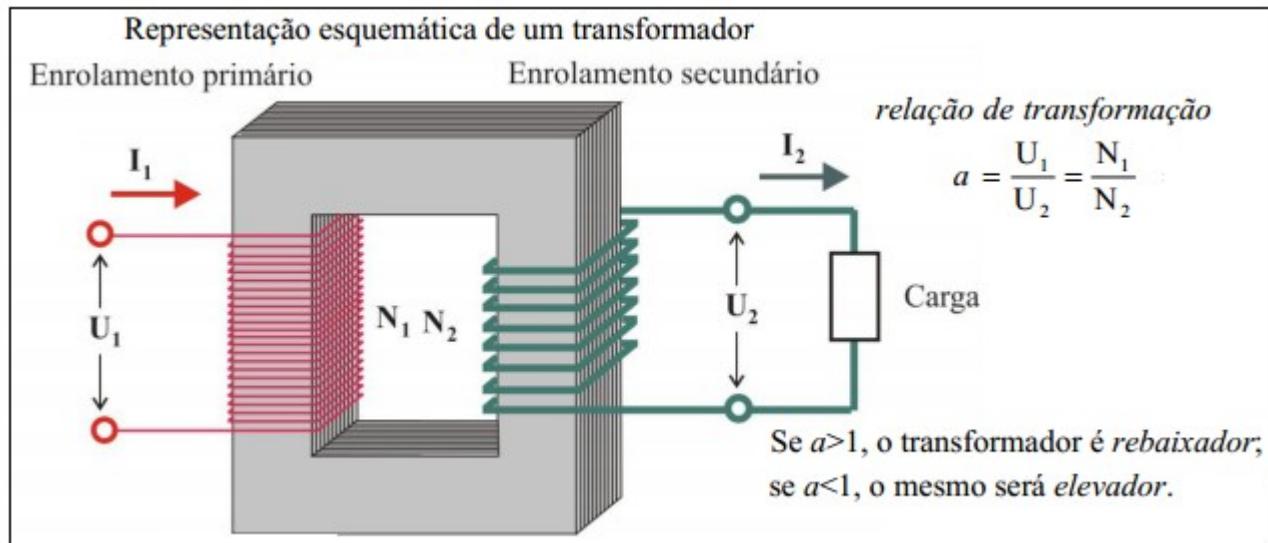
- Tensão nominal: sempre acima do valor da Tensão da bateria do sistema. Sistema de 12 Vcc o gerador entrega 14 Vcc, com a corrente nominal.
- Corrente nominal: máxima corrente entregue em regime contínuo.
- Corrente de curto-círcuito: Corrente máxima que pode ser entregue por curto espaço de tempo sem danificar o alternador.

3.3.34. Transformadores – são dispositivos elétricos, estáticos, que funcionam pelo princípio da indução eletromagnética. Em sistemas de corrente alternada, são utilizados para elevar ou abaixar tensões, através de seus bobinados primário e secundário e também para transformar correntes de

altos valores em valores adequados aos instrumentos de medição ou sensoreamento de corrente em automação.

Os transformadores de pequena potência não têm arrefecimento próprio, enquanto que os grandes transformadores são arrefecidos a óleo mineral e/ou ventilação forçada.

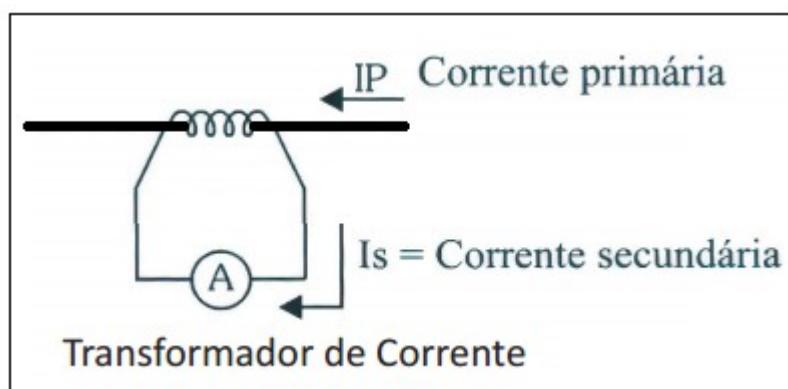
3.3.35. Principais parâmetros dos transformadores de potencial:



- tensão primária;
- tensão secundária;
- potência nominal (KVA);
- frequência;

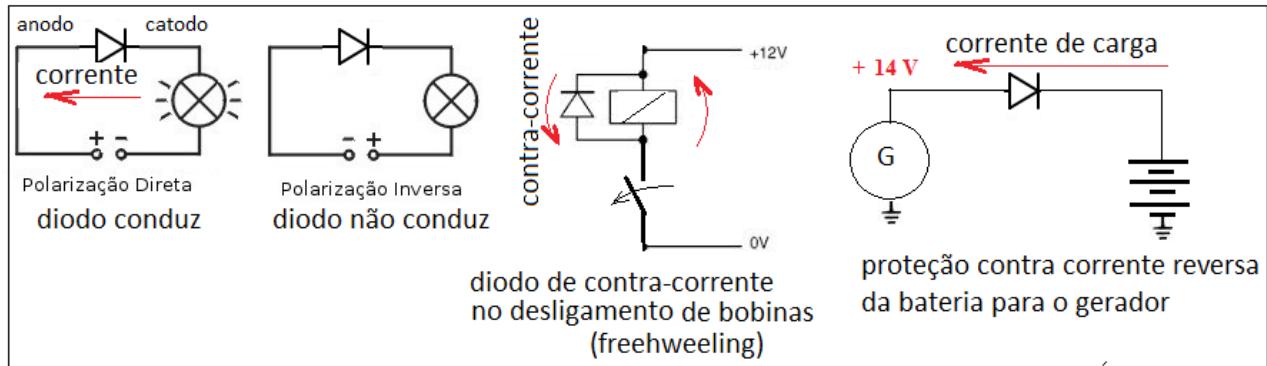
3.3.36. Principais parâmetros dos transformadores de corrente:

- corrente nominal secundária: normalizada em 5 A , às vezes 1 A ;
- correntes nominais primárias: valores padronizados entre 5 A e 8000 A ;
- classe da tensão de isolamento;
- frequência;



3.3.37. Diodos retificadores – são componentes eletrônicos de estado sólido que servem para “retificar” a corrente alternada. Seu princípio de funcionamento é a junção P/N dos semicondutores

que permite a passagem de corrente elétrica apenas em um sentido.



3.3.38. Principais parâmetros dos Diodos:

- Máxima corrente direta.
- Máxima tensão reversa.

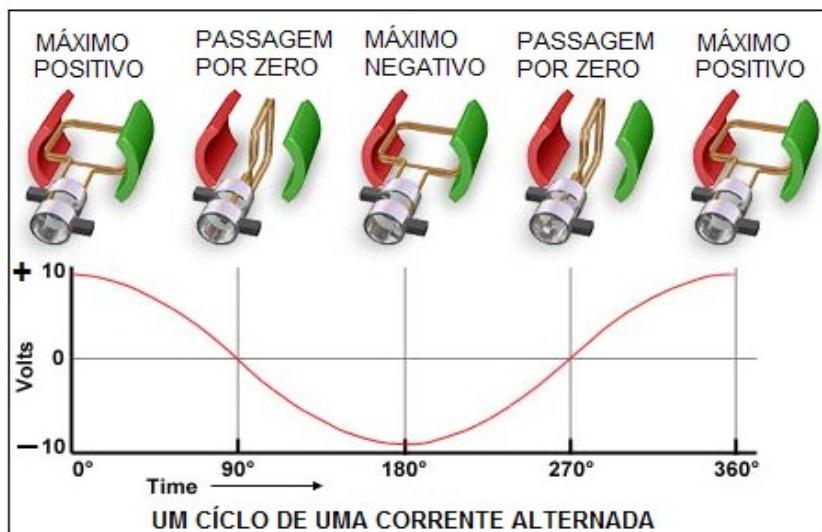
3.3.39. Corrente Alternada (CA) – a corrente alternada é produzida diretamente através de alternadores, ou pode ser sintetizada por inversores eletrônicos ou eletro-mecânicos. Além da Tensão e da Corrente, agora temos outra grandeza que é a Frequência (F). Já vimos anteriormente que a principal característica da corrente alternada é que ela inverte o sentido várias vezes ao longo do tempo, e cada vez que isto ocorre, nós teremos um ciclo (T).

A unidade de medida da Frequência é o Hertz (Hz) ou ciclos por segundo:

$$F = T / s$$

As redes elétricas domésticas trabalham com 60 Hz ou 60 ciclos por segundo.

Num circuito de corrente contínua as cargas resistivas ou indutivas comportam-se de maneira igual, pois o único obstáculo à circulação da corrente é a Resistência de cada carga. Por causa da inversão de sentido da corrente alternada, as cargas Capacitivas ou as cargas Indutivas vão se comportar de maneira diferente das cargas puramente resistivas, por isso é importante conhecer quais são essas diferenças.



3.3.40. Reatância capacitiva (X_c) – se o capacitor for ligado em um circuito de corrente alternada, ele entra num ciclo contínuo de cargas e descargas, sempre fazendo gangorra entre a corrente decrescendo, enquanto a tensão cresce de forma exponencial nos seus terminais: *a corrente está adiantada em relação à tensão.*

Chama-se Reatância Capacitiva (X_c) à dificuldade encontrada pela corrente alternada para circular através do Capacitor e é inversamente proporcional à Frequência e à Capacitância. Ou seja, quanto mais alta a frequência menor será a Reatância Capacitativa, e também, quanto maior a Capacitância, menor será a Reatância Capacitativa.

$$X_c = 1 / 2\pi f \cdot C$$

A unidade de medida da Reatância Capacitiva é Ohm (Ω).

3.3.41. Reatância indutiva (X_L) - se o indutor for ligado em um circuito de corrente alternada, ele entra num ciclo contínuo, sempre fazendo gangorra entre a tensão decrescendo, enquanto a corrente cresce de forma exponencial, nos seus terminais: *a tensão está adiantada em relação à corrente.*

Chama-se Reatância Indutiva (X_L) à dificuldade encontrada pela corrente alternada para circular através do Indutor e é diretamente proporcional à Frequência e à Indutância. Ou seja, quanto mais alta a frequência maior será a Reatância Indutiva, e também, quanto maior a Indutância (L), maior será a Reatância Indutiva.

$$X_L = 2\pi f \cdot L$$

A unidade de medida da Reatância Indutiva é Ohm (Ω).

3.3.42. Impedância (Z) – é a grandeza que indica a “resistência” total de um circuito de corrente alternada, de forma que são somadas vetorialmente todas as reatâncias envolvidas, além das resistências ômicas de condutores, indutores e resistores do circuito.

3.3.43. Sobrecarga - as bitolas, o material e a ventilação (ou confinamento) dos condutores de um circuito elétrico são escolhidos em função do valor da Corrente Nominal (In) desse circuito, acrescentada de um coeficiente de segurança.

Se alguma carga original sofrer alteração para uma potência maior (acrescentar carga extra num circuito carregado), a corrente vai alterar para mais, e isto vai provocar o aquecimento dos condutores e oxidá-las conexões. A sobrecarga ocorre a partir do incremento da corrente nominal do circuito em 1,5 vezes.

A melhor proteção para sobrecarga é o disjuntor térmico.

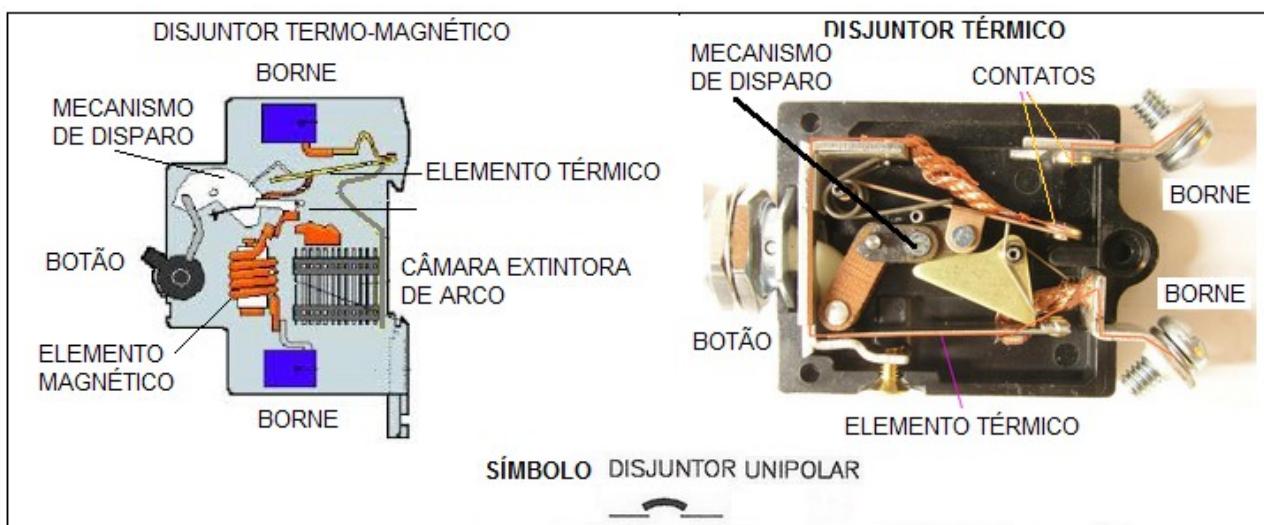
3.3.44. Curto-circuito – é um evento acidental, quando há o contato direto entre os condutores positivo e negativo de um circuito alimentado por corrente contínua, ou entre os condutores fase/fase ou fase/neutro de um circuito alimentado por corrente alternada. Dependendo da

capacidade da fonte geradora, essa corrente ultrapassa 10 vezes ou mais a corrente nominal, provocando a queima dos condutores. Neste caso, a proteção deve ser instantânea, e os melhores dispositivos são o disjuntor magnético ou o fusível.

3.3.45. Disjuntores (circuit-breaker) – são dispositivos de proteção elétrica que abrem o circuito nos casos de sobrecarga e/ou curto-círcuito.

Proteção contra sobrecarga - é feita através de um elemento bi-metálico, que altera sua forma quando aquecido e faz disparar um mecanismo de abertura dos contatos. Podem ser com valores fixos de corrente ou ajustáveis dentro de uma faixa de valores.

Proteção contra curto-círcito – é feita através de elemento eletro-magnético, uma bobina de corrente (em série com a carga), que faz disparar um mecanismo de abertura dos contatos toda vez que a corrente crescer acima de um valor pré-ajustado de corrente de curto-círcito, e que é informado pelo fabricante.



Os disjuntores são fabricados com as duas proteções combinadas, ou somente com a proteção térmica.

3.3.46. Fusíveis - são dispositivos de proteção elétrica que abrem o circuito nos casos de sobrecarga elevada e/ou curto-círcuito.

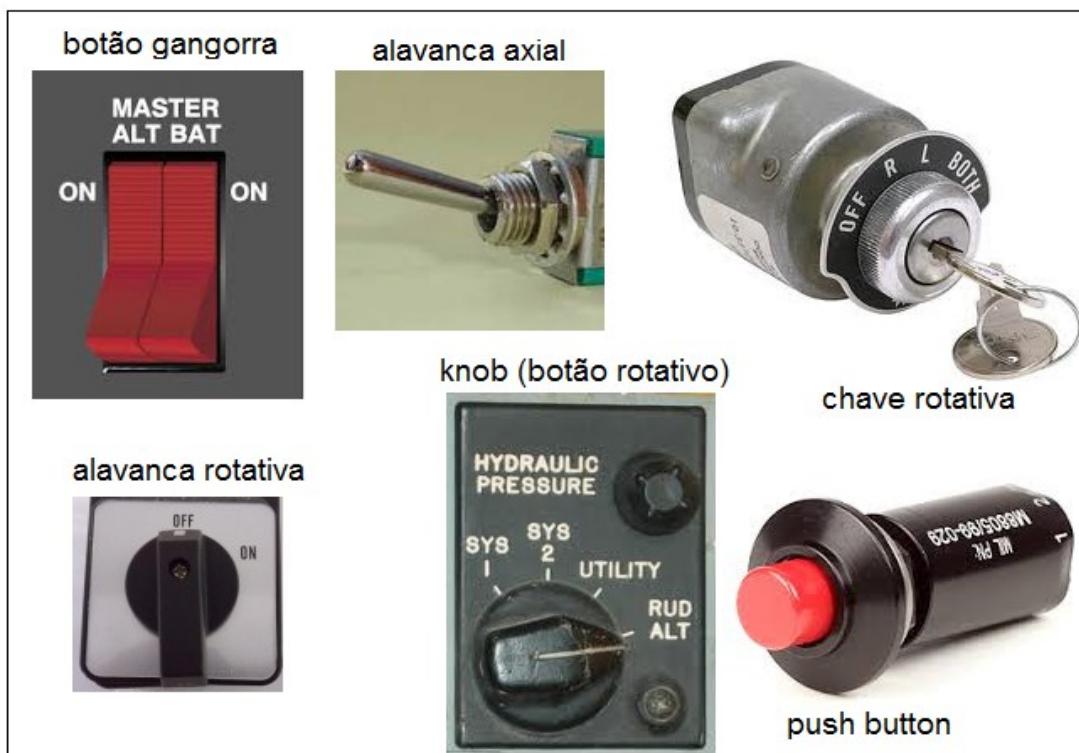


Operam pelo princípio da fusão do elemento que fica ligado em série com a carga. O elemento

fusível é fabricado com liga de metais do boa condutividade elétrica, pois vai conduzir permanentemente a corrente nominal do circuito, mas com baixo ponto de fusão, como o chumbo, por exemplo.

Existem vários tipos no mercado, e sua aplicação é definida pelo valor da sua capacidade de condução de 1,5 vezes a corrente nominal do circuito.

3.3.47. Chaves e interruptores – As chaves elétricas, quanto à capacidade de condução de corrente podem ser:



- de alta capacidade: chave geral da bateria ou seletora de barramento;
- De baixa capacidade: todas as chaves que operem diretamente com cargas baixas ou controlem altas cargas via relés ou solenóides;

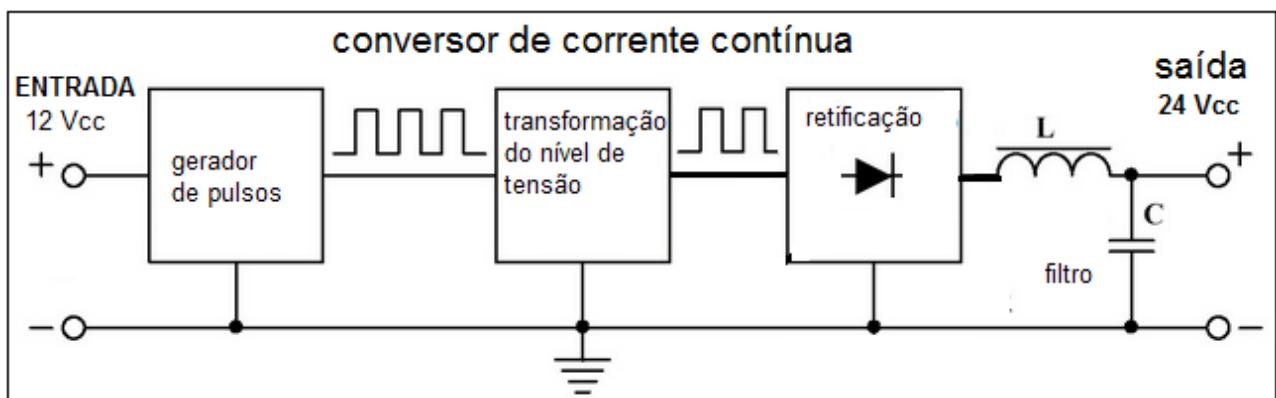
Quanto à forma de acionamento, podem ser:

- Botão de pressão (push-button);
- Alavanca axial (toggle) com duas posições ;
- Alavanca axial com três posições estacionárias;
- Alavanca axial com três posições momentâneas, com retorno ao centro;
- Botão gangorra (rocker) com duas posições fixas;
- Alavanca radial (knob) rotativa com duas ou mais posições estacionárias;
- Chave rotativa de duas ou mais posições;

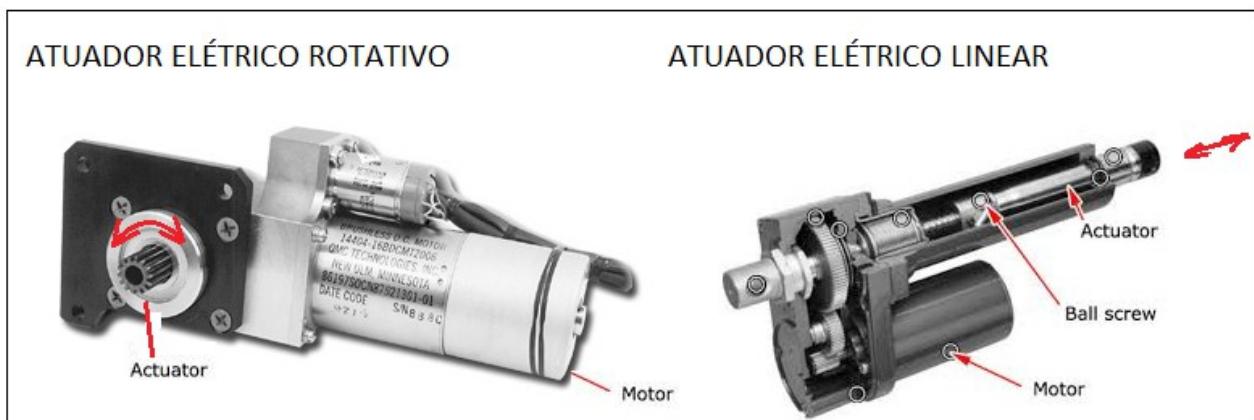
A indicação do status das chaves pode ser por iluminação própria ou por sinaleiro luminoso agregado.

3.3.48. Conversores de corrente contínua – quando uma carga de corrente contínua for acionada com tensão abaixo ou acima do valor da tensão nominal do circuito do avião, torna-se necessário fazer a conversão da tensão primária do sistema, utilizando-se um dos seguintes dispositivos:

- conversor a vibrador eletromagnético (Chopper): vibrador gera corrente direcional pulsada que é elevada ou abaixada por transformador, e em seguida retificada e filtrada por indutor em série (ceifa picos de alta frequência) e capacitor em paralelo (aplanar a tensão ondulada na frequência do chaveamento primário);
- conversor eletromecânico rotativo: motor hidráulico acionando um gerador com a tensão de saída desejada;
- conversor eletrônico: chaveamento eletrônico da corrente contínua, elevação por transformador ou abaixamento por tiristor, retificação e filtragem. Atualmente são os mais utilizados, pela confiabilidade, baixa manutenção e baixo custo;



3.3.49. Atuadores elétricos – são dispositivos utilizados para movimentar remotamente um componente mecânico. Dão dotados de redutores de velocidade, que por sua vez multiplicam a força de atuação. Podem ser comandados por sistemas abertos, onde a posição do movimento não é informada ao piloto, ou por sistemas fechados, que informam a posição do movimento.



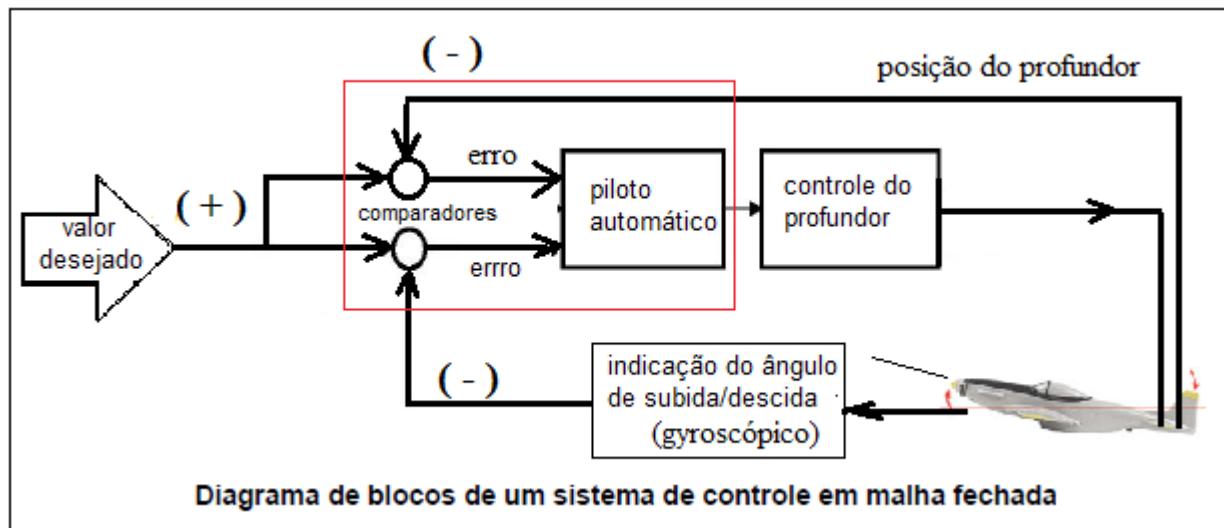
3.3.50. Sensores elétricos – os sistemas de comando, tanto manual como automático, requerem que o piloto seja informado do resultado dos comandos dados a partir da cabine, ou que determinados eventos operacionais sejam prontamente informados para a cabine, e para isso são utilizados os sensores. De acordo com o conceito físico utilizado para detecção de um evento os sensores podem ser:

1. discretos: elementos de comando elétrico, com função liga/desliga.

- por ação mecânica: (chaves fim-de-curso e micro-switches).
 - magnéticos: reed switches
 - báricos: (pressostatos).
 - térmicos: (termostatos).
 - induktivos: (proximidade de peça metálica ferro-magnética).
 - capacitivos: (proximidade de qualquer objeto).
 - óticos: (fotoresistor LDR, fotodiodo, contadores, detectores de movimento...)
2. analógicos: elementos para medição de grandezas físicas.
- resistivos: medidor de deslocamento, de nível de líquidos, de temperatura, pressão...
 - fotovoltaicos: medidor de intensidade luminosa.
 - fotosensível: fototransistor.
 - eletromagnéticos: syncro (gerador e motor síncronos acoplados eletricamente) medidores de posição no deslocamento linear ou angular.
 - LVDT (Linear Variable Differential Transformer) medidores de posição no deslocamento linear.
 - semicondutores: NTC(negative temperature coefficient) e PTC (positive temperature coefficient).
 - vibrações mecânicas: cristais e acelerômetros.
 - ultrasônicos: medidor de distâncias.
 - sônicos: microfones
 - extensômetro: (strain-gauge) sensores de deformação mecânica.
 - campo magnético (efeito hall): medição indireta de corrente elétrica.
 - iniciais: giroscópicos indicadores de posição no espaço.
3. digitais:
- pulsos: encoders de posição linear ou angular.
 - nível de tensão: interruptores.

3.3.51. Servo-sistemas – o controle de um processo pode ser feito de duas maneiras:

- Manualmente: é indicado para processos simples, pois requer que o operador fique atento ao resultado do processo e corrija continuamente qualquer desvio.



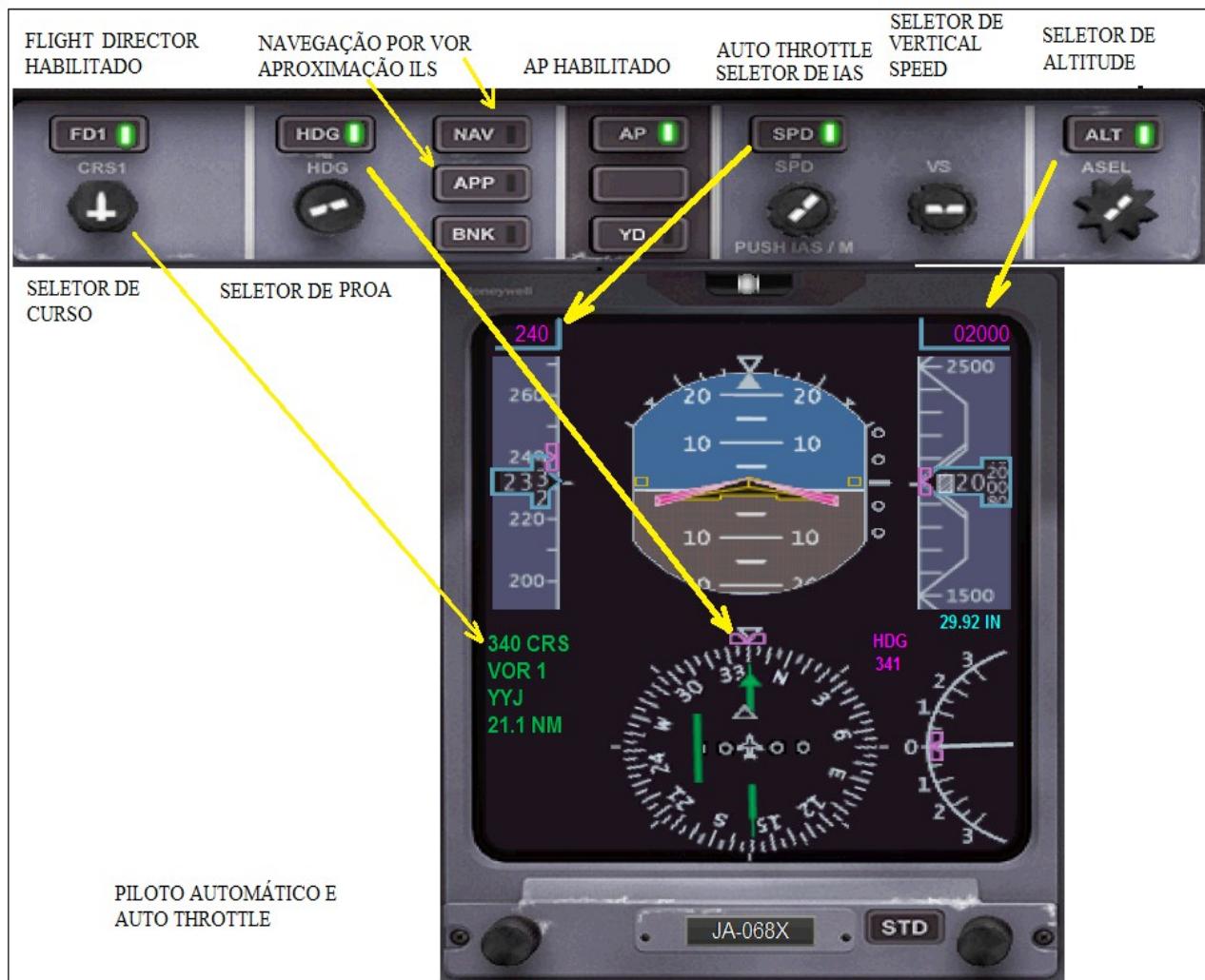
- Automaticamente: permite controlar um processo mais complexo, pois o operador apenas dá entrada no valor final desejado e o sistema automático faz o controle continuamente para manter esse resultado.

O controle automático de processo só é possível com um sistema de “malha fechada”: o valor real da saída é continuamente comparado com o valor teórico de entrada, e o sinal de erro é continuamente re-enviado para corrigir a saída. Esse ciclo contínuo permite que o valor real da saída fique oscilando “ao redor” do valor teórico desejado. Essa oscilação é tão pequena quanto melhor for a qualidade do sistema.

3.3.52. Piloto automático (PA) – é um servo-sistema composto por cinco partes:

1. dispositivos de entrada dos valores desejados, no painel da cabine;
2. unidade eletrônica de controle;
3. servo-atuadores;
4. sensores de posição das superfícies de comando;
5. sensores de posição da aeronave, em relação aos três eixos;

O piloto automático, ao ser habilitado, passa a atuar paralelamente sobre as superfícies de comando de voo, mas com a prioridade para o controle manual, em caso de necessidade.



3.3.53. Auto-throttle (acelerador automático) – é o sistema que controla automaticamente a potência do motor, mantendo a aeronave com uma Velocidade Indicada (VI) constante, conforme valor desejado que é colocado na entrada do Auto-throttle.

3.3.54. Diagrama do sistema elétrico de uma aeronave – o sistema elétrico típico de uma aeronave de pequeno porte pode ser visto na figura abaixo, onde podemos elencar os principais componentes e a arquitetura utilizada para distribuição e proteção dos diversos circuitos. Como todo sistema elétrico, temos os elementos de suprimento ou fontes, os elementos consumidores ou cargas, proteções, interruptores, instrumentos e sinaleiros luminosos e acústicos.

Fonte: o elemento principal é a bateria. Todas as cargas são alimentadas pela bateria, com uma tensão estabilizada e uma capacidade de corrente capaz de fazer funcionar corretamente todas as cargas.

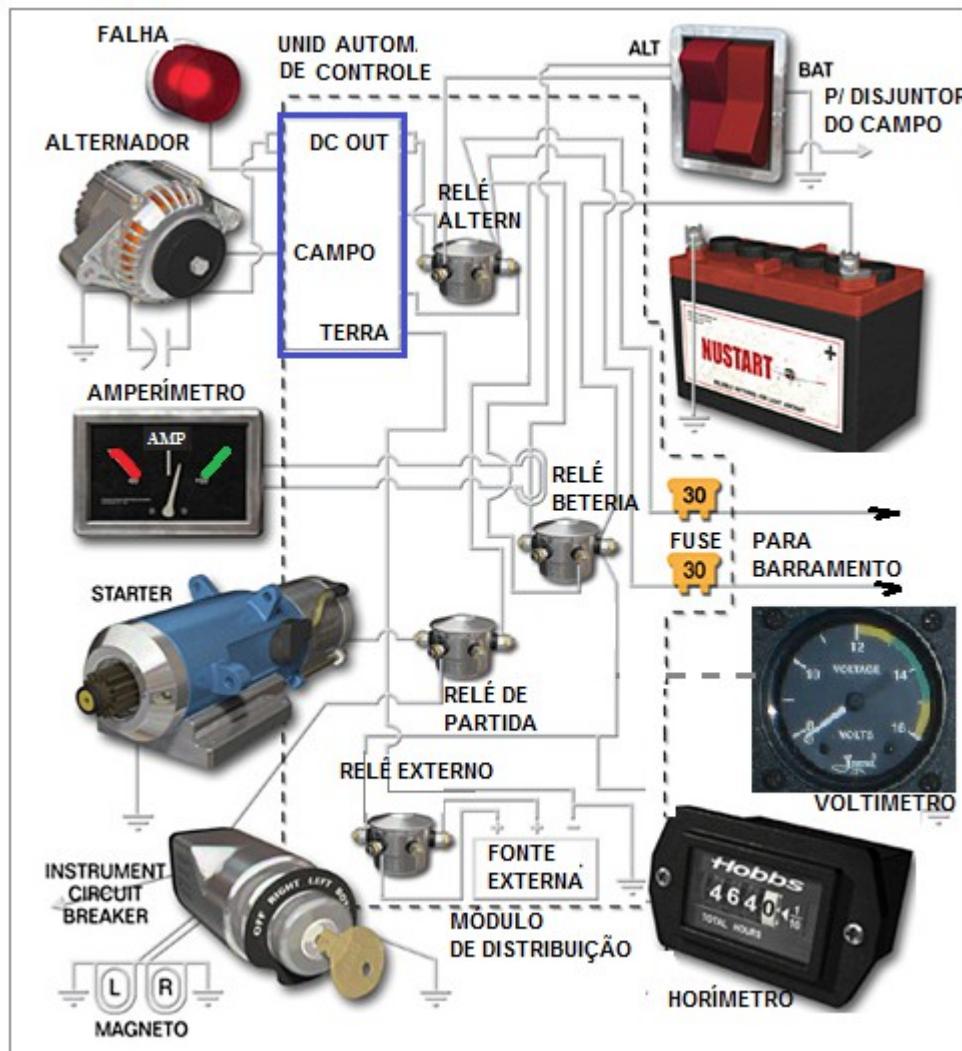
A recarga da bateria é feita por um alternador, cuja tensão nominal em vazio tem valor acima da tensão nominal da bateria, e a capacidade de corrente deve ser igual à maior demanda de cargas ligadas simultaneamente no sistema, exceto a carga de partida do motor.

Pode haver uma tomada externa para suprimento de energia no solo durante a manutenção (external power).

A bateria, o alternador e o motor de partida são ligados ao circuito através de relés de alta capacidade.

Existem dois barramentos (bus) para distribuição de energia às cargas, conforme a categoria:

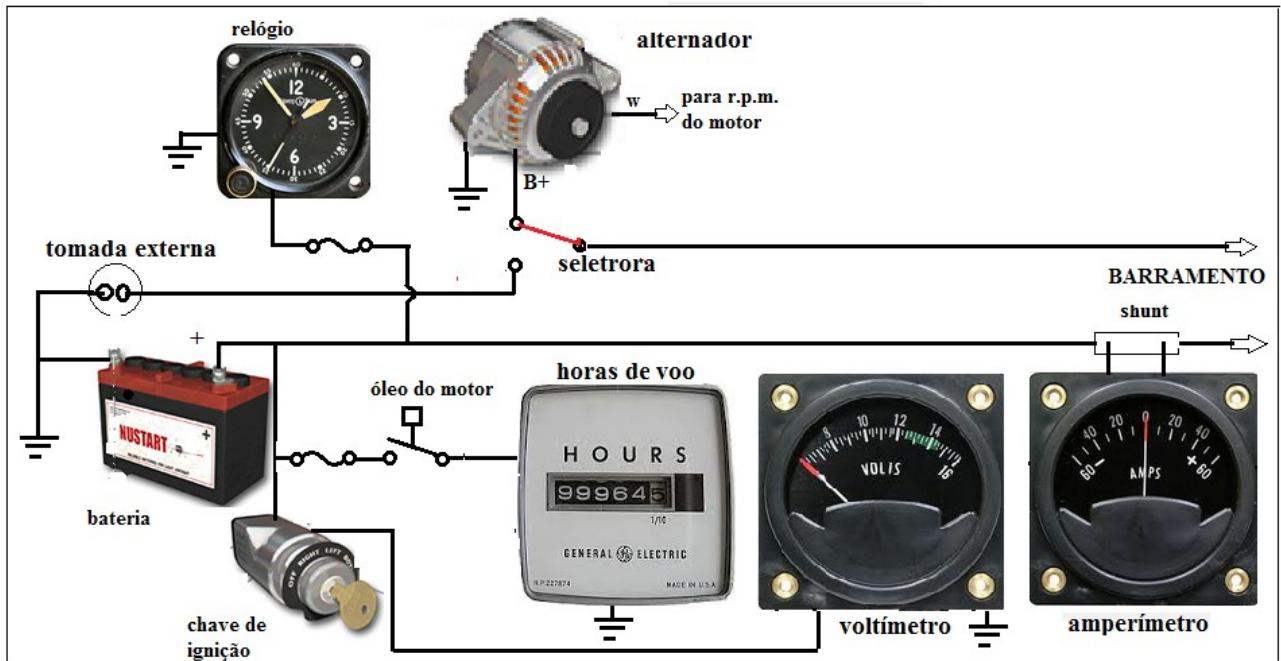
- Barramento primário: iluminação, instrumentos de navegação, ar condicionado, aquecimento do pitot e master switch.
- Barramento de “aviônicos”: rádios, transponder e piloto automático.



3.3.55. Instrumentos do sistema elétrico

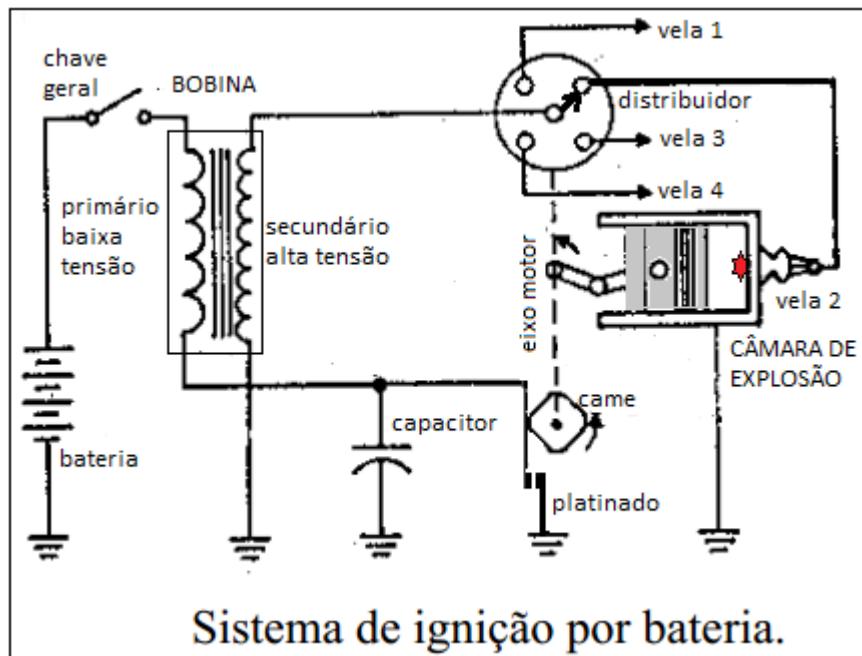
- Amperímetro – é ligado em série, ou através de shunt de corrente, entre o barramento de disjuntores e a bateria. Tem duas escalas simétricas com ponteiro central: se o ponteiro estiver do lado (+) ou faixa verde, significa que a bateria está recebendo carga, se estiver do lado (-) ou faixa vermelha, significa que a bateria está fornecendo carga.
- Voltímetro - é alimentado através da chave de ignição.
- Horímetro de voo – só ativa com o motor funcionando. É ligado pelo interruptor de pressão

- do óleo do motor, com alimentação diretamente da bateria, protegido por fusível.
- Relógio – tem funcionamento contínuo, pois é alimentado diretamente pela bateria, protegido por fusível.



3.3.56. Sistema de ignição – Os motores de avião necessitam de um sistema elétrico ou eletrônico que proporcione a abertura de uma centelha na vela de ignição, dentro da câmara de combustão, de forma sincronizada com o ciclo motor, para que haja a queima da mistura carburada sob compressão, e consequente trabalho motor com a expansão dos gases inflamados.

Para que haja a abertura de uma centelha elétrica entre os eletrodos da vela de ignição é necessário



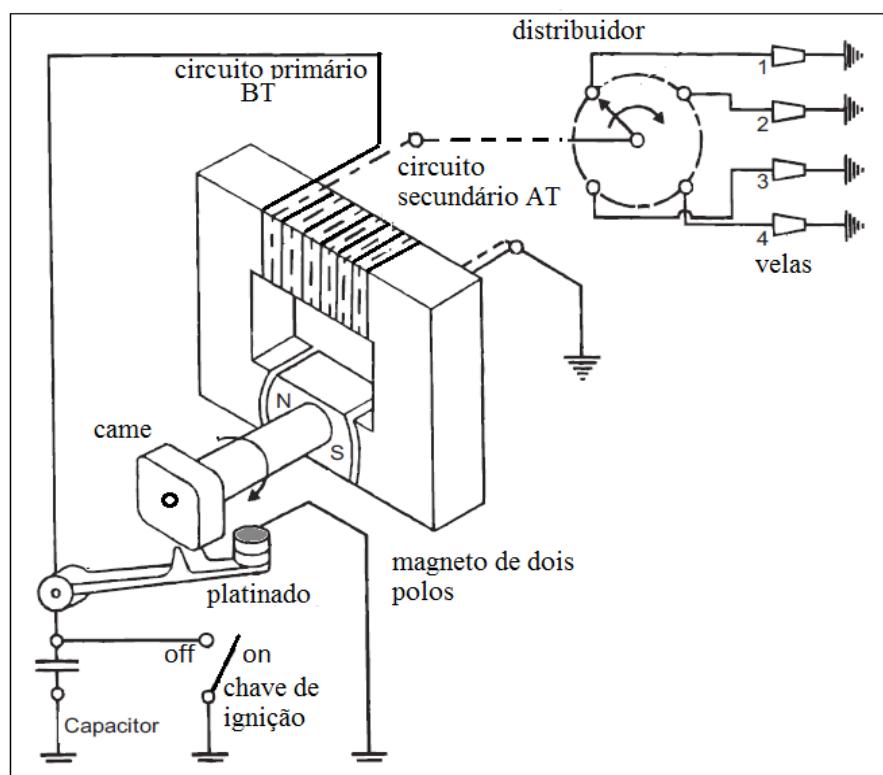
dispor de uma fonte de tensão na ordem de 6.000 a 12.000 Volts.

Há duas formas de produzir uma tensão elétrica dessa ordem:

1. Por bateria – a baixa tensão da bateria, geralmente 12 Vcc , é elevada por uma Bobina de ignição, que junto com dispositivos comutadores e distribuidores, produz e entrega os pulsos de alta tensão, de forma sincronizada, a cada vela do motor.
2. Por magneto – o magneto é um gerador rotativo de alta tensão. Funciona pelo princípio da variação do fluxo magnético de um ímã rotativo colocado dentro de uma sapata polar dotada de uma bobina primária (baixa tensão) e uma bobina secundária (alta tensão). O próprio magneto faz a distribuição da corrente elétrica para as velas do motor. Existem dois tipos de magneto: alta e baixa tensão. O magneto de baixa tensão necessita de uma bobina elevadora ligada externamente no circuito secundário.

Como é gerada a centelha na vela, nos dois sistemas:

- O platinado ao abrir o contato, faz com que a rápida contração do campo magnético do bobinado primário gere um pulso de contra-corrente, que induz uma tensão no bobinado secundário. Este, por ter muitas espiras, gera uma tensão muito elevada que é entregue no ponto central do distribuidor. Nesse instante, o contato do distribuidor estará ligado a uma determinada vela que irá abrir uma centelha, provocando a ignição da mistura dentro do cilindro.
- O capacitor, ligado em paralelo com os contatos do platinado, tem a função de “amortecer” o arco voltaico que ocorre na abertura do contato.



3.3.57. Funcionamento da chave de ignição do sistema a magneto - a chave de ignição estando “aberta”, habilita o bobinado primário a gerar o pulso de tensão indutor. Portanto, desligar a

ignição, significa “fechar” a chave de ignição para a massa: as duas extremidades do bobinado primário ficarão “aterradas”, portanto não vai gerar eletricidade.

3.3.58. Acondicionamento do sistema de ignição - magneto é o nome dado ao conjunto de todos os componentes necessários à ignição: magneto propriamente dito, platinado, capacitor, bobina e distribuidor. O conjunto é acionado por um eixo de comando do motor, o que faz o conjunto “rodar” sincronizado com os pontos de ignição dos pistões.

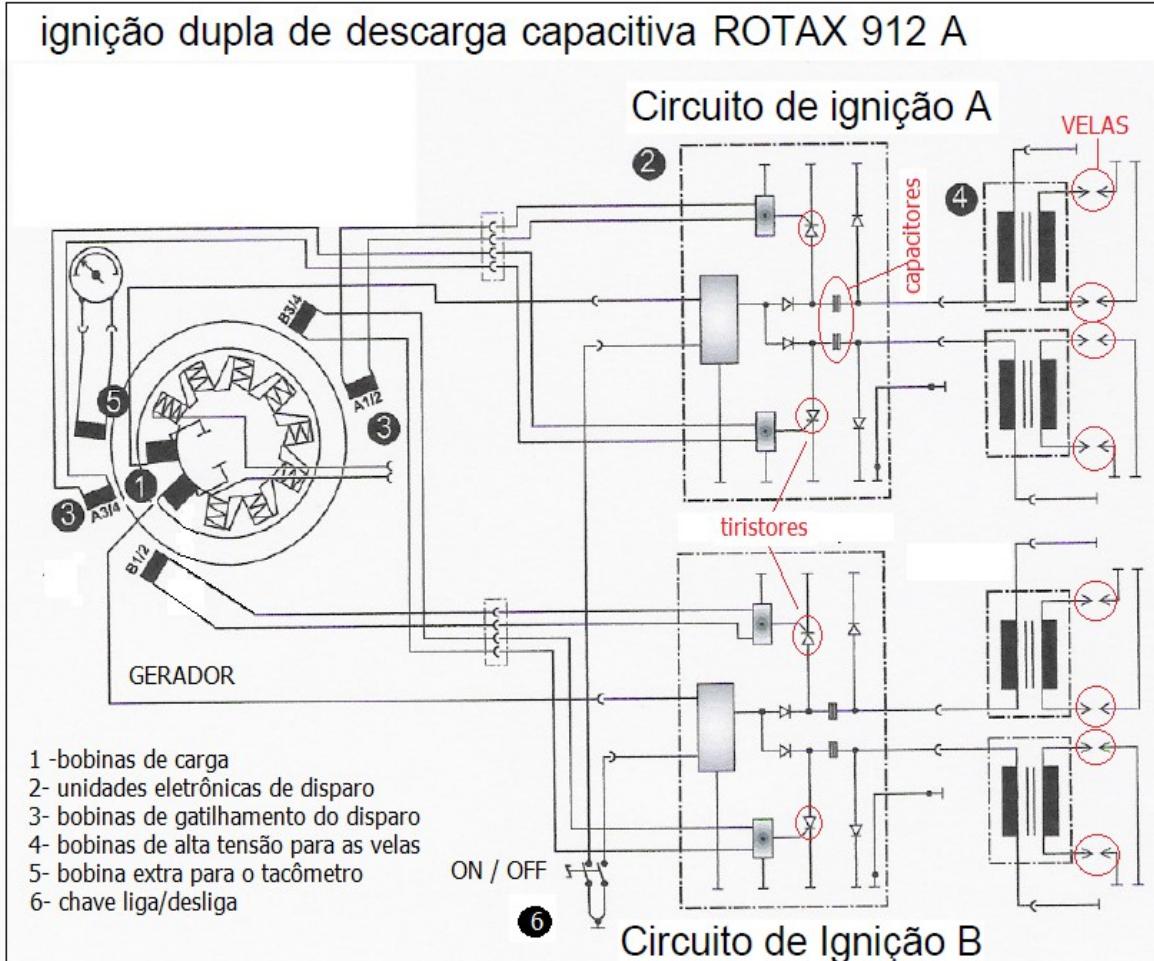
Nos motores com cilindros horizontais opostos, cada cilindro tem duas velas: uma superior e uma inferior, conectadas da seguinte forma:

- magneto esquerdo: alimenta as velas inferiores do lado esquerdo e as velas superiores do lado direito;
- magneto direito: alimenta as velas inferiores do lado direito e as velas superiores do lado esquerdo;

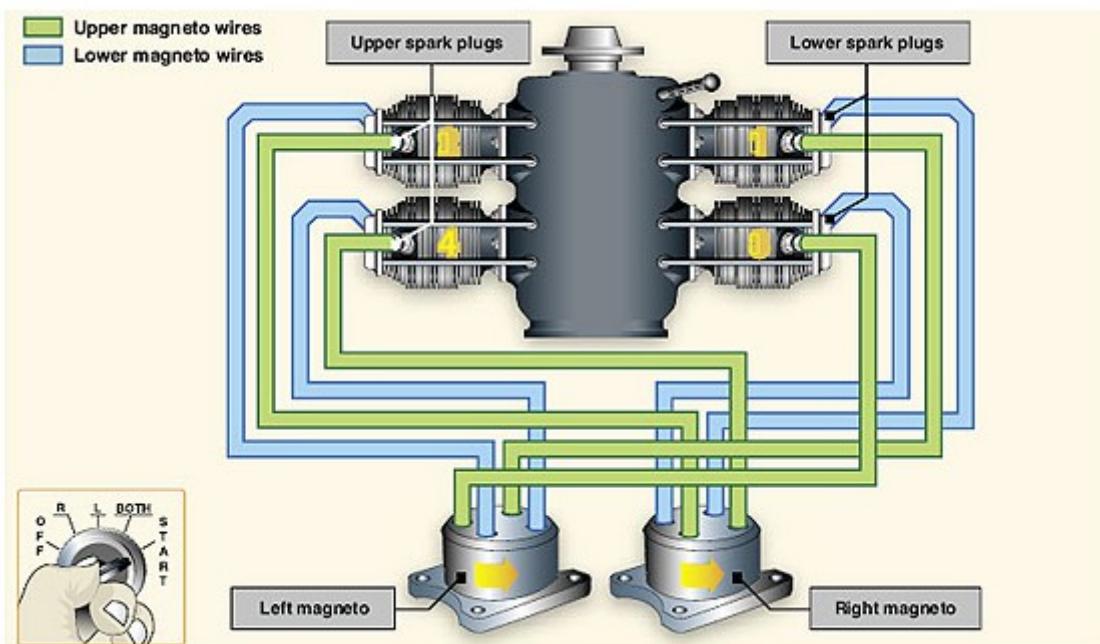
Motores mais modernos usam a ignição dupla de descarga capacitiva sem platinado, com um gerador integrado. A unidade de ignição não necessita de suprimento externo de energia.

No momento da ignição, duas das quatro bobinas externas de disparo (3) acionam a descarga dos capacitores nas bobinas de ignição duplas (4), gerando a centelha nas respectivas velas.

Ordem da explosão: 1-4-2-3.



3.3.59. Chave de ignição e partida – nos sistemas a magneto a chave de ignição e partida permite a seleção de cada magneto separadamente ou a seleção dos dois magnetos. Após a partida a chave é retornada para uma dessas opções. Geralmente a seleção individual dos magnetos tem a finalidade de teste, enquanto que, na operação normal, usam-se sempre os dois magnetos (both).



3.3.60. Testes dos magnetos:

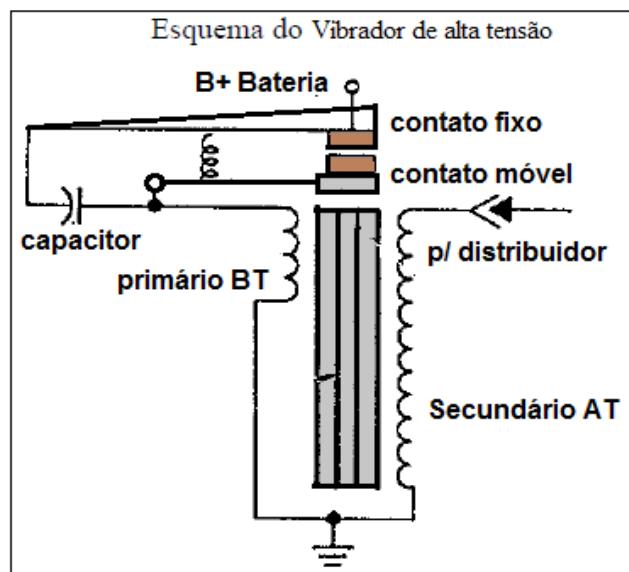
- Quando um magneto é desligado, a rotação do motor cai um pouco, indicando que o magneto em funcionamento está bom.
- Se a queda de rotação for acentuada, o magneto em funcionamento está com defeito.
- Se não houver queda de rotação, indica que o magneto que foi desligado está com defeito.

3.3.61. Unidades auxiliares de ignição – nos sistemas de ignição a magneto, em função da baixa rotação do motor durante a partida, os magnetos não têm a alta tensão necessária para a ignição inicial, por isso é necessário a geração provisória de alta tensão por outros meios.

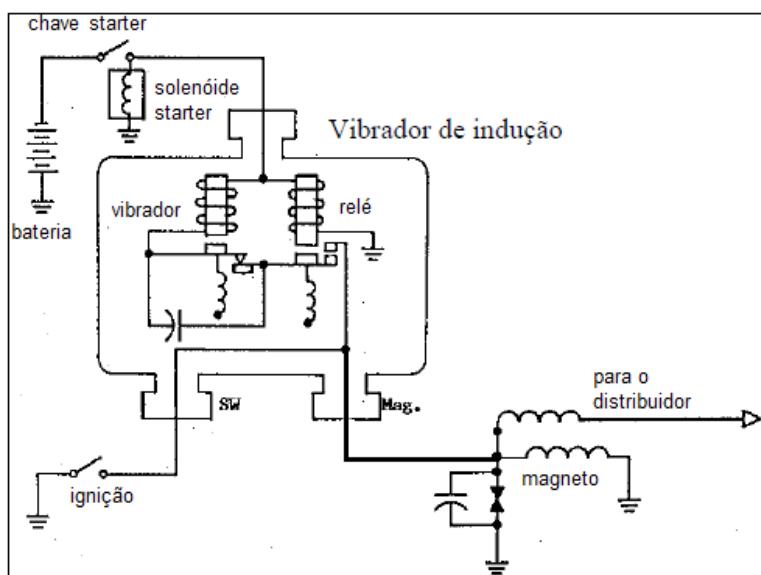
São os seguintes os tipos de dispositivos auxiliares de ignição:

- Vibrador de alta tensão: gera alta tensão pulsada e entrega direto no distribuidor;
- Vibrador de baixa tensão: somente produz os pulsos de baixa tensão para excitar a Bobina externa, elevadora de tensão, que por sua vez é conectada no distribuidor;
- Acoplamento de impulso: é um dispositivo tipo catraca, acoplado ao eixo de um dos magnetos, que acumula a força de uma mola na rotação inicial do motor e em seguida dispara o magneto em alta rotação para abrir uma centelha a cada ciclo do cilindro, e fazer o motor partir. Ao iniciar o funcionamento do motor, o acoplamento é desligado por contrapesos iniciais e o magneto passa a operar normalmente.
- Vibrador interruptor de retardo de alta tensão: o mesmo princípio do vibrador já descrito anteriormente, mas com a vantagem de retardar a centelha no momento da partida, para evitar torque contrário.
- Vibrador interruptor de retardo de baixa tensão: conforme descrito acima.

3.3.62. Vibrador de alta tensão – é um dispositivo eletromagnético, alimentado pela bateria do avião, e que através da vibração de um contato, gera um trem de pulsos de alta tensão. É energizado quando a chave do magneto é colocada na posição "start", ou automaticamente quando o motor de arranque é engatado. A alta tensão de saída é também conectada ao distribuidor, mas através de um outro circuito, separado da alta tensão proveniente do magneto.



3.3.63. Vibrador de indução (baixa tensão) – a diferença em relação ao de alta tensão é que este dispositivo apenas cria os pulsos de corrente, e a elevação da tensão é feita por uma Bobina de alta externa.



3.3.64. Acoplamento de impulso – é um dispositivo mecânico tipo catraca, acoplado ao eixo de um dos magnetos, dotado de mola de torção, pré-tensionada, que libera sua força na rotação inicial do motor, no momento da “partida”, impulsionando o eixo do magneto numa velocidade suficiente para gerar a centelha nas velas.

É dotado também de dois pesos que atuarão por reação inercial para liberar a catraca do eixo do magneto, assim que o motor “pegar” e atingir determinada velocidade. A partir de então o magneto será acionado normalmente pelo motor.

3.3.65. “ponto” de ignição – o “ponto” correto da ignição é muito importante para que haja uma queima completa da mistura carburada, produzindo o máximo de eficiência energética na explosão dentro do cilindro. O que determina o “ponto” correto do centelhamento, em relação ao final do ciclo de compressão, é o instante da abertura dos contatos do platinado. Se o cenelhamento ocorrer antes do “ponto” ótimo, diz-se que está adiantado, e se ocorrer após, estará atrasado.

3.3.66. Velas de ignição (spark plugs) – a finalidade da vela de ignição é acender uma centelha elétrica dentro da câmara de combustão para provocar a explosão da mistura carburada sob pressão. Apesar de conceitualmente muito simples, este componente é muito especial, conforme veremos a seguir:

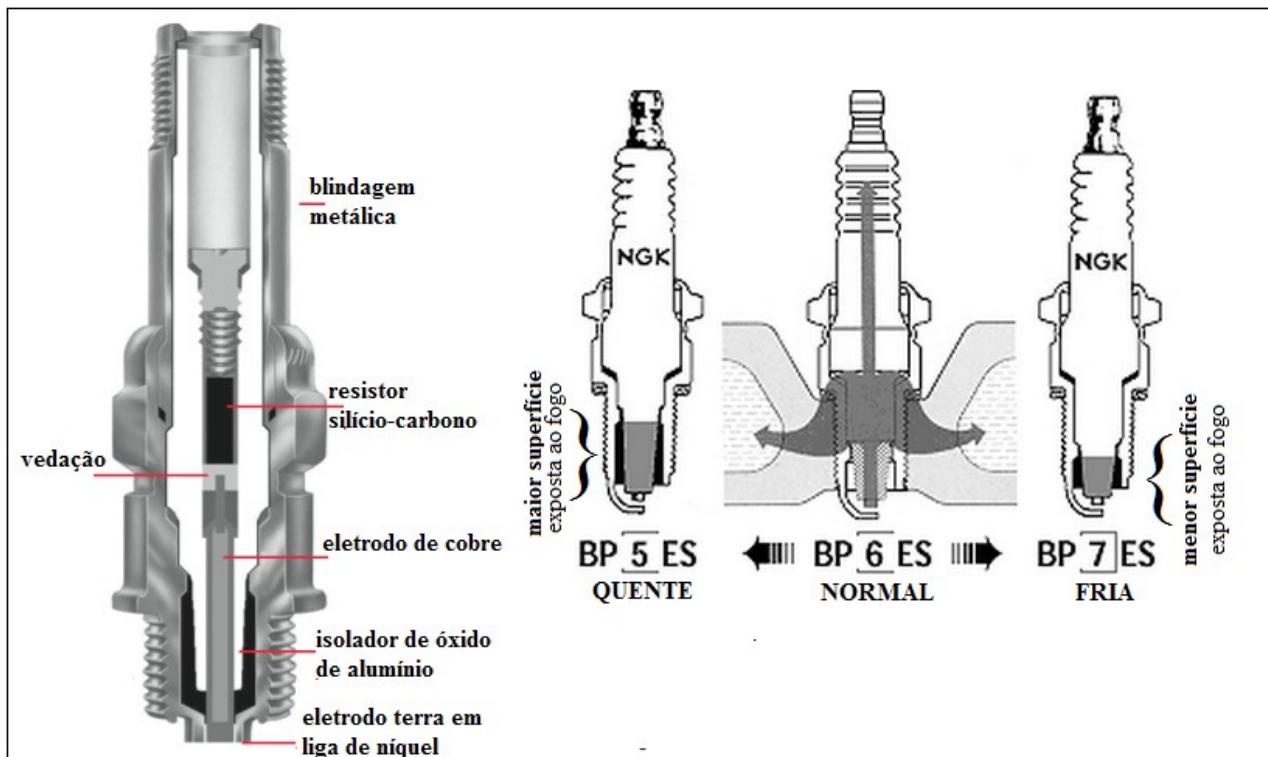
- Trabalha com alta tensão elétrica: tem que ter um isolamento elétrico excelente e uma resistência no eletrodo central suficiente para limitar a corrente em caso de baixa resistividade ou curto-circuito entre os eletrodos;
- Emite rádio interferência: tem que ter blindagem metálica contra RFI, revestindo o corpo da vela, assim como nos cabos elétricos;
- Trabalha na região de “fogo”: tem que responder bem às dilatações térmicas dos diversos materiais que a compõem, além de ter alta capacidade de dissipação do calor;
- Trabalha sob alta pressão: tem que ter excelente vedação e resistência mecânica;
- O centelhamento consome gradualmente o material dos eletrodos: devem ser de materiais altamente resistentes à deterioração;
- O centelhamento ocorre no “gap” (espaço) entre o eletrodo central e os eletrodos da carcaça (terra): a espessura do gap é muito crítica para o funcionamento correto da vela;

Observação: o contato accidental entre os eletrodos de uma vela provoca a interrupção na produção da centelha. Este problema não se propaga para as outras velas do motor, mas provoca a queda de rotação do mesmo.

Quanto à capacidade de dissipação do calor, existem três tipos de velas: normal, quente e fria.

O que diferencia os três tipos é o comprimento da extremidade final do eletrodo central, exposta ao calor. A dissipação é tanto melhor (vela mais fria) quanto menor for essa extremidade exposta ao calor da explosão.

Cada fabricante de motor vai recomendar o tipo de vela a ser utilizada no seu motor.



A utilização inadequada dos tipos de velas pode acarretar os seguintes problemas:

- uma vela “quente” utilizada onde a vela “fria” é recomendada, pode causar pré-ignição;
- uma vela “fria” utilizada onde a vela “quente” é recomendada, pode causar incrustação de fuligem (óleo e carvão) entre os eletrodos;

3.3.67. Cabo de vela (spark plug lead) - é um componente muito importante para a confiabilidade do motor, por isso deve ter, no mínimo, estas características:

- Alto poder de isolamento aliado à alta resistência térmica;
- Isolamento impermeável e resistente à ação de combustível e lubrificante;
- Alta resistência mecânica aos esforços de tração e compressão, aliada à flexibilidade;
- Boa condutância elétrica;
- Ser dotado, em toda a sua extenção, de uma camada de blindagem eletromagnética;
- Conectores com boa vedação, fixação mecânica firme e contato elétrico perfeito;

3.3.68. Iluminação – o sistema de iluminação da aeronave é parte do sistema elétrico, e através de circuitos exclusivos alimenta e controla as seguintes partes:

- **luzes de navegação**: têm o objetivo de indicar a trajetória relativa da aeronave em relação aos observadores. Essas luzes serão vermelhas na ponta da asa esquerda, verde na ponta da asa direita e branca, na parte traseira inferior da aeronave. As luzes de navegação deverão ser exibidas à noite ou em qualquer outro período que se julgar necessário.
- **luzes anti-colisão**: têm o objetivo de chamar a atenção para a aeronave. Essas luzes são brancas ou vermelhas, de funcionamento intermitente ou em flashes, localizadas normalmente nas pontas da asa (na frente das luzes de navegação) e no topo da deriva. Podem, também, ser fixadas na parte superior ou inferior da fuselagem. As luzes anticolisão devem ser exibidas sempre que a aeronave estiver em operação, independente do período do

dia. Entende-se que uma aeronave está em operação, quando em vôo, efetuando táxi, efetuando giro de manutenção no solo ou mesmo sendo rebocada.



- **luzes de pouso:** são faróis potentes, posicionados na parte mediana frontal das duas asas e com o feixes de luz regulados para longo alcance.
- **luzes de taxi:** são faróis potentes, posicionados no trem de pouso frontal e com feixes de luz direcionados para média e curta distância.
- **luzes do interior da cabine:** iluminação externa dos painéis e luz de leitura para os pilotos. Devem ter controle de intensidade.
- **luzes dos instrumentos:** iluminam individualmente os instrumentos dos painéis e também devem ter controle de intensidade.
- **luzes de auxílio ao passageiro:** luzes para leitura, com regulagem da direção do feixe.

4 - MOTORES

Motor – é todo dispositivo que converte determinado tipo de energia em energia mecânica (torque).

4.1. Tipos de motores:

- Hidráulicos;
- Pneumáticos;
- Elétricos;
- Eólicos: cata-vento (e vela de embarcação);
- Térmicos : combustão interna e combustão externa;

Os motores utilizados na aviação são térmicos, de combustão interna, e é sobre este tipo de motor que focaremos este estudo.

Para que uma aeronave permaneça em voo, e com velocidade constante, deve existir uma tração com intensidade igual e em direção oposta ao arrasto aerodinâmico dessa aeronave. Essa tração, ou força propulsora, é fornecida por um motor térmico adequado, acionando um dispositivo propulsor.

Todos os motores térmicos têm em comum a capacidade de converter energia calorífica em energia mecânica, por meio da queima controlada e confinada de uma massa de fluido, composta de combustível e carburante, produzindo energia mecânica na forma de torque (rotação do eixo motor).

4.2. Características importantes dos motores térmicos utilizados na aviação:

- **Funcionamento preciso e seguro (confiabilidade):** durante o período de Durabilidade, previsto pelo fabricante, o motor deve funcionar sem falhas nas condições operacionais normais, ou adversas, como altitudes (baixas temperaturas e baixa densidade do ar), intempéries (chuva e poeira) e regimes forçados por curto tempo (decolagens e arremetidas);
- **Baixíssimo nível de vibração em toda a faixa de rotações:** esta característica é reflexo de um perfeito balanceamento estático e dinâmico das partes rotativas do motor e do bom dimensionamento do volante de massa para amortecimento de torque “pulsado”. O ajuste dos pontos de abertura e fechamento das válvulas, assim como o ponto de ignição, contribuem bastante na “suavidade” do funcionamento do motor. Os motores a reação são mais “suaves” do que os motores a pistão.
- **Grande Durabilidade (TBO):** máximo período entre revisões (Time Between Overhauls), previsto de acordo com testes e ensaios do fabricante do motor, focado principalmente nos sistemas mais sujeitos à deteriorização precoce. O tempo típico de um motor Rotax de quatro cilindros, por exemplo, é de 1.500 h, sob determinadas condições sugeridas pelo fabricante do motor.
- **Baixo consumo específico de combustível:** significa quanto de combustível é gasto por HP produzido em uma hora de funcionamento. Quanto mais baixo for este parâmetro, mais econômico no *consumo horário* será o motor.
- **Mantenabilidade:** característica que se traduz pelo fácil acesso e fácil execução dos itens elencados para inspeções do piloto e revisões periódicas recomendadas pelo fabricante do motor (troca de óleo e filtros, por exemplo).
- **Baixo fator volumétrico (compacidade):** pela aplicação a que se destinam, os motores aeronáuticos são construídos com materiais leves e resistentes, garantindo menor volume

final sem perder a resistência mecânica necessária, e a capacidade de dissipaçāo de calor.

- **Eficiēncia térmica (baixas perdas por efeito Joule)**: é a razão entre a potēcia útil no eixo do motor e a potēcia da queima do combustível. Nos motores a pistão esse fator é muito baixo, na ordem de 25% a 30%.
- **Leveza (Weight/power ratio)**: é a razão entre o “peso” do motor (massa) e a potēcia útil (Lb / HP ou Kg / KW). Comparativamente, um motor elétrico industrial, de alta performance tem uma leveza de 3.63 kg / KW, enquanto que um motor aeronáutico a pistão, tipo Rotax 912 ULS DCDI 100HP* tem uma Leveza de 0,82 Kg / KW.

Performance		Combustion Chambers					
Maximum Power* (5 minutes)	100HP / 73.5KW @ 5800 RPM	diâmetro	Bore	3.31" / 84mm			
Maximum Power (sustained)	95HP / 69.0KW @ 5500 RPM	curso	Stroke	2.40" / 61.0mm			
Maximum Torque	94ft-lb / 128NM @ 5100 RPM	deslocam	Displacement	82.6cu.in. / 1352cm ³			
				Compression ratio taxa de compressão			
				10.5:1			
Weight		Massa					
Engine with carburetors		124.7lbs / 56.6Kg					
Exhaust System		8.8lbs / 4.0Kg					
Air Box		2.9lbs / 1.3Kg					
Air Filter		0.7lbs / 0.3Kg					
Liquid Radiator		2.2lbs / 1.0Kg					
Oil Radiator		1.1lbs / 0.5Kg					
Regulator-Rectifier		0.2lbs / 0.1Kg					
Installed Weight		140.6lbs / 63.8Kg					
Weight/power ratio 1.41lbs/HP / 0.87Kg/KW							
Time Between Overhauls (TBO): 1500 hours*							



Rotax 912 ULS DCDI 100HP*

4.3. Princípio da combustão:

para haver fogo temos que juntar três elementos:

- Carburante: oxigênio (21% do ar atmosférico);
- Combustível (gasolina, querozene, álcool, diesel, gás butano,...);
- Alta temperatura (alta pressão sobre a mistura carburada e centelha);

4.4. Tipos de motores térmicos

- de acordo com a técnica empregada para conversão da energia calorífica em energia mecânica (torque), os motores térmicos podem ser de dois tipos:

- **motores a pistão (motores alternativos)**: são os motores em que os êmbolos ou pistões, conectados a um eixo de manivelas, se deslocam alternativamente dentro dos cilindros, movimentando um volume de fluido carburado (ar misturado com combustível) de acordo com uma sequência de eventos (fases de funcionamento) no tempo, até completar um ciclo que é a explosão do fluido carburado sob alta pressão, gerando trabalho sobre os pistões, e assim, fazendo girar o eixo de manivelas de forma “pulsada”, mas amortecida por um volante de massa (flywheel).
- **motores a reação**: são os motores de “fogo contínuo”. Consistem de uma estrutura tubular, um rotor e câmaras de combustão. O rotor tem dois estágios: compressor, na entrada e turbina na saída. A massa de ar entra no motor de forma contínua, é comprimida pelos elementos primários (compressor), passa pelas câmaras de combustão onde se expandem e

ganham pressão e velocidade, e através de um processo de retroalimentação, os gases expelidos impulsionam os estágios secundários (turbina) gerando rotação contínua no eixo motor.

De acordo com a forma como ocorre a queima da mistura carburada, os motores térmicos classificam-se em dois tipos:

- queima espontânea por altíssima pressão nos cilindros: este é o caso dos motores diesel (1893: RUDOLF DIESEL, alemão, engenheiro, é o inventor do motor de combustão por compressão);
- queima por ignição elétrica (centelha): nos motores a gasolina (média pressão nos cilindros), e nos motores a reação;

4.5. Tipos de motores a pistão - de acordo com o número de cursos (deslocamentos) efetuados pelo pistão, a cada ciclo motor, os motores alternativos podem ser de dois tipos:

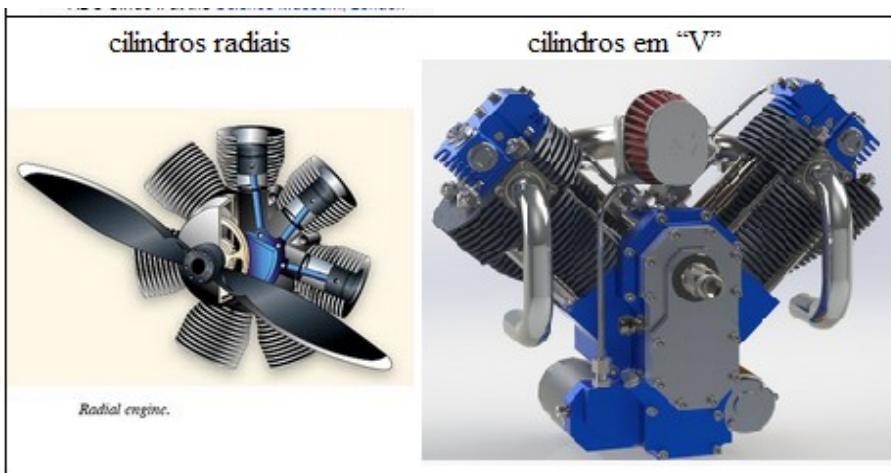
- motores a quatro tempos (four strokes) inventado em 1878 por NICOLAS OTTO, alemão, caixearo viajante e sócio de uma fabrica de motores a gás. Por isso o ciclo de funcionamento deste tipo de motor é conhecido por Ciclo Otto.
- motores a dois tempos (two strokes);

Os motores aeronáuticos a pistão, de acordo com o arranjo construtivo dos cilindros, podem ser:

- cilindros dispostos axialmente: pequena área frontal, mas longos axialmente.
 - verticais em linha: o mais longo axialmente.
 - opostos horizontais: melhor solução entre a área frontal e o comprimento axial.
 - cilindros em “V”: solução intermediária entre os verticais e os opostos.
- cilindros dispostos radialmente: grande área frontal e pequeno comprimento axial, mas distribui melhor os cilindros.



A utilização de cada tipo de motor alternativo, em função do arranjo dos cilindros, foi se adequando com o tempo, e ultimamente os tipos mais utilizados são os motores de cilindros opostos horizontais, nas aeronaves de pequeno porte, e os de cilindros radiais nas aeronaves de médio e grande porte.

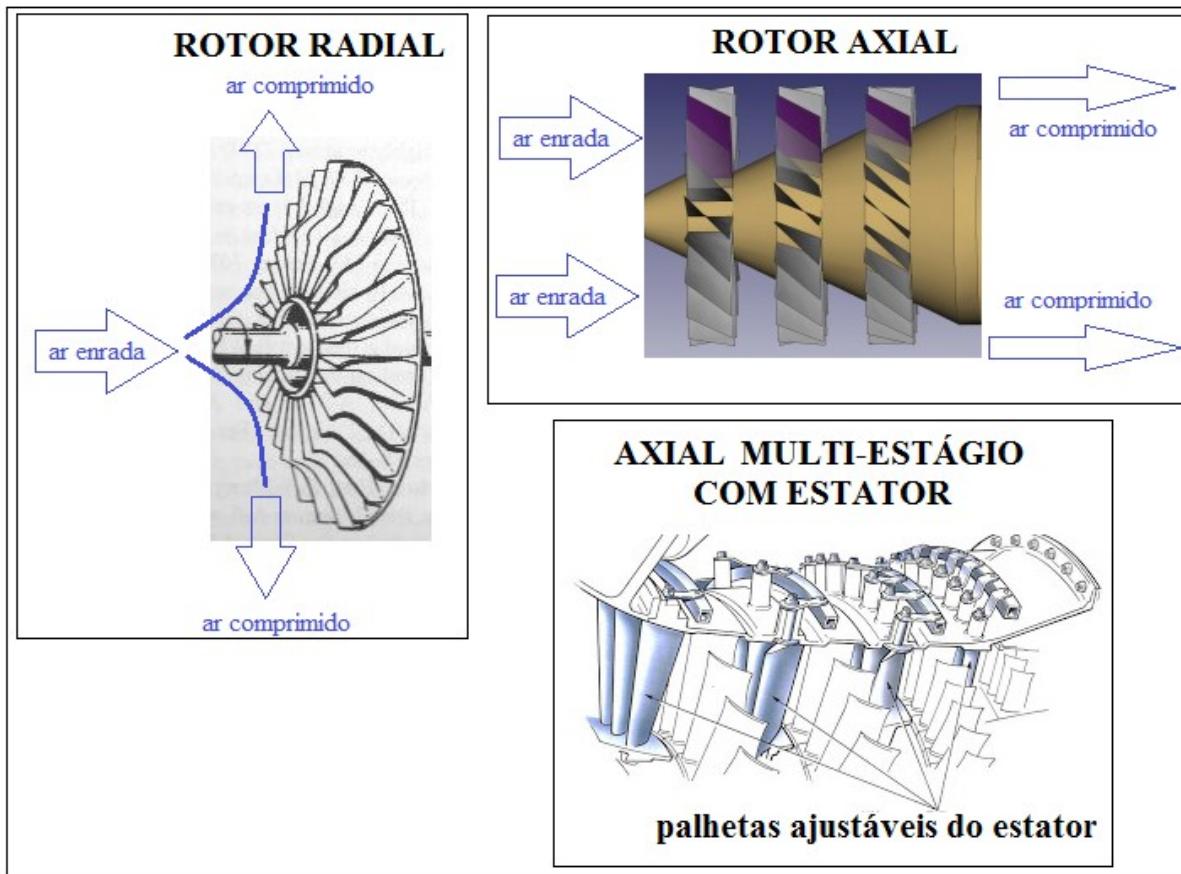


4.6. Motores a reação – veremos a seguir vários tipos de motores a reação, mas todos têm quatro componentes principais:

- **Eixo:** O motor tem apenas um eixo, solidário com o estágio compressor e a turbina de saída.
- **Compressor:** serve para comprimir o ar de entrada dos motores, impelido pelo eixo quando a turbina recebe o fluxo dos gases de exaustão, e seu rotor pode ser de dois tipos:
 - radial ou inercial: o ar entra axialmente e é impelido por reação inercial para a borda do compressor. Sua característica é produzir maior pressão do que o compressor axial.
 - axial: é constituído de palhetas separadas, e o ar entra e sai axialmente. Pode comprimir maior volume de ar do que o compressor inercial, e para aumentar a pressão são utilizados vários estágios em série.

Estol do compressor axial: o compressor terá baixo desempenho se o fluxo do ar estiver turbulento. Por isso são utilizados os “difusores” de ar, que são “palhetas” montadas na carcaça do compressor, posicionados entre os estágios rotativos, com ângulo fixo ou regulável, e que estabilizam o fluxo de ar dentro do compressor. O conjunto de difusores recebe o nome de “estator”.

- **Turbina:** tem a mesma forma construtiva dos compressores axiais, fica no estágio pós combustão e recebe a exaustão dos gases para produzir trabalho, e assim, movimentar o eixo do motor, realimentando o compressor para fechar o ciclo motor. A turbina também tem estator com as palhetas posicionadas no lado da entrada dos gases da combustão.
- **Câmara de combustão** - local onde ocorre a mistura do ar comprimido, que já vem aquecido do compressor (200°C a 550°C), com o combustível injetado continuamente por bico pulverizador. Essa mistura é inflamada por ignitor contínuo, resultando na combustão da mistura. Aqui a temperatura deve ser contida para uma faixa de 850°C a 1.400°C , respeitando o limite de temperatura dos materiais em contato com a chama e com os gases aquecidos.

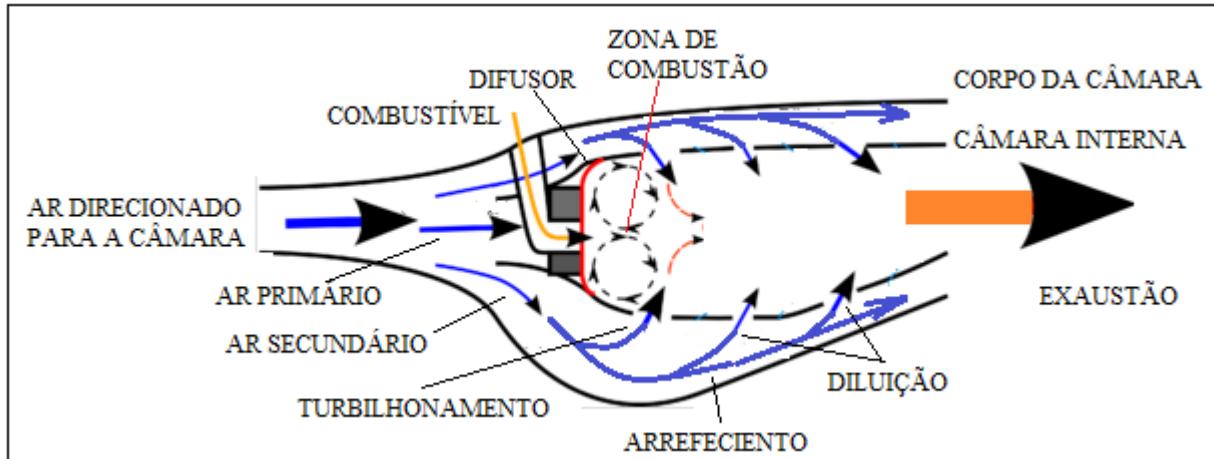


Os principais componentes de todas as câmaras de combustão são: um difusor, o corpo externo, uma “câmara” interna, um injetor de combustível e um ignitor.

Características principais de uma câmera de combustão de “fogo contínuo”:

- O fluxo do ar comprimido que é direcionado para a câmara é dividido em dois fluxos:
 - fluxo de ar primário: cerca de 25 % do ar é para a combustão, entrando diretamente no difusor, fazendo o turbilhonaento da mistura ar/combustível, ao mesmo tempo que “limpa” o bico injetor de combustível, evitando a formação de carvão.
 - Fluxo de ar secundário: com 75% do fluxo total, serve para resfriamento da câmara interna, ao passar externamente ao difusor, e seguir entre o corpo externo e a câmara interna. Serve também para a diluição da chama, entrando na câmara interna, através de furos.
- O ar, dentro da câmara, deve transitar com baixa velocidade para facilitar a queima e evitar o “prolongamento” da chama para fora da câmara, por isso, o diâmetro do corpo e da câmara interna devem ser maiores do que os diâmetros de entrada e saída (princípio de Bernoulli).

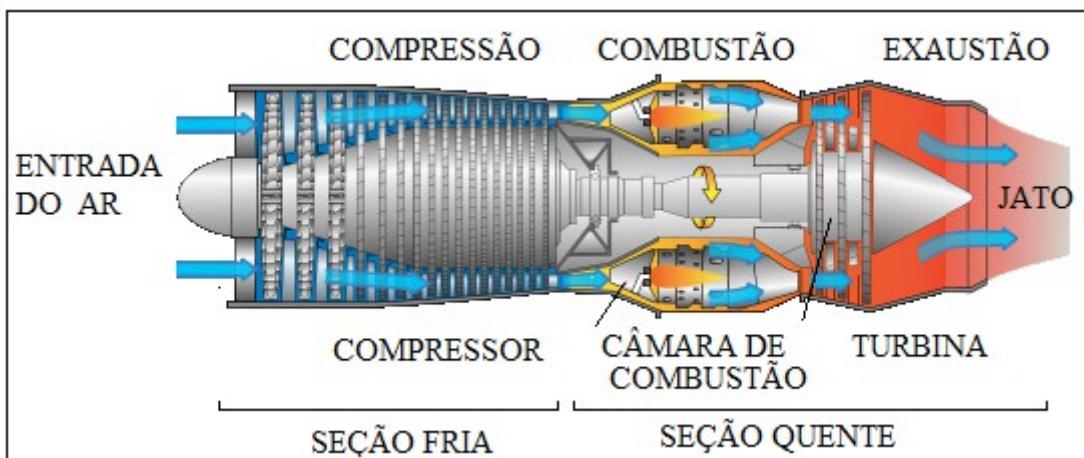
- O combustível é injetado e deve ser misturado com o ar por turbulência, para possibilitar



uma queima uniforme da mistura dentro da câmara interna.

4.7. Tipos de motores a reação - os motores a reação podem ser:

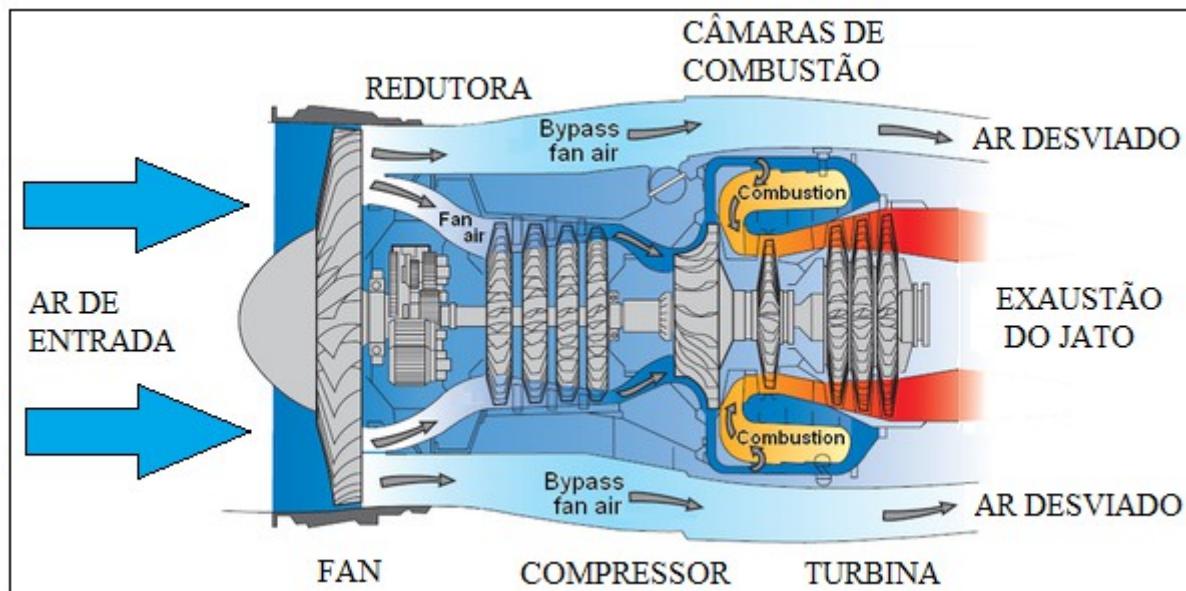
- turbo-jato:** Conhecido também como motor de jato puro, toda sua tração é devida aos gases do escapamento. Tem alta eficiência em grandes altitudes e grandes velocidades, porém consome bastante combustível e tem um nível de ruído bastante elevado.



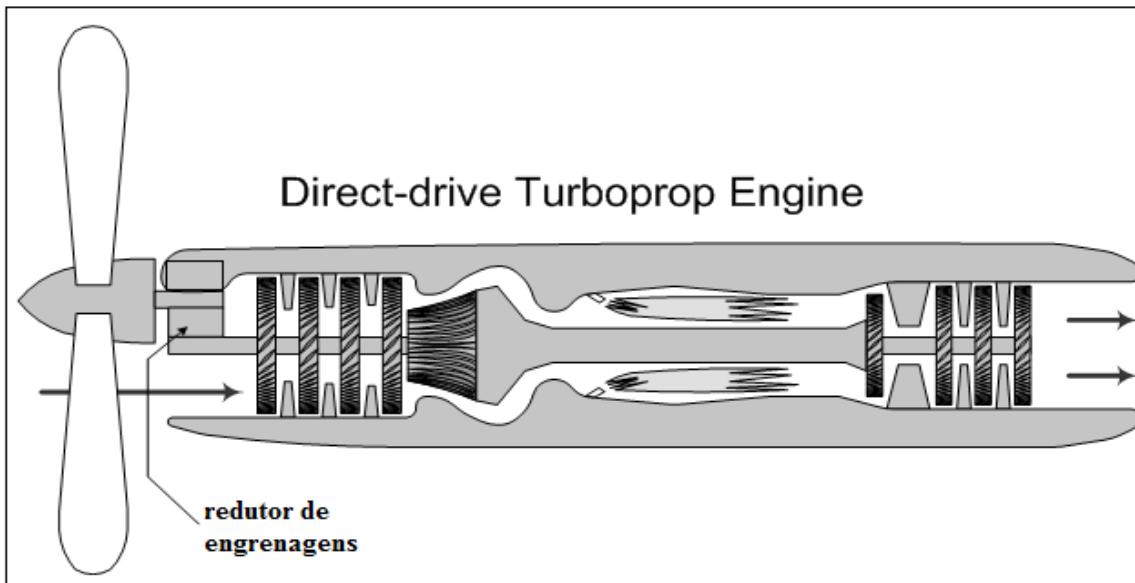
- Turbo-fan:** o ar de entrada passa inicialmente por um estágio impelidor (fan) de grande diâmetro, e em seguida é dividido (by-pass) em dois fluxos: um fluxo de ar frio, periférico, que é impelido diretamente para a saída do motor, e outra porção que passa pelo centro, através do compressor, e daí segue como foi descrito para o motor turbo-jato. De acordo com o percentual de ar “desviado”, estes motores são de três tipos:
 - Baixa razão de desvio: a massa de ar desviada é igual à massa de ar que passa pelo turbo-jato central. Razão de desvio de 1:1.
 - Média razão de desvio: a razão de desvio passa a ser de 2:1 ou 3 : 1.
 - Alta Razão de Desvio: são os motores com uma razão de desvio acima de 4:1. Esses motores produzem cerca de 80% do empuxo pelo fan e somente 20% pelo core do motor. Com isso teremos níveis de ruídos menores e mais baixas taxas de consumo de combustível.

combustível.

Este tipo de motor é o mais utilizado atualmente na propulsão de aeronaves a jato.

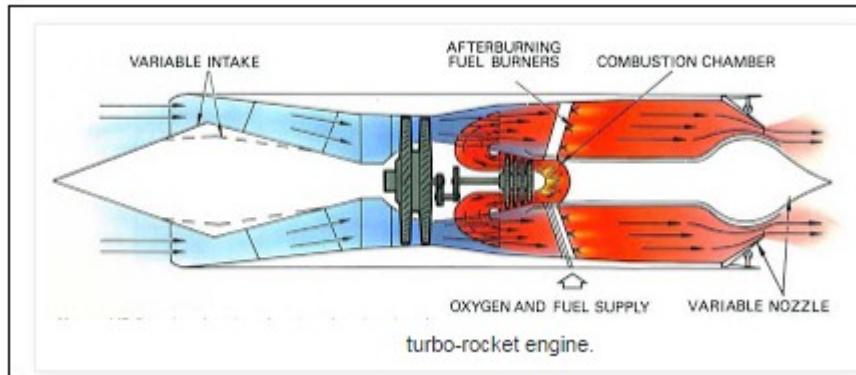


- Turbo-hélice: O turbo-hélice é um motor de reação misto, pois trata-se de um motor a jato acionando uma hélice, através de um redutor de velocidade. A força propulsiva deste motor é de 90% produzida pela hélice e 10% pelos gases de escapamento. Comparando-se o motor turboélice com o motor a jato puro, nota-se:



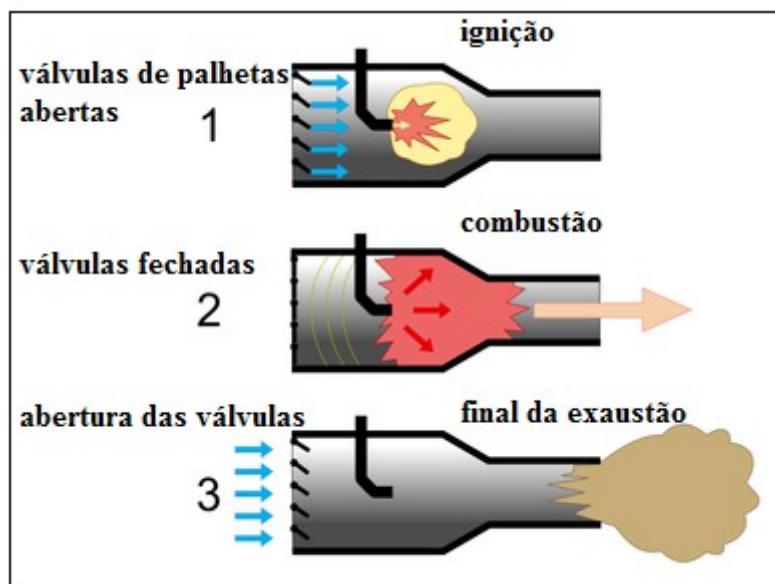
- O turbo-hélice é normalmente maior que um motor a jato de tração equivalente, mais complexo e possui mais partes móveis;
- Fornece maior tração que o jato puro em baixas velocidades, consumindo menos combustível;
- Nas decolagens, o turboélice acentua sua eficiência em virtude da hélice movimentar uma grande massa de ar; nos poucos propicia maior força de frenagem pelo maior arrasto oferecido pelo disco da hélice em passo mínimo ou reverso.

- Turbo-rocket (motor a foguete) – neste tipo de motor, destinado a funcionar inclusive fora



da atmosfera terrestre, o combustível e o carburante são armazenados no próprio veículo, e não depende de admissão de ar externo. O princípio de funcionamento é o mesmo do jato puro.

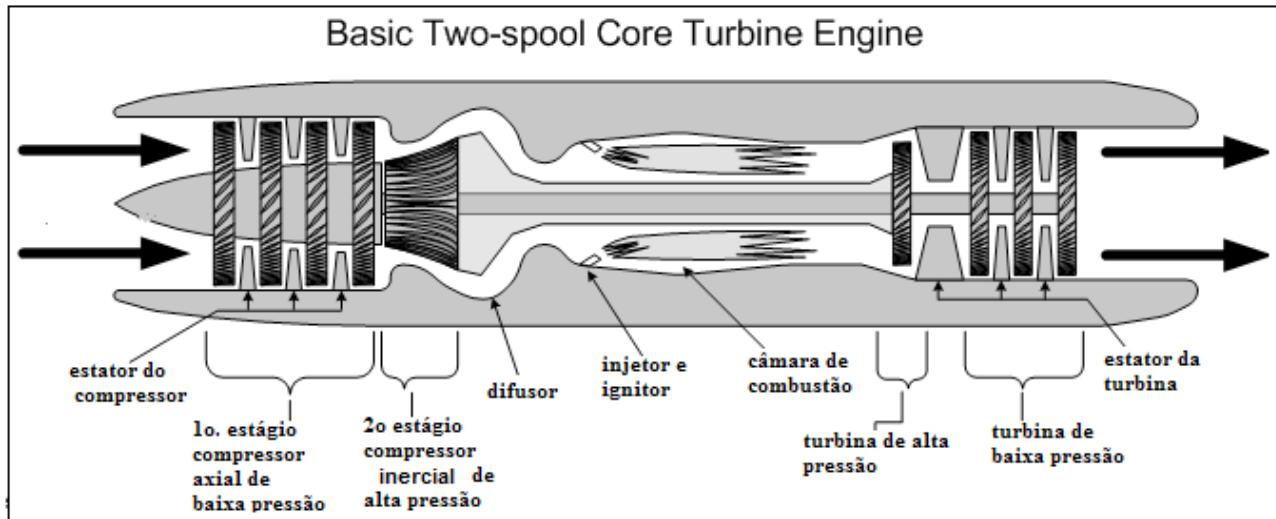
- **Pulso-jet** – é um motor especial que funciona de forma pulsada, e não rotativa, por isso de pouca utilização em aviação comercial, haja vista o alto nível de ruído e de “trepidação”. Seu funcionamento é possível graças a um sistema de válvulas de palhetas na admissão da mistura ar/combustível, e tem três fases:
 1. Considerando a câmara de combustão já cheia da mistura ar/combustível, ocorre um evento de ignição.
 2. Em seguida a combustão provoca a expansão dos gases e o fechamento das válvulas de palheta, provocando um pulso de exaustão para trás, deslocando o veículo para a frente.
 3. Ao cessar a pressão da combustão anterior, no final do deslocamento do fluxo da exaustão, vai ocorrer a abertura das válvulas de palheta, quando tem lugar uma nova admissão da mistura ar/combustível.



- **Motores com dois rotores (two spool core)**: cada eixo tem seu próprio conjunto independente de compressores e turbinas, que giram em velocidades diferentes. O primeiro compressor de entrada é de baixa pressão, do tipo axial, é impulsionado pela última turbina, e a sua velocidade de giro é denominada N1. O segundo compressor (interno) é de alta

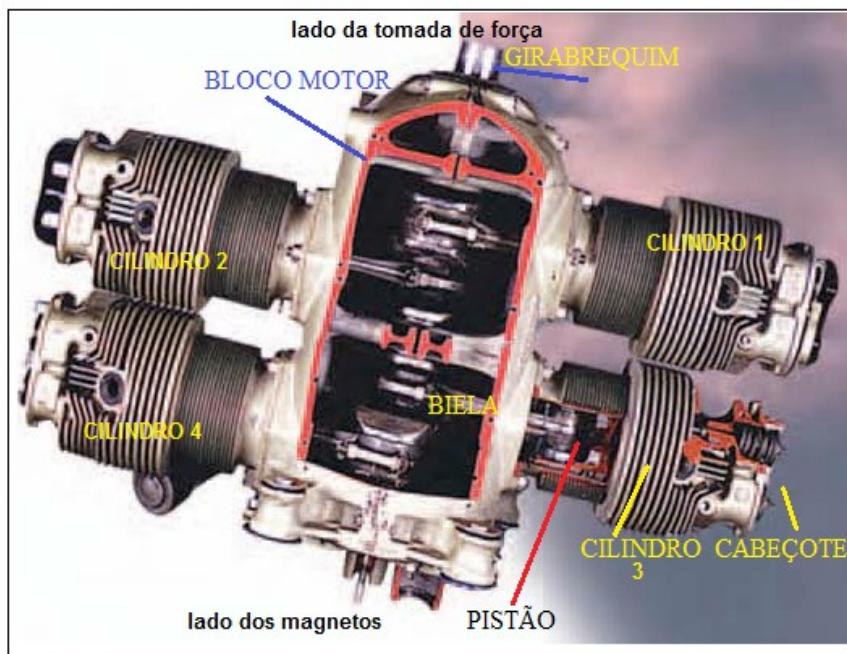
pressão, do tipo radial, é impulsionado pela turbina interna, e sua velocidade é denominada de N2.

Estes motores têm melhor performance pois com a divisão dos estágios, fica reduzida a possibilidade de estol dos compressores.



- **Bocal propulsor:** os gases que saem da turbina de um motor a reação estão em movimento rotativo e com alta pressão. Essa energia é aproveitada através do bocal de exaustão, cuja função é alinhar os gases de saída e converter a alta pressão em velocidade. Alguns detalhes construtivos ajudam no espalhamento dos gases de exaustão, e com isso, reduzindo o ruído do motor.

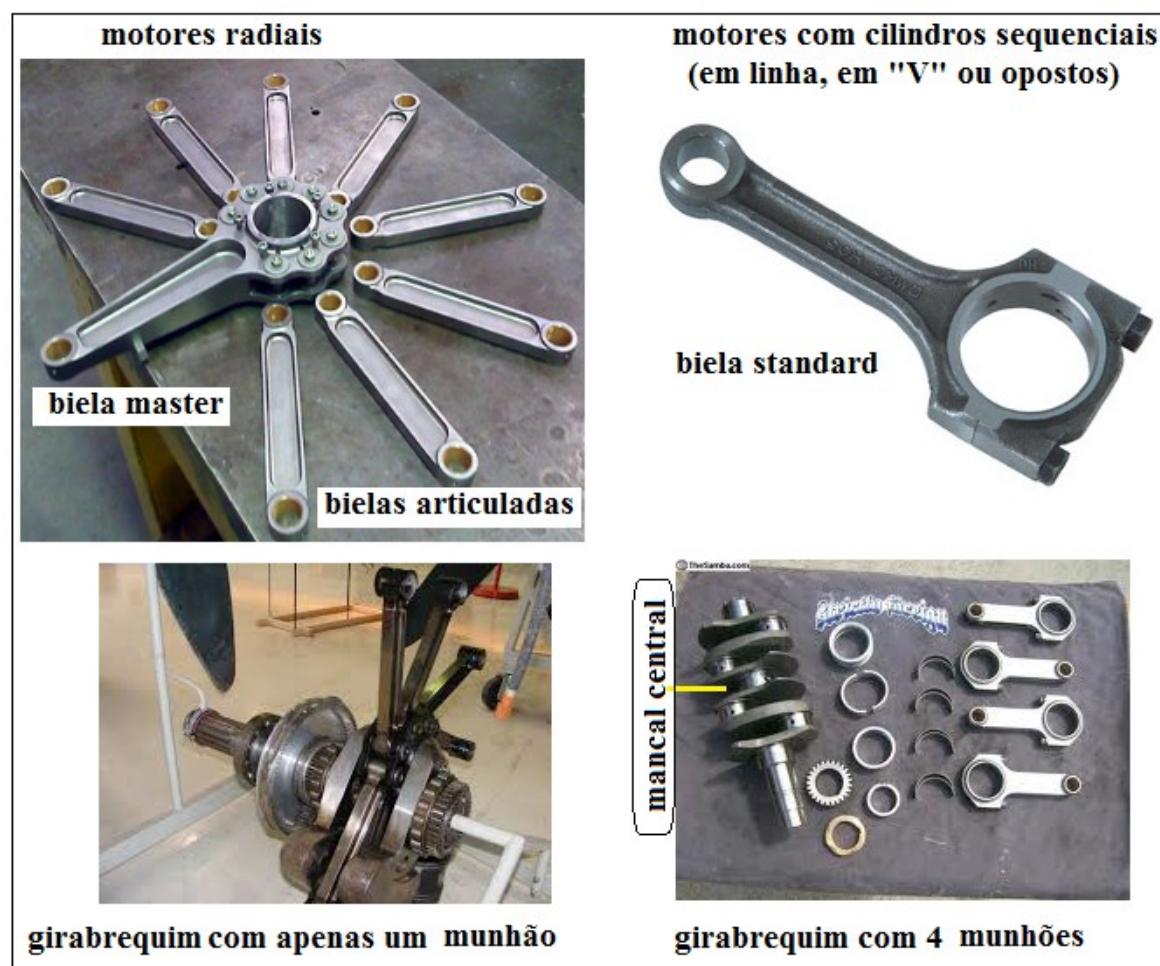
4.8. Partes principais dos motores aeronáuticos a pistão:



- **Bloco (crankcase):** principal parte estrutural do motor, onde são montados os cilindros, o eixo de manivelas, eixo de comando de válvulas, tomadas de força, magnetos, alternador,

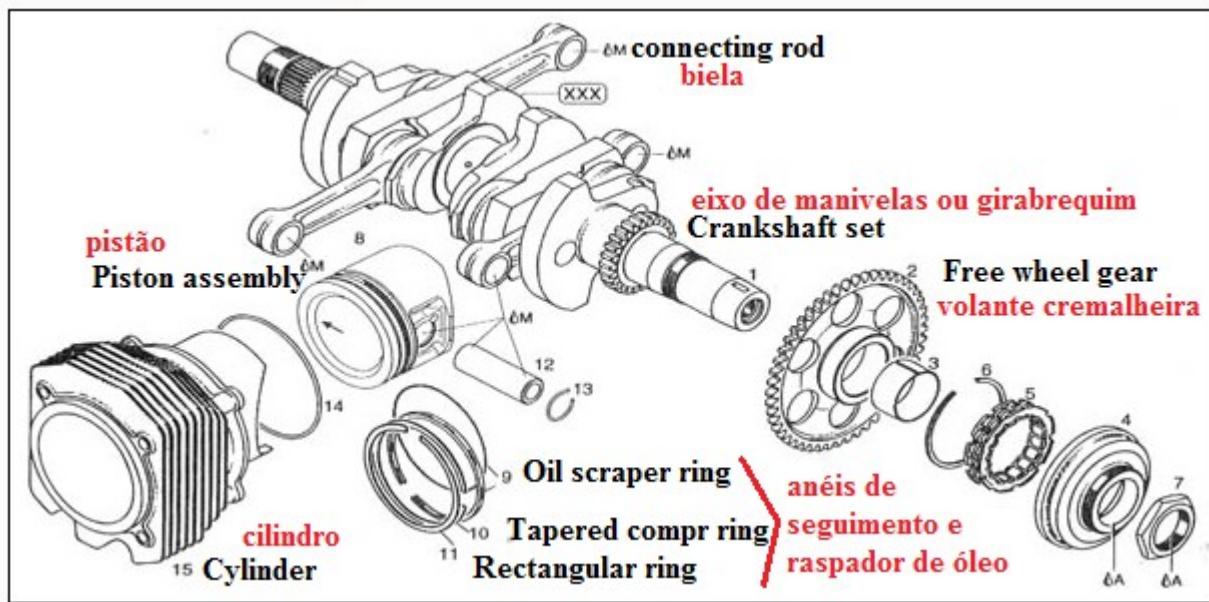
motor de partida e dutos.

- **Conjunto de força:** composto por Cilindro (corpo), Pistão, seus anéis de vedação e lubrificação e pino, biela (braço de ligação do pistão com o eixo de manivelas) e bronzinas (mancais), eixo de manivelas (virabrequim) e seus mancais de apoio no bloco, e volante-cremalheira;
 - **Cilindro:** é a peça tubular onde ocorre a combustão da mistura carburada e onde o pistão faz o seu trabalho alternativo a cada ciclo motor. São numerados sequencialmente conforme a ordem dos munhões no girabrequim. É composto por duas partes:
 - o corpo, construído com liga de alumínio (leve, resistente e bom condutor de calor) e dotado de aletas para arrefecimento por ar;
 - uma camisa interna construída em liga de aço, polida, para resistir à abrasão do movimento alternativo do pistão;
 - **Pistão:** é o êmbolo construído em liga de alumínio que trabalha dentro do cilindro e que durante o ciclo motor faz todo o trabalho de admissão, compressão da mistura carburada, e transmite a força decorrente da combustão para o eixo motriz.
 - **Anéis de vedação do pistão (anéis de segmento):** na parte externa superior do pistão ficam as ranhuras onde são colocados os anéis de vedação e um anel “raspador de óleo”.
 - **Biela:** faz a conexão entre o pistão e o eixo de manivelas; A forma construtiva muda de

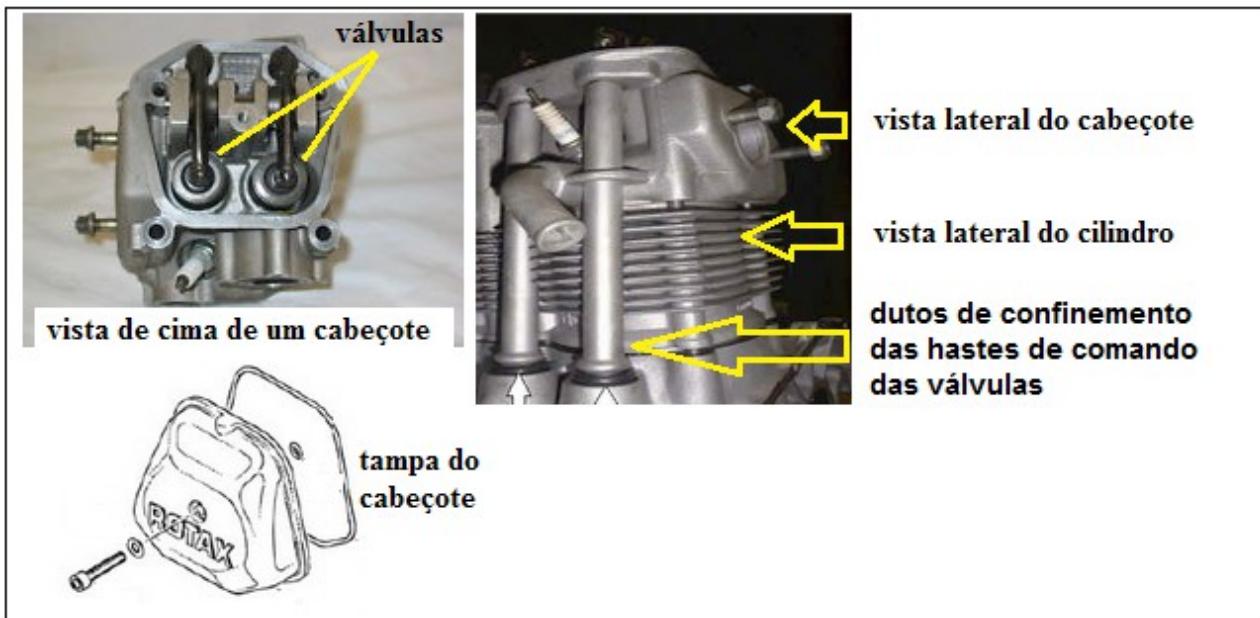


acordo com o tipo de arranjo dos cilindros:

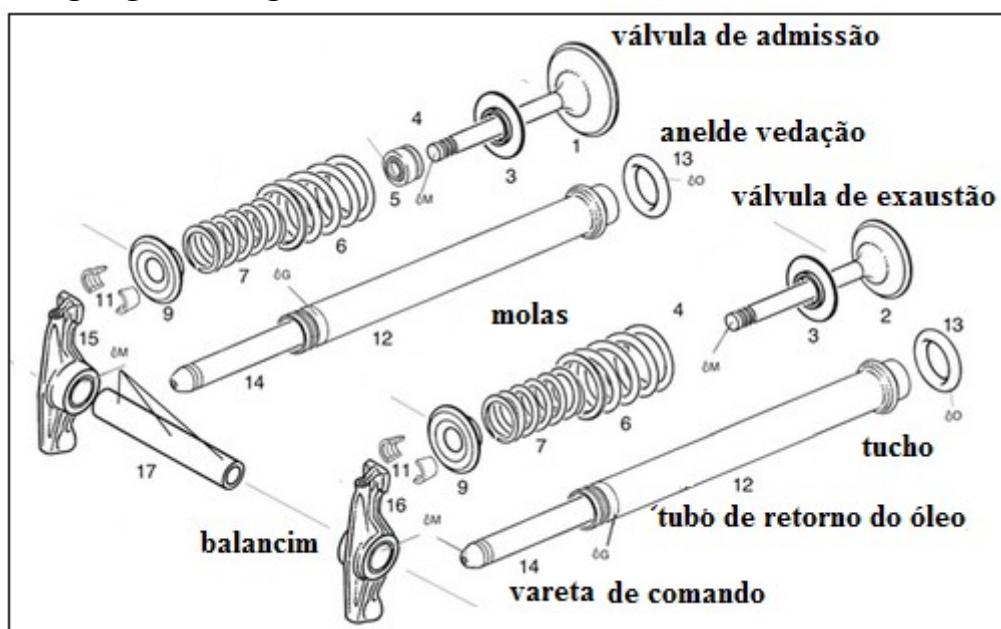
- nos motores com cilindros “radiais” há uma biela mestra e as outras bielas (articuladas) são conectadas nela.
- Nos motores com cilindros dispostos “axialmente” cada pistão tem a sua biela standard.
- **Eixo de manivelas:** onde todos os pistões são conectados para transmitir trabalho.
 - Nos motores com cilindros “radiais” tem apenas uma manivela ou “munhão”.
 - Nos motores com cilindros “sequenciais” cada pistão tem o seu munhão.
- **Volante-cremalheira:** também conhecido como volante de massa, tem afinalidade de “amaciado” ao funcionamento do motor, compensando as pulsavações das explosões nos pistões, pelo princípio da inércia. Na borda do volante estão os dentes de engrenagem para receber o impulso do motor de partida, e também servir de base para um sensor de “pulsos” para ativar uma central eletrônica (se existir).
- Comando e sincronismo mecânico: composto pelo Cabeçote do cilindro, o conjunto de válvulas de admissão e escapamento e eixo de comando de válvulas.



- **Cabeçote:** peça de fechamento do corpo do cilindro, onde ficam alojados os conjuntos de válvulas de admissão e escapamento, as velas de ignição e dutos de resfriamento a água. Como o conjunto de válvulas recebe lubrificação forçada, o cabeçote é confinado por uma tampa, assim como as hastes de comando das válvulas, que trabalham externamente, entre o bloco e o cabeçote, são confinados por tubos metálicos (para retorno do óleo lubrificante para o cárter).
- **Válvulas:** são peças de controle do fluxo da entrada da mistura carburada no cilindro (admissão) e saída dos gases da combustão da mistura (exaustão ou escapamento). São fabricadas com liga de aço especial, pois devem resistir a esforços mecânicos e temperaturas elevadas. Uma válvula é um disco com sede de vedação na borda, e uma haste central, prolongada, onde ficarão as molas espirais de fechamento.

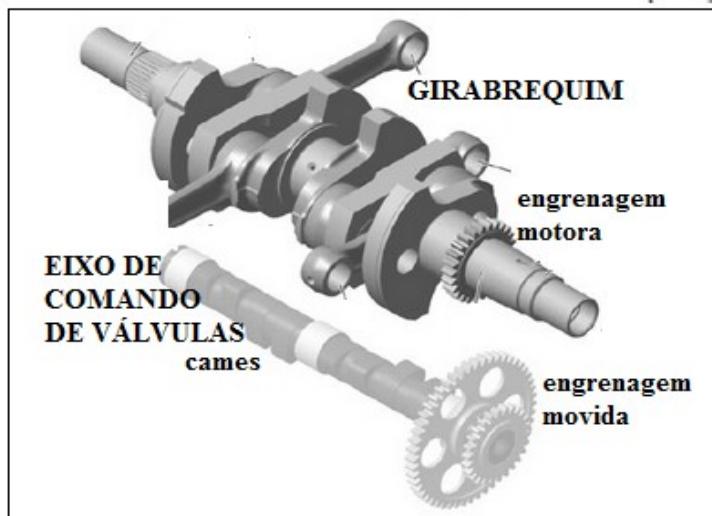


- **Molas de fechamento:** são duas molas com espirais invertidas, motadas uma dentro da outra, e servem para manter a válvula fechada e pressionada na séde do cabeçote.
- **Tuchos:** são as peças que ficam deslizando sobre os cames do eixo de comando, e acionam as hastes (varetas). Podem ser rígidos ou hidráulicos.
- **Hastes ou Varetas de comando:** são hastes metálicas longas, rígidas, que transmitem o movimento de abertura e fechamento das válvulas, quando o lóbulo (came) do eixo de comando aciona o tucão.
- **Balancins:** são os braços montados em balanço, que transmitem o movimento dos tuchos para as hastes das válvulas.
- **Regulagem de folgas:** entre a extremidade do balancim e a haste das válvulas deve



existir um espaço (gape) para compensar a dilatação térmica das hastes das válvulas e do próprio balancim. Essas folgas são maiores nas válvulas de escapamento.

- **Eixo de comando de válvulas:** é um eixo movido, com os cames de acionamento dos tuchos, com uma engrenagem que trabalha acoplada a outra engrenagem menor (relação



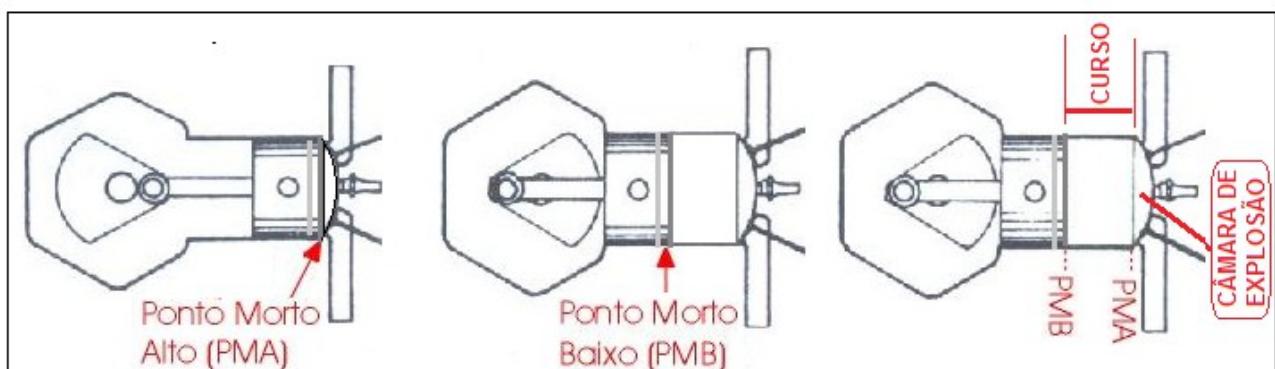
de 2:1) no virabrequim, de forma que o eixo movido roda com metade da rotação do eixo motor.

4.9. Funcionamento dos motores a pistão de quatro tempos:

- Círculo: é o intervalo de tempo onde ocorrem sucessivamente uma série de eventos ou fases.

Nos motores a explosão de “quatro tempos” ou de “dois tempos” teremos as seguintes definições:

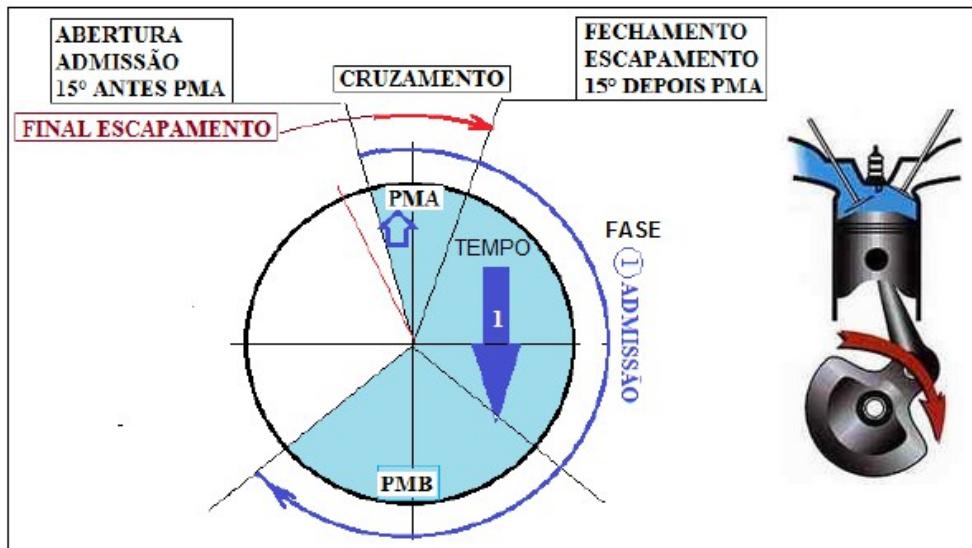
- PMA (Ponto Morto Alto) e PMB (Ponto Morto Baixo): o pistão de um motor a explosão é conectado no eixo de manivelas, portanto, ao girar esse eixo, o pistão fará um movimento alternativo de ida e vinda (curso) dentro do cilindro, entre dois pontos extremos onde o pistão “pára” o movimento de vinda e inicia o movimento de ida. O PMA é referente à posição do pistão na posição mais próxima do cabeçote de válvulas.



- Tempo: significa cada ida e cada vinda do pistão (curso), num total de quatro, durante um ciclo. Cada tempo teórico ocorre a cada 180° de giro do virabrequim, e o ciclo completo ocorre em duas voltas do eixo, ou 720° de giro.
- Fase: significa um ou mais eventos que ocorrem dentro de um tempo.

Nos motores com ciclo Otto, a quatro tempos, temos seis fases, distribuídas como segue:

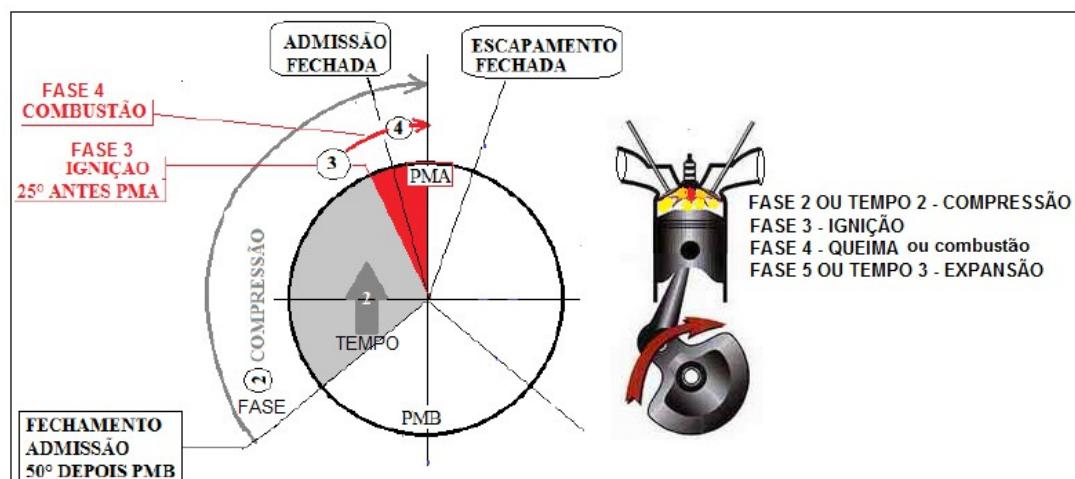
- Tempo 1: admissão → fase 1: admissão;
- Tempo 2: compressão → fase 2: compressão, fase 3: ignição e fase 4: combustão;



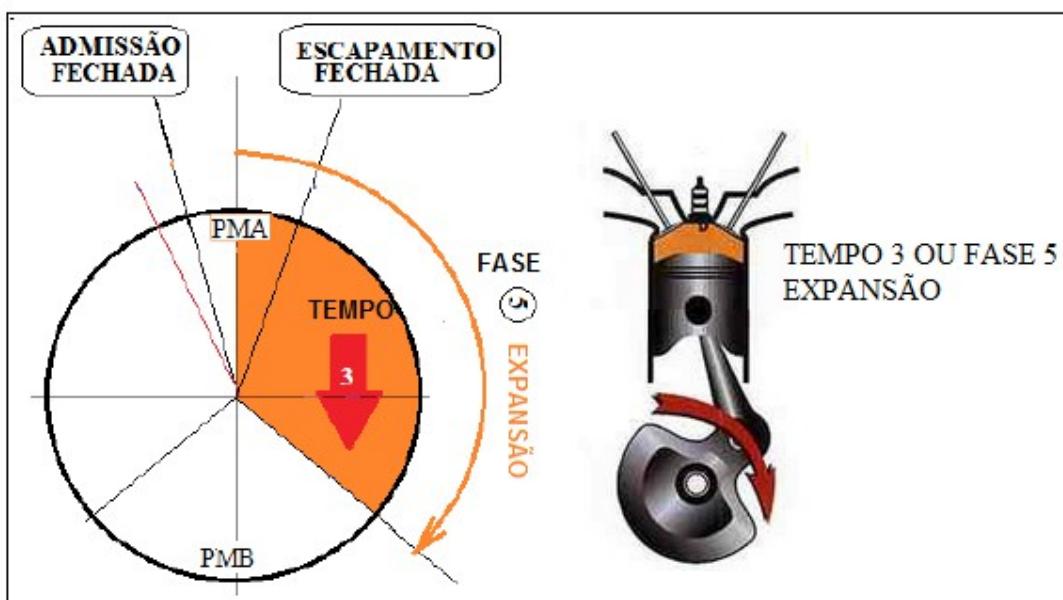
- Tempo 3: Expansão (tempo motor) → fase 5: expansão;
- Tempo 4: Exaustão → fase 6: exaustão;

Ilustração dos “pontos” angulares onde ocorrem os tempos e respectivas fases no motor a quatro tempos:

1. Admissão (giro de 0° a 180° do virabrequim): o pistão parte do PMA, com a válvula de admissão aberta e a válvula de escapamento fechada, “puxando” a mistura carburada para dentro do cilindro.
2. Compressão (giro de 180° a 360° do virabrequim): o pistão parte do PMB, com as duas válvulas fechadas, “comprimindo” a mistura carburada.

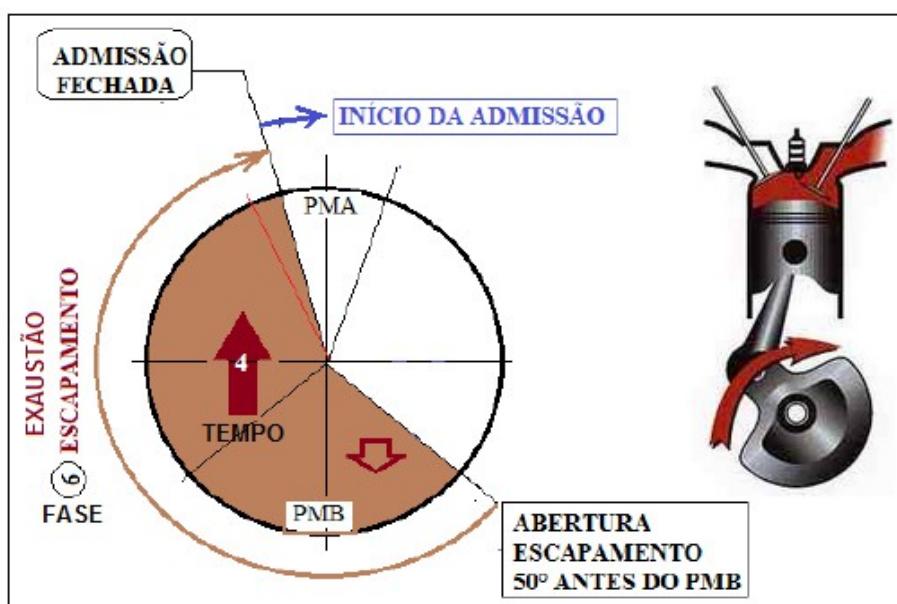


3. Expansão ou tempo Motor (giro de 360° a 540° do virabrequim): o pistão parte do PMA, com as duas válvulas fechadas, a mistura carburada “queimada”, e o pistão impelindo o virabrequim. Este é o único tempo “produtivo”.



4. Escapamento (giro de 540° a 720° do virabrequim): o pistão parte do PMB, com a aválvula de admissão fechada e a válvula de escapamento aberta, “expulsando” os gases da queima da mistura carburada.

- Curso do pistão; distância percorrida pelo pistão dentro do cilindro.
- Câmara de combustão (explosão): espaço entre a cabeça do pistão e o cabeçote de válvulas. Local onde a mistura carburada é comprimida para ocorrer a queima, após a ignição. Não faz parte do volume útil do cilindro.



Uma das formas mais eficazes da câmara de combustão é a calota semi-esférica: este formato permite a colocação de duas velas de ignição opostas, além de permitir que as sedes das válvulas de admissão e escapamento possam ser de diâmetro maior, para que haja um maior fluxo do fluido carburado ou dos gases da queima.

- Volume útil do cilindro (cilindrada individual): É o volume de deslocamento da mistura

carburada em litros ou cm^3 . É igual ao curso do pistão vezes a área do cilindro.

- Cilindrada do motor: é o volume total em litros ou cm^3 , de todos os volumes úteis dos cilindros de um motor. Num motor de quatro cilindros, com 2.000 cilindradas, cada cilindro tem 500 cm^3 de volume útil.
- Taxa de compressão: é a relação entre o volume útil do cilindro e o volume da câmara de combustão. Motores a ignição devem ter uma taxa de compressão menor do que os motores diesel, para não haver ignição espontânea.

O que determina a taxa de compressão:

- Diâmetro do cilindro;
- Amplitude do curso do pistão, por consequência, maior braço de manivela no virabrequim. Quanto maior o curso do pistão, mais baixa deverá ser a rotação do motor, e vice-versa;
- Volume relativo da câmara de combustão;
- **Modificações nos “pontos” de abertura e fechamento das válvulas:** nas figuras onde aparecem os tempos e fases, vimos que os pontos de abertura e fechamento de válvulas não coincidem com os PMA ou PMB. Isso se deve à inércia na movimentação da mistura carburada ou dos gases de escapamento, que deve ser compensada com essa técnica.

Nos motores aeronáuticos, essas regulagens são fixas, e são determinadas para o melhor desempenho do motor no regime de voo em cruzeiro. Fica claro, portanto, que os regimes de funcionamento em baixa rotação, ou em potência máxima nas decolagens, não serão com a melhor performance do motor. As alterações descritas a seguir, são feitas em graus angulares, tendo como referência à “linha de centro” do moente (munhão) do virabrequim, que está alinhada (zero grau) com o PMA.

Um motor está “no tempo” quando há o sincronismo entre as posições dos pistões e a situação das suas respectivas válvulas e a abertura da centelha de ignição. Isto é feito através do posicionamento correto das engrenagens “movidas” do comando de válvulas e do acionamento dos magnetos, em relação à engrenagem “motora” que está na extremidade do eixo motriz. Os fabricantes colocam “marcas” de sincronismo na respectivas engrenagens.

Veja agora, os tipos de alterações nos “pontos” de abertura e fechamento das válvulas no Cíclo a quatro tempos dos motores “aspirados”:

- **Avanço na abertura da válvula de admissão:** Ocorre no final do tempo (curso) de escapamento (exaustão). Visa compensar a inércia da mistura carburante (ar e combustível), isto permite que o pistão, ao chegar no PMA, encontre a mistura já em movimento de entrada no cilindro.
- **Atraso no fechamento da válvula de admissão:** Ocorre no final do tempo de admissão. Visa prolongar a entrada da mistura carburante no cilindro, após as passagem pelo PMB.
- **Avanço na abertura da válvula de escapamento:** Ocorre no final do tempo motor (expansão). Visa antecipar a saída dos gase de escapamento para deixar o cilindro mais “limpo” para iniciar o tempo de admissão.
- **Atraso no fechamento da válvula de escapamento:** ocorre no início do tempo de

admissão. Visa aumentar o tempo da exaustão dos gases de escapamento, por inércia, enquanto a válvula de admissão já está aberta. Com isso há uma "limpeza" do cilindro para a admissão da mistura carburada.

- modificações no "ponto" de ignição: a queima ou combustão da mistura carburada não ocorre instantaneamente após a ignição, pois há um tempo fixo para que a combustão seja concluída. Por isso, a ignição do motor em funcionamento deve ser "adiantada" em relação ao PMA, para que a combustão da mistura se inicie no final do tempo de compressão. Considerando que a fase de combustão tem duração fixa, o ponto de ignição deveria ser adiantado proporcionalmente ao aumento da rotação do motor.
 - Retardo da ignição durante a partida do motor: um dispositivo de retardo automático é acionado nos magnetos, durante a partida do motor, para evitar "torque reverso".
 - Avanço da ignição durante o funcionamento do motor. Visa compensar o atraso na propagação da queima da mistura carburada como motor funcionando. Quanto maior a rotação do motor, maior deverá ser o avanço.

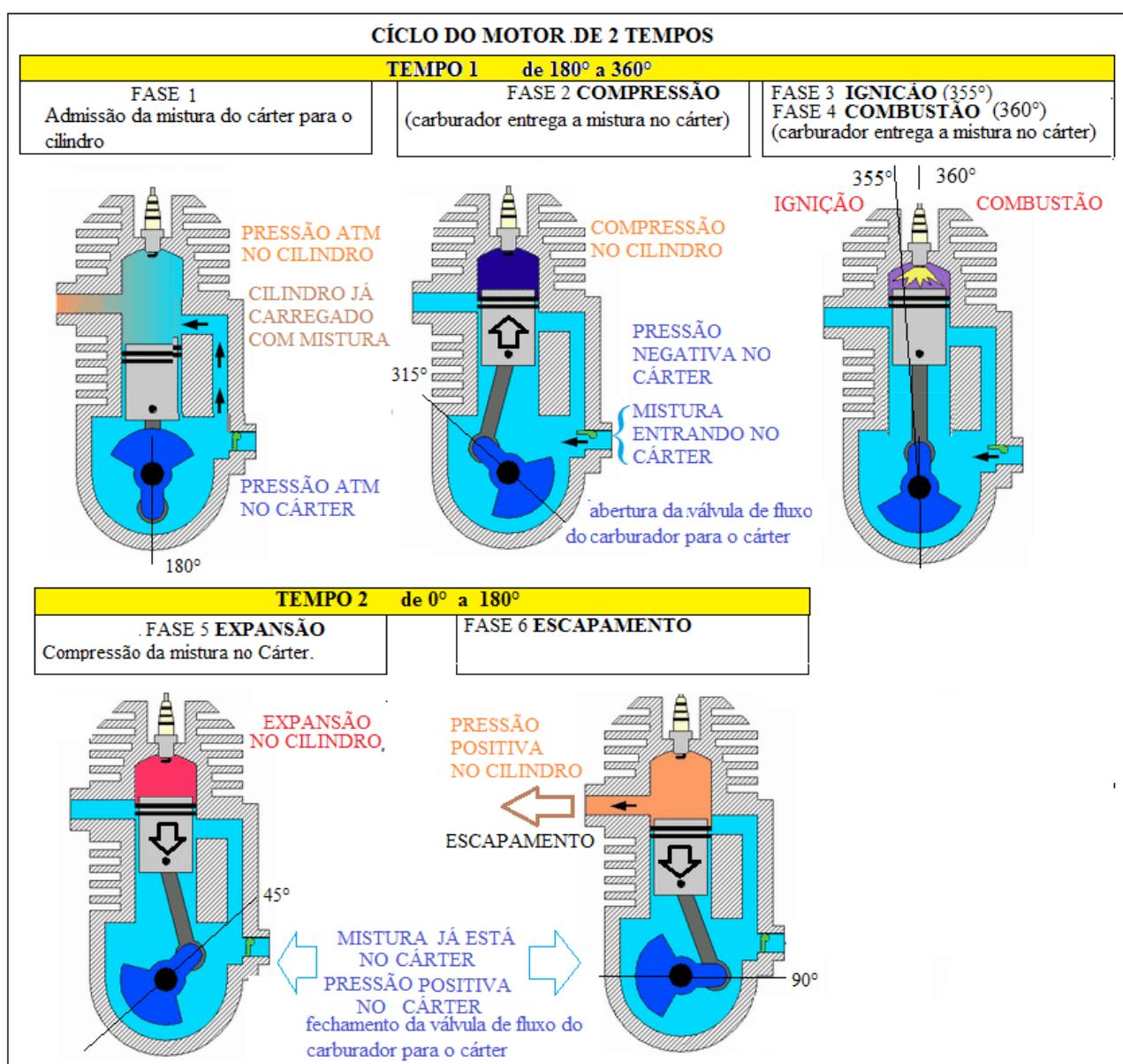
4.10. Funcionamento dos motores a pistão de dois tempos: neste tipo de motor o pistão executa dois cursos, ou tempos, mas passa pelas mesmas seis fases do motor a quatro tempos. Pontos diferentes deste tipo de motor em relação aos motores a quatro tempos:

- Um ciclo tem apenas 360° .
- Não existem válvulas de admissão nem de escapamento como no motor a quatro tempos, portanto, não existe mecanismo de comando de válvulas. Para a admissão e escapamento existem duas "janelas" na parede do cilindro, posicionadas diametralmente opostas, com a "janela" de escapamento um pouco acima da "janela" de admissão. Por isso são mais leves e as perdas por atrito são menores.
- O combustível é misturado previamente com óleo lubrificante para abastecimento do tanque. Esse composto passa pelo carburador, para misturar com o ar atmosférico, e é seguida ser entregue diretamente no "cárter seco", através de uma passagem dotada de uma válvula de fluxo direcional.
- A mistura carburada, além de servir para a combustão, serve também para lubrificar os mancais do virabrequim e a parede do cilindro enquanto está aprisionada e sob pressão dentro do cárter, por isso tem lubrificação menos eficiente.
- O curso útil do pistão é apenas o espaço percorrido entre o bloqueio da janela de exaustão até o PMA, por isso tem um curso total mais longo.
- Como produz trabalho a cada volta do virabrequim, tem mais potência por peso, e por isso, aquece mais.
- São mais baratos.

As seis fases do motor a dois tempos são assim distribuídas, considerando-se as posições angulares citadas como o ângulo entre o moente (muhnão) do virabrequim, em relação ao PMA:

1. Tempo 1 (giro de 180° a 360° do virabrequim).
 - Fase 1- admissão da mistura do cárter para o cilindro: esta fase começa, na verdade, no final da fase de exaustão, e continua quando o pistão inicia o curso ascendente, partindo do PMB (180°) até atingir a posição angular de 315° . neste ponto o pistão já bloqueou, sequencialmente, as "janelas" de admissão e de exaustão.
 - Fase 2 – compressão: o pistão se desloca da posição angular de 315° até 355° comprimindo a mistura carburada.

- Fase 3 – Ignição adiantada 5° do PMA.
- Fase 4 – Combustão: ocorre no intervalo angular de 355° a 360°.
- 2. Tempo 2 (giro de 0° a 180° do virabrequim).
 - Fase 5 – Expansão: o pistão inicia o curso descendente, partindo do PMA pressionado pela combustão e expansão dos gases, produzindo trabalho, até a posição de 45°.
 - Fase 6 – Exaustão (escapamento): na posição angular de 45° a descida do pistão inicia o desbloqueio da “janela” de exaustão. Quando o pistão atingir a posição angular de 85°, inicia o desbloqueio da janela de admissão, e assim, a mistura acarburada que está aprisionada no cárter, sob pressão, inicia seu fluxo para o cilindro, ajudando a expulsar os gases da combustão, até o pistão atingir a posição angular de 180°, quando o ciclo recomeça.



4.11. LUBRIFICAÇÃO

A forma de minimizar o atrito é fazendo a lubrificação das peças móveis, ou seja, colocar uma película de um material lubrificante entre as superfícies deslizantes, e com isto, fazer uma separação mínima entre elas.

Atrito: O atrito pode ser definido como a resistência que se manifesta ao se movimentar um corpo sobre outro. O atrito nas máquinas rotativas é um sério problema, pois produz:

- elevação de temperatura e a consequente alteração das características dos materiais;
- desgaste, provocando folgas indesejáveis;
- sujeira, decorrente do aquecimento e desgaste dos materiais;

Tipos de lubrificantes: são três tipos de lubrificantes mais utilizados na mecânica:

- líquidos: óleo animal, vegetal ou mineral;
- pastosos: graxa, sebo;
- sólidos: pó de grafite;

Lubrificação com óleo: o óleo lubrificante tem outras funções além da lubrificação das partes em atrito:

- resfriamento;
- vedação;
- limpeza;
- proteção anti-corrosiva;

4.12. Óleo lubrificante: o óleo lubrificante é na verdade um composto, feito com um óleo base, aditivado com substâncias que lhe darão outras características, necessárias ao seu desempenho, dentro de um período, sob determinadas condições de funcionamento da máquina. Os óleos lubrificantes podem ser de origem:

- Óleos Minerais
- Óleos Graxos (Orgânicos)
- Óleos Compostos
- Óleos Sintéticos

4.12.1. Características dos óleos lubrificantes:

- **Viscosidade:** é a medida da sua resistência ao escoamento a uma determinada temperatura. É uma das características de maior importância do óleo lubrificante, que determinará as condições de manuseio e utilização do produto.
- **Ponto de Fluidez (ponto de gota ou ponto de congelamento)** - é a menor temperatura na qual o óleo flui quando sujeito a resfriamento. Quando este ponto é ultrapassado, a viscosidade excessiva impede até a partida do motor. Nos óleos para uso aeronáutico varia de -12°C a -21°C
- **ponto de fulgor:** é a temperatura na qual o vapor do óleo pode entrar em combustão se exposto a alta temperatira ou centelhamento. Nos óleos para uso aeronáutico varia entre 244° e 288°C .
- **Estabilidade físico-química:** o óleo lubrificante deve ser resistente às ações adversas que estará submetido, pelo contato com agentes físicos e químicos durante sua vida útil.

- **Acidez** – ASTM (*) D664 e D974.
- **Basicidade** – ASTM D2896.

(*) ASTM - American Society for Testing and Materials

4.12.2. Detrminação da viscosidade do óleo: é medida em laboratório com emprego de aparelho chamado viscosímetro, que possui canais capilares ou orifícios graduados, próprios para restringir o fluxo dos líquidos, e medir o tempo de seu escoamento em determinada temperatura.

Os viscosímetros mais usuais são do tipo Saybolt e Cinemático, existindo também outros como o Engler (Alemanha) e Redwood (Inglaterra), de construção parecida ao Saybolt.

No Viscosímetro Saybolt a viscosidade é indicada pelo tempo em segundos necessário para que 60 ml de óleo escoem completamente através de um orifício, sob a ação da gravidade, em determinada temperatura em graus Farenheight.

Exemplo: Se 60 ml de óleo sob análise, demorar 100 segundos para escoar, na temperatura de 210 ° F ou (99° C), sua viscosidade será anotada como: 100SSU210, onde SSU significa Seconds Saybolt Universal.

Viscosímetro Cinemático: constituído por um tubo capilar de vidro com diâmetro determinado para cada faixa de viscosidade. A viscosidade é encontrada multiplicando-se o tempo de escoamento do líquido entre dois traços de referência por uma constante (K) vinculada ao diâmetro do capilar.

É uma referência de uso mundial para classificação de lubrificantes de vários tipos sendo seu resultado expresso em centistokes (cSt).

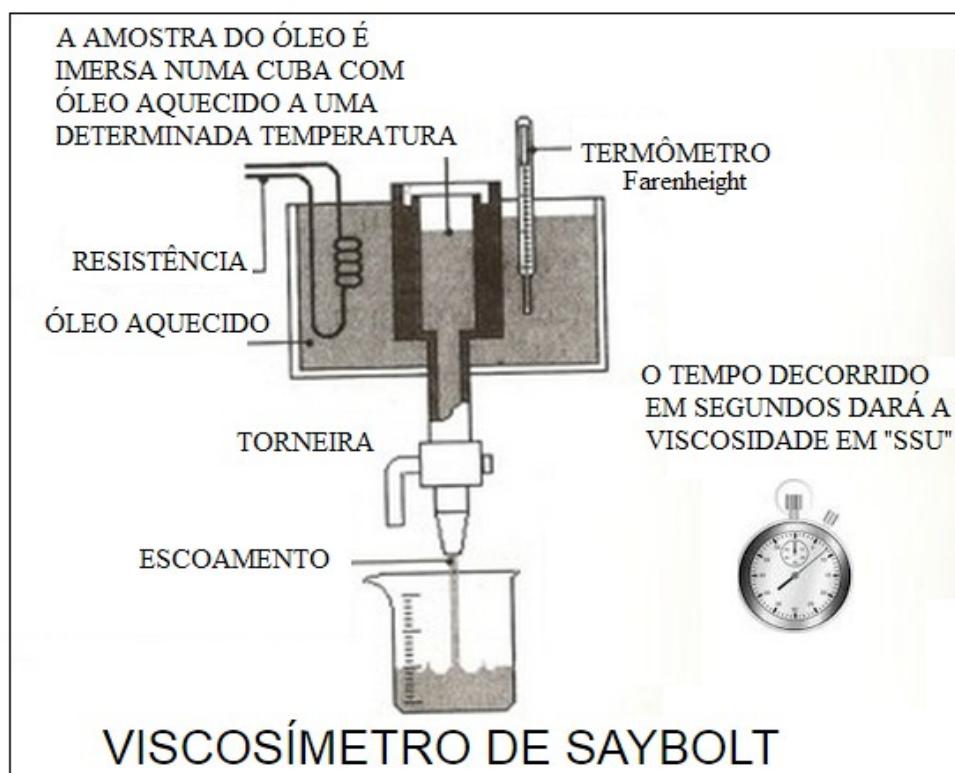
Obs.: stokes é a unidade cgs para viscosidade cinemática. Ele é abreviado S ou St, e leva este nome em homenagem a George Gabriel Stokes, matemático Irlandês.

4.12.3. Aditivos nos óleos lubrificantes: são substâncias que, adicionadas a um lubrificante, melhoram suas propriedades com o objetivo de aumentar o seu desempenho. São classificados como:

- Detergente e dispersante: Limpam os depósitos formados nos anéis, válvulas, mancais e circuitos de óleo do motor.
- Anti-oxidante: Reduz a oxidação do óleo, principalmente às altas temperaturas, diminuindo a formação de borras e vernizes e permitindo que o óleo dure mais tempo.
- Anti-espumante: Reduz a formação de espuma no óleo provocada pela agitação do óleo.
- Extrema Pressão (EP): Reduz os desgastes nas altas temperaturas.
- Melhorador do índice de viscosidade: impede que a viscosidade caia em altas temperaturas.
- Anti-ferrugem.
- Aditivos de alcalinidade: O óleo diesel possui enxofre, elemento formador do ácido sulfúrico, altamente corrosivo.
- Anti-desgaste.
- Corantes: Têm a finalidade de facilitar a identificação de vazamentos e impedir a confusão

entre produtos.

4.12.4. Classificação dos óleos lubrificantes: SAE (Society Automotive of Engineers) é a classificação mais antiga e conhecida para óleos de motores. Baseia-se única e exclusivamente na viscosidade, não considerando fatores de qualidade ou desempenho. São sete grupos, que vão do SAE10 ao SAE70. Os graus SAE são seguidos ou não da letra W, inicial de Winter (inverno). Quando o óleo tem dois graus de classificação SAE, trata-se de óleo multiviscoso. Em temperaturas baixas, um óleo multiviscoso 15W40 se comporta como um óleo grau SAE 15W e a 100°C é um óleo de grau SAE 40.

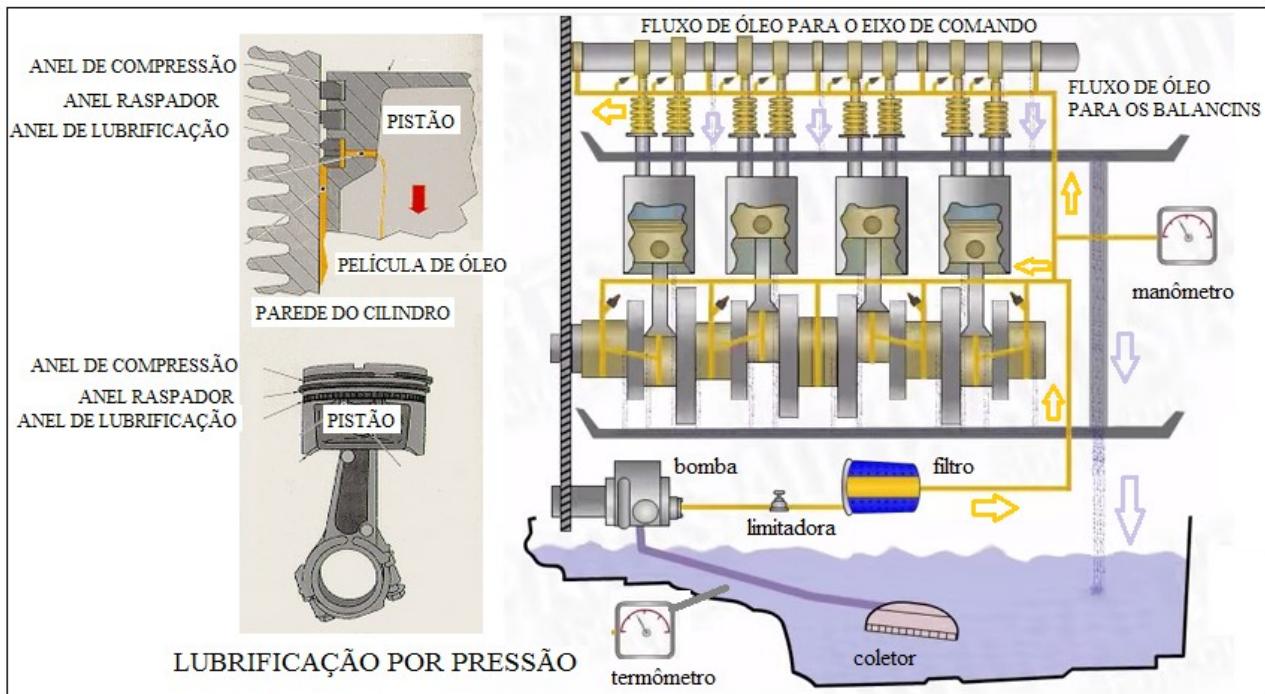


Na tabela abaixo temos a relação entre a classificação SAE e a classificação dos óleos para motores a pistão aeronáuticos. Podemos notar que, à exceção do 65, todos os outros são o dobro do número da classificação SAE.

Número da Aviação Comercial	Número SAE
65	30
80	40
100	50
120	60
140	70

4.13. Métodos de lubrificação

- manual: almofaria com óleo ou bomba manual com graxa;
- por gravidade: copo conta-gotas;
- por capilaridade: copo com mechas;
- por imersão: mecanismo confinado em uma caixa com óleo;
- por salpico: peças móveis dentro de um cárter com óleo geram salpicos nas peças vizinhas;
- por pressão: utiliza bombeamento sob pressão, distribuindo o óleo por dutos para o eixo de manivelas e seus mancais e comandos de válvulas. A parte interna dos cilindros é lubrificada através de salpicos;
- misto: por salpico e pressão;



4.14. Lubrificação com graxa: Graxa é o nome genérico e popular dado a um composto lubrificante pastoso ou de alta viscosidade.

A graxa é constituída da mistura de um líquido lubrificante (óleo mineral ou sintético), de um produto sólido ou semi-sólido (agente espessante) e aditivos para melhorar as propriedades do produto. É o óleo que realmente lubrifica, enquanto que o agente espessante é responsável pela retenção do produto no local onde for aplicado.

4.14.1. Características das graxas

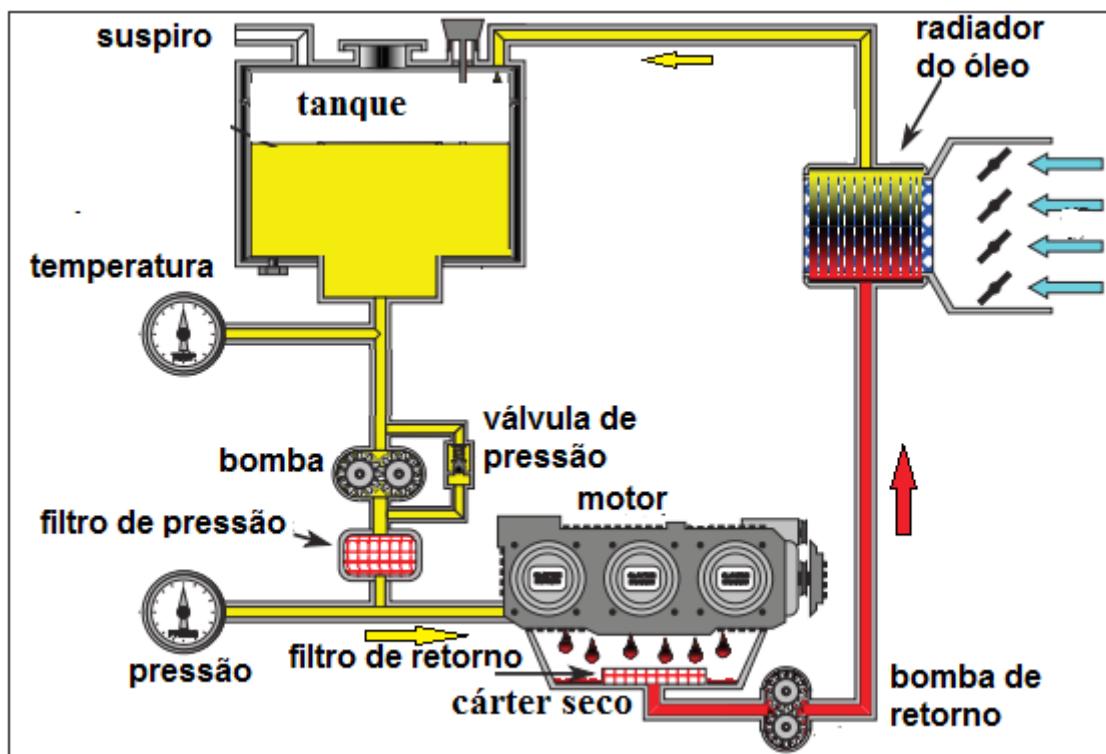
- Consistência: é a medida da rigidez da graxa. A consistência correta fará com que a graxa permaneça no local de aplicação, sem gerar muito atrito. Ela é classificada de acordo com uma escala desenvolvida pelo NLGI (National Lubricating Grease Institute). Quanto mais macia a graxa, menor o número.
- Espessante: sabões metálicos como de cálcio, sódio e lítio.
- Ponto de gota ($^{\circ}$ C).
- Campo de aplicação ($^{\circ}$ C): temperaturas de trabalho.

- Estabilidade mecânica.
- Resistência à água.
- Resistência à pressão.

4.15. Sistema de lubrificação do motor aeronáutico: de uma forma geral a lubrificação dos motores a explosão é do tipo “forçada”, e pode ter dois tipos de sistemas em função do local de armazenamento do óleo:

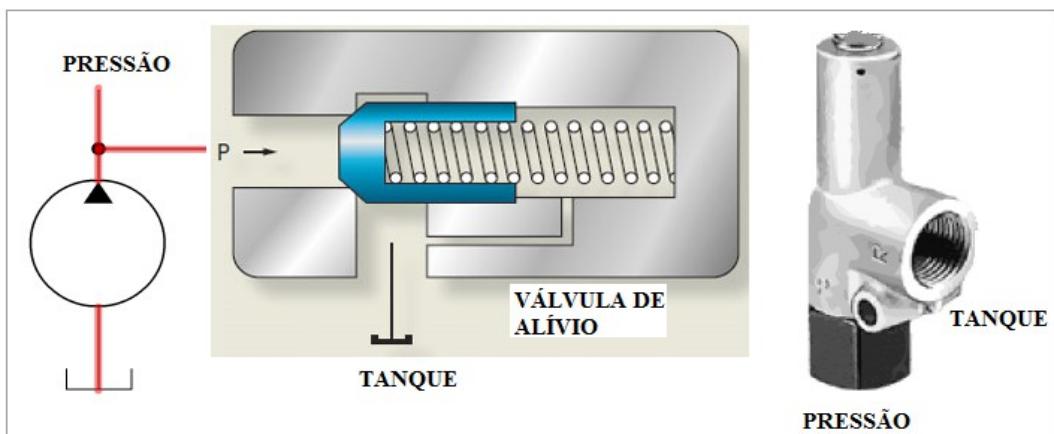
- Cárter seco (dry sump);
- Cárrter úmido (wet sump);

O sistema mais utilizado nos motores aeronáuticos a pistão é o de cárter seco, onde o óleo é armazenado em um tanque separado do motor, e tem sua circulação “forçada” pelos pontos de lubrificação do motor através de uma bomba de lubrificação. Para que o óleo não acumule no cárter, existe outra bomba de retorno (scavenge pump), para coleta do excesso de óleo e envio de volta para o tanque separado.



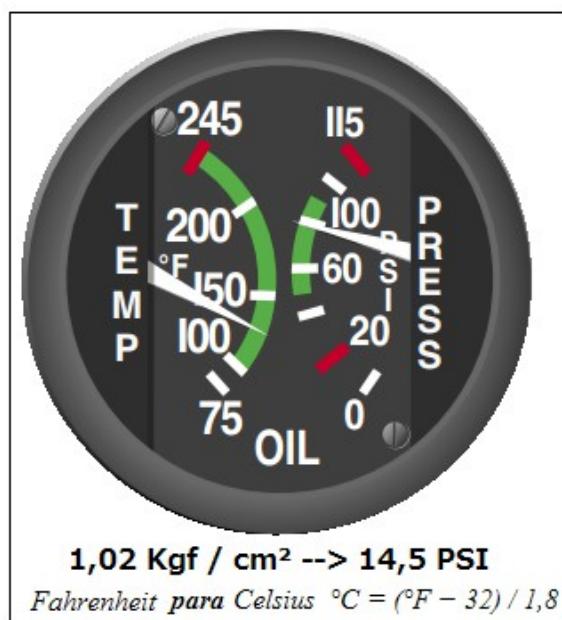
As bombas, de pressão e de retorno, são do tipo de engrenagens.

4.15.1. Válvula de alívio da pressão hidráulica: é uma válvula em paralelo com a bomba, com retorno a tanque, para limitar a máxima pressão de trabalho (Pressure Relief Valve). Quando o motor está em funcionamento, essa válvula garante que a pressão do óleo ficará dentro de uma faixa (range) entre a mínima, com o motor em marcha lenta, e a máxima, com o motor em alta rotação.



4.15.2. Instrumentos do sistema de lubrificação

Na figura abaixo podemos ver os instrumentos indicadores de pressão (manômetro) e de temperatura do óleo lubrificante (termômetro), os quais devem ser observados sistematicamente durante o funcionamento do motor. As indicações normais são aquelas dentro da faixa verde do mostrador.



A temperatura do óleo, conforme pode ser visto na figura do sistema de lubrificação, é medida na saída do tanque. Seus valores podem variar numa faixa que vai desde a temperatura ambiente, com o motor parado por muitas horas, até uma temperatura máxima em operação normal do motor. Durante o funcionamento do motor, a temperatura do óleo é mantida dentro dessa faixa pela ação do radiador de óleo, com resfriamento por circulação forçada de ar.

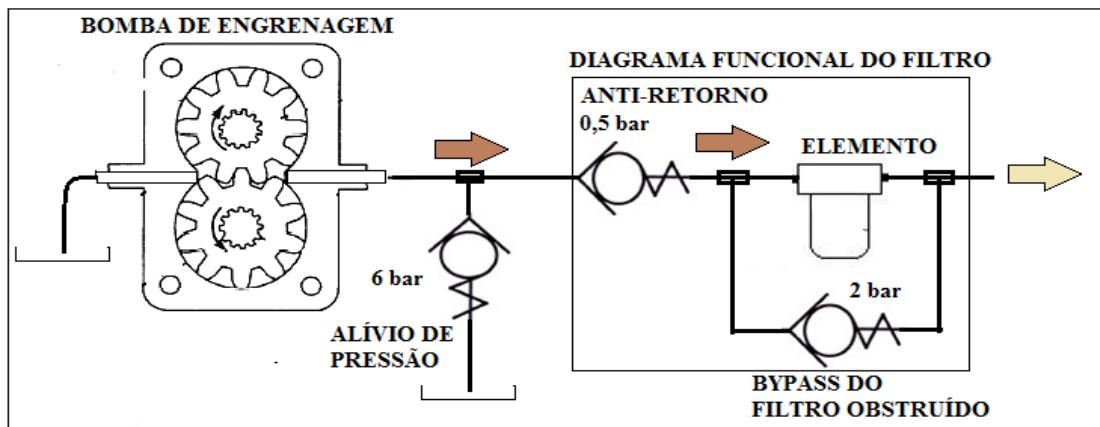
Observações sobre o momento da partida do motor:

- No momento da partida do motor, com tempo frio, o ponteiro do indicador de pressão poderá se deslocar para um valor acima da faixa verde, por pouco tempo, em função da alta viscosidade do óleo ainda frio, mas logo que o motor entre em funcionamento, o ponteiro voltará para dentro da faixa verde.
- Após a partida do motor, deve-se aguardar o indicador de temperatura se deslocar para o

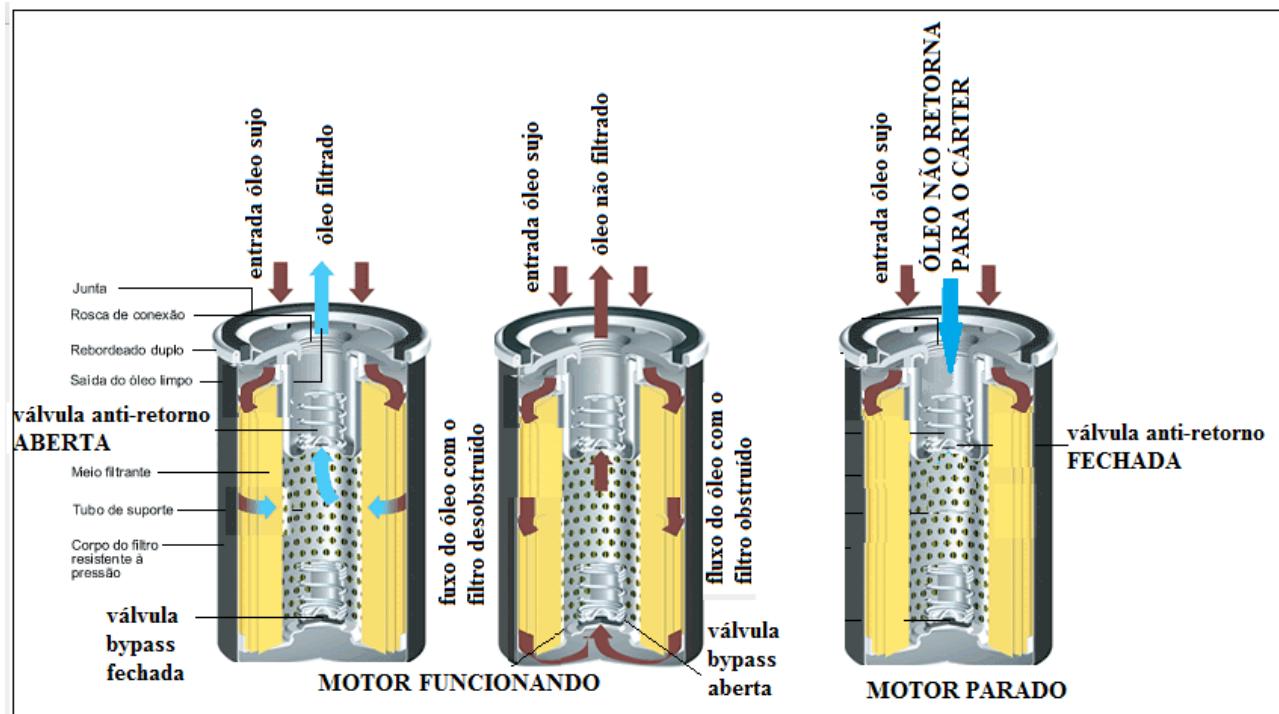
valor mínimo recomendado pelo fabricante do motor, antes de o acelerar para decolagem.

4.15.3. Filtro do óleo lubrificante: é constituído de um elemento filtrante, acondicionado em uma cápsula hermética e dotada de duas válvulas do tipo diafragma com mola de contra-pressão:

- **válvula bypass:** com o filtro desobstruído, o óleo flui normalmente pelo elemento filtrante, por isso a pressão interna do filtro se mantém num valor menor do que a força da mola que mantém a válvula bypass normalmente fechada. Se o filtro ficar obstruído, a pressão do óleo aumenta sobre a válvula, que se abre, deixando passar o óleo não filtrado para o motor, e com isso evita-se uma pane maior, que seria o funcionamento “a seco”.



- **válvula unidirecional anti-retorno:** com o motor em funcionamento, esta válvula ficará aberta deixando o óleo fluir no sentido do bombeamento, porém, ao parar o motor, uma mola fecha imediatamente a válvula, impedindo o retorno do óleo. Todo sistema de lubrificação deve permanecer “cheio” para que haja lubrificação assim que o motor funcionar.



4.16. Sistema de arrefecimento (refrigeração) – a temperatura de funcionamento do motor de combustão interna deve ser limitada a uma faixa de temperaturas que permita o melhor desempenho do motor, sem a degradação dos materiais e sem falhas de funcionamento.

Essa faixa de temperaturas depende dos dispositivos para fazer a circulação forçada de fluídos refrigerantes, dentro e fora do corpo do motor, da qualidade térmica dos materiais utilizados (capacidade de dissipação de calor e temperaturas máximas suportadas), e até, pelas formas geométricas dos cilindros, com as suas aletas dissipadoras.

Observação: a quebra de aletas do cilindro pode provocar “ponto quente” no interior do mesmo.

A elevação da temperatura do motor em funcionamento tem duas causas:

- Combustão, dentro dos cilindros;
- Atrito dos mancais, dos pistões dentro dos cilindros e entre as peças do comando de válvulas.

Os fatores que limitam a *máxima temperatura* de funcionamento do motor são:

- os cilindros e pistões são fabricados em liga de alumínio, cuja temperatura de trabalho não pode ultrapassar 300° C.
- a folgas dos mancais e dos pistões em relação aos cilindros é função direta da temperatura de funcionamento: quanto maior essa temperatura, maior deverá ser a folga desses componentes, o que compromete as características e o rendimento do motor.

O fator que limita a *menor temperatura*, dentro do cilindro, é que a mistura ar/gasolina deve ser admitida “vaporizada” e assim permanecer até ocorrer a combustão. O combustível da mistura pode voltar ao estado líquido, deixando a mistura pobre (provocando até a parada forçada do motor), nos casos de resfriamento excessivo do motor em descidas longas, com baixas temperaturas do ar e o motor em baixa rotação.

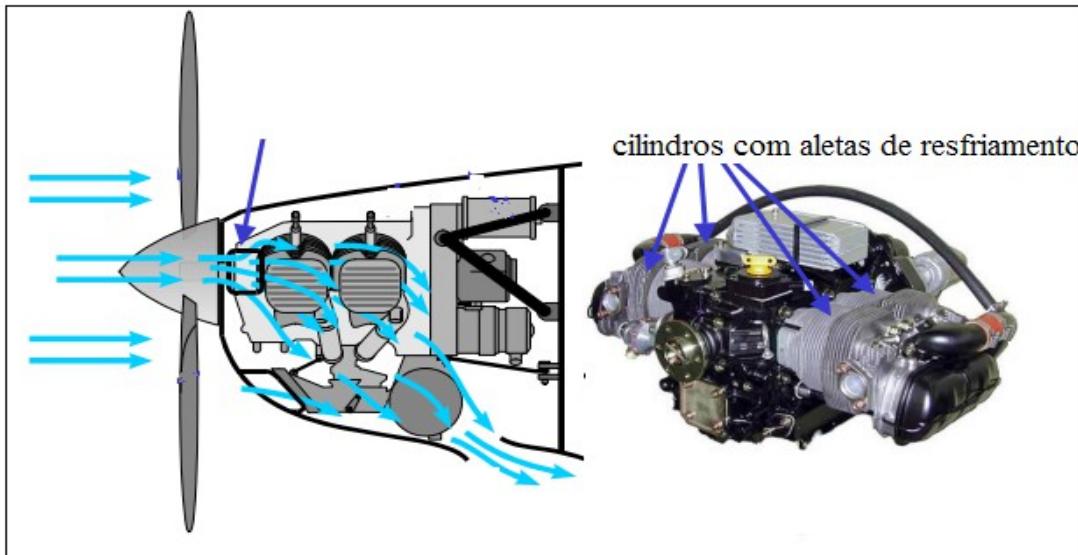
Um motor submetido a altas temperaturas pode ter os seguintes danos:

- trincas nos pistões;
- queima das sedes das válvulas de escapamento;
- danificação de juntas;
- detonação por pré-ignição;
- carbonização do lubrificante;
- trincas nos cabeçotes dos cilindros;

4.16.1. Tipos de arrefecimento:

- **Arrefecimento a ar (direto)** – a circulação forçada do ar já é um recurso naturalmente disponível numa aeronave. Não requer dispositivos adicionais, a não ser dutos, deflectores (bafles), e aletas no corpo dos cilindros e cabeçotes.

Este tipo de arrefecimento é de difícil controle da temperatura e, via de regra, não pode ser o único



meio de arrefecimento. Se for o único tipo de arrefecimento disponível na aeronave, seguem algumas recomendações operacionais para tentar abaixar a temperatura do motor em voo, em locais com clima tropical:

- Abir os flaps de arrefecimento;
- Reduzir potência, e / ou aumentar a velocidade em voo planado ou em descida;
- usar mistura rica, temporariamente, sabendo que aumenta o consumo de combustível;

- **Arrefecimento por líquidos (indireto)** – deve-se à circulação de um líquido refrigerante, uma mistura de água com um aditivo à base de etileno-glycol, que circula pelos cabeçotes dos cilindros pela ação de uma bomba acionada pelo eixo do motor .

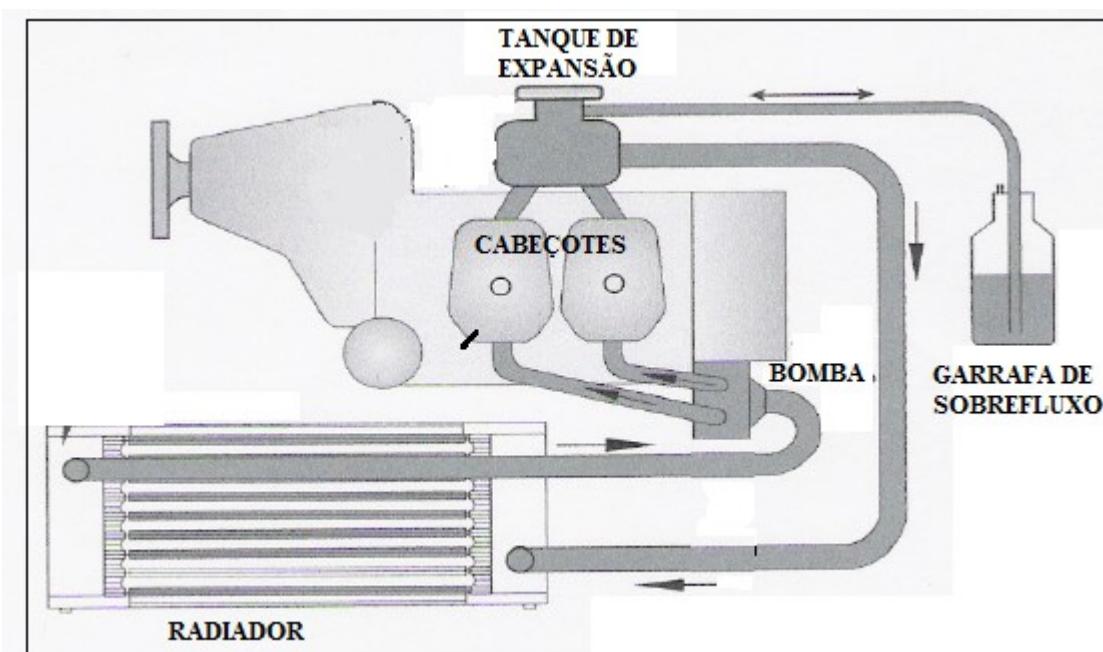
Este tipo de arrefecimento tem a seguinte composição: um tanque de expansão dotado de tampa com válvula de refluxo, uma garrafa de sobrefluxo, uma bomba d'água, um radiador submetido a uma ventilação forçada, mangotes e tubos, sensor de temperatura no cabeçote do cilindro e o respectivo instrumento indicador da temperatura do motor, na cabine de comando (termômetro).

A circulação do líquido refrigerante pode se dar com a bomba succionando o líquido já resfriado, procedente do radiador, ou com a bomba succionando o líquido diretamente do tanque de expansão, e neste caso, quando o líquido atingir determinada temperatura, uma válvula termostática se abre, e a succão da bomba volta a ser do radiador.

Observação: é importate ressaltar que o ponto de ebuição da água vai abaixar para menos de 100° C, à proporção que a altitude aumenta. Por isso, os sistemas de arrefecimento com água devem ser pressurizados, e a água deve ser misturada com outro líquido para elevar o ponto de ebuição.

- **Arrefecimento misto** – é a combinação dos dois tipos vistos acima.

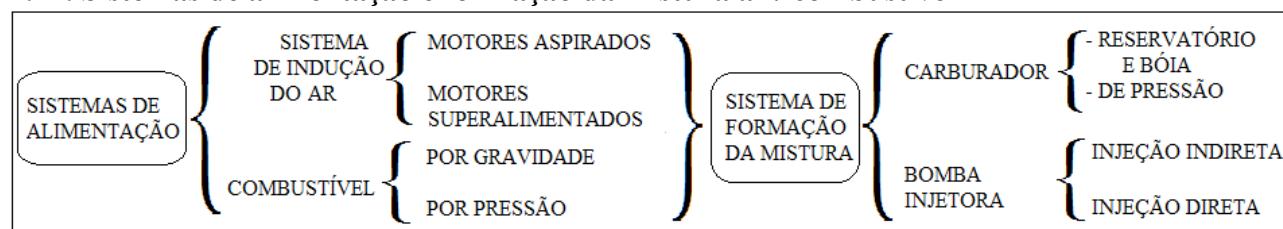
Observação: o óleo lubrificante do motor é um dos agentes de resfriamento natural, haja vista que o mesmo circula por todas as partes “quentes”, fazendo a devida troca térmica, em seguida passa pelo radiador de óleo, para retornar mais frio para o motor.



4.16.2. Instrumento indicador de temperatura do motor – tem sua escala de 100° F (37,77° C) até 600° F (315° C), com centro de escala em 300° F (149° C). A sonda, tipo termopar, é conectada em um dos cabeçotes dos cilindros.



4.17. Sistemas de alimentação e formação da mistura ar / combustível



4.17.1. Sistema de indução do ar: fornece ao motor o ar necessário para a combustão, na

quantidade e pressão suficientes, livre de impurezas e na temperatura adequada. Conforme o tipo do motor, a alimentação do ar pode ser por:

- Indução aspirada – admissão e filtragem do ar (somente para motores aspirados). O ar também pode ser pré-aquecido, passando por um “aquecedor” que utiliza os gases de exaustão. Para controlar o pré-aquecimento do ar de admissão, existe um duto bypass para os gases de exaustão, com uma válvula denominada “ar quente”, que direciona os gases para dentro do aquecedor ou os desvia para o escapamento.
 - A pressão do ar no duto de admissão, após o filtro, é menor do que 760 mm ou 29,92 pol Hg (pressão atmosférica padrão ao nível do mar).
- Indução Superalimentada – O ar admitido e filtrado entra num **compressor** para aumentar a pressão.
 - A pressão do ar no duto de admissão é maior do que a pressão atmosférica.

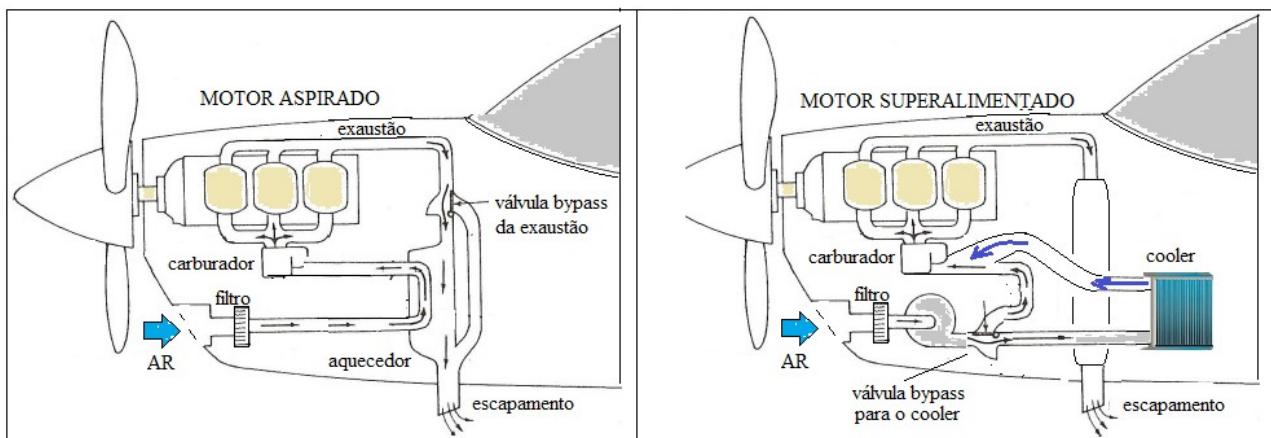
Observação: O controle da temperatura do ar comprimido é feito através de uma válvula, que determinará por onde o ar vai passar, antes de chegar ao carburador, na temperatura ideal:

- I. passar por um “cooler”, onde será resfriado;
- II. ou seguir direto para o carburador;

O compressor de superalimentação pode ser acionado de duas maneiras:

- por engrenagens, a partir do eixo do motor. O controle da pressão do ar induzido depende diretamente da rotação do motor.
- por uma turbina, propelida pelos gases de exaustão. Sua rotação pode chegar a mais de 60.000 rpm. Neste caso, o controle da pressão do ar comprimido pode ser feito através da válvula bypass da exaustão, controlando a velocidade do compressor, independente da rotação do motor.

4.17.2. Motores aspirados: nestes motores o ar é admitido nos cilindros pela aspiração dos pistões, e durante essa fase, a pressão no tubo de admissão, após o filtro de ar e no carburador, fica menor do que a pressão atmosférica ocorrente no exterior da aeronave. Portanto, é intuitivo perceber que este tipo de motor funciona muito bem ao nível do mar, mas, à proporção que ganha altitude, vai perdendo rendimento, por baixa quantidade de oxigênio, na razão de 3% de HP por cada 1000 pés de altitude. Isto significa 30% de perda de Potência a 10.000 pés de altitude.



4.17.3. Motores superalimentados: são motores dotados de um **compressor** no circuito de indução do ar, e com isso, o ar admitido nos cilindros não depende da aspiração dos pistões na fase de admissão. A vantagem da compressão do ar induzido é que, ao receber mais ar dentro dos cilindros,

mais combustível pode ser adicionado, permitindo mais potência, acompanhada, no entanto, pelo aumento da temperatura. Isso pode melhorar significativamente a relação peso / potência do motor, mas requer cuidados operacionais.

Outra vantagem é que o rendimento deste tipo de motor vai cair muito menos com a altitude, até atingir a *altitude crítica (16.000 pés)*, a partir de onde, o rendimento cai rapidamente.

4.17.3.1. Monitoramento dos parâmetros do sistema de indução nos motores superalimentados:

superalimentados: de acordo com o fabricante do motor superalimentado a operação deve ser muito cuidadosa, para evitar o superaquecimento e suas consequências: pré ignição e detonação, aumento da probabilidade de falhas e diminuição do tempo entre revisões. Alguns fabricantes chegam a limitar o uso da superalimentação, somente a partir de determinada altitude.

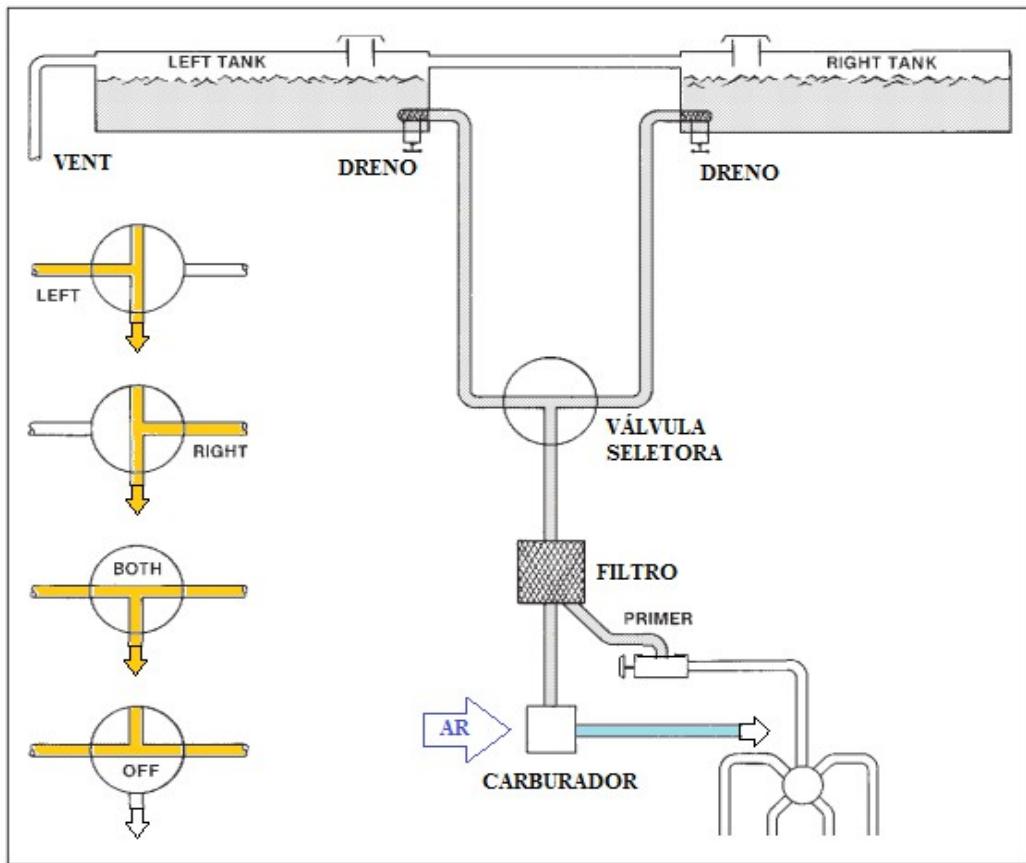
A temperatura da carga de ar deve estar suficientemente elevada para assegurar uma completa vaporização do combustível no carburador, e assim a distribuição uniforme da mistura; contudo, não deve estar tão quente que venha a reduzir a eficiência volumétrica ou causar detonação do combustível, por isso, em alguns casos, pode haver um “radiador de calor” para abaixar a temperatura do ar após o compressor.

O que deve ser atentamente monitorado durante a operação do motor com superalimentação, respeitando-se os limites assinaladas nos respectivos mostradores dos instrumentos:

- rpm do motor;
- temperatura do lubrificante;
- temperatura dos cabeçotes;
- pressão do ar comprimido;
- temperatura do ar comprimido;

4.18. Sistema de alimentação do combustível: Existem duas configurações, de acordo com a posição relativa dos tanques em relação ao motor:

- Sistema de alimentação por gravidade: os tanques estão acima do motor e o combustível não necessita ser bombeado para o sistema de mistura. Aeronaves com asas altas.

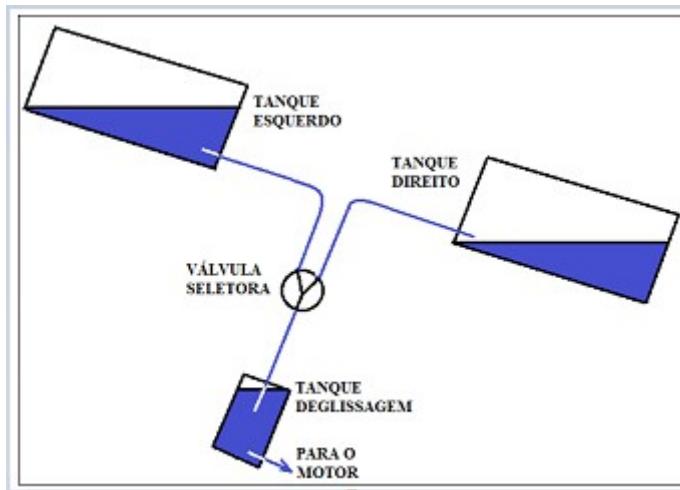


- Sistema de alimentação por pressão: os tanques estão abaixo do nível do motor e o combustível é bombeado continuamente para o sistema de formação da mistura;

Como exemplo podemos estudar o sistema de alimentação de combustível do Cessna 172 S, que funciona por gravidade e tem os seguintes componentes:

- **Tanques de armazenamento nas duas asas:** equipados com bocal de abastecimento, válvula de ventilação e drenos.
- **Válvula de seleção dos tanques Direito e Esquerdo:** recebe alimentação dos dois tanques para entregar à etapa seguinte. O correto manejo da seleção de consumo dos tanques, permite ao piloto equilibrar o peso da aeronave, conforme necessário.
- **Válvula de corte do combustível:** nos sistemas mais simples esta função é feita pela válvula seletora, na posição “off”. Nos sistemas com reservatório intermediário, ela fica entre a bomba elétrica auxiliar (após o reservatório) e o filtro de combustível.
- **Reservatório intermediário ou reservatório de glissagem (sideslip tank):** é um pequeno reservatório inferior, ligado diretamente na saída da válvula seletora (se existir), ou diretamente aos dois reservatórios nas asas. Este reservatório alimentará o sistema de formação da mistura, e também poderá receber a linha de retorno do combustível excedente do motor. Sua função é garantir a alimentação do combustível, mesmo que durante uma curva ou glissada, o pescador de um dos tanques não ficar imerso no combustível. Também é dotado de dreno e válvula de ventilação.
- **Sensores e instrumentos de indicação de nível:** cada tanque é dotado de uma “bóia” para transmitir o sinal elétrico para o instrumento indicador no painel de comando.

- **Bomba elétrica auxiliar:** (**Electric Auxiliary Fuel Pump**): é utilizada preferencialmente para alimentar o combustível para a partida do motor (primer). Em caso de falha da bomba principal, ela pode suprir o combustível necessário para operação normal da aeronave.
- **filtro de combustível:** (*) retém as impurezas sólidas e é dotado de uma válvula bypass, contra entupimento, e uma válvula de retenção, para manter a “linha de etrada” cheia.
- **Bomba principal de acionamento mecânico pelo motor da aeronave (Engine Driven Fuel Pump):** recebe o óleo filtrado para bombear para o sistema dosador ar/combustível.
- **Liquidômetros:** medidores do nível de combustível em cada tanque.
- **Fuxômetro:** medidor de consumo de combustível.



(*) **Filtro de Tela:** quando disponível no sistema, é instalado logo na saída dos tanques, para reter partículas sólidas, e assim evitar acúmulo prematuro no filtro principal. Podem ter o corpo transparente (copo), o que facilita uma inspeção visual, e têm um mecanismo fácil de abrir para limpeza da tela.

(*) **Microfiltro:** o filtro principal geralmente tem o seu elemento de “papel” ou “fibra”, com microporosidade, e uma grande área para facilitar o fluxo do combustível necessário à vazão para a maior demanda do motor, quando estiver em potência máxima. Sua obstrução geralmente é indicada por “diferença de pressão” entre a entrada e a saída: essa pressão tem uma faixa recomendada pelo fabricante do filtro, e quando é ultrapassada, dá a indicação de sua obstrução.

4.18.1. Contaminação do combustível :

1. combustível disponível na bomba de abastecimento: deve ter todas as garantias de pureza físico-química, isenção de particulados e de contaminação por água.
2. combustível já abastecido na aeronave: neste caso, a contaminação se dá por vários agentes, dentre os quais podemos destacar:
 - Água:
 - Pode aparecer no tanque por condensação interna da umidade do ar, que penetra no tanque por suspiros, ou durante o abastecimento. Como a água decanta (mais pesada do que o combustível), facilita sua remoção pelos drenos de fundo do tanque.

O acúmulo de água no fundo do tanque, associado à agitação do combustível, pode provocar o emulsionamento (mistura heterogênea) dos dois líquidos, e esse líquido contaminado vai circular no sistema, podendo provocar a saturação do filtro.

- Partículas de materiais inertes (sedimentos): poeiras, fragmentos metálicos e fragmentos de borracha de mangueiras, não ser retidos pelo filtro.
- Química: “mistura incidental” com outro tipo de combustível ou uso indevido de “aditivos”.
- Biológica: A água decantada no fundo dos tanques de aeronaves cria condições à proliferação de microorganismos (fungos e bactérias) responsáveis pela corrosão das paredes desses tanques, assim como dos componentes de bombeamento.

Prevenção contra os vários tipos de contaminação:

- Os tanques das aeronaves devem ser drenados antes do primeiro vôo do dia;
- O combustível estocado em tanques fixos e carros abastecedores deve ser drenado antes do primeiro reabastecimento do dia, quando é maior a ocorrência de água decantada, que inevitavelmente se misturará com a injeção de combustível a alta pressão durante o abastecimento;
- Evitar o abastecimento de aeronaves debaixo de chuva.
- Quando ocorrer abastecimento a partir de tambores, é recomendado utilizar um funil com filtro de feltro ou camurça;
- É importante a identificação correta do tipo de combustível disponível para abastecimento de aeronaves, assim como a atenção do piloto no ato do abastecimento.

4.18.2. Gasolina de aviação - GAV

É usada exclusivamente em aviões de pequeno porte que possuem motores com ignição por centelha. As especificações de qualidade são determinadas pela Agência Nacional de Petróleo (ANP), definidas pela ASTM.

A gasolina de aviação (AVGAS-100LL) apresenta propriedades, requisitos de desempenho e cuidados diferenciados das demais gasolinas. Por conter chumbo tetraetila em sua composição, o seu uso é proibido em veículos automotivos. Em todo o processo de manuseio, transporte e armazenamento da AVGAS-100LL são usados equipamentos exclusivos para o produto, sendo o sistema periodicamente inspecionado para garantir que estejameticulosamente limpo e isento de qualquer possibilidade de contaminação.

Outras Denominações: GAV 100, GAV 130, GAV 100 / 130, Gasolina de Aviação 100/130, Avgas, Aviation gasoline. (fonte:Petrobras)

4.18.2.1. Poder calorífico: é a energia total despendida durante a sua queima total em condições ideais. A unidade de medida no SI é Kj / Kg.

COMBUSTÍVEL	(kcal / kg)	Kj / kg
Gasolina	11.400	47.800
Óleo diesel	10.700	44.700
Álcool combustível	6.500	27.200

Gás liquefeito de petróleo	11.600	48.500
Gás natural	11.700	49000

Eficiência calorífica do motor a pistão: porcentagem da energia calorífica desprendida na queima do combustível, e que é convertida em torque, no eixo do motor, nos diferentes regimes de funcionamento (r.p.m.).

As perdas médias do motor a combustão chegam a 70%, e são devidas a:

- queima incompleta do combustível;
- calor dissipado pelo sistema de arrefecimento, por radiação direta do corpo do motor e pelos gases de exaustão;
- atrito das partes móveis;

Restam, portanto, 30% de trabalho efetivo no eixo do motor.

4.18.2.2. Volatilidade: é a capacidade do combustível de evaporar e se combinar com o ar na temperatura ambiente.

A gasolina de aviação é muito volátil, tem baixo ponto de fulgor, sendo portanto muito inflamável nas temperaturas normais de operação. Esta característica é muito importante para a partida em temperaturas baixas, mas requer cuidados no manuseio e exposição aos seus vapores, para evitar acidentes, como incêndio (proximidade de fonte de calor), intoxicação por inalação ou queimadura dos olhos e pele.

4.18.2.3. Aditivos: a estabilidade química da Avgas é obtida através das seguintes aditivações:

- Anti-oxidante: evita a polimerização e a precipitação de componentes, evitando a formação de “gel”.
- Dispersante.
- Detergente.
- Anti-corrosivo.
- Dissipador de carga estática.
- Corante identificador de octanagem.

4.18.2.4. Detonação: é a queima instantânea da mistura combustível/ar, com baixíssimo aproveitamento de trabalho, mas com alto poder de aquecimento. Quando ocorre a detonação, o principal sintoma apresentado pelo motor é a emissão do som de “batidas metálicas” (knocking). A queima ideal do combustível deve ser progressiva, para melhor aproveitamento da energia calorífica.

Observação: Detonação é diferente de pré-ignição. Pré-ignição é a queima normal do combustível antes do tempo correto. Pode ocorrer por “ponto de ignição” adiantado ou por velas superaquecidas.

Algumas causas da ocorrência de detonação:

- Combustível com baixo poder anti-detonante;
- Mistura muito pobre;
- Compressão muito alta;

- Cilindro muito quente;

Males provocados pela detonação:

- superaquecimento dos cilindros, provocando trincas em válvulas, anéis de segmento e pistões, e queima de juntas;
- perda de potência do motor;
- queima do lubrificante e perda do motor por fundição dos mancais;

4.18.2.5. Poder anti-detonante: capacidade da gasolina resistir à combustão instantânea ou “detonação” quando submetida a compressão dentro do cilindro. Isto é conseguido com a mistura de diferentes hidrocarbonetos, além da aditivação de anti-detonantes específicos.

Isoctano: hidrocarboneto da família dos alcanos, com a fórmula química C8H18. É o componente da gasolina com maior resistência à combustão por compressão.

Heptano: hidrocarboneto da família dos alcanos, com a fórmula química C7H16. É o componente da gasolina com menos resistência à combustão por compressão.

Chumbo tetraetila (TEL tetraethyl lead) : é um aditivo para gasolina [Pb(C₂H₅)₄] para elevar o valor da octanagem acima de 100, que é o máximo valor possível obtido somente com o Isoctano. É altamente tóxico e libera partículas de chumbo (metal pesado) no ar.

No Brasil e na União Europeia o chumbo tetraetila está proibido de ser adicionado à gasolina de veículos terrestres, mas continua a ser utilizado na gasolina de aviação (Avgas).

4.18.2.6. Octanagem (Número de Octanas: NO) - a gasolina de aviação deve ter um alto número de octanas. Isto permitirá que o motor tenha alta compressão, sem detonação, e assim baixar a leveza do motor: maior potência com menor “peso”.

Metodologia para determinação da Octanagem da gasolina de aviação: a avaliação da octanagem de uma amostra de gasolina, a ser classificada para uso, é feita utilizando-se um *motor de teste CFR (Cooperative Fuel Research)*. Esse motor é monocilíndrico, tem um dispositivo para alterar sua taxa de compressão, e é dotado de sensores e registradores dos parâmetros de funcionamento:

- o motor CFR é abastecido com a gasolina a ser testada, e durante seu funcionamento, a compressão vai sendo aumentada gradativamente, até iniciar o processo de detonação.
- Com essa taxa de compressão ajustada, o combustível do motor é trocado por uma mistura de isoctano e heptano, até que inicie também o processo de detonação. A porcentagem do isoctano dessa mistura passa a ser o valor do índice de octanagem da gasolina testada anteriormente.

A formação da escala para medir a tendência da detonação de uma gasolina é feita com a atribuição do índice 100 para o isoctano (que detona apenas a compressões elevadas) e o índice zero para o heptano (que detona a baixa compressão). Então, uma gasolina com índice de octano 80, possui as mesmas características de detonação que uma mistura de 80% de isoctano e 20% de heptano.

O índice de octano é representado por dois números, com a seguinte sistemática:

Gasolina 91 / 96

91 – índice para a mistura pobre.

96 – índice para mistura rica.

Atualmente, a única gasolina de aviação oferecida no mercado brasileiro é a gasolina azul, que identifica a gasolina de 100 octanas de baixo teor de chumbo, também chamada AVGAS 100LL (de Low Lead - baixo chumbo). O corante azul utilizado é o Azul de Metileno.

4.19. Tipos de mistura ar /combustível (estequiométria): para entendimento do estudo sobre os sistemas dos dispositivos de formação da mistura ar / combustível, é importante conhecer os conceitos abaixo, pois são usados pelo piloto na operação do motor da aeronave nas várias etapas do voo. Para se classificar a mistura de duas substâncias, precisamos adotar uma única unidade de medida para definir a quantidade de cada substância na mistura.

Nesse caso, utilizaremos o Kg, tanto para a gasolina, como para o ar. *Lembrando que a densidade do ar é a relação da massa do ar com o volume por ele ocupado, que por sua vez, é inversamente proporcional à temperatura ambiente e à altitude.*

A teor da mistura ar / combustível é escrita por uma razão, onde o número maior indica a massa de ar, e o menor, indica a massa do combustível.

- **Mistura pobre (lean):** 18:1 em peso. Após a queima, haverá sobra de ar junto com os gases de exaustão.
- **Mistura quimicamente correta (estequiométrica):** 14,7 : 1 em peso. *Teoricamente oferece o equilíbrio exato de oxigênio e combustível para a combustão mais completa, porém, na prática, isso não vai ocorrer; portanto, não é utilizada na operação do motor.*
- **Mistura rica (rich):** 9 : 1 em peso. Após a queima, haverá sobra de combustível junto com os gases de exaustão, o que ajudará a refrigerar o cilindro.

Pode ser escrito em qualquer ordem e também com números decimais.

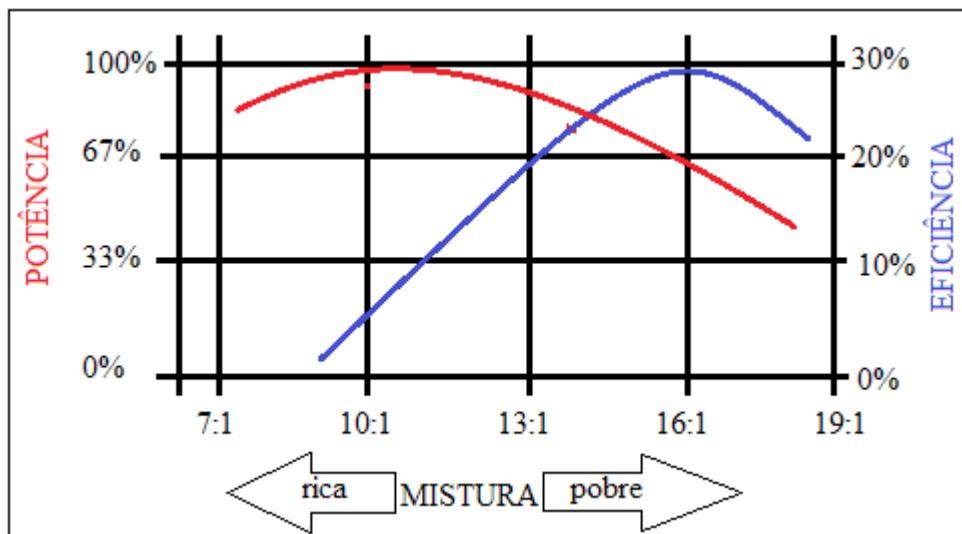
Exemplo: 20 : 1, 1 : 20 ou 0,1 : 2

- **Misturas incombustíveis:** o range entre a mistura mais pobre e a mistura mais rica tem limite, conforme veremos abaixo:
- 25:1 – Muito pobre: não entra em combustão por excesso de ar. *Possível de ocorrer no solo, ou em baixas altitudes, com o motor em marcha lenta e a manete de mistura “puxada” para a posição “pobre”.*
- 5,55 : 1 – Muito rica: não entra em combustão por falta de ar. *Possível de ocorrer em altitude elevada (ar rarefeito), com o motor todo acelerado e a manete de mistura toda “empurrada” para a posição “rica”.*

4.19.1. Influência da mistura na Potência e Eficiência do consumo de combustível: na figura abaixo podemos verificar que a maior potência é conseguida com um mistura mais rica, onde o pico acontece no valor de 10:1. Entretanto, nesse ponto, a eficiência do consumo de combustível é de apenas 10%. Isto ocorre porque o combustível não é “queimado” totalmente, com o excedente sendo expelido junto com os gases da exaustão. Este ponto de operação do motor é chamado de “potência máxima”, e é indicado para decolagem.

Por outro lado, a melhor eficiência no consumo do combustível está no ponto de mistura pobre de

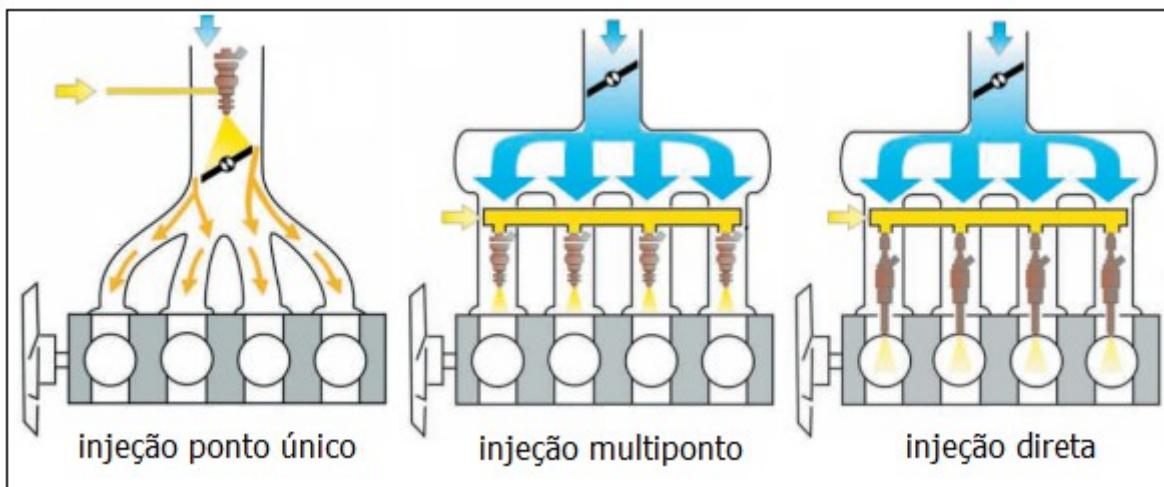
16:1, embora a potência seja reduzida para 67%. Este ponto de operação do motor é chamado de “máxima economia”, e é indicado para a etapa do voo em cruzeiro.



4.20. Técnicas utilizadas para alimentação do combustível nos cilindros:

1. Sistemas mecânicos:

- **Ponto único aspirado:**
 - **carburadores com câmara e bóia** – formação da mistura ar / combustível no carburador com a distribuição através dos dutos de admissão.
- **Injetor único** – um injetor de combustível com fluxo contínuo no manifolde de admissão do ar. A mistura é controlada por borboleta e fica disponível para todos os cilindros.
- **Por múltiplos pontos:**
 - **Injeção indireta** - O sistema é composto por uma bomba de pressão que entrega o combustível pressurizado num manifolde, e daí é distribuído para os injetores que pulverizam o combustível, de forma sincronizada com a abertura da válvula de admissão, no tubo coletor, onde ocorrerá a mistura a ser aspirada pelo cilindro.



- **Injeção direta** – uma bomba de pressão, com saídas individuais, injeta o combustível dentro de cada cilindro, somente no instante da abertura da válvula e admissão do ar. A mistura ocorre dentro do cilindro;

2. Sistemas eletrônicos:

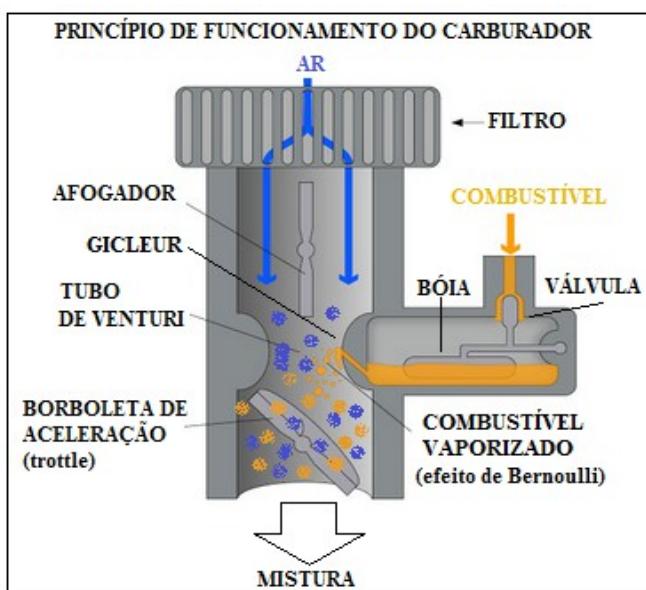
mecanicamente a mistura é processada pelo método de injeção

direta, mas o gerenciamento da dosagem e o ponto da injeção do combustível, assim como a aceleração, são feitos pela central eletrônica. A ignição também é gerenciada pela central eletrônica.

4.20.1. Vaporização da mistura: a mistura deve chegar nos cilindros na forma “vaporizada”. Este processo é iniciado com a pulverização correta da gasolina, em seguida por um processo de turbilhonamento da mistura *na sua passagem pela borboleta de aceleração e sua chegada nos cilindros aquecidos, e se completa durante a fase de compressão*.

4.21. Caraburador de câmara e bóia (cuba) básico: o funcionamento do caraburador é baseado no fluxo de ar, succionado pelos pistões, que ao passar pelo caraburador provoca a pulverização da gasolina, por depressão (efeito Venturi), para fazer a mistura com o ar.

Um caraburador básico, deste tipo, é formado por um *corpo tubular*, com formato de tubo de Venturi, também denominado “difusor”, com outras partes agregadas, que são:



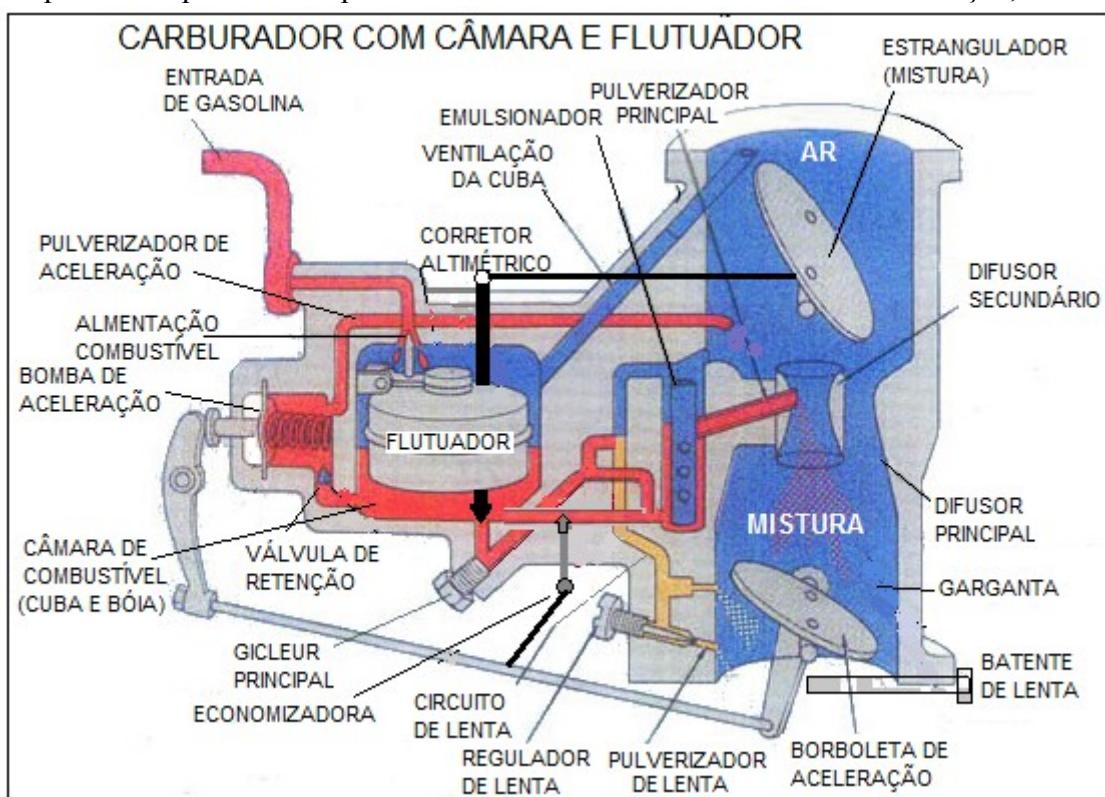
- **Câmara e bóia ou reservatório de gasolina de nível constante (cuba):** posicionado lateralmente, dotado de uma bóia com uma válvula tipo “agulha”, para controlar a entrada de gasolina no reservatório.
- **Afoagador (ligada à menete da mistura):** na entrada do tubo de Venturi fica uma “borboleta” para restrição da entrada de ar, vinda do filtro, e assim, fazer a dosagem da mistura: se estiver mais fechada, passará menos ar e a mistura será rica (maior quantidade de gasolina); se estiver mais aberta, ocorrerá o contrário, e a mistura será pobre.
- **Pulverizador principal:** um tubo fino, inclinado no sentido do fluxo do ar, ligado ao reservatório de nível constante. Fica posicionado no centro do tubo de Venturi, onde há uma depressão do ar succionado pelos pistões, portanto, menor do que a pressão no interior da cuba de combustível (pressão atmosférica local), de acordo com o “efeito Venturi”. A gasolina é então pulverizada por depressão, e a partir de então, por turbilhonamento, é feita a mistura ar/combustível.
- **Gicleur:** peça com um furo calibrado, rosada na saída da cuba para o tubo pulverizador, e

que faz a dosagem correta do combustível na mistura adequada para a potência e regime contínuo.

- **Borboleta de aceleração (ligada à manete de potência):** fica na saída do carburador, para controlar o fluxo da mistura que irá, pelos tubos coletores, chegar até os pistões, através da abertura das válvulas de admissão.

4.21.1. Carburador com câmara e bóia (cuba) completo: A partir do carburador básico, visto acima, vamos ver agora partes adicionais que compõem um carburador completo:

- **difusor secundário (tubo de Venturi):** para melhorar o turbilhonamento da mistura, tornando-a uniforme e melhor distribuída na tubulação de admissão.
- **Emulsionador:** fica entre o Gicleur e o pulverizador principal, para equalizar a demanda de combustível nos picos de aceleração, fazendo uma pré-mistura de ar, até estabilizar a rotação do motor.
- **Círculo de marcha lenta:** é uma derivação do combustível entregue pelo gicleur principal, que vai ser pulverizado permanentemente abaixo da borboleta de aceleração, e assim,



manter um regime de r.p.m. mínimo, mesmo com a borboleta estrangulada (baixa sucção no tubo de Venturi).

- **Bomba de aceleração:** conectada por haste à borboleta de aceleração, serve para “injetar” gasolina, momentaneamente, toda vez que o manete é puxado, para provocar uma aceleração mais rápida do motor. A gasolina entra acima dos difusores.
- **Regulagem da marcha lenta:** é feita por dois dispositivos:
 - um parafuso “batente” que regula a posição mais fechada da borboleta de aceleração;
 - uma “agulha” regulável para ajustar a quantidade da gasolina a ser pulverizada. Notar que o combustível entra abaixo da borboleta de aceleração, e que além do pulverizador

regulável, existe um pulverizador bypass para garantir um mínimo de combustível para a marcha lenta.

Na operação com mistura rica, a alimentação de combustível no carburador se dá dentro do difusor, pelo pulverizador principal, que é alimentado por duas vias:

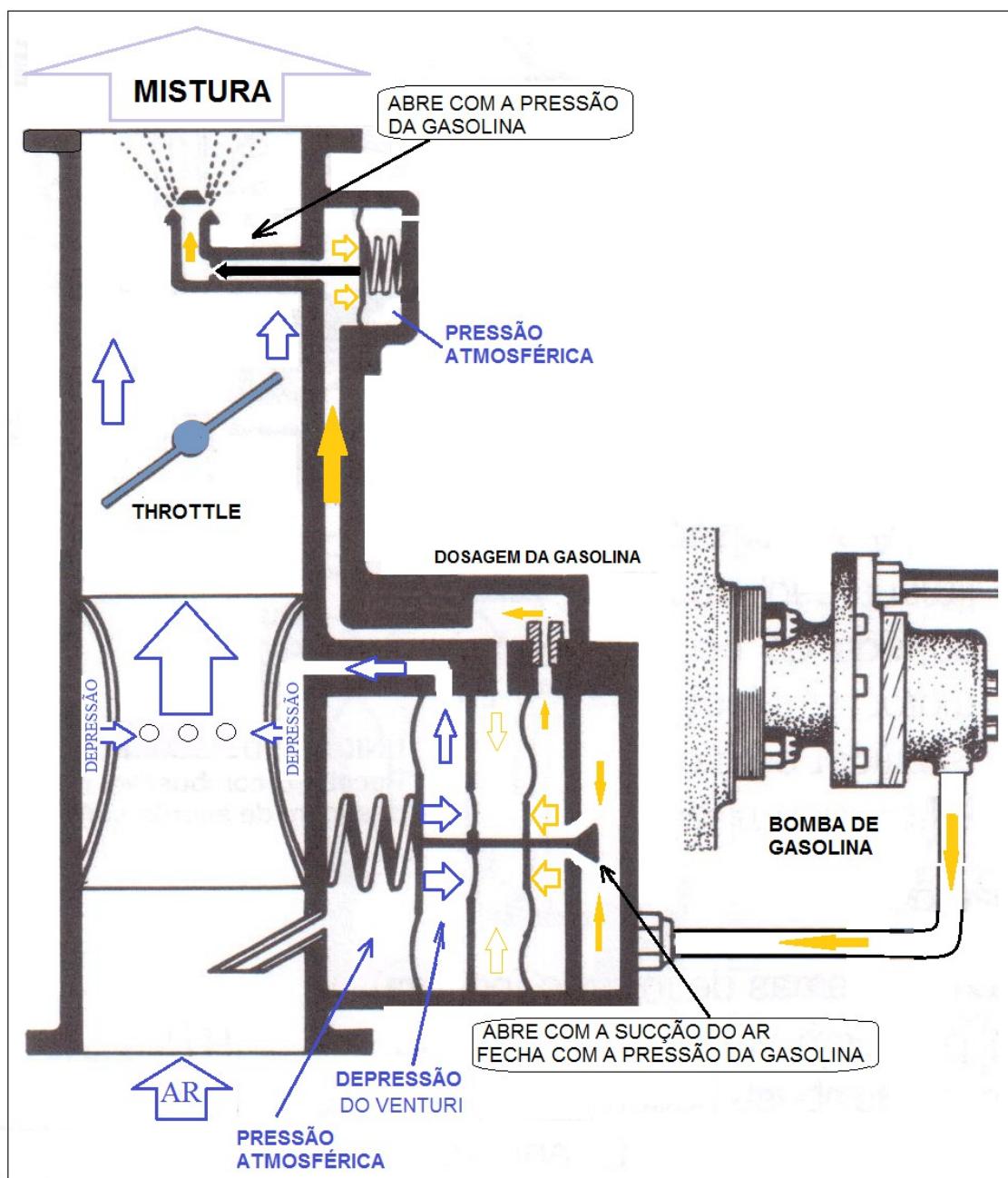
1. pelo fluxo de gasolina que passa pelo gicleur principal;
 2. pelo fluxo extra, através da válvula “economizadora”;
- **Válvula economizadora** - é uma válvula de “agulha”, colocada num duto paralelo ao duto do gicleur principal, que abre a passagem do combustível extra usado na mistura rica, quando a manete de potência estiver toda empurrada. Abaixo desta posição, a válvula fecha-se gradualmente, na função de economizadora, ficando somente o fluxo dosado pelo gicleur.
 - **Válvula de correção altimétrica** (*Lembrando que a densidade do ar é a relação da massa do ar com o volume por ele ocupado, que por sua vez, é inversamente proporcional à temperatura ambiente e à altitude. Com o aumento da altitude, o ar fica mais rarefeito, portanto a mistura tende a ficar mais rica*): é uma válvula de “agulha” que fecha proporcionalmente a passagem de gasolina no duto do pulverizador principal, quando a manete de mistura for abaixada ou puxada para a mistura “pobre”. Esta mesma válvula fará o corte do combustível quando a manete for puxada totalmente, fazendo a parada do motor.

Os dispositivos corretores também podem ser de concepção automática.

4.22. Carburador sem câmara e bóia (pulverização por pressão): Na figura abaixo, é mostrado um diagrama de princípio de funcionamento, sem alguns outros recursos, como o dispositivo de controle da mistura, bomba de aceleração, ajuste de marcha lenta, etc.... Este tipo de carburador tem vantagem sobre o tipo com câmara com bóia, pois pode funcionar bem em qualquer posição, e como o combustível é pulverizado acima do Venturi, não vai ocorrer formação de gelo por evaporação do combustível.

- A gasolina é fornecida por uma bomba, acionada pelo próprio motor.
- O dosador de gasolina é um dispositivo mecânico (válvula Poppet) que opera pelo princípio da comparação de duas forças, utilizando duas câmaras com diafragmas: uma preenchida com ar e outra com gasolina. Um pino central interliga os diafragmas das duas câmaras: na extremidade do lado da câmara de gasolina, fica uma válvula côncica para controlar a entrada de gasolina; na outra extremidade, no lado da câmara com ar, fica uma mola que, por expansão, força a abertura da válvula de gasolina para marcha lenta.
- O tubo de Venturi tem a única função de fornecer, ao dosador de gasolina, uma “amostragem” da quantidade necessária de gasolina a ser liberada para o pulverizador. A sucção, causada pelo Venturi, é comunicada por furos para a câmara com ar, forçando a abertura da válvula de gasolina, com uma força diretamente proporcional à sucção dos pistões.
- Com o motor funcionando em marcha lenta, a pressão da gasolina sobre o diafragma tende a fechar a válvula côncica, mas a força da mola, somada com a força da sucção do Venturi, que atua no diafragma da câmara com ar, tende a manter uma abertura mínima, suficiente para o motor funcionar com 900 rpm (marcha lenta).
- Na aceleração do motor, a bomba de aceleração (não mostrada) inicia o processo, a força da sucção do Venturi aumenta na câmara com ar, forçando uma maior abertura da válvula de gasolina.
- A aceleração é controlada pela única borboleta, posicionada após o Venturi.

- O controle da mistura é automático, controlado pelo próprio mecanismo do dosador de combustível.

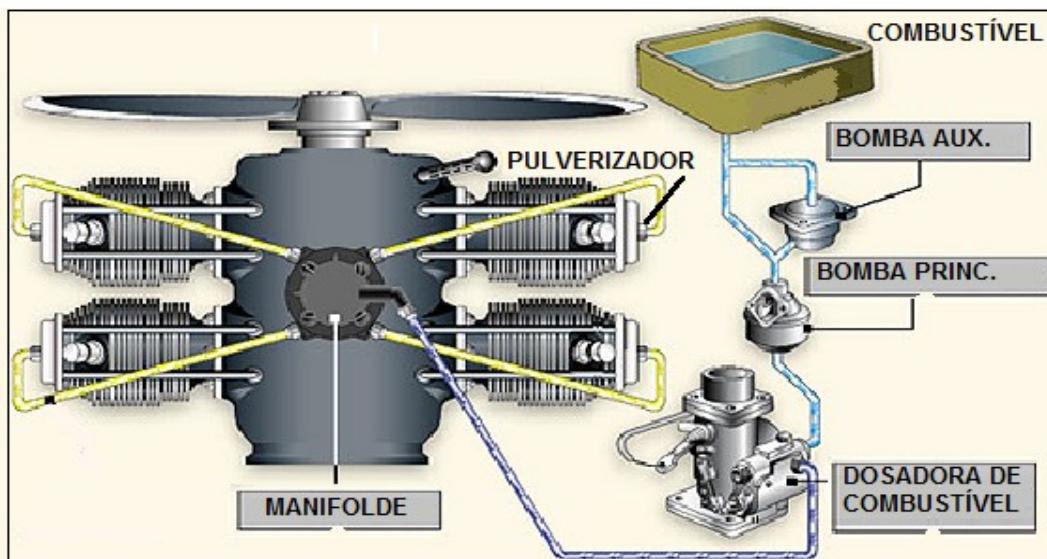


- Outra vantagem deste tipo de carburador é que o combustível sendo pulverizado acima do Venturi, diminui a chance de haver formação de gelo por evaporação do combustível.

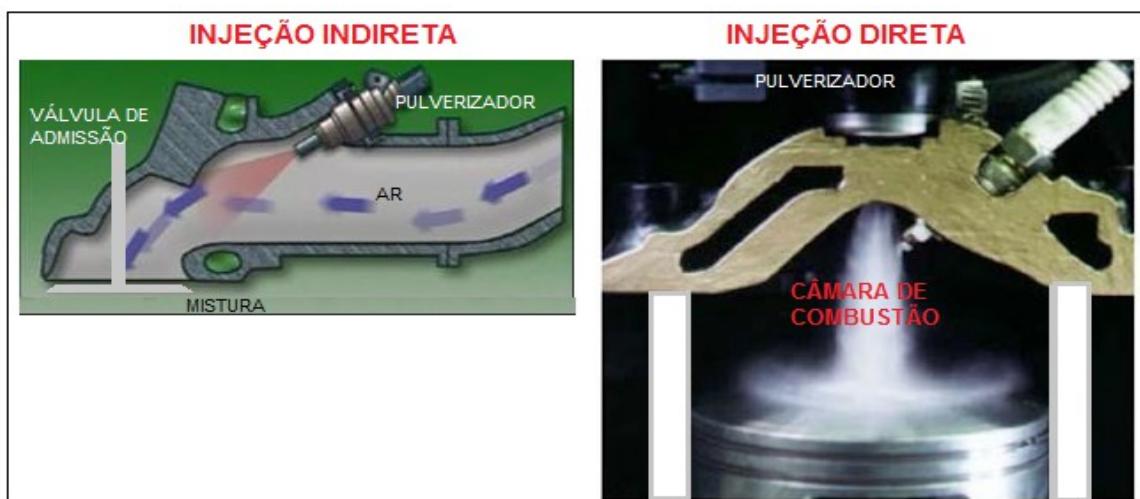
4.23. Bomba com injeção indireta (ou de ponto único): sistema que disponibiliza o combustível na sede da válvula de admissão, pulverizado proporcionalmente à r.p.m. selecionada na manete de potência.

A dosagem da gasolina é feita por um dispositivo idêntico ao visto anteriormente no carburador sem bóia (por pressão), que entrega o combustível dosado numa válvula manifolde, que faz a distribuição equalizada para os cilindros:

- O combustível só flui para o cilindro que tiver a válvula de admissão aberta.
- A mistura ar / combustível só ocorre no momento da abertura da válvula de admissão, na ante-câmara do cilindro.
- O controle da mistura é automático, controlado no dosador de combustível, restringindo a dosagem de combustível conforme aumenta a altitude.



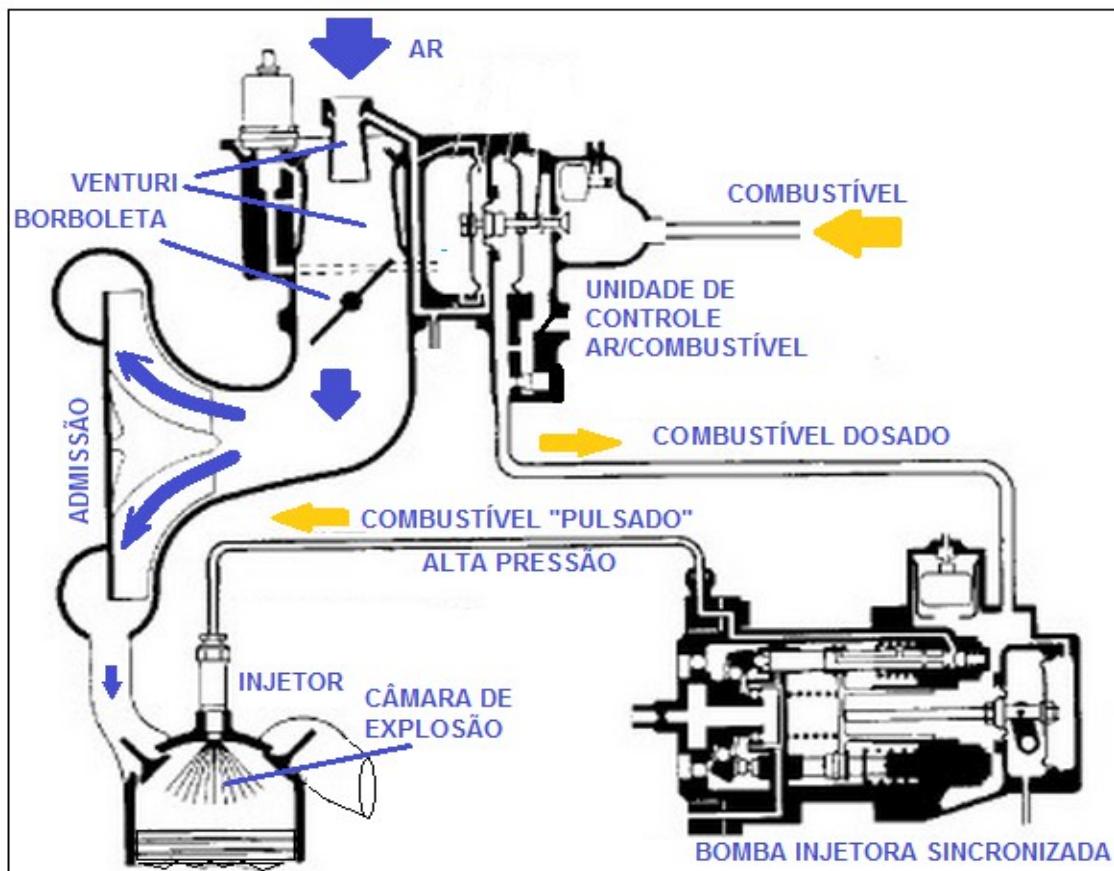
Observação: nos motores ROTAX 912 não existe a manete de mistura. O carburador BING, que os equipa, tem um pistão “pilotado” pela pressão atmosférica, que ajusta a agulha de injeção de gasolina, conforme a altitude de voo. (ver página 106 – parada do motor).



A vantagem deste sistema, em relação aos carburadores, é que a vaporização da gasolina só ocorre na entradado cilindro, sob alta temperatura, portanto, sem risco de formação de gelo por evaporação do combustível.

4.24. Bomba com injeção direta (ou de múltiplos pontos): sistema que disponibiliza o combustível dentro do cilindro, pulverizado proporcionalmente à r.p.m. selecionada na manete de potência.

A dosagem da gasolina é feita por um dispositivo idêntico ao visto anteriormente no carburador sem



bóia (por pressão), que entrega o combustível dosado diretamente no centro de uma bomba injetora sequencial, que pressuriza o combustível de forma sincronizada com a abertura da válvula de admissão, entregando diretamente a cada pulverizador individualmente, ou multi-ponto:

- A mistura ar / combustível só ocorre dentro do cilindro, no momento da abertura da válvula de admissão.
- O controle da mistura é automático, controlado no dosador de combustível, restringindo a dosagem de combustível conforme aumenta a altitude.

A vantagem deste sistema, em relação aos carburadores, é que a vaporização da gasolina só ocorre dentro do cilindro, sob alta temperatura, portanto, sem risco de formação de gelo por evaporação do combustível.

4.25. Desempenho dos motores a pistão:

Força (F) – Utilizada nos movimentos lineares. A Unidade no SI é Newton.

Newton (N) - Corresponde à força (F) necessária para fazer um corpo de massa igual a 1 kg , produzindo uma aceleração linear de 1 m/s^2 . O Newton também é unidade de peso.

Torque (τ - letra grega tau minúscula) - Utilizada nos movimentos rotacionais. É o momento de uma força linear aplicada a um ponto onde vai provocar a rotação do corpo em torno do seu eixo. É quantificado como a Força aplicada (N), multiplicada pela distância do ponto de aplicação até o

ponto de rotação. É o esforço rotacional do eixo motor sobre a hélice do avião.

Velocidade angular (ω) ou Rotacional:

$$\omega = \frac{\Delta\theta \text{ (rd)}}{\Delta t \text{ (s)}}$$

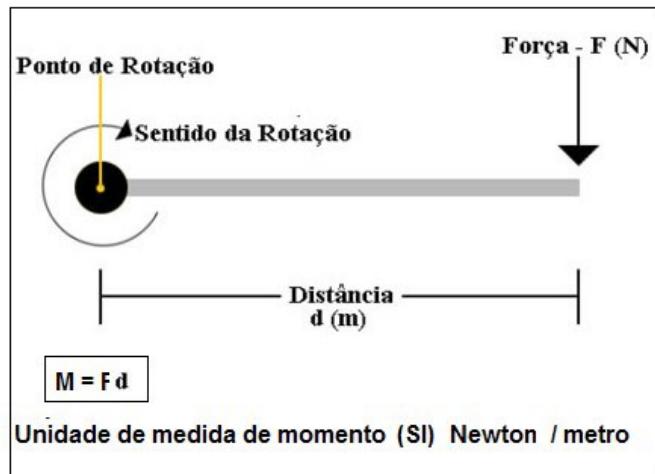
onde

$$\omega = 2\pi / T$$

A Unidade no SI é radianos / segundo.

Representado pela letra grega ômega minúscula.

T = período rotacional em segundos.



Conversão de r.p.m. em rad./ s: 1 r.p.m. = 0,105 rad. / s

Trabalho (W work)

- MOVIMENTO LINEAR: é a medida da energia transferida pela aplicação de uma força resultante (F) sobre um objeto para provocar um deslocamento linear (Δs).
- MOVIMENTO ROTACIONAL: é a medida da energia transferida pela aplicação de um torque resultante (τ) sobre um objeto para provocar um deslocamento angular ($\Delta\theta$).

A unidade SI de trabalho é o Joule (J) ou Newtom/metro, que se define como o trabalho realizado por uma força de um newton (N) atuando ao longo de um metro (m) na direção do deslocamento.

De acordo com o sentido da resultante das forças aplicadas, e do deslocamento do objeto, teremos dois casos:

- trabalho positivo: quando o sentido da força é o mesmo do deslocamento do objeto;
- trabalho negativo: se os sentidos são opostos;

De acordo com a direção da resultante, teremos também duas situações:

- A direção da resultante das forças é paralela à direção do movimento. Neste caso, as expressões matemática, serão:

$$\pm W = F \cdot \Delta s \text{ (J)} \quad \text{ou} \quad \pm W = \tau \cdot \Delta\theta \text{ (J)}$$

- As direções não são paralelas, formando um ângulo ϕ entre si. Neste caso, as expressões matemáticas, serão:

$$\pm W = F \cdot \Delta s \cos \phi \text{ (J)} \quad \text{ou} \quad \pm W = \tau \cdot \Delta\theta \cos \phi \text{ (J)}$$

potência (P - power) - é a rapidez com com que o trabalho é realizado. Pode ser interpretada também como a velocidade com que a força (ou torque) é aplicada.

No SI, a unidade de potência é o Watt (W), dimensionalmente igual a joule por segundo (J / s). No movimento linear equivale a levantar um peso de 1N, numa distância de 1m em 1 segundo. No movimento rotacional equivale a torquear 1 N/m em 1 segundo.

Potência linear:

$$P = W / t$$

ou

$$P = F \cdot v$$

Potência rotacional:

$$P = (\tau \cdot \Delta\theta) / t$$

ou

$$P = \tau \omega$$

onde τ = Joules t = segundos

Outras unidades adotadas para a Potência:

- cavalo-vapor (cv) = 735,5 W
- horse power (hp) = 746,6 W.

4.25.1. Fatores que influenciam na Potência do motor:

Fatores que influenciam diretamente no Torque (τ):

1. **Cilindrada do motor:** é a soma de todos os volumes úteis dos cilindros de um motor, dada em litros ou cm^3 . Num motor com 2.000 cilindradas, cada cilindro tem 500 cm^3 de volume útil.
2. **Eficiência térmica do motor:** porcentagem da energia calorífica desprendida na queima do combustível, e que é convertida efetivamente em torque, no eixo do motor, nos diferentes regimes de funcionamento. Na prática, chega a valores entre 25 e 30%. A eficiência térmica depende de:
 - **Taxa de compressão:** é a relação entre o volume útil do cilindro e o volume da câmara de combustão. Na prática não pode ser maior do que 8:1, para evitar o fenômeno da detonação.
 - **Eficiência de arrefecimento:** característica que depende dos materiais e formas constitutivas do motor, principalmente dos cilindros e cabeçotes, que possam proporcionar a melhor troca de calor com o fluido refrigerante.

Fator que determina a “rapidez” ou tempo de realização do Torque:

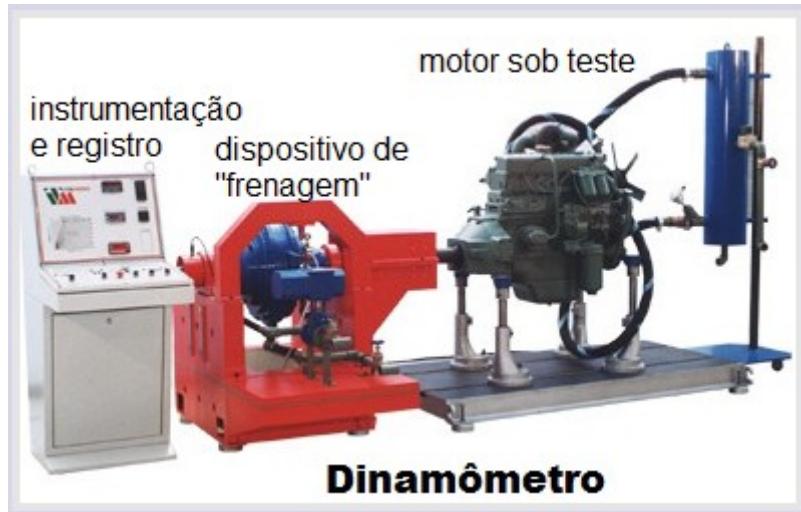
- **Rotação do motor:** maior velocidade, maior potência.

4.25.2. Características dos diversos tipos de potência utilizados nos motores

Por ordem de grandeza, teremos:

1. **Potência Teórica:** É a energia total produzida pela combustão, por unidade de tempo (segundo). Só é possível avaliar através do instrumento de laboratório denominado Calorímetro. O Poder Calorífico da gasolina é 11.400 Kcal / Kg.
2. **Potência Indicada (Indicated Horse Power - IHP):** é a potência aplicada sobre o pistão, e é medida com instrumentação de laboratório. A limitação da taxa de compressão, vista anteriormente, já produz uma perda de 40%, limitando a IHP em apenas 60% da Potência Teórica.
3. **Potência Efetiva (Brake Horse Power - BHP):** É a potência disponível no eixo do motor, determinada através de ensaios com o Dinamômetro (*). É igual à Potência Indicada menos as perdas por atrito, e varia proporcionalmente à rotação do motor, e por isso tem duas variantes associadas a dois importantes regimes de operação:

- **Potência Máxima** – é a Potência Efetiva desenvolvida no regime de plena rotação, supera a potência projetada do motor, e deve ser utilizada em curtos espaços de tempo, como na decolagem, por exemplo.
 - **Potência Nominal** – é a máxima Potência Efetiva para utilização em regime contínuo, conforme projeto do motor. É a potência de “placa”, dada na folha de dados do motor.
- 4. Potência Útil (Thrust Horse Power – THP)** – É a potência desenvolvida pelo conjunto moto-propulsor: motor, caixa redutora e hélice. È o produto da potência efetiva, em determinado regime de rotação, pelo rendimento da hélice.
- 5. Potência de Atrito (Frictional Horse Power – FHP)** – é o valor equivalente à potência dissipada por atrito das partes móveis do motor, e corresponde à diferença entre a Potência Indicada e a Potência Efetiva.

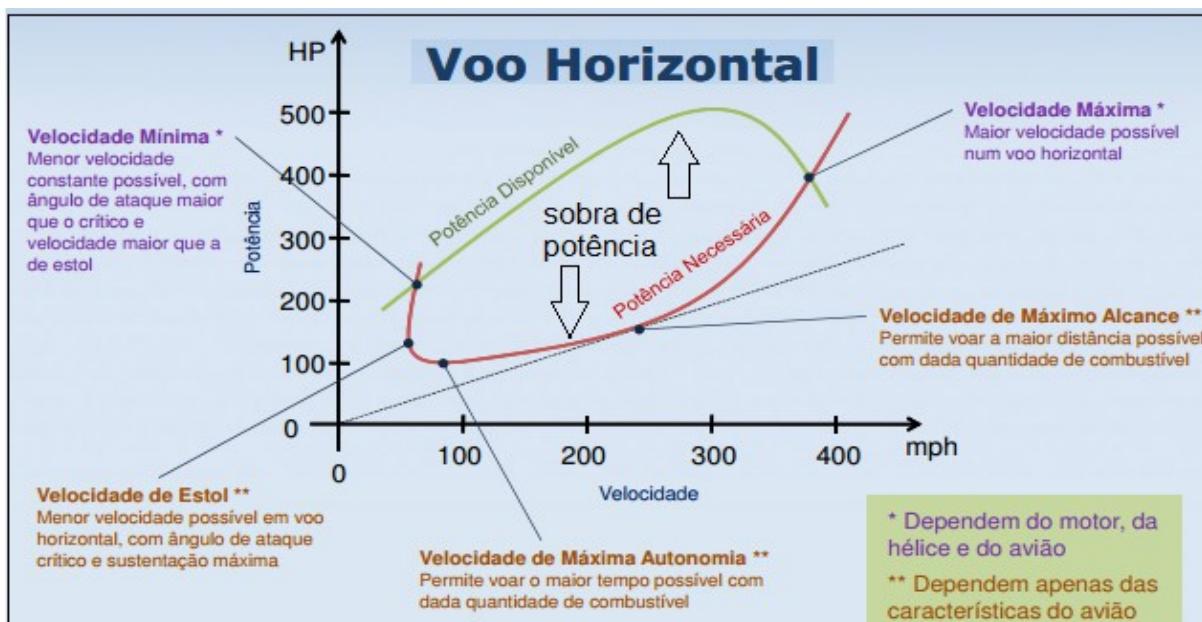


(*) Dinamômetro: equipamento para medição da Potência Efetiva de motores. Trata-se de uma carga, mecânica ou elétrica, acoplada ao eixo motriz, e que impõe uma “frenagem” controlada ao motor sob teste. O desempenho do motor, sob vários regimes de rotação e carga, é medido e gravado por um sistema de transdutores e registradores.

Observação: na disciplina “Teoria do voo” é estudado o voo horizontal, onde são vistos dois conceitos aplicados para Potência:

POTÊNCIA NECESSÁRIA : Potência para manter o voo nivelado na velocidade de menor arrasto.
POTÊNCIA DISPONÍVEL: Potência útil máxima.

- Em baixas velocidades o motor desperdiça potência.
- Aumentando-se a velocidade, torna-se mais eficiente, mas até um determinado valor, que ao ser ultrapassado, o rendimento volta a cair.



4.26. Fases operacionais do motor: com os conhecimentos sobre mistura ar/combustível, sobre potência necessária e potência disponível, podemos entender o porque dos diversos regimes de funcionamento do motor de uma aeronave.

A realização de um voo requer que o motor funcione de forma adequada, para cada tipo de operação, assim, teremos que entender as fases abaixo relacionadas e as respectivas operações nos controles, e observações nos instrumentos do motor.

Observações:

As manetes de operação do motor, de acordo com padrão internacional, são:

- **Manete de potência (Preta).**
 - Na posição totalmente empurrada e com a manete de mistura na posição “mistura rica”: o motor funcionará na Potência efetiva Máxima (acima da r.p.m. Nominal). A **borboleta de mistura** estará totalmente aberta. Ao ser empurrada, também aciona a “bomba de aceleração”;
 - Na posição “totalmente puxada” a **borboleta de mistura** estará fechada no batente ajustável, e o motor funcionará em marcha lenta.
- **Manete de mistura (vermelha): somente para arburadores com câmara e bóia.**
 - Na posição “totalmente empurrada” a **borboleta estranguladora de ar** estará fechada no batente de mistura “rica”, e a **válvula de correção altimétrica** estará totalmente aberta, permitindo a vazão plena da gasolina da cuba para o pulverizador, limitada apenas pelo gicleur. Ao nível do mar essa mistura será de 1 : 10, com o motor totalmente acelerado.
 - Na região intermediária, de “controle da mistura” (puxada parcialmente), a borboleta estranguladora de ar estará proporcionalmente aberta, permitindo uma mistura próxima de (16 : 1) ao nível do mar.
 - Na posição “totalmente puxada” ela manterá a borboleta estranguladora totalmente aberta (admissão de ar total) e fará o fechamento da válvula de correção altimétrica.

- **Manete de hélice – Azul.**
 - Controla a r.p.m. da hélice, através da pressão do governador, ou controla o passo através de mecanismo apropriado.

Nas operações no solo, ou em baixas altitudes, a manete de controle da mistura opera normalmente “empurrada”, na posição denominada “rica”.

Sua movimentação para fora só deve ocorrer nas operações em altitude, diretamente proporcional à altitude alcançada, por causa da baixa densidade do ar.

Estes procedimentos aplicam-se aos motores com carburadores com câmara e bóia:

- **Marcha lenta.**
- **Decolagem.**
- **Subida.**
- **Cruzeiro.**
- **Aceleração.**
- **Parada.**

Marcha Lenta – o motor funciona na mais baixa rotação possível (recomendada pelo fabricante do motor), com a **manete de potência** toda puxada (borboleta de mistura no batente de mínima abertura) e a **manete de mistura** na posição “rica” (borboleta estranguladora do ar no batente de abertura mínima e a “válvula de correção altimétrica” dando plena vazão de gasolina para o gicleur). O ponto de ajuste da marcha lenta deve ser feito no solo, por mecânico, pois este ajuste é a referência para o funcionamento correto do motor nos diversos regimes operacionais.

Decolagem – o motor funciona na mais alta rotação possível, com a **manete de potência** toda empurrada (borboleta de mistura no batente de máxima abertura) e a **manete de mistura** permanece na posição “rica”.

A mistura deve ser na ordem de 10:1.

Como a temperatura do motor cresce rapidamente neste regime de operação, ao atingir a altura de segurança, o piloto deve reduzir a potência para o regime de subida, observando a r.p.m. recomendada.

Subida – a manete de aceleração é puxada levemente para diminuir a rotação do motor e estabilizar no regime de máxima potência contínua. Observar que à proporção que for ganhando altitude, o motor tende a cair a rotação e apresentar um funcionamento trepidante, com perda de rotação, pela baixa densidade do ar (mistura excessivamente rica).

Então deve ser feita a correção altimétrica da mistura, puxando a manete de mistura levemente (abrir gradativamente a borboleta estranguladora de ar e simultaneamente reduzir a gasolina no gicleur), até notar que o motor voltou a ter o funcionamento “macio” e mais acelerado.

A mistura deve ser na ordem de 12,5:1.

Cruzeiro – usar potência reduzida, com a r.p.m. recomendada, e a manete de mistura puxada levemente para “amaciá” o funcionamento do motor. É a fase mais longa do voo, e com este regime, há uma grande economia de combustível. A mistura deve ser na ordem de 16:1.

Aceleração – os carburadores são dotados de uma “bomba de aceleração”, que é “impulsionada” toda vez que o manete de aceleração é levado totalmente para cima ou “empurrado” : ela injeta uma dosagem extra de gasolina, diretamente na saída do carburador, depois da borboleta de aceleração. A operação de aceleração é necessária nos casos emergenciais de recuperação, como obstáculos à frente durante o pouso.

Obs.: os valores etequioétricos(mistura ar / combustível) citados neste estudo são meramente ilustrativos pois não podem ser medidos na prática, durante um voo. São valores determinados previamente em laboratório, pelo fabricante do motor.

Parada do motor:

- Manete de potência – toda puxada, para marcha lenta;
- Manete de mistura – toda puchada para fazer o corte do combustível;
- Magnetos ligados;

O motor é cortado por falta de combustível, e isso evita a diluição do lubrificante.

5 - INSTRUMENTOS

5.1. Painel de instrumentos - Os instrumentos contidos no painel da cabine do avião servem para informar ao piloto todas as grandezas ocorrentes nos sistemas, nas diversas fases do voo.

Os instrumentos são agrupados por sistemas para concentrar a varredura visual do piloto.

Grupos de instrumentos por sistema:

- Motor
- Combustível
- Elétrico
- Voo
- Navegação
- Relógio/cronômetro



5.2. Tecnologias empregadas na construção dos instrumentos – Os instrumentos, conforme sua concepção construtiva podem ser:

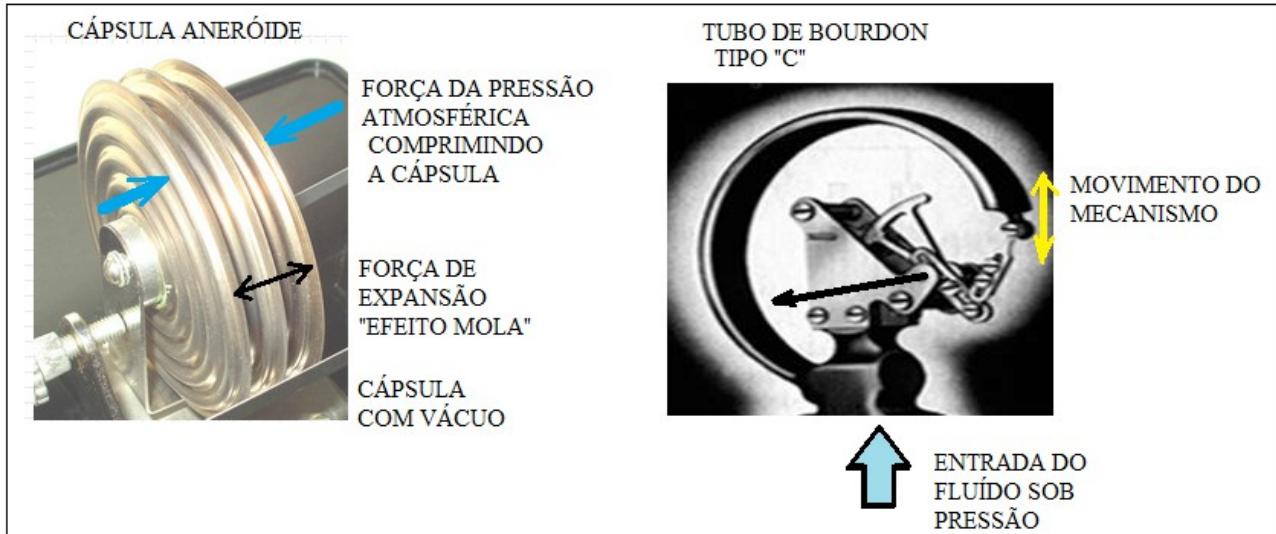
- Mecânicos: dependem da energia da grandeza medida para funcionar, po isso ficam localizados o mais próximo possível do ponto de medição.
- Elétricos: não dependem da energia da grandeza medida para funcionar, se conectam ao sensor por fiação elétrica, por isso, podem ser instalados distantes do ponto de medição.

5.2.1. Manômetro - é o instrumento utilizado para indicar a pressão atmosférica ou a pressão de um processo ou sistema. Podem ser mecânicos ou elétricos. Os manômetros macânicos são de dois tipos:

- Cápsula aneróide – com escala em polegadas de mercúrio (In Hg) ou hecto Pascal (hPa), indicam a PRESSÃO ABSOLUTA: a pressão atmosférica local, em relação ao

vácuo (zero da escala). A cápsula aneróide é metálica e fechada com vácuo. O tipo construtivo da cápsula funciona como uma mola, que se expande na ausência de pressão externa, ou se comprime se submetida a uma pressão. Esse movimento aciona um mecanismo que faz deslocar um ponteiro numa escala graduada.

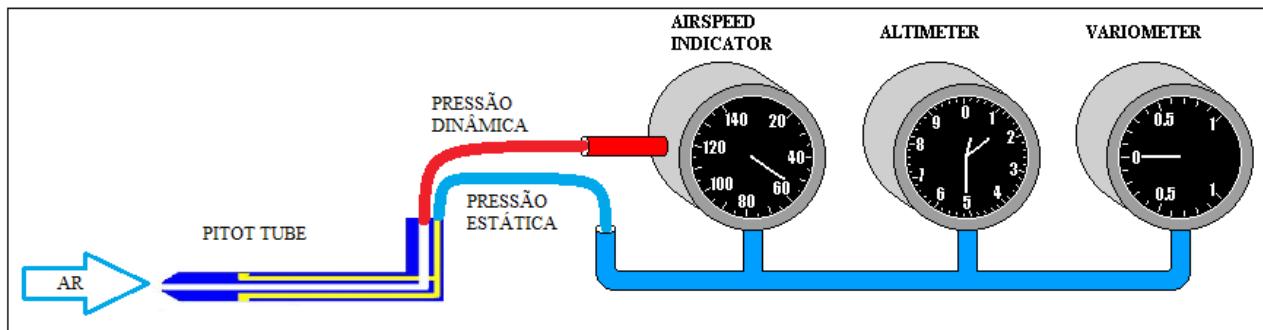
- Tubo de Bourdon - com escala em PSI ou Kgf/cm², indicam a pressão relativa: a pressão acima da pressão atmosférica local (zero da escala).



Os manômetros elétricos utilizam sensores que convertem a pressão do processo em um sinal elétrico padrão, ou de tensão, ou de corrente. Os instrumentos elétricos são galvanômetros adequados ao tipo e o range do sinal dos sensores. A apresentação dos valores pode ser por mostrador analógico (ponteiro) ou mostrador digital.

5.2.2. Pressostato – é um interruptor eletromecânico, acionado por variação de pressão, acima ou abaixo de determinado valor de referência no processo. Serve para acionar alarmes ou para desligar cargas sob monitoramento.

5.2.3. Instrumentos que dependem da pressão do ar – Os instrumentos de voo precisam ser alimentados com dois tipos de pressão do ar:



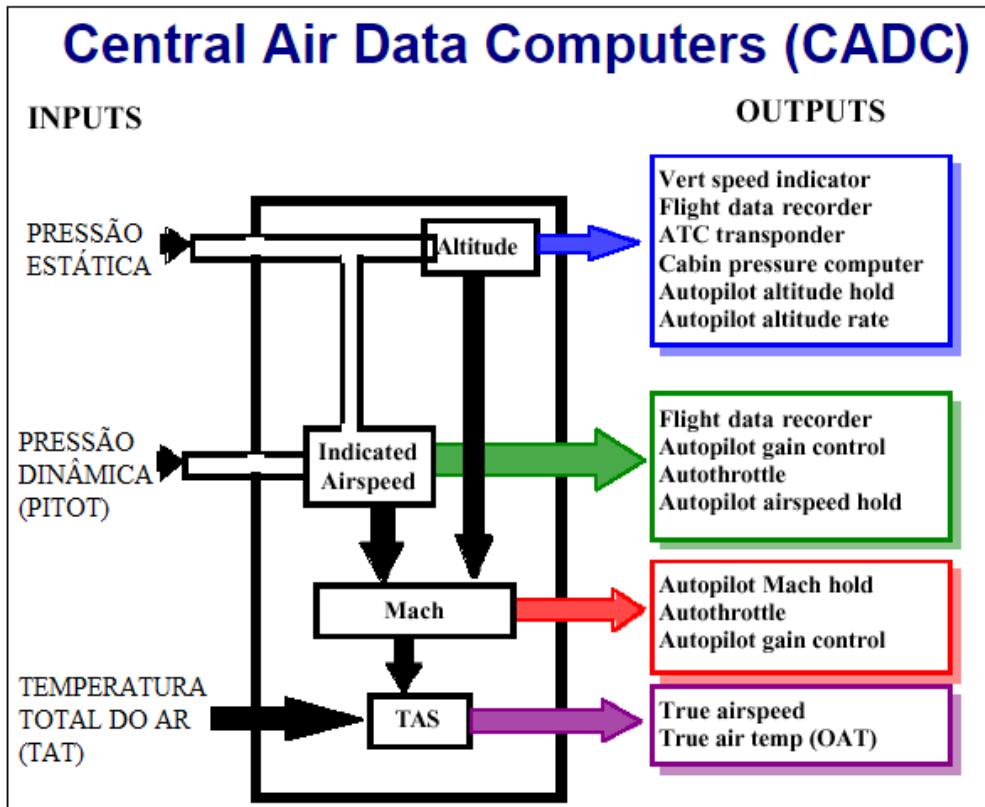
- Pressão estática – é a pressão atmosférica no local onde está a aeronave, tanto em movimento como parada. Por isso a captação dessa grandeza tem que ser em local livre de

turbilhonamento e impacto direto do ar.

- Pressão total, ou dinâmica – é a pressão presente na frente de ataque da aeronave em movimento;

5.2.4. Tubo de Pitot – é o dispositivo que capta a pressão total e a pressão estática. É instalado num ponto de ataque do ar, mas livre de turbulências. Numa aeronave de pequeno porte, a pressão total é levada até o painel de instrumentos através de tubo para alimentar o Velocímetro. A pressão estática, também é levada ao painel através de outro tubo, para alimentar o Velocímetro, o Altímetro e o Variômetro.

5.2.5. CADC (Central Air Data Computer) - é um sistema microprocessado, composto por três



Blocos de componentes:

- sensoreamento;
- tratamento e processamento eletrônico dos sinais de entrada, produzindo diversas informações específicas;
- instrumentos;

O sistema envia todas as informações eletronicamente para instrumentos, Piloto automático e Auto throttle, além de fazer o monitoramento de falhas ou de parâmetros fora das faixas definidas na sua programação.

https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aircraft/amt_airframe_handbook/media/ama_Ch10.pdf

http://www.dynonavionics.com/docs/D180_Feature_AOA.html

5.2.6. Termômetro – é o instrumento utilizado para indicar a temperatura do ar, ou a temperatura de um processo ou sistema. Pode ser de funcionamento mecânico ou elétrico.

Termômetro de Gases – tem funcionamento mecânico. O instrumento é um manômetro de Bourdon, com escala graduada em graus ($^{\circ}\text{F}$ ou $^{\circ}\text{C}$), conectado com o sensor através de tubo. Esse conjunto, de volume constante, é preenchido com um gás (hidrogênio, hélio ou nitrogênio), que altera a pressão com as variações de temperatura, atuando na deformação do tubo de bourdon. São utilizados para medir a temperatura do óleo dos motores.



Termômetro Thermocouple – tem funcionamento elétrico. O instrumento é conectado a um termopar, que é um sensor eletrônico de estado sólido, que têm a característica de gerar uma tensão elétrica diretamente proporcional à variação da temperatura. Este instrumento é normalmente usado para medir a temperatura do óleo e dos cabeçotes dos motores.

Termômetro resistivo – tem o funcionamento elétrico. O instrumento é conectado num circuito “ponte resistiva”, cujo sensor é uma resistência de Platina, que tem o seu valor alterado, diretamente proporcional à variação da temperatura. Utilizado para medir a temperatura externa do ar nas aeronaves (OAT).

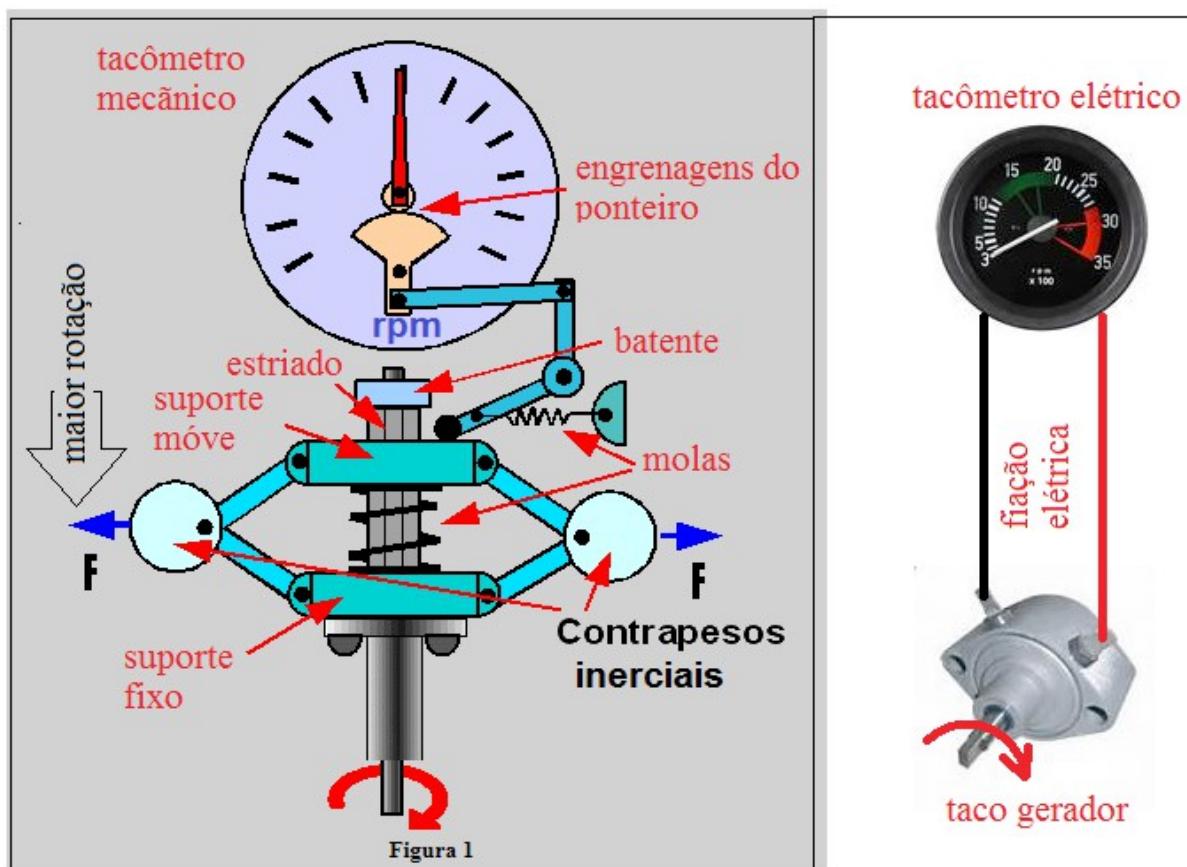
Os termômetros elétricos utilizam sensores que convertem a temperatura do processo em um sinal elétrico padrão, ou de tensão, ou de corrente. Os instrumentos elétricos são galvanômetros adequados ao tipo e o range do sinal dos sensores. A apresentação dos valores pode ser por mostrador analógico (ponteiro) ou mostrador digital.

5.2.7. Termostato – é um interruptor eletromecânico acionado por variação térmica, acima ou abaixo de determinado valor de referência no processo. Serve para acionar alarmes ou para desligar cargas sob monitoramento.

5.2.8. Tacômetro (cotagiros) – é o instrumento utilizado para indicar rotações de uma máquina. Podem ser mecânicos ou elétricos.

Tacômetro mecânico – é acoplado diretamente à máquina, ou por um cabo de aço transmissor. Funiona pelo princípio do deslocamento de um mecanismo sobreposto ao eixo estriado de rotação, ligado a um ponteiro indicador de r.p.m. Esse mecanismo é deslocado por um sistema “mola / contrapeso”, que pela reação inercial, se expande ou se contrai proporcionalmente à rotação do eixo, e assim, desloca o mecanismo e o ponteiro sobre o mostrador graduado.

Tacômetro elétrico – é um conjunto formado por instrumento, analógico ou digital, e o tacerador, que detecta a r.p.m. da máquina, e envia um sinal elétrico de tensão ou frequência para o instrumento indicador de r.p.m.



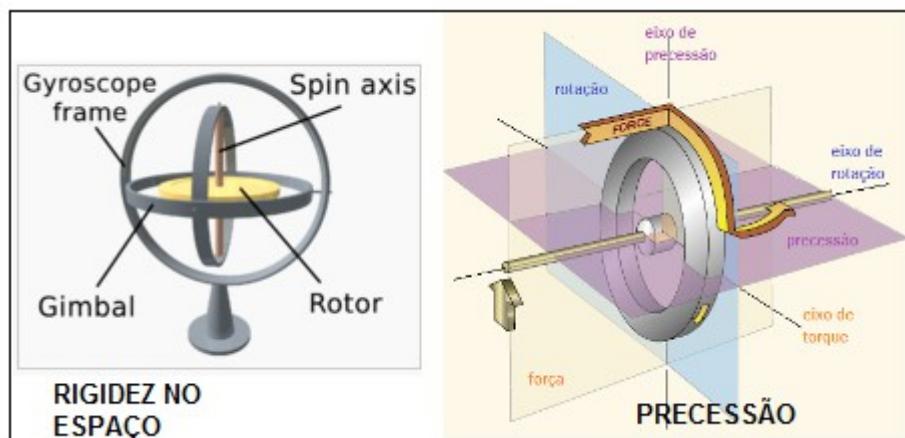
5.2.9. Giroscópico – dispositivo mecânico formado por um volante que deve girar com altíssima velocidade, cujo eixo é montado perpendicularmente num anel, que por sua vez é pivotado, também perpendicularmente em um outro anel fixo, que é o suporte do mecanismo. Para fazer girar o volante dos giroscópicos, uma das técnicas é utilizar o vácuo, conforme descrito no item 3.2.2.1. (produção de vácuo)

O giroscópico tem duas importantes propriedades:

- **RIGIDEZ NO ESPAÇO** – O volante, em rotação, oferece altíssima resistência a qualquer tentativa de mudar o seu plano de giro, portanto, tende a se manter na direção que estava

quando iniciou a girar. A esta propriedade dá-se o nome de "Rigidez no Espaço", e é aproveitada nos instrumentos aeronáuticos indicadores de atitude (Horizonte artificial) e direção (Giro Direcional).

- PRECESSÃO – Quando uma força constante tenta mudar o plano de rotação do volante em rotação, ele reagirá como se a força atuasse num ponto situado a 90° do ponto de aplicação, e no sentido da rotação. Esta propriedade é utilizada no acionamento do ponteiro dos instrumentos Turn & Bank e Turn Coordinator.



Comparando com a roda dianteira de uma bicicleta em movimento: quando inclinamos a bicicleta para a esquerda com um torque vertical para cima na extremidade direita do eixo de rotação, esse torque aparecerá na frente da roda (defasagem de 90° e no sentido da rotação), fazendo com que a bicicleta gire à esquerda sem necessidade de girarmos o guidão.

5.3. Faixas de indicação das grandezas nos instrumentos

Alguns instrumentos analógicos trazem no seu mostrador, além dos números indicativos dos valores monitorados, faixas coloridas (pictografia) que são uma ajuda para chamar a atenção do usuário, se a grandeza está correta ou fora da “faixa” de operação normal (exemplo: o velocímetro).

VERDE: faixa de operação normal.

AMARELA : acima do normal, requer atenção imediata.

VERMELHA: fora da normalidade, não operar, ou desligar o equipamento.

BRANCA: operação normal, mas sob condições bem definidas. Não ultrapassar.

5.4. Grupos de instrumentos por partes monitoradas

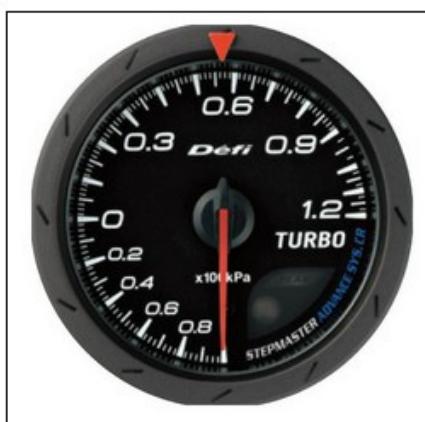
5.4.1. Instrumentos do motor:

- manômetro do óleo (já visto no item 4.15.2);
- termômetro do óleo (já visto no item 4.15.2);
- termômetro dos cabeçotes (já visto no item 4.16.2);

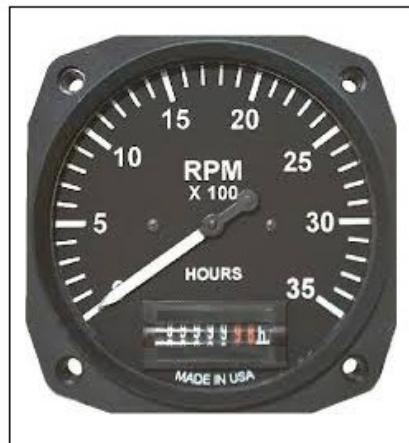
- termômetro dos gases de ecapamento (EGT- exhaust gas temperature);



- manômetro do superalimentador (manômetro de pressão absoluta);



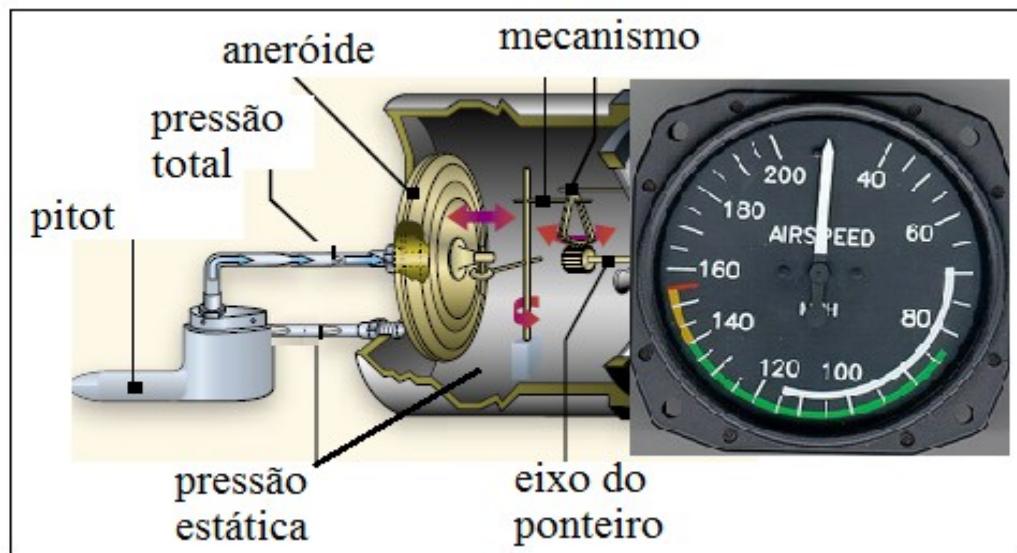
- tacômetro;



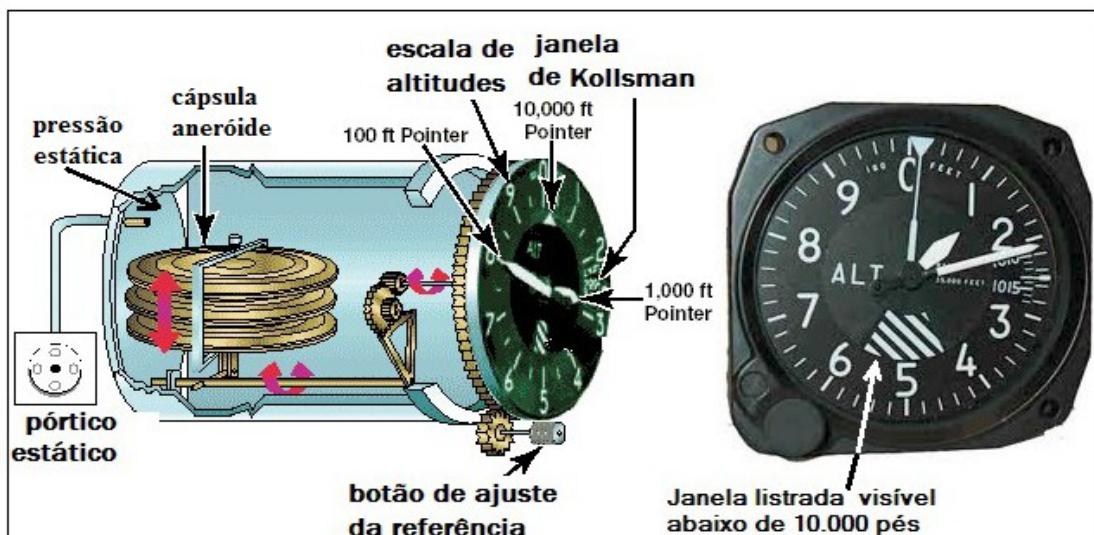
- horímetro;
- torquímetro: é um manômetro de pressao relativa, que indica o torque em Kgf / cm² ou PSI no eixo do motor(BMEP Break Mean Effective Pressure), através de dispositivo hidráulico existente na caixa de engrenagens da hélice.

5.4.2. Instrumentos de voo (indicam a velocidade, altitude e atitude):

- **Velocímetro (Air speed indicator):** o elemento sensor é uma cápsula aneróide preenchida com a pressão dinâmica do tubo de pitot, e imersa no ambiente com a pressão estática. A diferença entre essas pressões faz o deslocamento mecânico da cápsula e do mecanismo do ponteiro, indicando a velocidade da aeronave em relação ao ar. O estudo da interpretação das indicações e faixas coloridas do velocímetro são vistas na apostila de Teoria do voo.

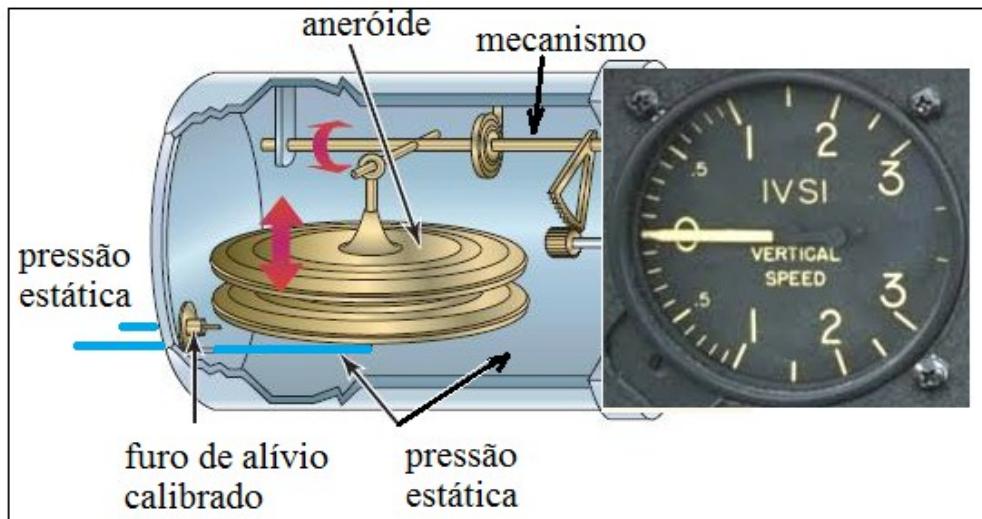


- **Machímetro:** utilizado para medir a velocidade indicada de aeronaves transônicas e acima.
- **Termômetro do ar externo;**
- **Altímetro:** o elemento sensor é uma cápsula aneróide preenchida com vácuo e imersa no ambiente com a pressão estática. Este instrumento funciona como um barômetro,



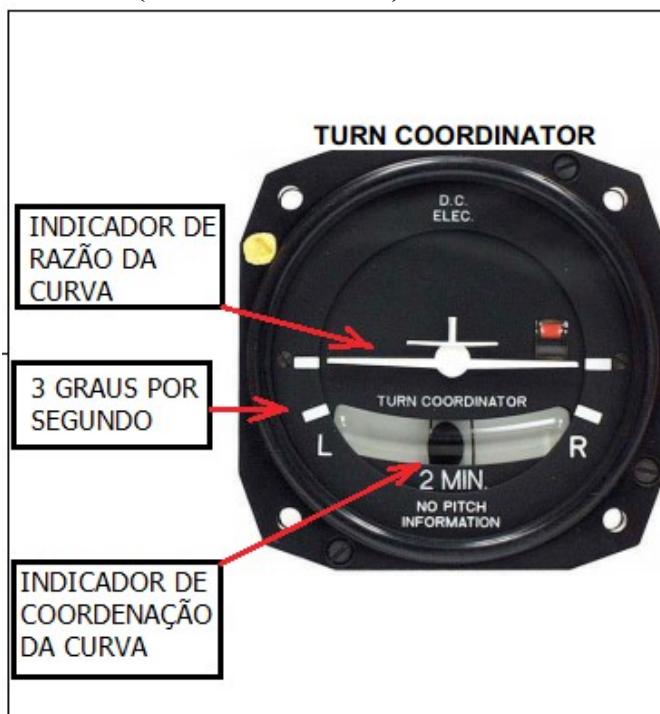
detectando a pressão atmosférica, proporcionalmente à altitude onde estiver a aeronave. A escala, no mostrador, faz a apresentação dos valores em pés, correspondentes à altitude da aeronave. Dispõe de um botão de ajuste do “ponto zero”, cujo valor é visualizado na “janela de Kollsman”. Outra janela indicará por uma “bandeira listrada” que aeronave está abaixo de 10.000 pés

- **Variômetro ou Climb (VSI - Vertical Speed Indicator):** o elemento sensor é uma cápsula aneróide, conectada ao pórtico da pressão estática. O corpo do instrumento é hermético, e também preenchido com a pressão estática, mas através de um “furo de alívio calibrado” para retardar o movimento de expansão ou compressão da cápsula (e o mecanismo do ponteiro), durante as mudanças de altitude. Se a aeronave mantiver uma altitude estável, a cápsula permanecerá sem movimento, indicando uma velocidade vertical “zero”.



A taxa de subida ou descida é indicada em pés por minuto (fpm) e cada traço do mostrador é igual a 100 fpm.

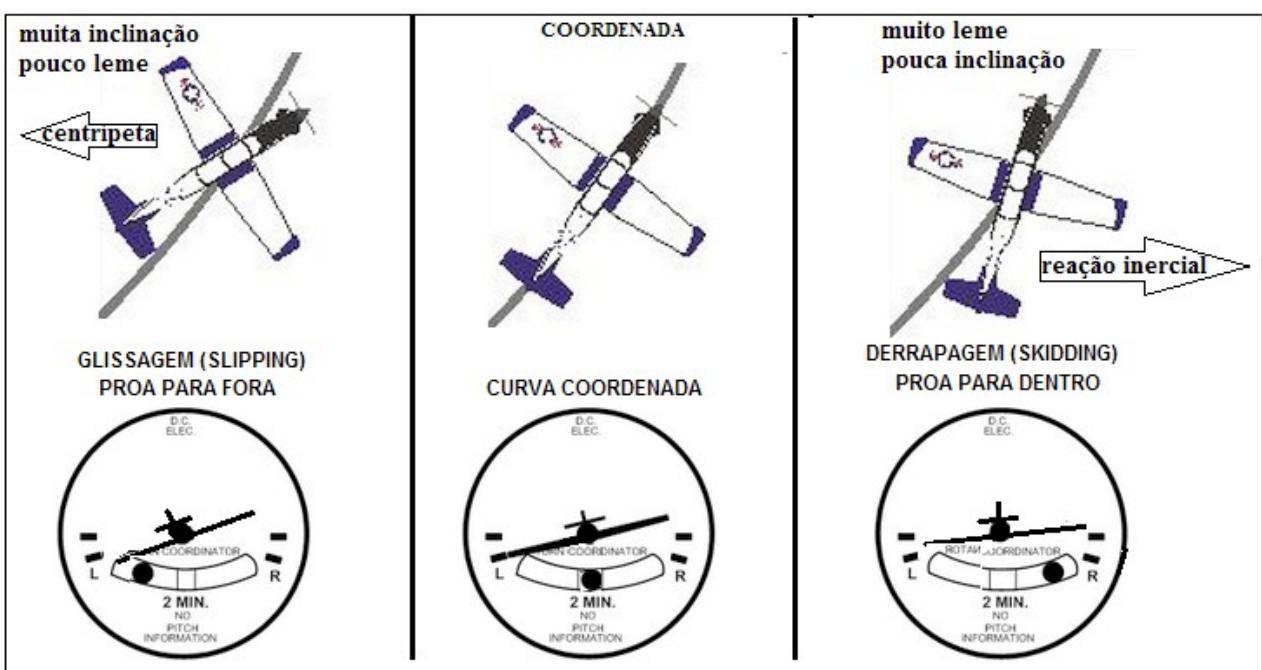
- **Coordenador de curvas (Turn Coordinator)**



Divide-se em duas funções:

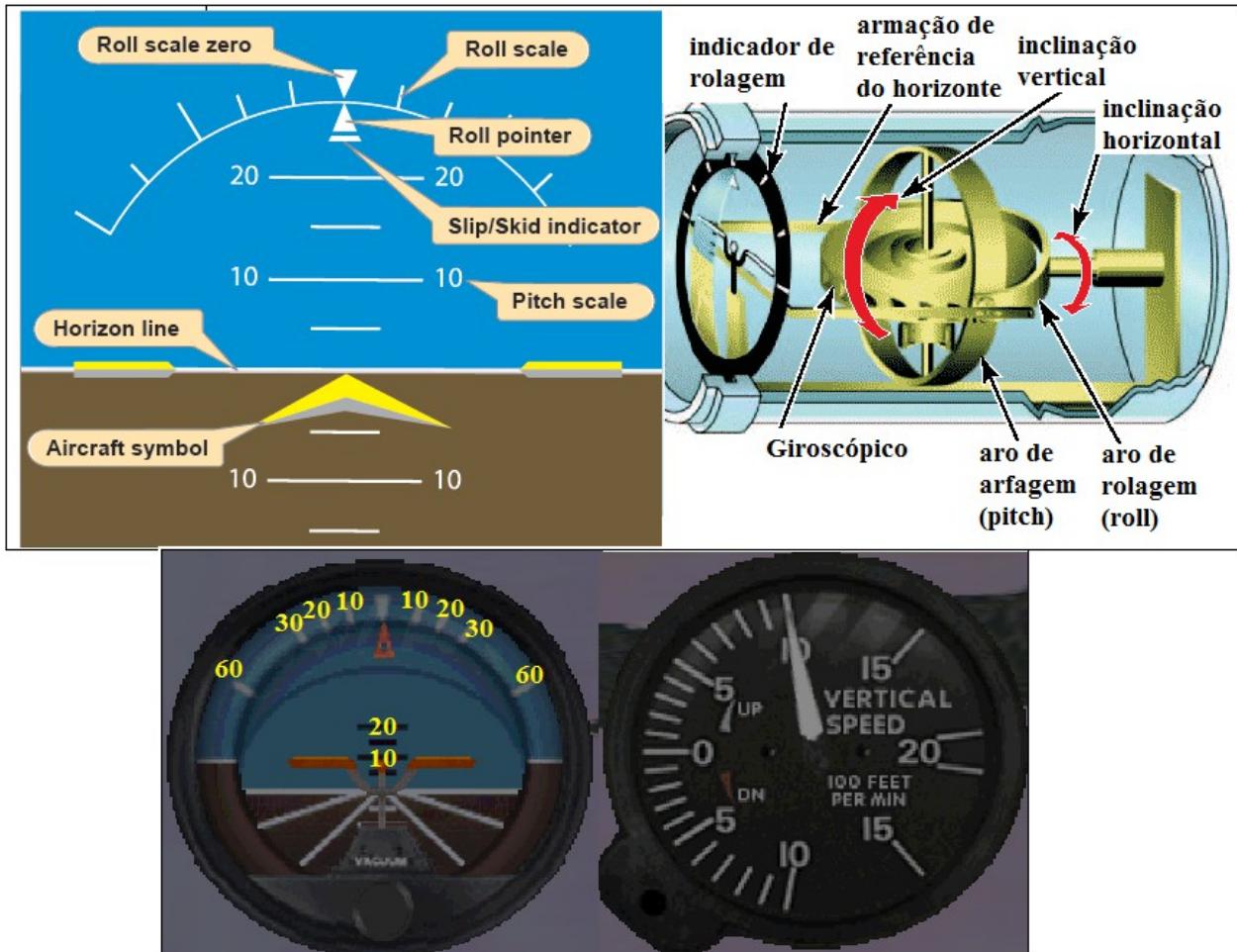
- **Inclinômetro** - Funciona por gravidade: uma bolinha preta que se desloca num tubo com querozene, com um mostrador de fundo branco. Serve para indicar a coordenação da curva horizontal:

- Durante a curva coordenada (leme proporcional à inclinação das asas) a bolinha permanecerá no centro (equilíbrio das forças de reação inercial e centrípeta).
- *Glissada (slip)* : quando é aplicada muita inclinação na aeronave, sem a devida aplicação do leme, ocorrerá uma Glissagem, pelo efeito da Guinada Adversa. A aeronave ficará com a proa para fora da trajetória da curva pretendida, mas com tendência de “afundamento” para o lado da asa baixa (para dentro da curva), num movimento descendente e em espiral.
- *Derrapada (skid)*: quando é aplicado pouca inclinação na aeronave, com muita aplicação do leme, ocorrerá uma derrapagem. A aeronave ficará com a proa para dentro da trajetória da curva, mas com tendência de seguir pela tangente com a proa “atravessada”.
- A bolinha se desloca sempre no sentido contrário à proa da aeronave, quando em trajetória fora da coordenação.



- **Razão da curva:** o mostrador tem a figura de um avião que se inclina para o lado da curva que fazemos. Um giroscópico indica a razão de curva em graus (de circunferência) por segundo. Todos os procedimentos IFR usam uma razão padrão de $3^{\circ}/s$ ou 360° em dois minutos. Essa inclinação padrão é indicada por dois traços brancos ao lado das asas da figura do avião. Quanto mais rápido estiver o avião, mais você terá que incliná-lo para manter a razão de curva desejada.
- **Horizonte artificial (AI - Attitude Indicator):** é o instrumento que indica a atitude da aeronave, ou a posição da aeronave em voo, em relação ao horizonte, considerando os eixos lateral e longitudinal. Seu funcionamento é por giroscópico, com o rotor girando na horizontal.
 - Escala da inclinação das asas (roll) - é na região superior do mostrador, dividida em 10° , 20° , 30° e 60° , tendo o “pointer” no centro superior a escala.
 - Escala de subida / descida (Pitch) - traços horizontais acima e abaixo da linha central de referência (horizonte), espaçados de 5° .

- Pointer da inclinação das asas (roll) – no centro superior da escala. Durante uma rolagem, a escala se mantém fixa com a vertical e o pointer tem um deslocamento relativo, no mesmo sentido da rolagem.
- Pointer de subida/descida (pitch) – Um símbolo de avião ou seta, localizado no centro do mostrador e zerado na linha que representa o horizonte. Durante uma arfagem, o símbolo se desloca no mesmo sentido do nariz da aeronave.



5.4.3. Instrumentos de navegação - Indicam a proa, a localização da aeronave por coordenadas (GPS), a localização relativa da aeronave por radionavegação, a distância de pontos referenciais de rádio navegação (DME), e o tempo de voo (cronômetro / relógio).

- **Bússola magnética (compass)**: A Bússola ou Compasso Magnético é o instrumento de navegação obrigatório para as aeronaves. Numa bússola magnética, o movimento do mostrador é obtido por meio de uma ou mais barras magnéticas fixadas paralelamente nessa armação, para girar livre e horizontalmente, apoiada num sistema de pivôs.

A Terra é um grande ímã, portanto, tem um polo magnético Norte e um polo magnético Sul, e que estão em constante e lento deslocamento.

A ponta da agulha da bússola, que aponta para o polo Norte geográfico da Terra (polo Sul Magnético), chama-se de ponta Norte, e a outra, que aponta para o polo Sul geográfico da Terra

(polo Norte Magnético), chama-se de ponta Sul.

Limitações:

- A Agulha Magnética busca o Norte Magnético, em lugar do Norte Verdadeiro (ou Geográfico);
- É afetada por material magnético ou equipamentos elétricos nas proximidades;
- Não é tão precisa e fácil de usar como um Giro Direcional;
- Suas informações não podem ser transmitidas com facilidade para outros sistemas;
- É mais afetada por altas latitudes que o Giro Direcional;
- Necessita de calibragens periódicas;



Devemos evitar a proximidade da bússola a campos magnéticos espúrios, quer de natureza permanente (ímãs, alto-falantes, ou fiação elétrica avulsa), ou causados pela proximidade de equipamentos elétricos portáteis (rádios, celulares, fones de ouvido, computadores, MP4, etc...)

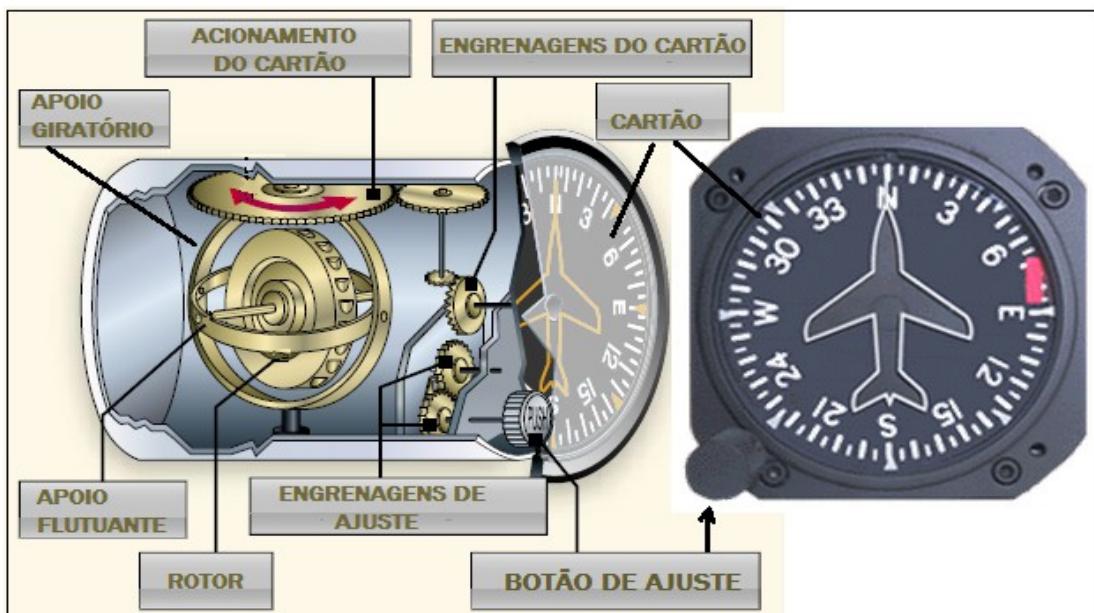
- **Flux gate (compass)** : é composto por um sensor eletromagnético (válvula de fluxo) que detecta o campo magnético da terra por bobinas, e não por agulha imantada, instalado na extemidade da asa, longe de interferências, e conectado elétricamente a um instrumento indicador de proa. Faz a função de bússola, só que com mais estabilidade e precisão nas indicações, e possibilidade de enviar o sinal de rumo para outros sistemas.
- **Giro Direcional (Heading Indicator)** – Seu funcionamento é por giroscópico. O rotor é montado num suporte em forma de anel, para girar sempre no plano vertical, servindo de referência inercial, alinhado com o eixo longitudinal da aeronave. Na frente do mostrador uma imagem de avião se mantém fixa, com a proa servindo de “pointer”. O cartão do mostrador é que gira, com as marcações da rosa dos ventos, e solidário com o movimento da proa da aeronave, de forma a mostrar qual a proa magnética está sendo seguida.

Ajuste pré-operacional – antes da decolagem, o piloto deve ajustar o mostrador com o botão de ajuste, conforme o rumo sugerido por uma bússola magnética.

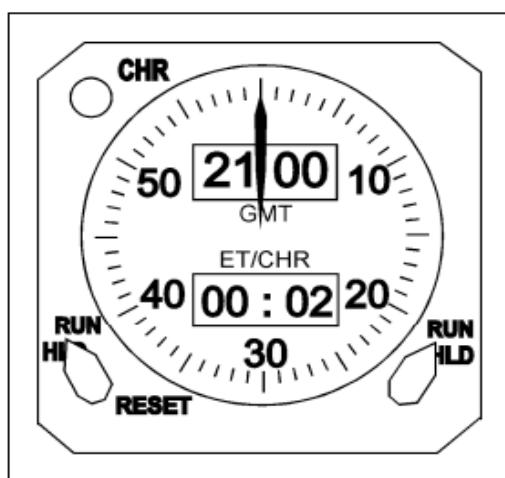
O inconveniente é que a proa precisa ser ajustada de tempos em tempos devido a um erro do próprio instrumento, conhecido como deriva do giro. Este ajuste deve ser feito quando a aeronave estiver na atitude de voo reto e plano.

Outro erro no indicador de posição é causado pelo fato do giroscópio ser orientada no espaço, e da Terra girar no espaço a uma velocidade de 15° em 1 hora. Assim, descontando precessão causada por atrito, o indicador de rumo pode indicar até 15° de erro por cada hora de funcionamento.

Sua vantagem é o baixo custo, razoável precisão e de maior confiabilidade para o piloto pois não sofre os efeitos de uma eventual turbulência que prejudica muito a leitura da bússola magnética, principalmente na execução de manobras.



- GPS (localização geográfica).
- Relógio com cronômetro.



Utilização do relógio e cronômetro de bordo:

- Horário Zulu partida
- Horário Zulu destino.
- Tempo decorrido para o TOC.
- Tempo decorrido do TOD para a aproximação ou CT.
- Tempo decorrido de cruzeiro.
- Tempo total de voo.
- Tempo de combustível (autonomia).
- Cálculo de velocidade de solo.
- Cálculo de consumo de combustível.
- Tempo das manobras em Órbitas.

Os itens listados a seguir são estudados no curso de Navegação IFR.

- **ADF (Automatic Direction Finder)** – utilizado para rádio-navegação com NDB.
 - Limbo fixo;
 - Limbo móvel manualmente;
- **Indicador de Curso (Course Indicator)** – utilizado para rádio-navegação com VOR.
- **RMI (Radio Magnetic Indicator)** – utilizado para rádio-navegação com VOR e NDB.
- **HSI (Horizontal Situation Indicator)** - Instrumento de bordo utilizado para rádio-navegação com VOR ou aproximações ILS.
- **DME (Distance Measurement Equipment)** – fornece a distância, em milhas náutica, entre a aeronave e o equipamento no solo.
- **Radioaltímetro** – fornece, por radar, a distância (altura) entre a aeronave e o solo.

5.4.4. Instrumentos dos sistemas auxiliares do avião -

- **Sistema elétrico (já vistos no item 3.3.55) :**
 - Amperímetro.
 - Voltímetro.
- **Sistema de combustível:**

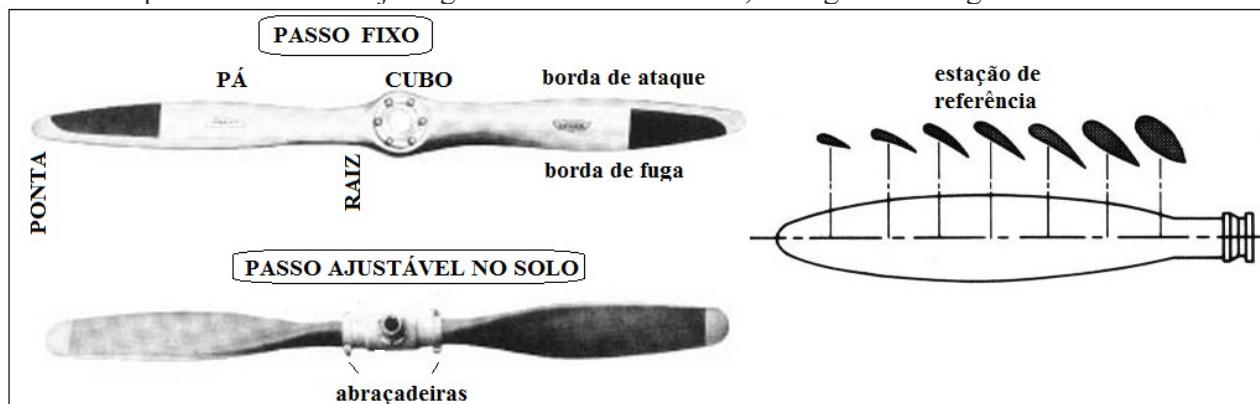


- Liquidômetros: indicadores de nível nos tanques: E (empty = vazio) F (full = cheio)
- Fluxômetro (Fuel flow): indicador de consumo do combustível em gal / h.

6 – HÉLICE (Propeller) – ASPECTOS MECÂNICOS E CONSTRUTIVOS – componente mecânico rotativo, com perfil aerodinâmico, responsável pela força de tração (thrust) do avião. Pode ser acoplada diretamente ao eixo do motor, ou através de mecanismo redutor de velocidade, ou ainda, através de um mecanismo “governador”, para alterar a rotação e ou o passo. Os aspectos aerodinâmicos das hélices são estudados no livro Teoria do voo.

6.1. Aspectos construtivos da hélice:

- I. **materiais**: madeira maciça ou laminada, liga de alumínio ou compósitos;
- II. **partes de uma hélice**: ponta (tip), pás (blades), raiz (root), cubo (Hub), borda de ataque (leading edge), borda de fuga (trailing edge) e número de pás;
- III. **perfil aerodinâmico**: as pás de uma hélice são construídas com um perfil de aerofólio (aerodinâmico). Tem um perfil assimétrico, semelhante ao perfil da asa.
- **ângulo de torção da pá ou Passo da hélice (blade angle)**: é a inclinação da pá da hélice em relação ao seu plano rotacional, sendo este o fator determinante para o *Passo aerodinâmico*.
- **Passo aerodinâmico (pitch)**: representa o avanço (teórico) que a hélice daria em uma única volta;
- **estações**: uma pá é dividida em vários segmentos, chamados de “estações”, cada uma com determinada espessura e um determinado ângulo de torção da pá.
- **estação de referência**: localizada a 50% do raio da hélice, é a estação que tem o ângulo nominal de torção da pá, determinado pelo fabricante;
- **variação do perfil aerodinâmico ao longo da pá**: o ângulo de torção da pá é decrescente no sentido da raiz (maior ângulo) para a ponta (menor ângulo).
- **variação do perfil mecânico ao longo da pá**: a espessura de cada pá é decrescente, também no sentido da raiz (mais espessa) para a ponta (menos espessa);
- IV. **Tipos de passo**: o passo da hélice pode ser modificado pela alteração do ângulo de torção das pás:
 - **passo fixo**: a hélice é um monobloco, e a tração tem apenas um ponto de melhor desempenho, geralmente na fase operacional de cruzeiro;
 - **passo ajustável manualmente no solo**: a hélice tem as pás móveis, presas por abraçadeiras, e o procedimento de ajustagem é feito em bancada, com gabarito angular.



Permite que o piloto otimize o desempenho da hélice para determinado regime operacional.

- **passo ajustável pelo piloto, durante o voo**: a hélice tem as pás móveis e manobráveis por um mecanismo hidráulico ou elétrico, que acopla a hélice no eixo do motor. É comandada

pela manete (propeller) azul, de dentro da cabine.

- **passo constrolável automaticamente:** a hélice tem as pás móveis, permitindo que o piloto determina a velocidade do motor na manete de aceleração, e um dispositivo hidráulico (governador) controla o passo da hélice automaticamente, de forma que o conjunto moto-propulsor mantenha uma velocidade constante;

V. Passos especiais para hélices ajustáveis:

- **passo bandeira:** o perfil das pás fica alinhado com o vento, diminuindo o arrasto. Utilizado no caso de voo com motor parado, para ganhar distância no voo planado;
- **passo chato:** o perfil das pás fica alinhado com o plano de rotação da hélice. Em voo planado, provoca maior arrasto na aeronave, mas carrega menos o motor, portanto a poência deve ser abaixada nesta condição, para evitar o disparo do motor.
- **passo reverso:** a tração é invertida. Utilizado para frenagem aerodinâmica durante o pouso.

VI. Número de pás:

quanto mais pás uma hélice tiver, mais força é exercida por volta. Geralmente aumenta-se o número de pás quando a hélice ideal deveria ter o diâmetro muito grande, para produzir o empuxo necessário, o que ficaria impraticável;

6.2. Conjunto moto-propulsor – é composto pelo motor, mecanismo de acoplamento (caixa redutora ou governador) e hélice. Os mecanismos de acoplamento podem ser:

- **Caixa redutora de velocidade (Propeller Gear Box)** – utilizada com hélice de passo fixo, é um mecanismo de engrenagens com relação de redução fixa.
- **Governador ou CSU (Constant Speed Unit)** - utilizada com hélice de passo variável, é um mecanismo que recebe óleo do sistema de lubrificação do motor e aumenta a pressão através de uma bomba (booster) interna, para ter força suficiente para atuar na mudança de ângulo das pás da hélice. A pressão interna é determinada por uma válvula de alívio. O princípio de funcionamento é baseado na atuação de um conjunto de contrapesos iniciais, que acionam uma válvula piloto (válvula beta), que por meio de engrenagens, definirá o ângulo ótimo para a hélice.



Caixa redutora de velocidade



CSU Constant Speed Unit (unidade de velocidade constante)

7 - SISTEMA DE AMBIENTAÇÃO E CONFORTO (Cabin environmental control system)

7.1. Pressurização da cabine - existe a necessidade de se manter a cabine habitável para a tripulação e os passageiros. A habitabilidade da cabine vai ficando cada vez mais complicada à medida que a altitude aumenta, pela redução da pressão atmosférica, da quantidade de oxigênio e da redução da temperatura.

7.1.1. Altitude de cabine - A regulamentação da FAA (Federal Aviation Administration) fala que a “altitude da cabine” não pode ficar com valores acima de 8.000 pés (2.400 m), inclusive: 10,92 PSI.

HIPÓXIA - O oxigênio é essencial para a maioria dos processos de vida. Sem oxigênio, os seres humanos e os animais morrem muito rapidamente. Uma redução no fornecimento de oxigénio provoca mudanças importantes em funções do corpo, do raciocínio e coordenação motora. Esse conjunto de alterações é chamado de hipóxia.

7.1.2. Pressão diferencial - É a diferença entre a pressão da cabine e a pressão externa. Dependendo do tipo da aeronave, e seu teto operacional, essa diferença vai de 3 PSI, para pequenas aeronaves, até um máximo de 9 PSI, para aeronaves de grande porte.

Por isso a estrutura da aeronave e seus sistemas de pressurização são projetados para um determinado teto operacional.

7.1.3. Ajuste progressivo da pressurização - Um avião apto para voar no nível de cruzeiro a 40.000 pés (12.000 m), ao fazer a rampa de subida, para esse nível, deve pressurizar gradualmente a cabine, até o equivalente a 8.000 pés (2.400m), ou 10,92 PSI, e assim mantê-la durante o voo no nível de cruzeiro (pressão interna maior que a externa).

Ao fazer a rampa de descida, deve fazer a despressurização progressiva até a pressão de cabine ficar equivalente à pressão do aeródromo de pouso.

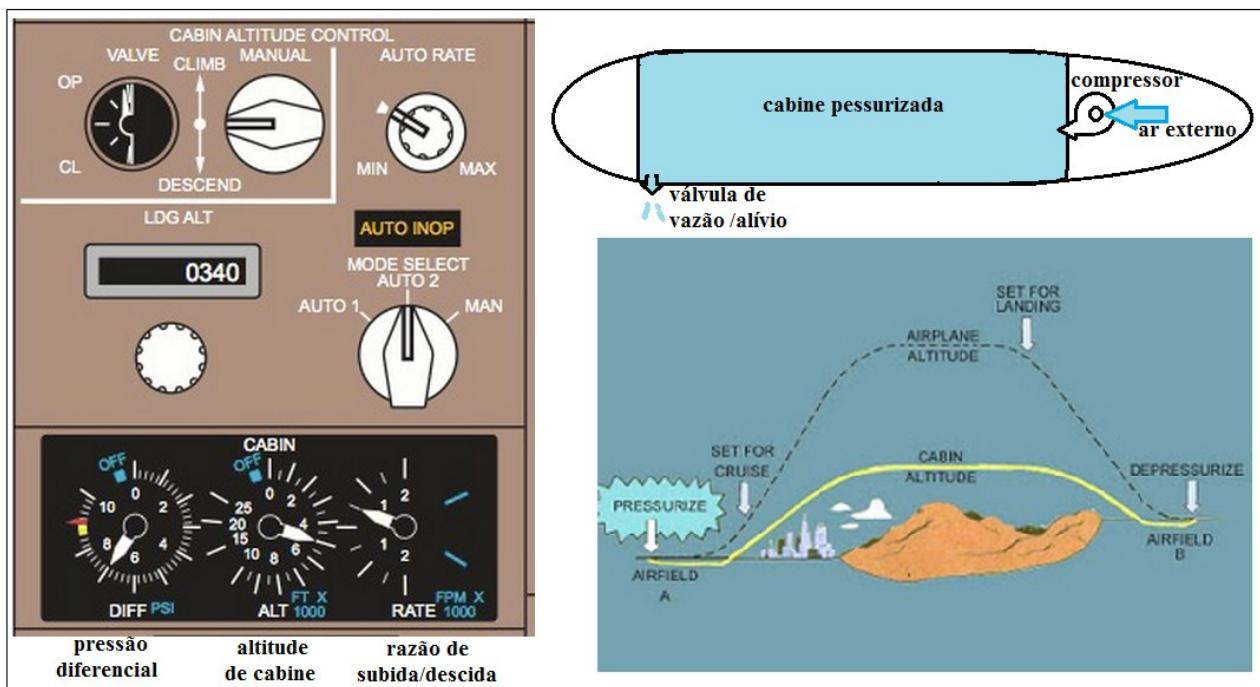
7.1.4. Sistema de pressurização elementar - A pressurização é obtida pelo insuflamento de ar dentro da cabine (de comando e de passageiros), que deve ser totalmente vedada.

Como os aviões são climatizados com ar condicionado, é o ar condicionado que vai ser “comprimido” dentro da cabine.

O comando e monitoramento da pressurização são feitos pelo piloto, através de um painel, para que a pressão interna seja progressivamente adequada à altitude de voo, de acordo com uma programação dos valores desejados. São colocados os valores da altitude do aeroporto, altitude de cruzeiro e razão de subida/descida.

O controle da pressão interna da cabine é feito por um sistema em malha fechada, que recebe as informações dos parâmetros programados, compara com os valores da cabine e do ambiente externo, e aciona as válvulas de saída do sistema:

- Válvulas de vazão: controlam permanentemente a saída do ar sob pressão, da cabine para a atmosfera, mantendo a pressão dentro do valor programado.
- Válvulas de Alívio: acionadas em caso de pressão negativa (pressão externa maior do que a pressão interna).



7.1.5. Etapas de comando da pressurização:

- Antes da decolagem – pressurização inicial: pressão da cabine maior do que a pressão local;
- Durante a subida - programação da pressurização para a altitude de cruzeiro;
- Início da descida – programação da pressurização para a altitude do aeroporto de destino;

8. SISTEMA DE CALEFAÇÃO

É utilizado principalmente nos aviões de pequeno porte, que não têm pressurização ou ar condicionado. O ar é coletado na parte frontal da aeronave, e segue para as janelas de ventilação da cabine, por dois dutos, com o fluxo direcionado por uma válvula seletora com as opções:

- ar na temperatura ambiente: “Cabin air”;
- ar aquecido por um trocador de calor instalado na exaustão do motor: “Cabin heat”;

As aeronaves de médio e grande porte utilizam aquecedores a combustão e ventilação forçada desviada a partir do compressor do motor a reação.

9. SISTEMA DE AR CONDICIONADO – o ar condicionado, de uma forma geral, é a denominação para o ar tratado, visando o conforto humano, e também o melhor desempenho de equipamentos que requerem estabilidade climática para seu funcionamento.

O condicionamento do ar, mantém a temperatura dentro de um valor confortável, assim como a baixa umidade, independente das variações no meio externo.

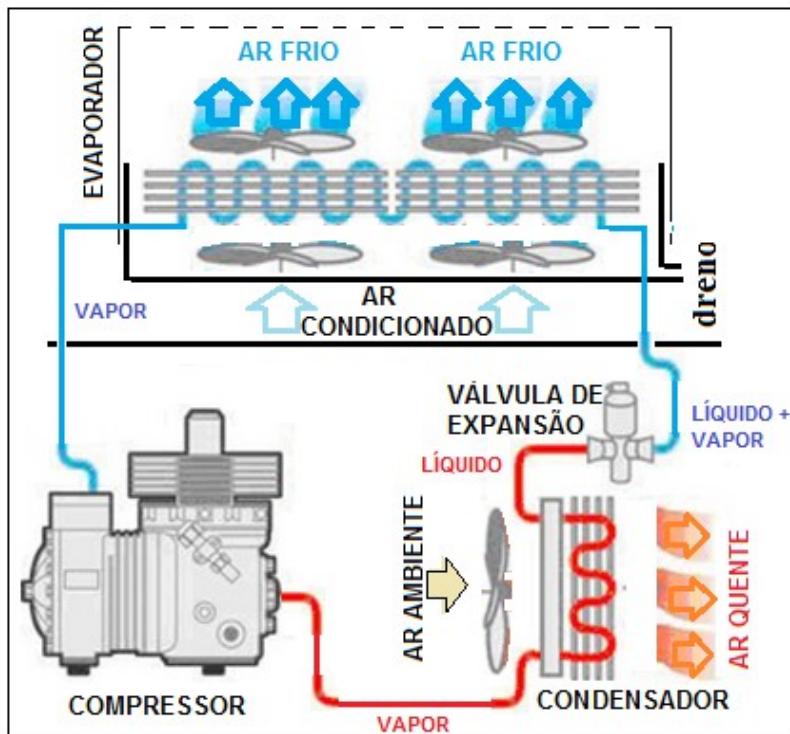
9.1. Refrigeração por ciclo de ar - utilizada nos aviões de grande porte, com motor a reação. Este processo sangra (bleed) parte do ar comprimido pelos compressores dos motores, demandando potência, por isso é desativado durante a decolagem.

É um processo complexo, onde o ar comprimido, sangrado dos compressores, é resfriado pelo ar externo, em seguida é desumificado por reação inercial, sofre um resfriamento por expansão e finalmente chega à cabine na forma de ar condicionado. Este mesmo ar é utilizado para pressurização da cabine de passageiros e de comando.

Apesar de menos eficiente do que a refrigeração por compressão de vapor, é utilizado na aviação pela disponibilidade de grande volume de ar comprimido e da possibilidade de resfriamento natural desse ar, ao passar por trocadores de calor, resfriados com o ar externo.

9.2. Refrigeração por ciclo de compressão de vapor – é o processo mais comum de refrigeração utilizado nos condicionadores de ar veiculares, domésticos ou comerciais.

Trata-se de um circuito fechado, com tubulações, compressor, válvula de expansão, serpentinas do evaporador com ventilador, e serpentinas do condensador com ventilador. Esse circuito é preenchido com um fluido refrigerante, num processo de secagem por vácuo, para garantir a pureza



do fluído, e assim manter as suas características refrigerantes.

Os fluidos refrigerante mais utilizados são o R-22 e o R-410A (gás ecológico), R-407C. O processo de refrigeração ocorre quando esse fluido refrigerante é comprimido, liquefeito na serpentina do condensador, e em seguida, expandido pela válvula de expansão. Após a passagem pela válvula, o fluido evapora e perde calor, resfriando a serpentina do evaporador. O evaporador fica no ambiente a ser climatizado, com seus ventiladores, que vão forçar a circulação do ar frio e seco nesse ambiente.

O ar do ambiente a ser climatizado, com partículas em suspensão e umidade, é sugado pelo ventilador do evaporador onde será filtrado, resfriado, e desumidificado, para fechar o ciclo de resfriamento do ambiente. A umidade retida no evaporador é drenada da bandeja coletora.

O compressor, o condensador e seu ventilador, ficam fora do ambiente climatizado.

10. SISTEMA DE OXIGÊNIO – Toda aeronave que tenha teto operacional acima de 8.000 pés deve ser equipada com um sistema de oxigênio para as pessoas utilizarem em caso de despressurização da cabine, ou caso necessário nos aviões não pressurizados e voando abaixo de 8.000 pés.

Quanto à configuração, os sistemas de oxigênio são compostos por: cilindro, manômetro, registro, regulador de fluxo, mangueiras e máscara facial.

Os cilindros podem ser carregados sob alta pressão, 1800 PSI e pintados na cor verde, ou com baixa pressão, 450 PSI, pintados na cor amarelo.

Quanto à disposição e acessibilidade, o sistema pode ser:

- Fijo.
- Portátil.

A forma de inalação do oxigênio pode ser:

- Oxigênio puro – recomendado para altitudes acima de 34.000 pés;
- Oxigênio diluído com o ar atmosférico – obrigatório para altitudes abaixo de 34.000 pés;

As máscaras podem ser:

- para uso com diluição: com furos para passagem do ar atmosférico.
- Para uso co oxigênio puro: completamente vedadas ao rosto.

A origem do oxigênio pode ser:

- Externa - por recarga em solo dos cilindros fixos ou portáteis;
- Local – com a geração química, somente para o sistema fixo;



10.1. Tipos de fluxo do oxigênio:

- **Fluxo contínuo** - Este é o método mais barato de fornecimento de oxigênio. Aqui, o fluxo

de oxigênio é controlado por um conjunto regulador, na taxa de 2,5 litros por minuto. Este fluxo é mais do que suficiente para altitudes mais baixas, mas não o suficiente para voar acima de 25.000 pés.

- **Altitude ajustável** - Com este sistema basta ajustar o valor da altitude no mostrador do regulador para que o fluxo seja ajustado automaticamente, por isso são mais caros do que os tipos de fluxo contínuo;
- **Compensação de altitude** – São utilizados nos sistemas fixos e só ficam habilitados acima de 8.000 pés.
- **Sistema por demanda**. - São projetados para aviões com capacidade de voar até 35.000 pés. O oxigênio é fornecido em rajadas sempre que o piloto inspira. Tem uma seletora para escolher se vai usar oxigênio puro, ou misturado ao ar;
- **Sistemas de pressão por demanda** - Com este sistema, o oxigênio é bombeada continuamente para a máscara sob pressão positiva. Isto torna mais fácil para inalar, mas um pouco difícil de exalar. A idéia é ter certeza absoluta de que o piloto tem oxigênio o suficiente quando voar a 45.000 pés, mesmo quando submetido a Gs ou executar outras manobras radicais.

11. SISTEMA ANTI-INCÊNDIO – tem a finalidade de monitorar pontos de alta temperatura, e ao detectar valores acima de um nível crítico, ativar alarmes ou os dispositivos de extinção de fogo. *Algumas aeronaves de pequeno porte podem ter somente extintor de incêndio portátil, similar ao utilizado em automóveis.*

11.1. Locais de monitoramento:

- Compartimento do motor: nos monomotores este compartimento é separado da cabine de comando por uma parede “corta-fogo”.
- Cabine de comando.
- Cabine de passageiros.
- Compartimento de cargas.
- Toiletes.
- Copa.

11.2. Partes que compõem um sistema anti-incêndio – Garrafa pressurizada com agente extintor, manômetro, tubulações, aspersores, sensores, central de monitoramento e comando, e fiação elétrica.

11.3. Tipos de sensores - sensoreamento elétrico:

- Pontuais : termocouples, detectores de monóxido de carbono e detectores de fumaça.
- Loop: circuito fechado com um ou dois condutores gêmeos, envoltos com material termistor, utilizado no compartimento do motor.

11.4. Técnicas de aplicação do agente extintor de chama:

- **Sistemas fixos:**
 - Aspersores pontuais.
 - Aspersores contínuos:tubo com furos, utilizados no compartimento do motor.
- **Extintores portáteis**

11.5. Princípio da combustão - para haver fogo temos que juntar três elementos:

- Carburante: oxigênio (21% do ar atmosférico).
- Combustível (gasolina, querozene, álcool, diesel, gás butano,...);
- Alta temperatura.

11.6. Princípios de extinção do fogo e agentes extintores:

- Resfriamento: anula a alta temperatura.
 - Água.
- Abafamento: anula o oxigênio.
 - Espuma, Pó químico seco (PQS), CO₂ e Halon 1211.
 - Isolamento: separação de materiais combustíveis ainda não atingidos.

OBSERVAÇÃO 1: *O Bromoclorodifluorometano (Halon 1211): Incolor, não corrosivo e seus vapores não deixam resíduos e dispersam-se rapidamente, não congela nem causa queimaduras, não danifica tecidos, metais ou qualquer outro material que entre em contato.*

Halon 1211 elimina o fogo por abafamento, mas o mais importante é que ele interfere quimicamente no processo de combustão. Tem uma propriedade marcante de prevenir o

reacendimento do fogo após esse ter sido extinto. Tem restrições ambientais, mas pela sua eficiência é recomendado apenas para o uso aeronáutico.

OBSERVAÇÃO 2: O CO₂ é inodoro, incolor, e mais pesado que o ar. Age por “substituição” do ar atmosférico, retirando o oxigênio da área onde está presente. Dois cuidados devem ser tomados no seu manuseio:

- Ao sair pressurizado, ele se expande, provocando um “congelamento” da extremidade do aplicador, e o contato com a pele pode provocar queimadura.
- Por substituir o ar atmosférico, em recinto fechado pode provocar asfixia do operador.

11.7. Classes de fogo e agentes de extinção recomendados:

- Classe A - materiais que ao se inflamarem produzam resíduos como brasa ou cinzas: madeira, papel, tecido, plásticos ...
 - Agente extintor recomendado: água.
 - Restrição: Desde que não hajam equipamentos ou condutores elétricos na área do incêndio.
- Classe B - Líquidos inflamáveis: gasolina, diesel, querozene, álcool...
 - Agente extintor recomendado: todos que usam o princípio de abafamento, desde que não contribuam com o espalhamento do combustível líquido.
- Classe C - Condutores e aparelhos elétricos energizados.
 - Agente extintor recomendado: Pó químico seco, CO₂ e Halon 1211.
- Classe D – Metais: magnésio e sódio.
 - Agente extintor recomendado: Pó químico seco.



11.8. Manuseio dos extintores:

- sempre manter extintores dentro do prazo de validade, ou com o manômetro indicando carga total (ponteiro na marca verde).
- romper o lacre e retirar a trava mecânica do gatilho.
- Apontar diretamente para a “base do fogo”.

12. SISTEMA ANTI-GELO – A teoria da formação e acúmulo de gelo nas aeronaves é tratada no livro Meteorologia. Aqui, iremos tratar dos aspectos técnicos dos sistemas de prevenção (anti-ice) e remoção do gelo (de-ice) nas partes mais afetadas da aeronave.

12.1. Métodos preventivos e de remoção:

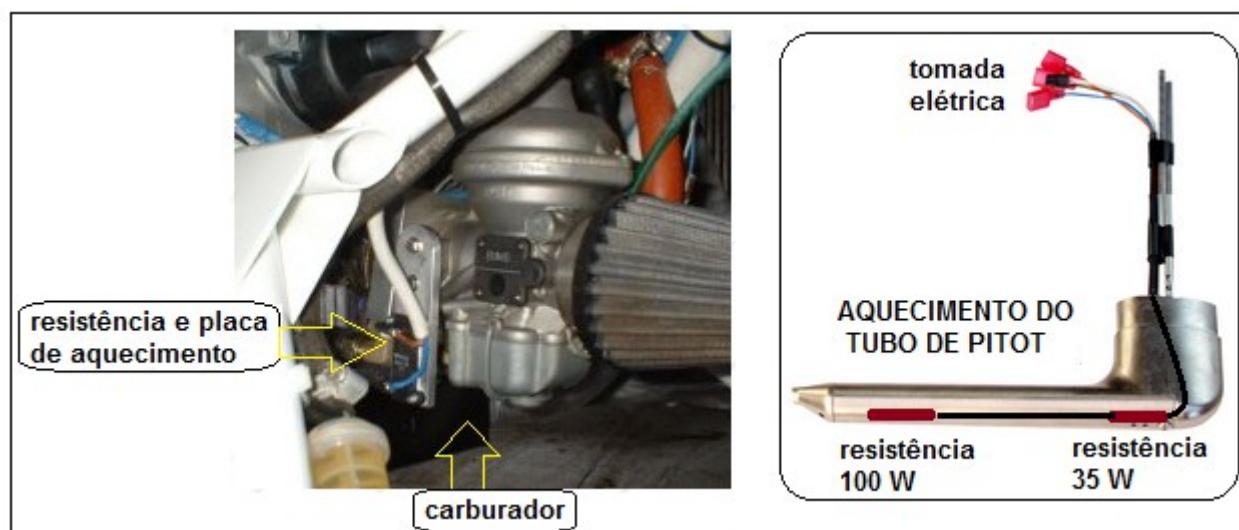
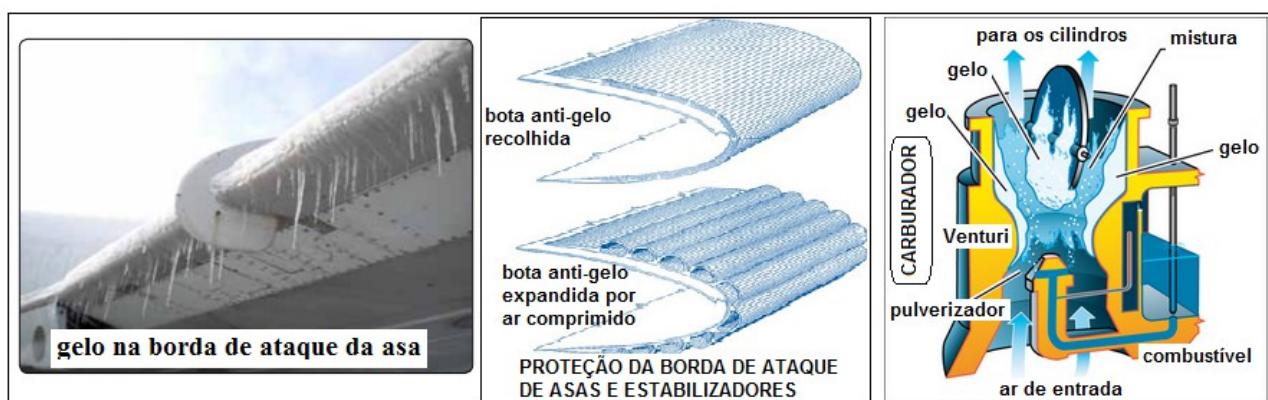
- *Sistema químico*: Geralmente usado de maneira preventiva nas hélices e pára-brisas, a partir de fluidos anticongelantes constituídos de água e álcool etílico, que tem a capacidade de liquefazer o gelo formado ou impedir tal formação.
- *Sistema mecânico*: Evita o acúmulo de gelo, mas não sua formação. Atua por meio de capas (botas infláveis) de borracha, inseridas nos bordos de ataque das asas e empenagens. Tais capas são infladas com ar comprimido, periodicamente, e rompem o gelo formado.
- *Sistema térmico*: Evita e combate a formação de gelo, aquecendo as partes da aeronave com pré-disposição para a formação de gelo, através de resistências elétricas ou por meio de fluxo de ar aquecido da exaustão do motor.

12.2. Efeitos do gelo sobre as aeronaves:

- Diminui a sustentação.
- Aumenta o arrasto (a resistência ao avanço).
- Perda da eficiência aerodinâmica.
- Perda de potência dos motores.
- Restrição visual.
- Indicações falsas dos instrumentos.

12.3. Áreas críticas da aeronave em relação ao gelo:

- Asas e estabilizadores horizontal e vertical – modifica o perfil aerodinâmico da borda de ataque, aumentando a resistência ao avanço e diminuindo a sustentação.
- Superfícies de comando – imobilização ou emperramento de ailerons, profundores, leme e compensadores.
- Hélices – modifica o perfil aerodinâmico e produz desbalanceamento, reduzindo o rendimento e apresentando fortes vibrações.
- Tomadas de ar (tubo Pitot) – afeta o indicador de velocidade vertical (climb), altímetro e velocímetro.
- Carburador – causa obstrução, reduzindo o rendimento do motor e sua potência.
- Antenas – altera a impedância dos cabos e pode também comprometer a fixação da antena.
- Pára-brisas – restrição da visibilidade e imobilização dos limpadores.
- Tanques de combustível: condensação e congelamento da umidade contida no ar, dentro dos tanques.



12.4. Inspeções e ações preventivas antes da decolagem:

1. Devem ser inspecionados: Fuselagem, asas, superfícies de comando e estabilizadores horizontal e vertical.
2. Pitots e tomadas estáticas: Devem estar sem as capas de proteção, completamente limpos, sem nenhum acúmulo de gelo no tubo ou nas áreas adjacentes.
3. Não utilize água para derreter gelo formado sobre as superfícies pois ela pode penetrar em fendas ou orifícios, e durante a corrida para decolar, transformar-se em gelo, emperrando os comandos ou causando deformações por expansão.
4. Todas as entradas e saídas de ar, suspiros, "fuel tank vents", "out flow valves", etc... devem estar desobstruídos.

13. INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO

13.1. Confiabilidade (Reliability) – é a probabilidade de um dispositivo executar, com sucesso, a função para a qual foi desenvolvido, durante um período de tempo especificado e sob condições operacionais pré-estabelecidas.

13.1.1. Pilares da Confiabilidade: são quatro os pilares da confiabilidade dos aviões:

- Materiais de qualidade utilizados na fabricação e reposição;
- Processo de fabricação controlado;
- Uso da aeronave conforme as especificações;
- Manutenção conforme especificado pelos fabricantes dos componentes e da aeronave;

13.2. Disponibilidade (Availability): é a capacidade da aeronave estar em condições de executar sua função em um determinado intervalo de tempo.

13.3. Manutenção (Maintenance): Processo que visa garantir a disponibilidade do equipamento, de modo a atender à sua finalidade com confiabilidade, segurança , preservação do meio ambiente e custo adequado.

A manutenção aeronáutica é estruturada por normas técnicas e regulamentação das autoridades aeronáuticas (RBAC-43 e IS N° 43 – 012 ANAC).

13.4. Documentação do Avião - compreende o livro de bordo e todos os registros suplementares referentes ao avião. O livro de bordo reflete a história de todos os acontecimentos importantes relativos à estrutura, seus componentes e acessórios, apresentando, ainda, um local para o registro da execução de serviços, exigido pelos órgãos governamentais ou boletins de serviço dos fabricantes.

13.5. Tipos de manutenção - Conforme sua necessidade, abrangência ou periodicidade, pode ser agrupada em três tipos:

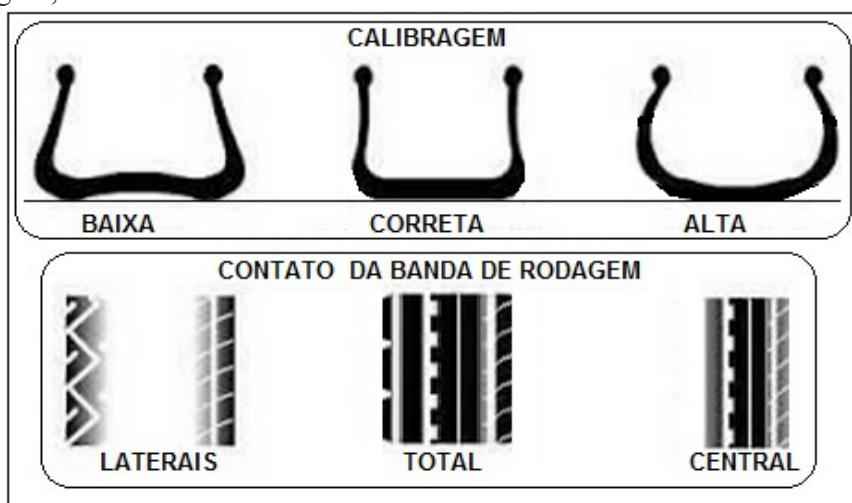
- **Manutenção corretiva:** ação para corrigir um problema após sua ocorrência. Exemplo: troca de peças danificadas e retirada de vazamentos.
- **Manutenção preventiva:** ação abrangente, sistemática e periódica (baseada em horas de voo), que visa trocar fluídos, peças ou componentes. São determinadas pelos fabricantes, dos componentes e da aeronave, num documento denominado “Programa de revisão”.
- **Inspeções:** são verificações visuais ou com auxílio de instrumentação específica. São sistemáticas, periódicas (baseadas em horas de voo) ou eventuais (após um incidente ou falha funcional). As inspeções mais comuns são:
 - Pré-voo: feita com base em um “check list”, é de responsabilidade do piloto. As anomalias devem ser passadas imediatamente para a manutenção corretiva (mecânico da aeronave);
 - Periódicas: feita pela área de manutenção, são definidas pelos fabricantes, dos componentes e da aeronave, num documento denominado “Programa de inspeção periódica” . As anomalias detectadas serão encaminhadas para uma manutenção corretiva.
 - Preditiva: são inspeções com auxílio de técnicas e instrumentos especiais, voltada principalmente para avaliação da integridade estrutural da aeronave. As mais utilizadas são:

- Magnaflux – utiliza a técnica de partículas magnéticas para visualização e detecção de trincas superficiais e sub-superficiais em materiais ferrosos, que estejam normalmente invisíveis.
- Líquido penetrante com revelador - utiliza a técnica do contraste que líquidos especiais oferecem quando reagem com um elemento químico chamado "revelador", realçando as trincas superficiais que estejam normalmente invisíveis.
- Líquido penetrante fluorescente – mesmo princípio do anterior, só que detectado por luz ultra-violeta.
- Ultrasom - utiliza a técnica da emissão e recepção de pulsos de ultrasom, que são exibidos em monitores gráficos, e possibilitam a detecção de trincas ou falhas internas.
- Raio X – utiliza a técnica de registro fotográfico de trincas internas.

13.6. Pneus: São os componentes mais sujeitos a avarias, e que requerem grande atenção do piloto e da manutenção. A maior parte do *desgaste* dos pneus de aeronaves ocorre durante a decolagem, e não no pouso, pois as aeronaves estão mais pesadas e consomem mais pista ao decolar. Em contrapartida, a maior probabilidade de ocorrência de *danos* por impacto ou frenagem é durante o pouso.

13.6.1. Calibragem dos pneus:

- Acima do valor correto: a banda de rodagem fica “arredondada”, desgastando somente a parte central. Diminui a vida útil, com risco de estourar.
- No valor correto: a banda de rodagem fica “reta”, desgastando simetricamente, e com isso oferecendo maior durabilidade e segurança;
- Abaixo do valor correto: a banda de rodagem fica “alargada”, deformando o perfil, o que provocará trincas nas paredes laterais. O desgaste será nas extremidades da banda de rodagem, diminuindo a vida útil e com risco de estourar.



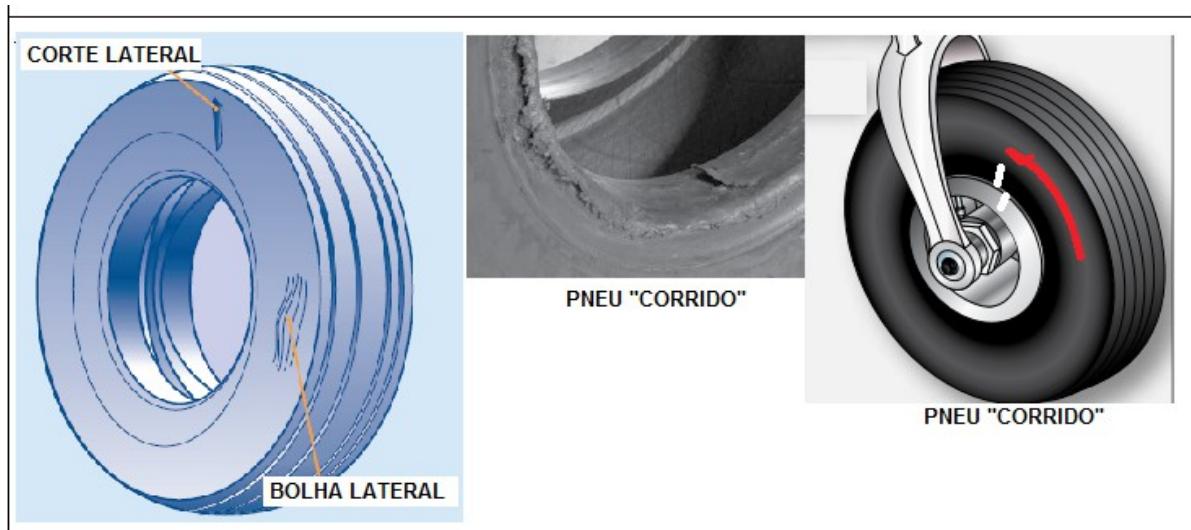
13.6.2. Inspeção dos pneus:

- Verifique a pressão dos pneus diariamente, com os pneus na temperatura ambiente. Uma variação de temperatura de 3° C produz cerca de 1% na alteração da pressão. Um pneu não



pode perder mais do que 5% da pressão em um período de 24 horas.

- Pneus de aviões devem sempre ser inspecionados por danos, após cada pouso. O inspetor



deve verificar com cuidado para a evidência de cortes que atinjam as lonas; bojos e bolhas que indicam “descolamento de camadas” ou rompimento de lonas ou da armação de aço; graves rachaduras motivadas por impacto em obstáculos agudos, deslizamento ou “pneu



corrido”, e evidências de grave superaquecimento.

- Ver a figura com os tipos de avarias mais comuns, que devem ser motivo de troca dos pneus.

13.7. Codificação de tubulações – As tubulações das aeronaves são codificadas com cores e símbolos para facilitar a manutenção. Abaixo, uma tabela com os mais usuais.

FLUÍDO	COR	SÍMBOLO
Gasolina	Red	◆
Lubrificante	Yellow	▪
Hidráulico	Blue	●
Pneumático	Orange	X
Ar para instrumento	Green	⚡
Oxigênio	None	—
Anti-incêncio	Brown	◆◆
Descongelante	Grey	▲



EXEMPLOS