



# INTRODUÇÃO À ENGENHARIA AERONÁUTICA

Por Rogerio Ribeiro

[www.engenhariaaeronautica.com.br](http://www.engenhariaaeronautica.com.br)



Engenharia  
Aeronáutica



# SUMÁRIO

**03**

Introdução

**05**

Questões Iniciais

**09**

Breve História da Aviação

**17**

Classificação de Aeronaves

**35**

Helicópteros

# Porque um E-Book de Introdução à Engenharia Aeronáutica?

Uma aeronave comercial é um equipamento altamente complexo e seu desenvolvimento, fabricação, operação e manutenção envolve o que há de mais sofisticado nos diversos ramos de engenharia. Cabe à engenharia aeronáutica integrar essa multiplicidade de conhecimentos conexos a aqueles que são exclusivos de seu próprio escopo. Isso exige então do engenheiro aeronáutico uma visão ampla de tudo o que está ligado ao produto final de sua atuação – as aeronaves. Quem deseja ingressar nessa carreira deve procurar então desde o início uma sólida formação capaz de garantir os conhecimentos básicos necessários para lidar com tudo que se relacione às aeronaves.

Assim todos os cursos de engenharia aeronáutica oferecem em sua grade curricular uma disciplina que vai permitir ao aluno se iniciar nessa área de conhecimento.

A função primordial de um curso de Introdução à Engenharia Aeronáutica é garantir que você tenha um nível mínimo de conhecimento capaz de permitir um bom rendimento nos demais cursos da área.

# O que você vai aprender nesse E-Book?

Queremos nesse E-book te auxiliar a dar início à sua formação em engenharia aeronáutica. Para isso vamos buscar responder algumas questões iniciais que certamente você deve ter com relação à engenharia aeronáutica. Teremos também oportunidade de mostrar algumas convenções e nomenclaturas padronizadas da aviação.

Vamos apresentar uma breve história da aviação para que você saiba como chegamos até o conhecimento atual e quais os pioneiros que nos fizeram avançar nesses conhecimentos. Por fim abordaremos a descrição e classificação de aeronaves para que você comece a conhecer e entender as máquinas maravilhosas criadas pela engenharia aeronáutica.

Vamos lá?

# Questões Iniciais

## O que é a Engenharia Aeronáutica?

A Engenharia Aeronáutica como uma área distinta das demais engenharias teve início na Universidade de Paris em 1913, sendo logo seguida pelo curso oferecido pelo MIT em 1914.

Como se vê isso aconteceu num curto período de tempo após as primeiras experiências de voo levadas a cabo por Otto Lilienthal que em 1890 na Alemanha fez inúmeros voos de planador, os voos do Flyer dos irmãos Wright em 1903, com uma aeronave motorizada mas ainda incapaz de decolar sem o auxílio de uma catapulta e, finalmente o histórico vôo do 14bis de Alberto Santos Dumont que deu início aos aviões autopropulsados como vemos hoje. Interessante notar também que os primeiros cursos de Engenharia Aeronáutica tiveram início coincidente com a deflagração da Primeira Guerra Mundial.

No Brasil o primeiro curso de bacharelado em Engenharia Aeronáutica foi oferecido pelo ITA em 1950 logo após o término da Segunda Guerra Mundial. Mas afinal o que distingue a Engenharia Aeronáutica das demais engenharias? Não estariam os engenheiros formados nos cursos já existentes capacitados a desenvolver a indústria do transporte aéreo? A complexidade dos aviões nos dá a resposta: não.

O ambiente de operação das aeronaves é extremamente exigente. Uma comparação com outras modalidades de transporte permite verificar essa afirmação com mais clareza.

## **O que os Engenheiros Aeronáuticos fazem?**

As principais atividades que você poderá exercer na engenharia aeronáutica são:

- Conceber, projetar, desenvolver, testar, fabricar, operar, manter, comercializar, vender, gerenciar veículos aeroespaciais e sistemas e subsistemas relacionados;
- Trabalhar para pequenas e grandes empresas aeroespaciais, na academia, no governo, em outras indústrias, no mercado financeiro;
- Buscar formação complementar em cursos de pós-graduação em engenharia, ciência, negócios, direito, medicina aeroespacial, etc;
- Criar novas empresas para explorar tecnologias avançadas.

Ao final de sua formação você deverá ser capaz então de conceber, projetar, implementar e operar sistemas complexos de engenharia, de alto valor agregado trabalhando em um ambiente moderno baseado em trabalho de equipe.

## De quais conhecimentos você vai precisar?

Uma lista básica desses conhecimentos deve incluir:

- **Mecânica dos Fluídos:** O estudo do fluxo de fluido em torno de objetos. Especificamente aerodinâmica relativa ao fluxo de ar sobre corpos como asas ou através de objetos como túneis de vento.
- **Mecânica dos Sólidos:** O ramo da mecânica do contínuo que estuda o comportamento deformável dos sólidos. Utiliza tensores para descrever tensões, deformações e as relações entre estas quantidades.
- **Dinâmica e Controle:** - **Dinâmica:** o estudo do movimento, forças, momentos em sistemas mecânicos. - **Controle:** o estudo da modelagem matemática de sistemas auxiliando a projetá-los para que se comportem da maneira desejada. Como os sistemas de controle de voo das aeronaves estão se tornando cada vez mais complexos, eles podem ser estudados como um módulo separado.
- **Matemática:** como a maioria das disciplinas da engenharia aeroespacial envolve equações e manipulação matemática. Um estudo sólido e abrangente da matemática é necessário para permitir uma aprendizagem eficaz nos outros cursos.

- Eletrotecnologia: O estudo da eletro-eletrônica dentro da engenharia. Conceitos fundamentais de eletrônica e eletricidade básica.
- Aviônica: Projeto e integração de sistemas eletrônicos a bordo de aeronaves. Comunicações e equipamentos de navegação pode ser o foco deste estudo.
- Estruturas de aeronaves: Projeto da configuração estrutural da aeronave para suportar as forças encontradas durante sua operação, tanto em voo como no solo. Os projetos estruturais devem recorrer a processos de otimização que permitam manter o peso estrutural o mais baixo possível. Uma regra de ouro da aviação sugere que o peso estrutural deve sempre ficar abaixo de 25% do peso vazio de uma aeronave.
- Aeroelasticidade: A interação de forças aerodinâmicas e flexibilidade estrutural, potencialmente causando flutter, divergência, etc.
- Risco e confiabilidade: O estudo das técnicas de avaliação de risco e confiabilidade e a matemática envolvida nos métodos quantitativos.
- Controle de ruído: O estudo da mecânica e da transferência de ondas sonoras. Níveis de ruído são uma consideração maciça na indústria aeroespacial atual.



- Ensaio em voo: Capacidade de projetar e executar programas de teste de voo para coletar e analisar dados de desempenho e qualidade de voo, a fim de determinar se uma aeronave atende às metas de projeto e desempenho e aos requisitos de certificação.

## Breve História da Aviação

A humanidade tem feito esforços para ganhar os céus com máquinas voadoras feitas pelo homem por mais de 2.000 anos. Antes mesmo que qualquer tentativa prática fosse levada a efeito o desejo humano de voar fez parte do imaginário coletivo em várias culturas. Talvez a mais conhecida manifestação está na mitologia grega com a lenda de Icarus. Em outras culturas temos lendas de dragões voadores, cavalos alados, tapetes mágicos voadores e muitas outras. Algumas tribos indígenas brasileiras citam lendas de homens que conseguiam voar.

A história da aviação começou com a invenção de pipas e planadores, antes de emergir para a indústria multimilionária de aeronaves da era moderna. Os primeiros objetos voadores feitos pelo homem foram papagaios ou pandorgas, construídos na China por volta de 300 a.C.

Leonardo da Vinci expressou seu sonho de voar em várias de suas pinturas por volta do século XV; no entanto, seu sonho nunca se transformou numa máquina capaz de voar que tivesse efetivamente sido construída.

Durante os séculos XVII e XVIII, a descoberta do hidrogênio levou ao desenvolvimento do balão de hidrogênio, que permitiu que pessoas pudessem alcançar altitudes elevadas e se deslocar através de várias milhas. No século XIX, os balões cativos foram usados para elevar pessoas e observar batalhas, em tempo real, em alturas seguras acima do solo. Outras descobertas científicas geraram uma variedade de teorias em mecânica que se tornaram a espinha dorsal das leis de movimento e dinâmica dos fluidos de Isaac Newton, e que eventualmente levaram ao desenvolvimento da aerodinâmica moderna. No início do século 20, os planadores se tornaram a base para aeronaves de maior porte e a tecnologia de motores e outros desenvolvimentos em aerodinâmica finalmente levaram ao desenvolvimento do avião.

### **As primeiras tentativas**

Em 400 aC, um estudioso grego de nome Archytas projetou e construiu uma aeronave movida a vapor, modelada segundo a forma de um pássaro.

Segundo historiadores da época, "O Pombo" tinha a reputação de ter voado aproximadamente duzentos metros.

A primeira tentativa de mover objetos pelo ar foi na forma de pipas por volta de 300 a.C. na China. Há registro que um oficial militar chinês passou uma pipa sobre as linhas inimigas em uma missão para determinar o comprimento do túnel que seria necessário para permitir um ataque. A invenção do latão de Kongming, uma lâmpada de óleo brilhando sob um grande saco de papel que flutuava no céu noturno, ajudou o General Zhuge Liang a derrotar seus inimigos, assustando-os e achando que ele foi ajudado por uma força divina. Eilmel Malmesbury, um monge inglês, voou com sucesso por cerca de duzentos metros antes de sofrer ferimentos.

Leonardo da Vinci expressou seu sonho de voar em várias de suas pinturas por volta do século XV; no entanto, seu sonho nunca se manifestou em uma máquina voadora construída. Em 1647, Tito Livio Burattini construiu um modelo com quatro pares de asas planas fixas. Foi relatado que a aeronave de quatro asas levantou um gato em 1648; no entanto, nunca suportou o peso de um passageiro humano.

Em 1670, Francesco Terzi divulgou um trabalho que continha uma teoria que apoiava a possibilidade de máquinas voadoras mais leves que o ar usando cilindros de folha de cobre com vácuo.

Embora sua teoria não estivesse totalmente errada, ele se esqueceu de que a atmosfera circundante esmagaria os cilindros.

## **Voo moderno**

Em 1783, cinco inventores conseguiram realizar vários projetos inovadores para a aviação.

- 4 de junho de 1783, os irmãos Montgolfier exibiram seu balão de ar quente, que ainda não transportava um passageiro humano.
- 27 de agosto de 1783, Jacques Charles e os irmãos Robert exibiram o primeiro balão de hidrogênio, que também ainda não transportava um passageiro.
- 19 de outubro de 1783, os irmãos Montgolfier realizaram o primeiro voo tripulado usando um balão cativo com vários passageiros a bordo.
- 21 de novembro de 1783, os irmãos Montgolfier realizaram o primeiro voo livre com passageiros. Os três passageiros viajaram no balão de ar quente por cerca de oito quilômetros.
- 1º de dezembro de 1783, Jacques Charles e Nicolas-Louis Robert lançaram seu primeiro balão de hidrogênio tripulado diante de uma multidão. Ambos ascenderam a uma altitude de 1.800 pés e finalmente aterrissaram após um voo de aproximadamente duas horas e cinco minutos.

O balão de ar quente tornou-se extremamente popular durante o final do século XVIII, o que favoreceu a descoberta da correlação entre altitude e atmosfera. Os inventores tentaram criar um balão de ar quente que pudesse ser dirigido facilmente.

Apesar destes avanços, aeronaves mais leves que o ar tiveram curta duração. Voos regulares controlados da era moderna não surgiram até a introdução do motor de combustão interna durante a Revolução Industrial.

Embora essas aeronaves tenham sido usadas durante a Primeira e mesmo a Segunda Guerra Mundial, aeronaves mais pesadas que o ar ofuscaram sua existência. As primeiras aeronaves a fazer voos controlados foram os dirigíveis. Alberto Santos-Dumont foi o primeiro a pilotar com sucesso um dirigível não rígido equipado com um motor de combustão interna. Otto Lilienthal, em 1890, realizou inúmeros voos bem sucedidos na Alemanha usando planadores. Samuel Pierpont Langley tornou-se um dos primeiros pioneiros a investigar cientificamente o campo da aerodinâmica.

Em 1869, Langley construiu o Aeródromo nº 5, um veículo não tripulado mais pesado que o ar, e o lançou com sucesso em um voo sustentado. Depois de lançar com sucesso o Aeródromo nº 5 e nº 6, Langley obteve financiamento do governo dos Estados Unidos para construir uma versão tripulada do Aeródromo, na universidade em que lecionava.

Esse novo projeto de Langley não obteve sucesso tendo ocorrido um acidente na sua primeira tentativa de decolagem.

Em 1901, Santos-Dumont voou um dirigível chamado "Número 6" sobre Paris e ao redor da Torre Eiffel em menos de trinta minutos. Ele se tornou um projetista de sucesso e construtor de vários tipos de aeronaves. Aeronaves dirigíveis de corpo rígido também estavam se tornando avançadas durante esse período. Ferdinand von Zeppelin foi o pioneiro do projeto de dirigíveis. Em 1899, ele começou a trabalhar no primeiro dirigível Zeppelin. O protótipo foi equipado com dois motores Daimler.

Os irmãos Wright projetaram e testaram numerosos modelos de planadores entre 1900 e 1902. Os Wrights foram pioneiros em estudar os problemas de potência e controle de aeronaves. Eles adotaram uma solução para o problema de controle desenvolvendo a torção das asas para rolagem, controle de guinada e um leme direcional orientável. Os Wrights fizeram o primeiro voo sustentado, mais pesado do que o ar, em 17 de dezembro de 1903. No entanto não conseguiam decolar utilizando somente o motor do Flyer. Era necessário o uso de uma catapulta e de ventos intensos na hora da decolagem.

Em 1906, o brasileiro Alberto Santos-Dumont fez sua primeira decolagem com sua máquina intitulada "14-bis", em Paris. Foi a primeira aeronave realmente autopropulsada sendo capaz de decolar utilizando unicamente seu motor. Ele estabeleceu o recorde mundial voando duzentos e vinte metros em vinte e um segundos e meio. Santos-Dumont foi responsável por adicionar superfícies móveis às asas para ganhar estabilidade lateral. Santos-Dumont fez o monoplano Demoiselle, que foi empregado como seu transporte pessoal. Em 1908, ele começou a trabalhar com a empresa Clement-Bayard para construir o Demoiselle No. 19 que veio a se tornar a primeira aeronave produzida em série do mundo. Os militares começaram a usar aviões assim que eles foram inventados. A Itália foi o primeiro país a usar aviões para fins militares. Eles usaram aviões para bombardear a Líbia durante a guerra turco-italiana. Mas foi durante a Primeira Guerra Mundial, que pela primeira vez aviões foram usados para fins ofensivos e defensivos.

- Em 1914, Roland Garros colocou uma metralhadora na ponta do avião, efetivamente fazendo dele o primeiro "ás";
- Em 1915, Kurt Wintgens conquistou sua primeira vitória aérea com um caça equipado com uma metralhadora integrada.

Após o final da Primeira Guerra em 1919 e, sobretudo durante a Segunda Guerra Mundial de 1939 a 1945, vários países avançaram no desenvolvimento e produção de aeronaves e sistemas de armas baseados em vôo. Militares de todo o mundo usaram bombardeiros estratégicos, bombardeiros de mergulho, bombardeiros de combate e aeronaves de ataque terrestre. O advento do radar deu oportunidade para ações mais coordenadas e controladas. Em 1942, foi lançado o primeiro bombardeiro a jato do mundo, o "Arado Ar 234". Os helicópteros também tiveram um rápido desenvolvimento durante a Segunda Guerra Mundial.

No setor de aviação comercial, o avião a jato Concorde, primeira e única aeronave comercial supersônica foi apresentado em 1969 e retirado de serviço no início do século XXI. Tinha um alto consumo de combustível e transportava uma quantidade limitada de passageiros.

Aviões comerciais como conhecemos hoje podem se tornar uma coisa do passado, por causa das tentativas em escala total da aviação militar para se concentrar na substituição dos aviões pilotados. A introdução de veículos aéreos não tripulados (UAVs) pode tornar isso uma possibilidade no futuro. Em 2003, o primeiro vôo autônomo através do Oceano Atlântico foi completado com sucesso por um modelo controlado por computador.



# Classificação das Aeronaves

## Classificação

Sob a designação genérica de aeronave estão incluídos os aviões, helicópteros, planadores, convertiplanos e autogiros. O avião é uma aeronave que se utiliza de superfícies fixas para gerar as forças de sustentação e de um sistema de propulsão para seu deslocamento no ar e no solo. O helicóptero é uma aeronave cuja capacidade de efetuar decolagem e pouso verticais, bem como vôos pairado e de translado são possibilitados pela rotação de superfícies aerodinâmicas (rotores ou asas rotativas) acionadas pelo grupo moto-propulsor. Os rotores podem estar posicionados de formas distintas, como visto na Figura 4.1.

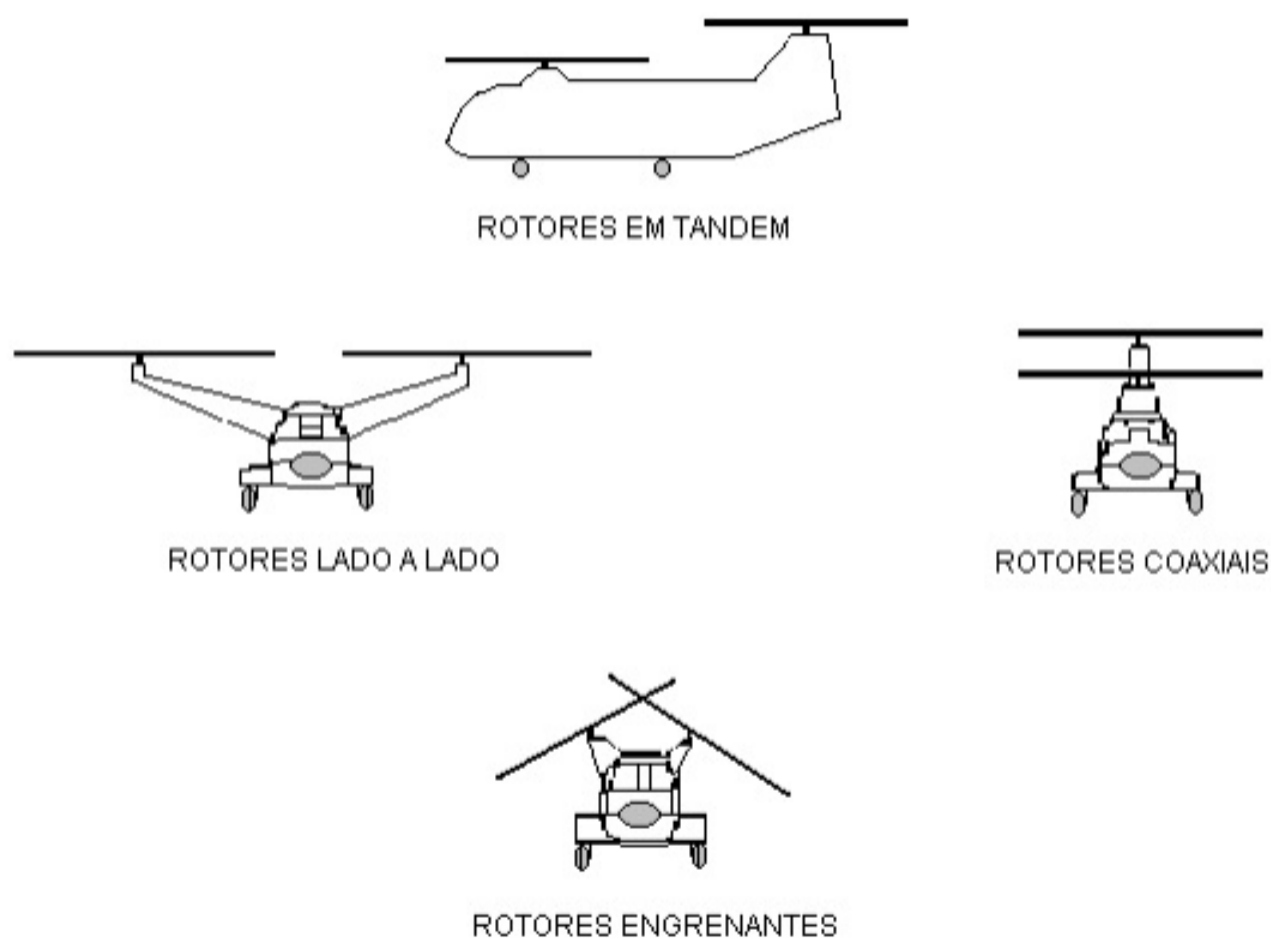


Figura 4.1 - Disposição de Rotores

O planador é uma aeronave sem motor, que executa somente vôo planado e que se utiliza de energia potencial gravitacional para realizar seu vôo.

O convertiplano é um avião que através de mudança na sua configuração, pode pousar e decolar verticalmente (Figura 4.2).

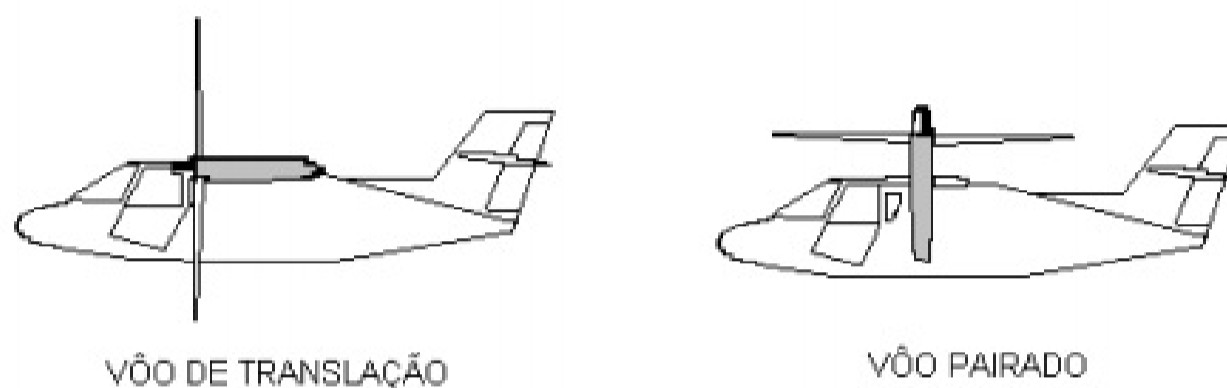


Figura 4.2 - Converteiplano

Além da classificação vista anteriormente as aeronaves podem ainda ser classificadas levando-se em conta o tipo e disposição das asas, tipo de propulsão, quantidade de motores, superfície onde decola e pousa, distância de decolagem e aterrissagem, bem como pela sua missão militar principal.

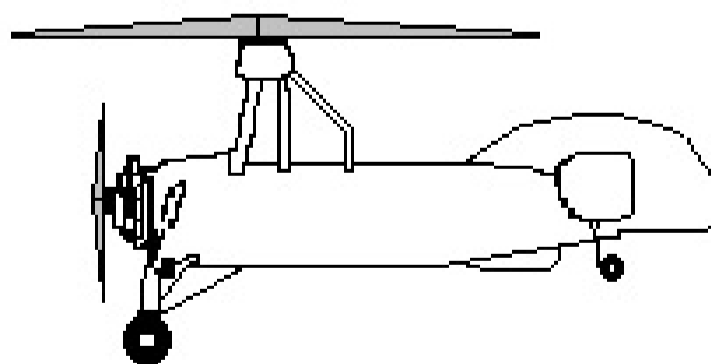


Figura 4.3 - Autogiro

Além da classificação vista anteriormente as aeronaves podem ainda ser classificadas levando-se em conta o tipo e disposição das asas, tipo de propulsão, quantidade de motores, superfície onde decola e pousa, distância de decolagem e aterrissagem, bem como pela sua missão militar principal.

### **Tipo e disposição das asas**

Para os aviões antigos, onde existia variação na quantidade dos planos de sustentação, era comum a classificação em monoplanos, biplanos e triplanos.

Hoje em dia com a predominância dos monoplanos são mais utilizadas expressões como asa baixa, asa média ou asa alta, além de asa reta ou enflechada.

### **Propulsão**

O tipo de grupo moto-propulsor pode também ser utilizado para a classificação de uma aeronave. Assim temos as aeronaves à reação, equipadas com motores turbo-jato, turbo-fan ou turbo-hélice, e as aeronaves convencionais equipadas com motores a pistão.

### **Número e tipo de motores**

De acordo com o número de motores os aviões podem ser classificados em monomotores, bimotores, trimotores, quadrimotores e polimotores. Para as aeronaves equipadas com motores à reação é usual a aplicação dos termos mono-reator, bi-reator, tri-reator, quadri-reator e poli-reator.

## **Superfície de Pouso e Decolagem**

O tipo de superfície que a aeronave utiliza para pousos e decolagens podem também definir a sua classificação. Assim, temos o hidroavião, operando em superfícies líquidas (mar, rio, lagoa, etc.), aeronave terrestre, para superfícies sólidas (asfalto, concreto, grama, gelo, etc.), e o anfíbio, que pode utilizar superfícies sólidas ou líquidas.

## **Distância de Decolagem e Aterrissagem**

Sob este aspecto, temos as aeronaves VTOL – Vertical Take Off & Landing de decolagem e aterrissagem verticais, as aeronaves STOL - Short Take Off & Landing de decolagem e aterrissagem curtas (Short take off and landing) e as convencionais, que necessitam maiores distâncias para pouso e decolagem.

## **Componentes principais de uma aeronave**

Na Figura 4.4 são mostrados os principais componentes de uma aeronave típica.

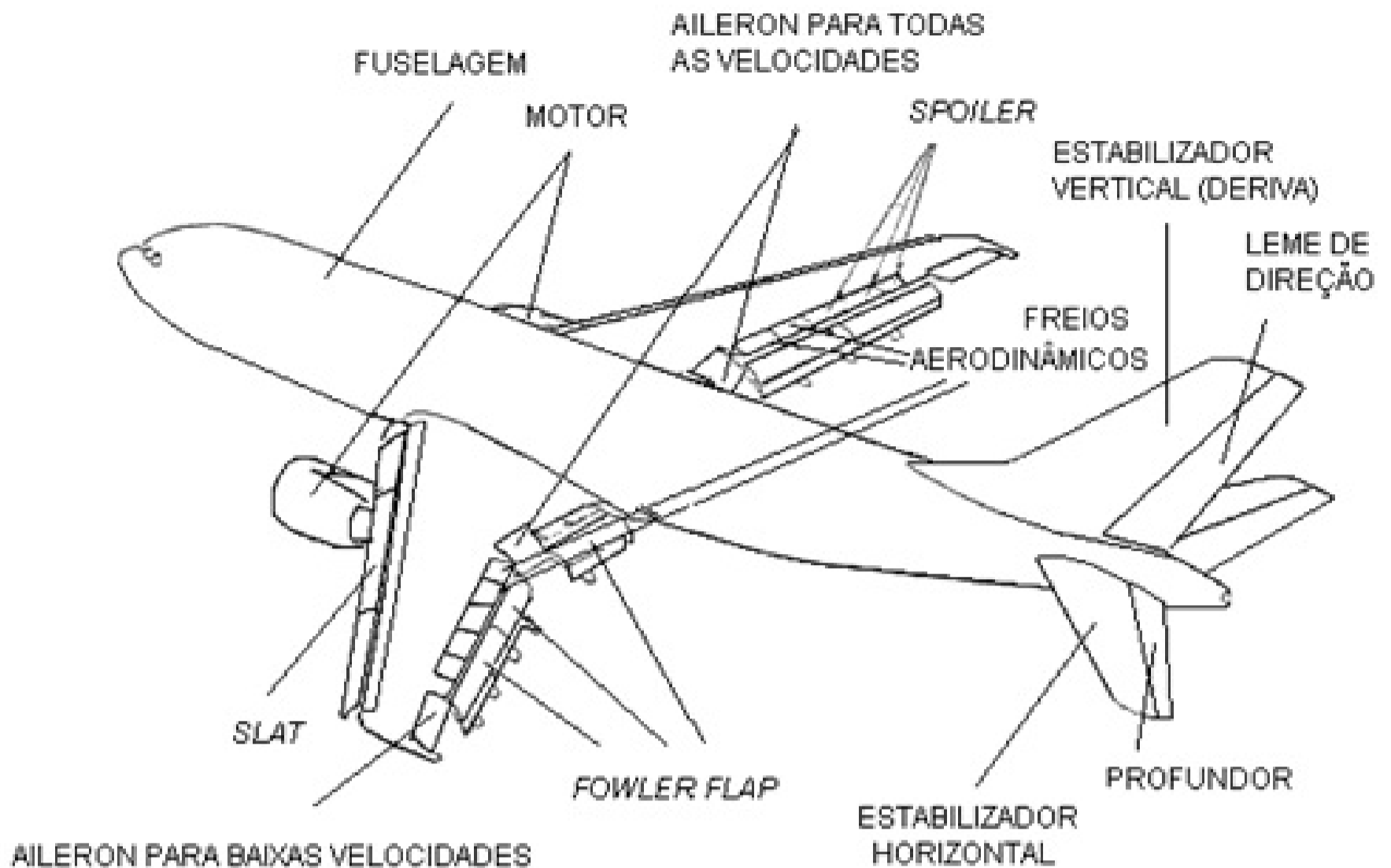


Figura 4.4 - Principais componentes de uma aeronave

## Asas

As asas de uma aeronave são superfícies de forma aerodinamicamente adequadas a gerar forças de sustentação, quando deslocadas no ar.

## Designação

Chamamos de asa direita e asa esquerda aquelas correspondentes respectivamente, ao lado direito e esquerdo do piloto como ele as vê sentado na cabine de comando.

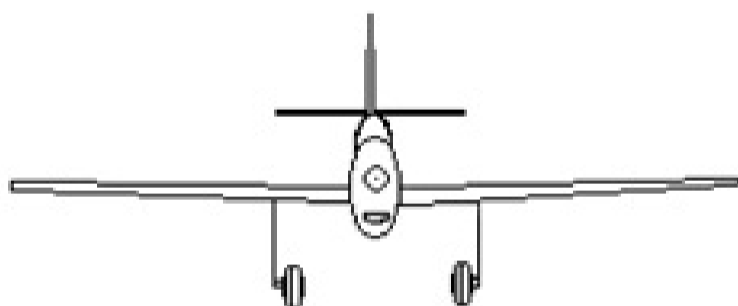
## Geometria da Asa

O perfil utilizado pela asa, bem como a sua forma em planta e sua área, são estabelecidos na fase de projeto de uma aeronave, tendo em vista fatores como:

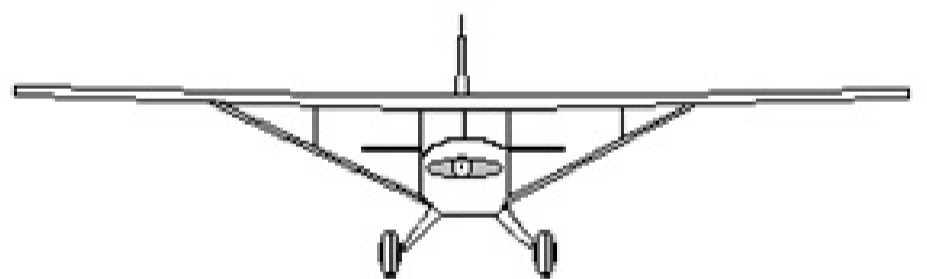
- finalidade da aeronave;
- velocidade desejada de pouso;
- velocidade máxima pretendida;
- tamanho e o peso da aeronave;
- capacidade desejada para o tanque de combustível do interior das asas.

## Tipos de Asa

As asas podem ser de dois tipos: cantilever e semicantilever (braced wing)



CANTILEVER



SEMI CANTILEVER

Figura 4.5 - Asas Cantilever e Semicantilever

As asas do tipo cantilever caracterizam-se por sua fixação à fuselagem estabelecida exclusivamente através de junções articuladas e aparafusada na sua raiz. Nas asas do tipo semi-cantilever, encontramos, além da união característica da asa cantilever, montantes e/ou estais externos que ajudam a suportar os esforços estruturais.

## **Estabilizadores**

A combinação do estabilizador horizontal e leme de profundidade (ou profundor), bem como do estabilizador vertical (ou deriva) e leme de direção, constituem, respectivamente os planos horizontais e verticais da cauda (ou empenagens).

Eles podem ser considerados como uma asa de perfil simétrico, quando os respectivos lemes não estiverem acionados, ou uma asa assimétrica, com curvatura, quando o profundor ou leme de direção estiverem defletidos.

Os estabilizadores horizontais, em geral, são construídos em uma só seção, instalada em cima ou através da parte traseira da fuselagem, porém, às vezes, constituem seções separadas, esquerda e direita.

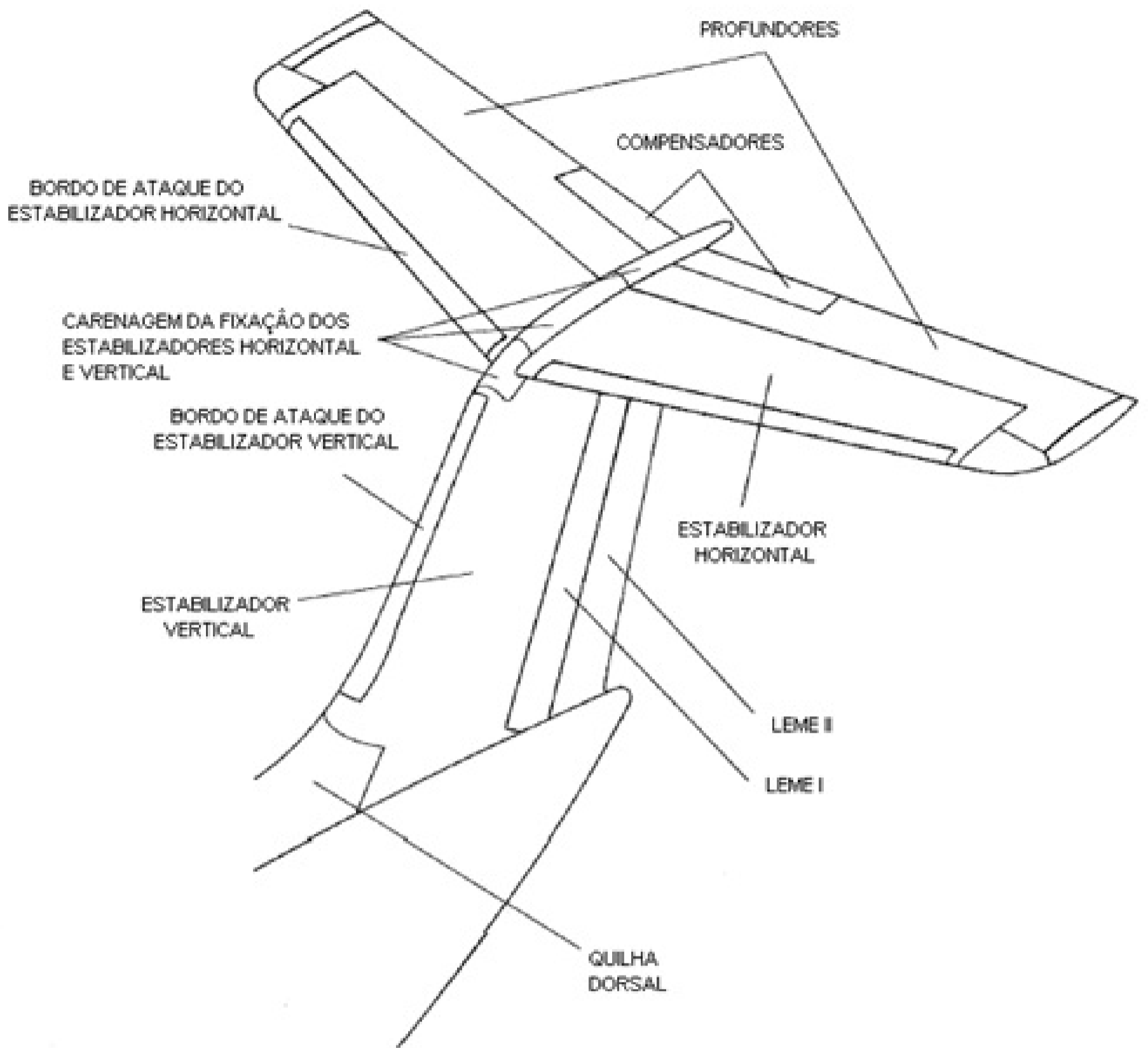


Figura 4.6 - Detalhes da Fuselagem

São, geralmente inteiramente metálicos, com longarinas, nervuras e painéis com chapas e reforçadores, exceto quanto às pontas, normalmente de fibra de vidro, e quanto às ferragens de fixação (fittings), que podem ser de aço. Encontramos, também, longarinas e nervuras rebitadas a um painel constituído de chapas e perfis colados.



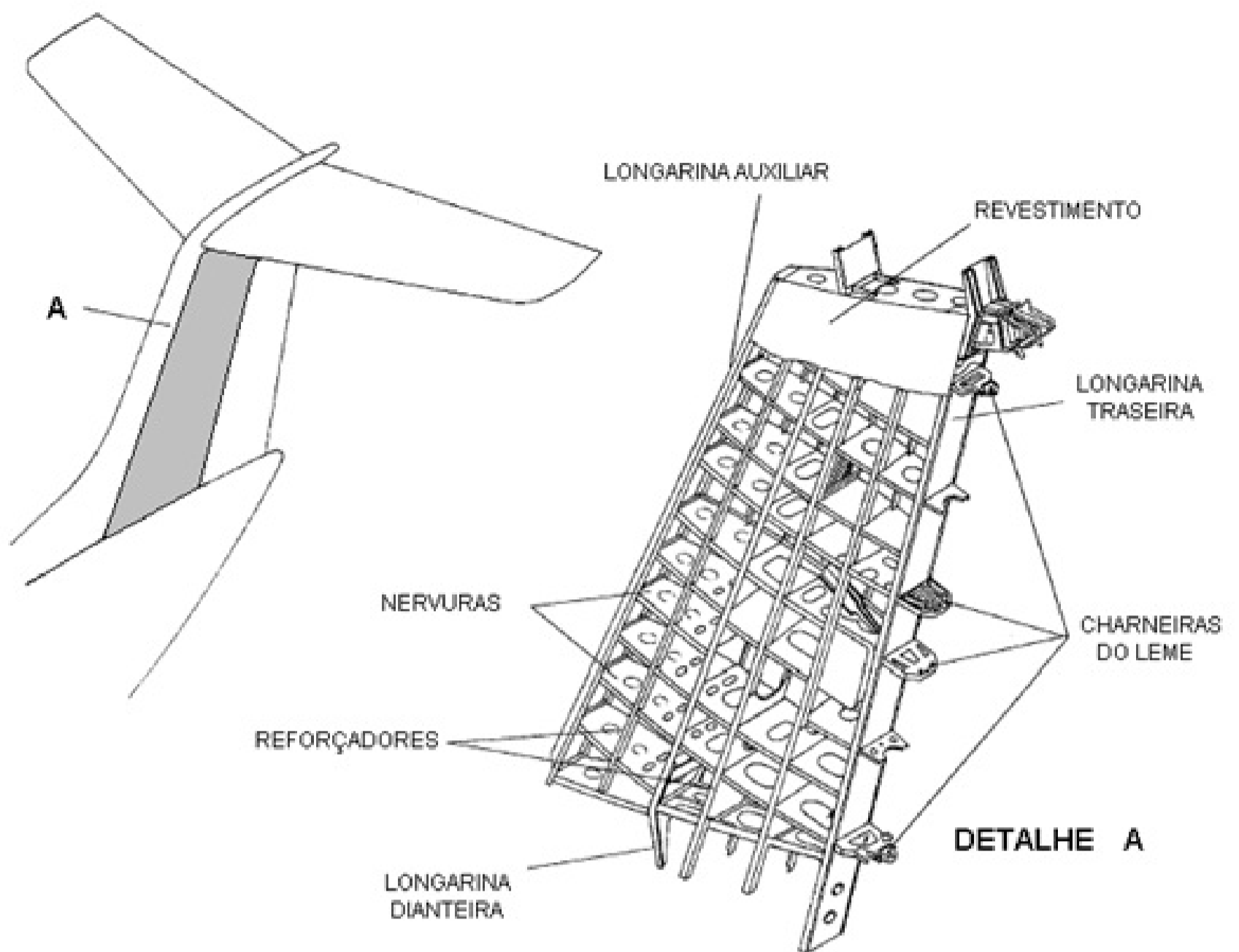


Figura 4.7 - Empenagem

O ângulo de ataque do plano horizontal da cauda não é, necessariamente, o mesmo que o da asa, mesmo que os ângulos de incidência sejam os mesmos. Parte da corrente de ar que atua sobre a asa principal é desviada para baixo, modificando o ângulo de ataque do estabilizador.

Na Figura 4.8, vemos o ângulo, chamado de downwash ou desvio do vento relativo, formado pela direção do vento relativo antes de encontrar a asa principal e pela direção da mesma corrente de ar após deixar a asa.

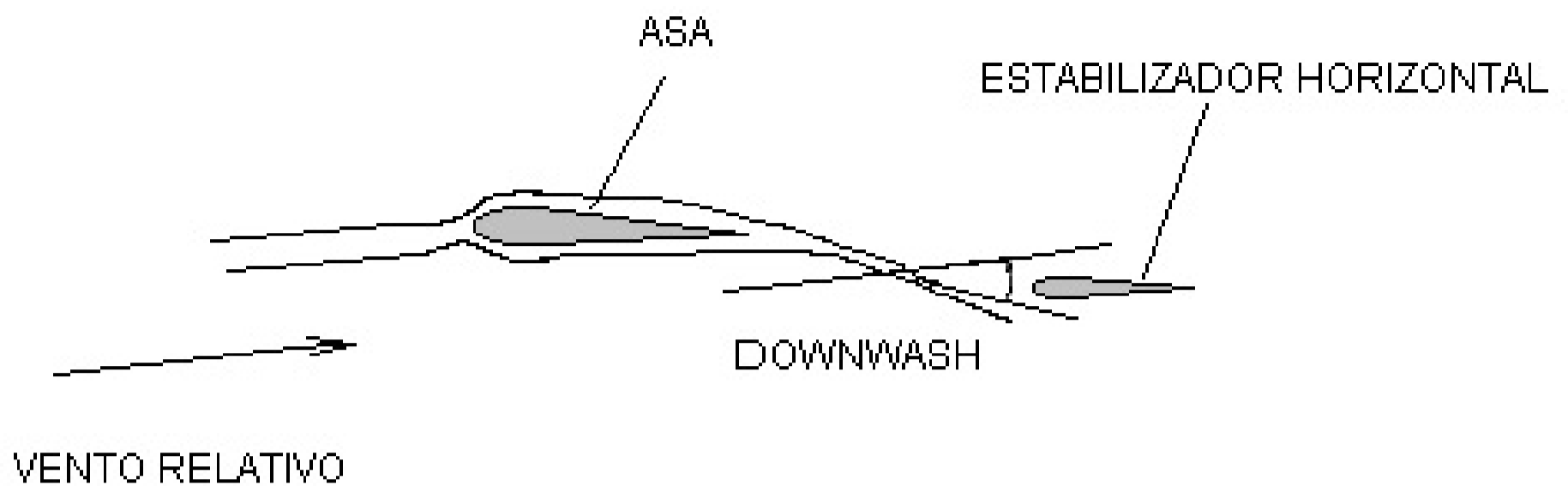


Figura 4.8 - Downwash sobre a empennagem

A eficiência das superfícies horizontal e vertical depende, principalmente, de quatro variáveis:

- distancia do centro de pressão da superfície ao centro de gravidade da aeronave;
- área da superfície;
- alongamento;
- perfil aerodinâmico da superfície.

A intensidade da ação de comando dependerá, ainda, do angulo de deflexão da superfície móvel.

Alguns tipos de aeronaves, principalmente de pequeno porte ou aviões de combate, utilizam uma única superfície móvel horizontal, contínua, sem a subdivisão em estabilizador e profundor.

Alguns fabricantes denominaram esta solução de flying tails (ou all movable), sendo rotating stabilizer, quando acrescentam compensador à superfície e trimming tailplane, quando o ângulo de incidência do estabilizador é ajustável.

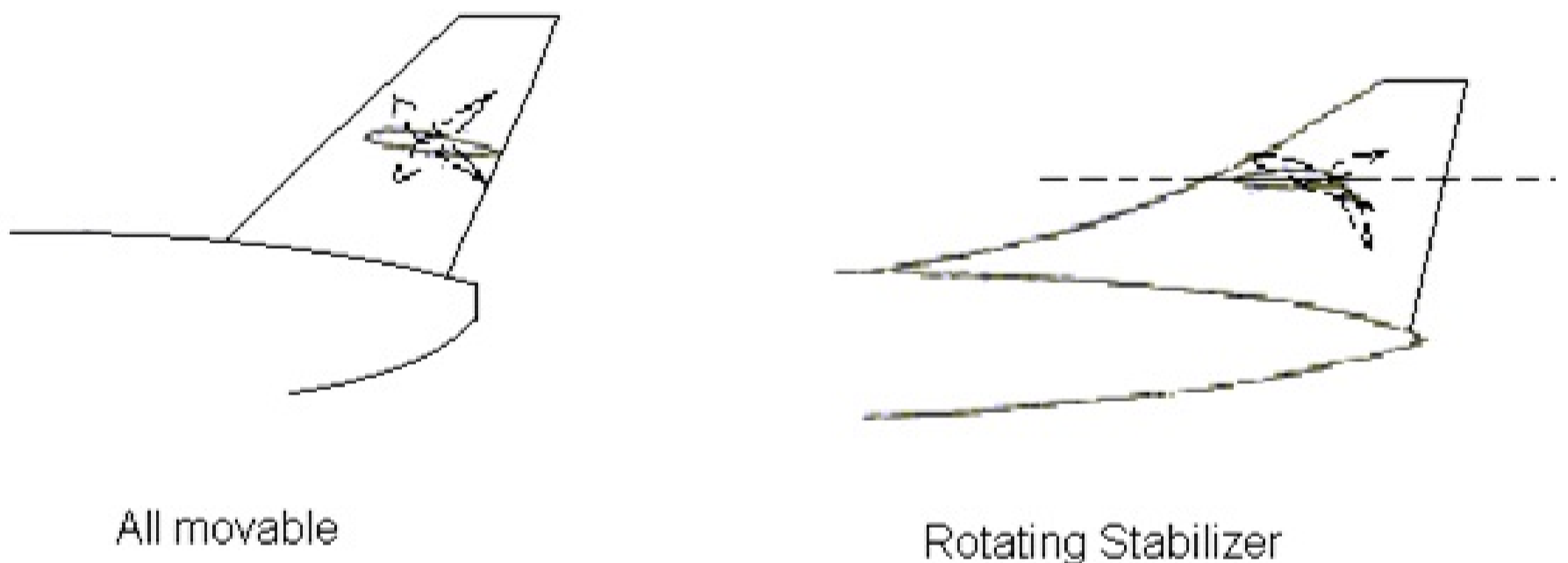


Figura 4.9 - Empenagens

A função da deriva é manter a estabilidade direcional da aeronave. Em alguns aviões, ela é instalada com um pequeno ângulo em relação ao eixo longitudinal da fuselagem (deriva decalada). Essa disposição tem por finalidade compensar o torque causado pelo motor e pela hélice (twist).

## Superfícies de Comando (Sistema de Comando de Voo)

As superfícies de comando são aerofólios articulados (ou móveis) destinados a controlar a atitude da aeronave durante a decolagem, o voo e o pouso.

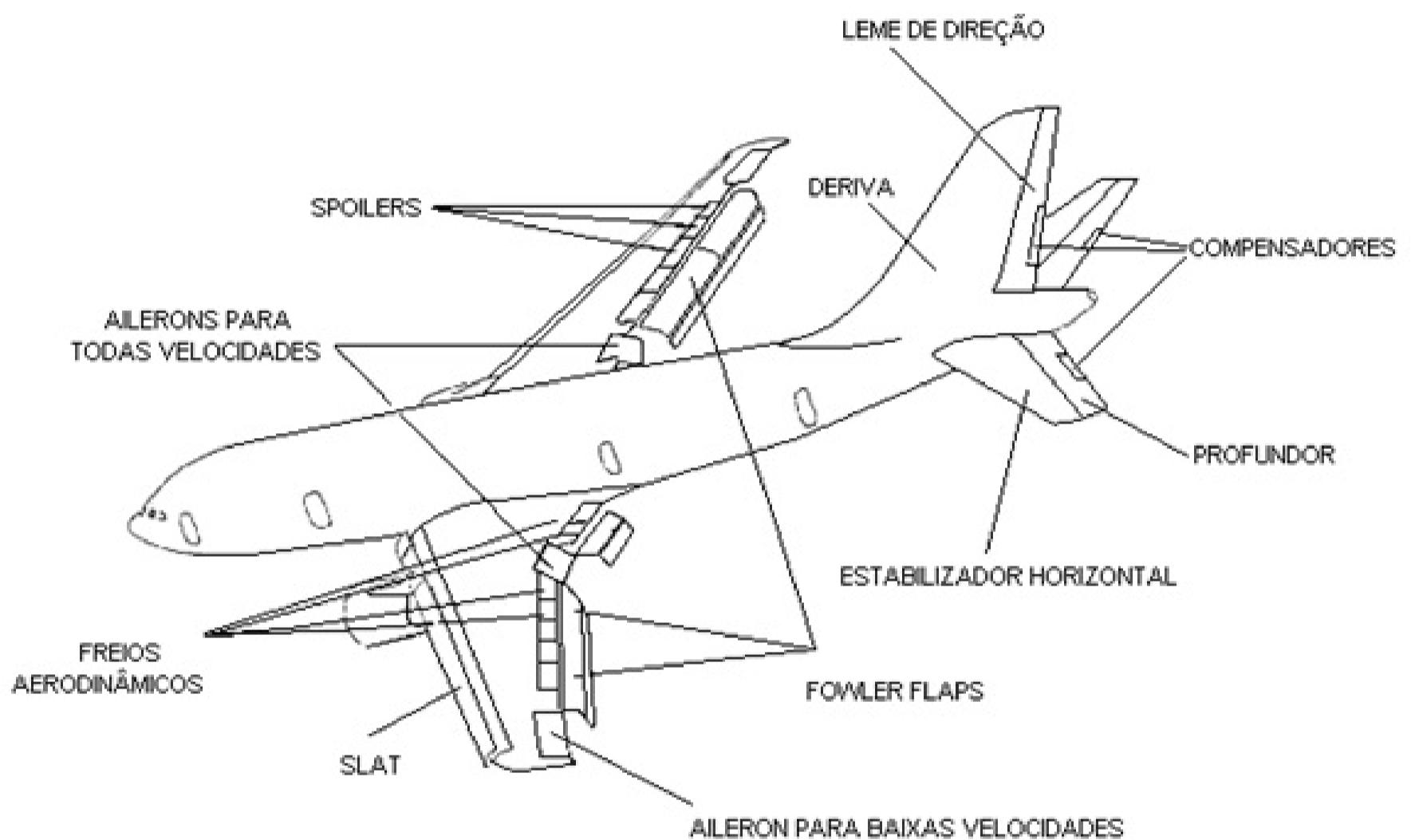


Figura 4.10 - Superfícies de Comando de Voo de uma aeronave comercial

## Superfícies de Comando Principais

Os ailerons, profundores (elevators) e lemes de direção (rudders) constituem as superfícies de controle principais.

Os ailerons são unidos ao bordo de fuga das asas, o profundor ao estabilizador horizontal e o leme de direção à deriva.

O leme de direção comanda o avião direcionalmente, em torno de seu eixo vertical ou de guinada; o leme de profundidade ou profundor comanda o avião em torno de seu eixo lateral ou de arfagem e os ailerons comandam o avião em torno de seu eixo longitudinal ou de rolamento.

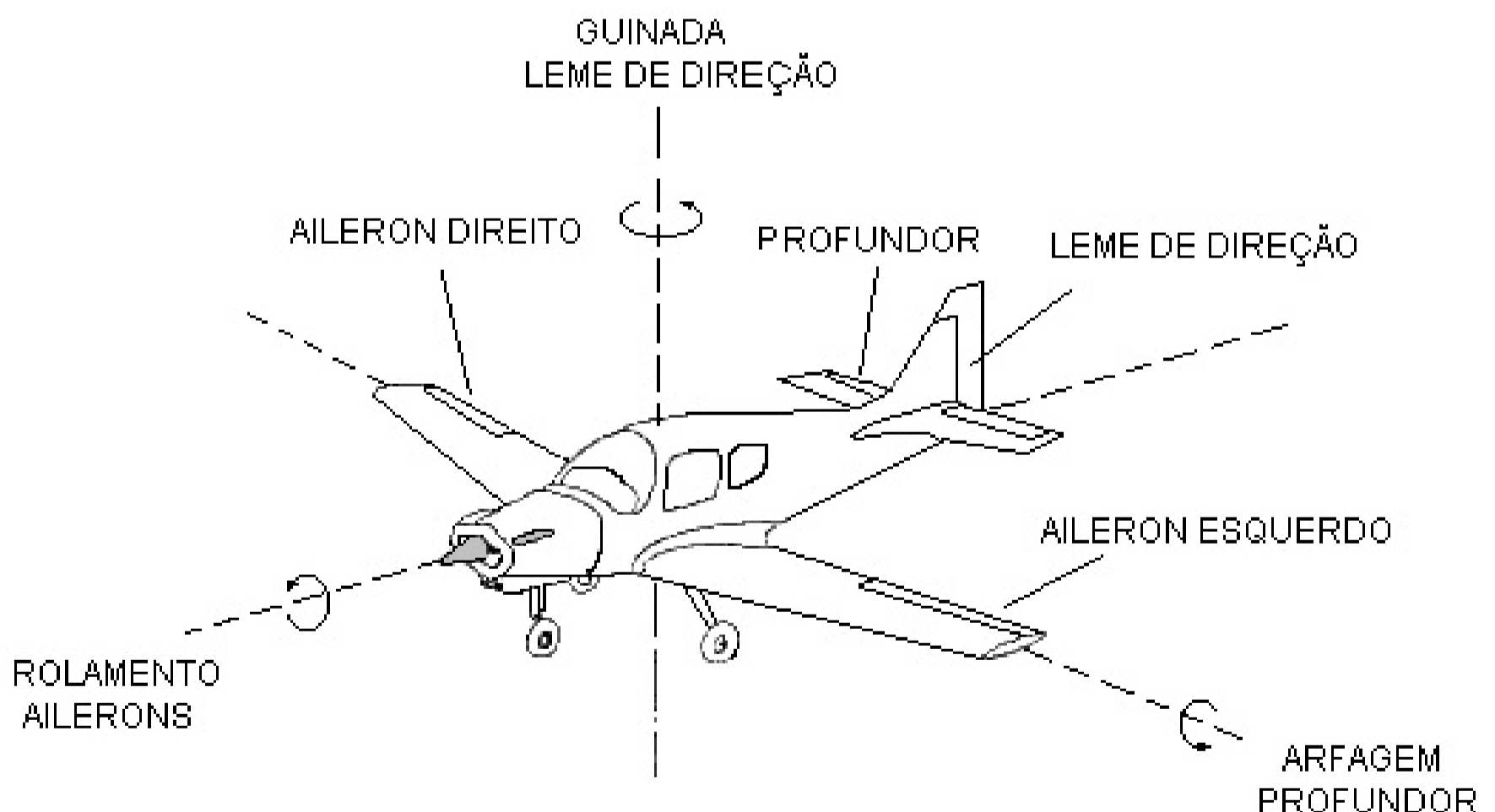


Figura 4.11 - Comandos de uma aeronave

## Ailerons

Os ailerons são localizados no bordo de fuga das asas, próximo das pontas. Em aviões mais velozes, alto subsônicos ou supersônicos, encontramos ailerons de alta velocidade, colocados mais próximos à fuselagem, na raiz das asas. Eles são conectados de tal modo que o movimento do manche ou volante produz, simultaneamente, o abaixamento de um aileron e o levantamento do outro, provocando o movimento de rolamento do avião.

O aileron é acionado, quase sempre, em coordenação com o movimento do leme de direção, quando se deseja uma trajetória curva para a aeronave, sem derrapagens. Para isso, é desejável que haja maior arrasto na asa que abaixa durante a curva. Esse maior arrasto é obtido com a maior deflexão de aileron para cima do que para baixo.

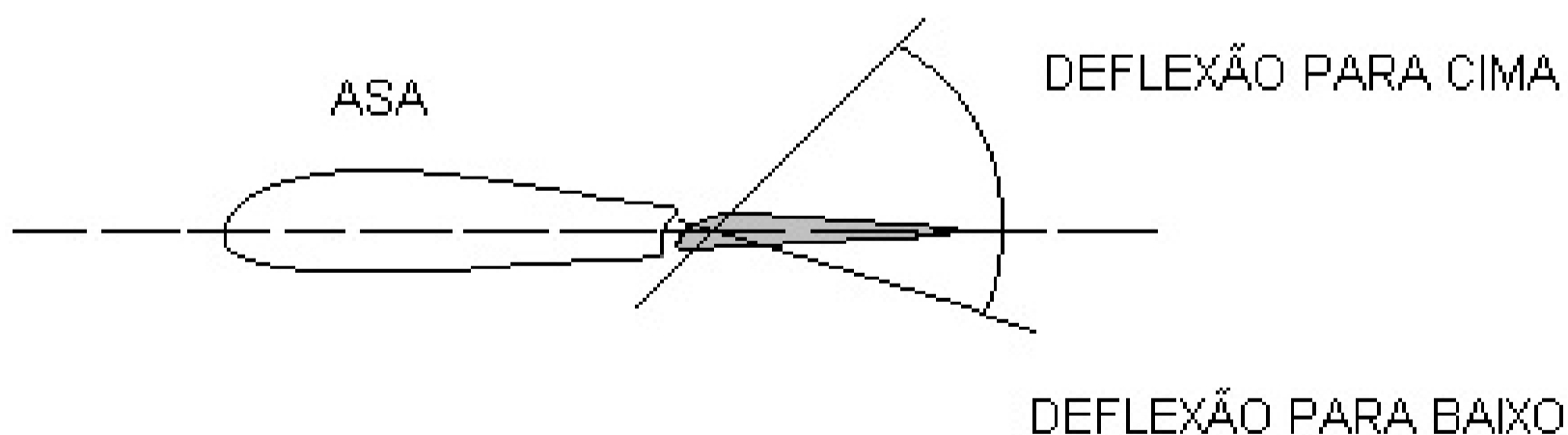


Figura 4.12 - Aileron

O mecanismo diferencial que permite um maior ângulo do aileron para cima do que para baixo, pode ser esquematizado da maneira abaixo:

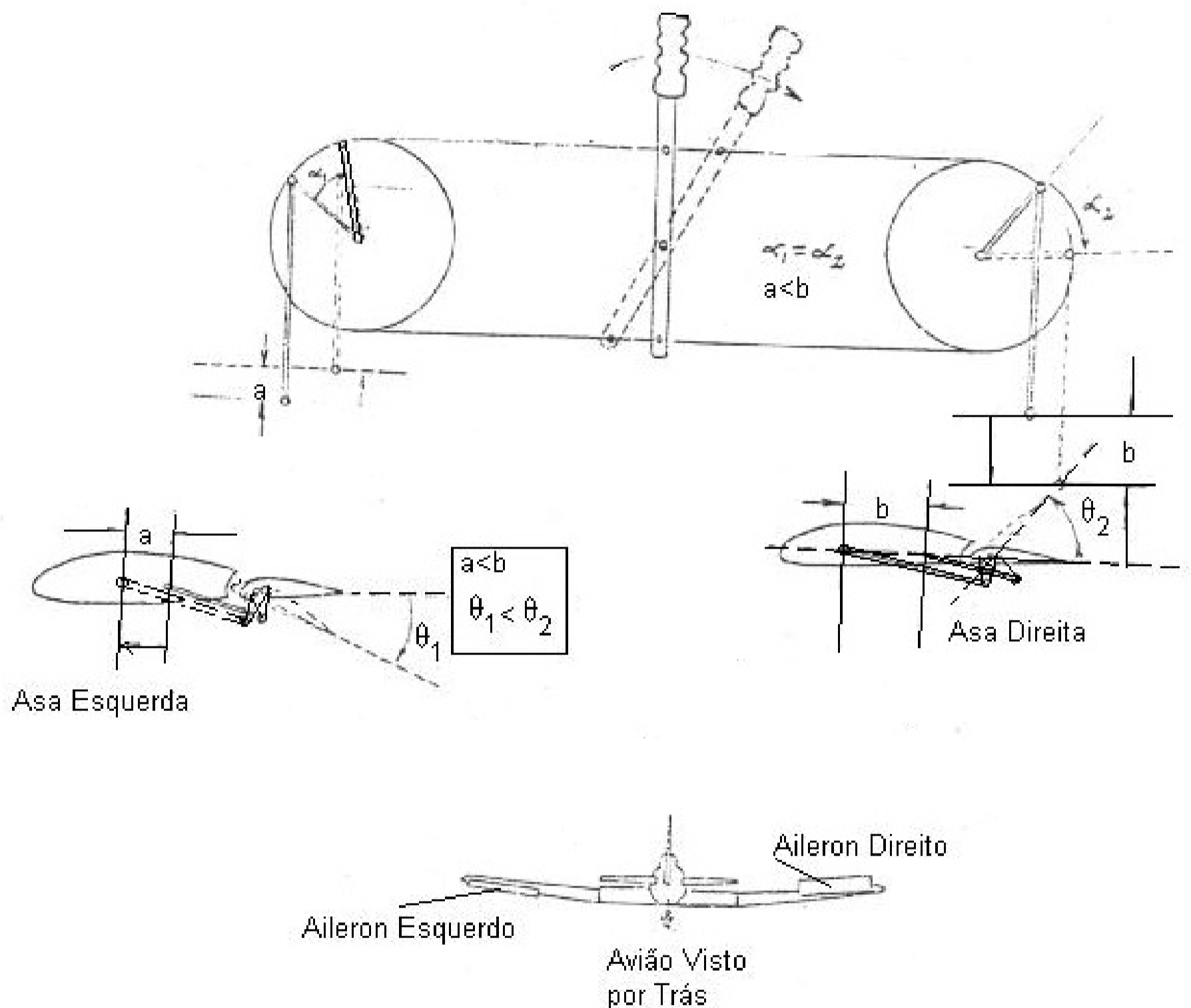


Figura 4.13 - Comando diferencial dos ailerons

## Aileron Active

Da aerodinâmica, sabemos que as asas de maior alongamento, como as dos planadores, apresentam menor arrasto induzido.

Em aviões de altas velocidades ou sujeitos a altos fatores de carga, um grande alongamento nas asas exigiria que a estrutura, principalmente próximo e na raiz da asa, fosse muito reforçada, o que acarretaria em aumento do peso da aeronave.

Em alguns tipos de aeronaves comerciais da década de 80, como o L-1011 Tristar, foram utilizadas superfícies móveis chamadas ailerons activos, que têm por finalidade diminuir automaticamente os esforços aerodinâmicos sobre as pontas das asas (mais alongadas), nas ocasiões críticas em que as cargas aerodinâmicas estiverem levando a estrutura aos valores limites de tensão.

O menor arrasto induzido de asas com maior alongamento permite uma economia de combustível da ordem de 3 a 5%.

## Elevons

Em aviões de asa delta, principalmente, encontramos na mesma posição relativa do aileron convencional, as superfícies de controle designadas elevons, que executam simultaneamente, as funções de ailerons e profundos.



## Profundores (ou lemes de profundidade)

Os profundores são articulados ao bordo de fuga dos estabilizadores horizontais, possibilitando o movimento de arfagem, em torno do eixo lateral da aeronave.

Obs.: cabrar = levantar o nariz do avião e picar ou mergulhar = abaixar o nariz do avião.

O movimento do manche ou volante para trás provoca a deflexão para cima do profundor, abaixando a cauda do avião e, por conseguinte, causando a subida do avião.

O mecanismo de acionamento do profundor está exposto, de maneira simplificada, na Figura 4.14.

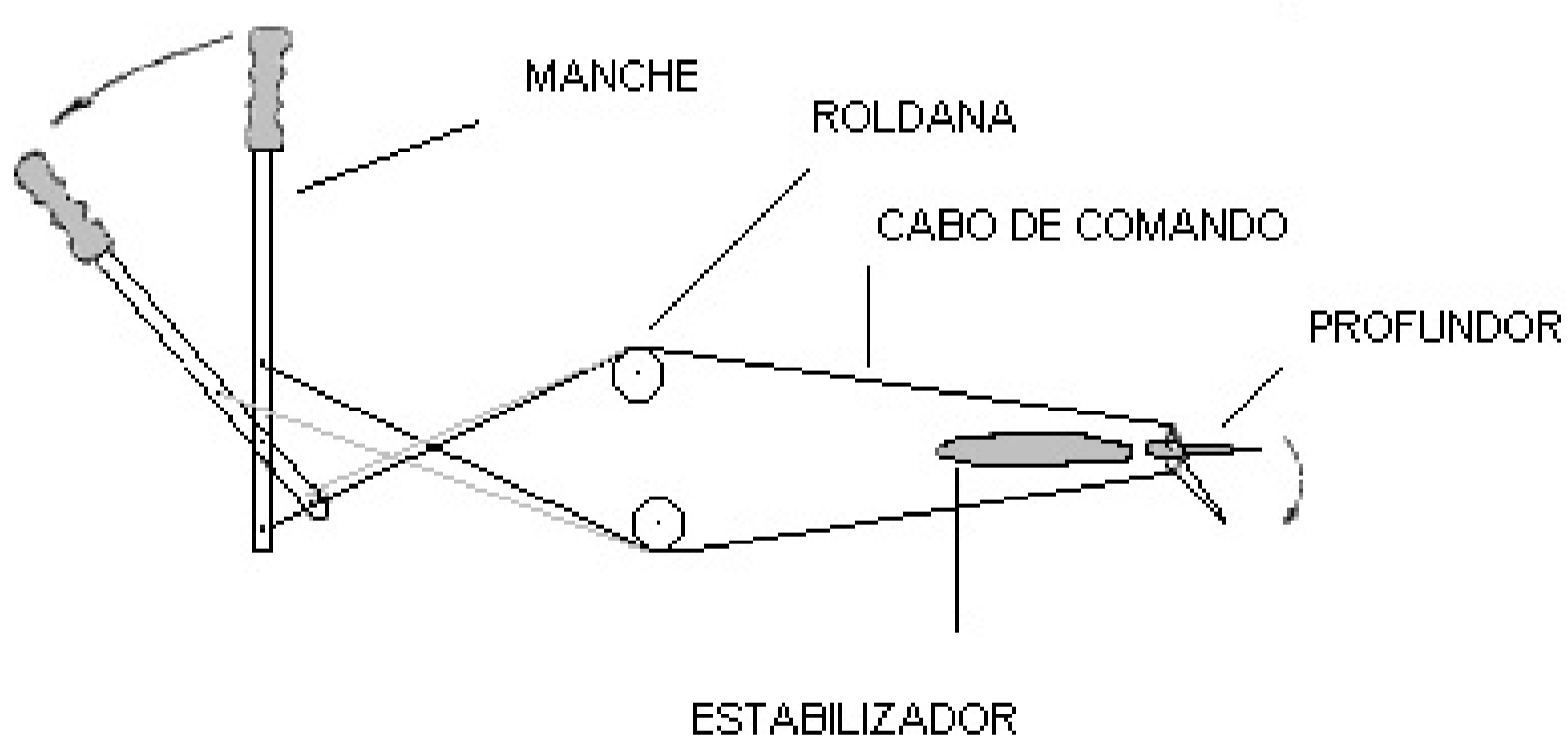


Figura 4.14 - Comando de profundor

Como, normalmente, é necessária mais força para fazer o avião subir do que descer, na maioria das aeronaves o número máximo de graus que o profundor pode ser levantado é consideravelmente maior do que o número máximo de graus que ele pode ser baixado (Exemplo típico: 27° para cima e 13° para baixo).

## Leme de Direção

O leme de direção é articulado no estabilizador vertical (ou deriva) e controla os movimentos do avião em torno do eixo vertical (ou de guinada).

Quando o pedal direito é empurrado para frente e, conseqüentemente, o esquerdo vai para trás, aciona o leme de direção para a direita e, como resultado, o avião gira para direita.

PEDAL (LADO DIREITO)

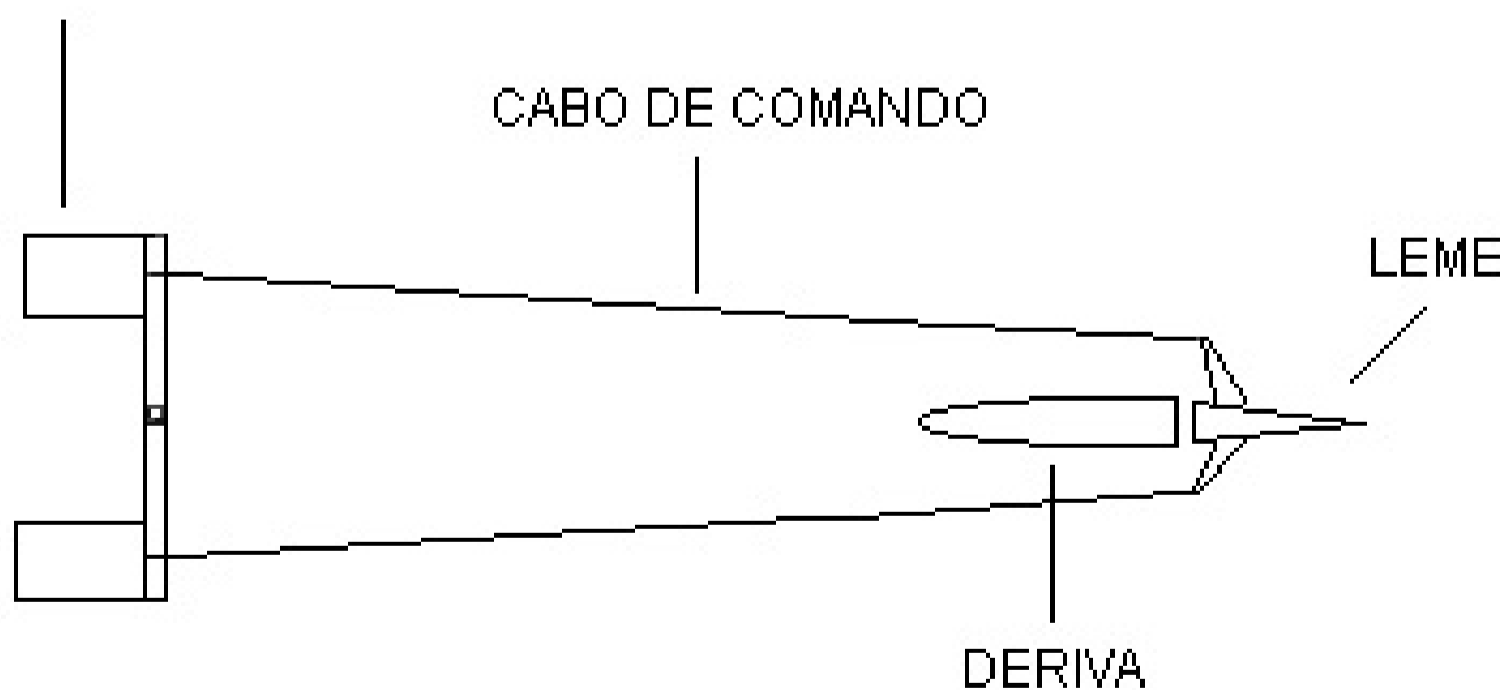


Figura 4.15 - Comando do leme

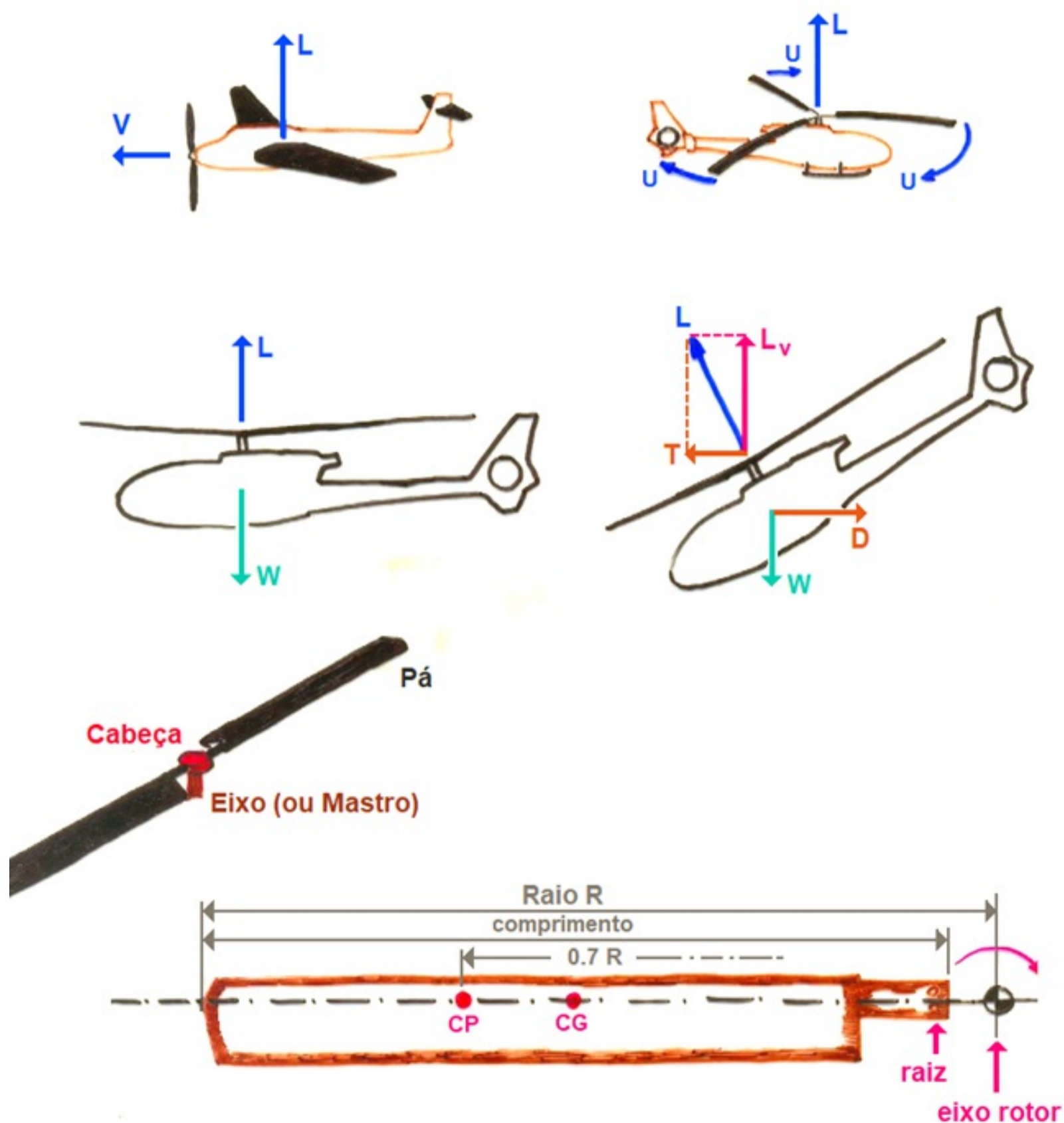
As deflexões máximas do leme de direção são iguais, tanto para esquerda como para a direita (Exemplo típico: 22° para esquerda e 22° para direita).

## Helicópteros

Um helicóptero tem um ou mais rotores motorizados em vez de asas fixas. Ele pode decolar e pousar verticalmente, mover-se em qualquer direção em um plano lateral ou pairar em um só lugar. A sustentação desenvolvida por uma asa fixa ou rotativa é função de dois parâmetros: o ângulo de ataque da asa e a velocidade do ar em relação à asa.

Para obter a sustentação necessária para o voo em uma aeronave convencional, a aeronave deve ter um movimento para frente. No caso do helicóptero, esse movimento para frente é replicado pela rotação das pás do rotor; quando o ângulo de ataque atinge um valor adequado, a sustentação supera o peso do helicóptero. A aeronave então pode decolar – na vertical! Para avançar, para trás ou para os lados, o piloto inclina o disco dos rotores na direção desejada. Isso é feito pelo que é conhecido como comando de passo cíclico - mudando o passo de cada pá uma vez por revolução.

Mais particularmente, o ângulo de fixação de cada pá é aumentado cada vez que ele está apontando na direção oposta à qual o piloto quer ir, criando temporariamente mais empuxo ou tração do que as outras pás. O empuxo desenvolvido pelo rotor pode, na verdade, ser representado em uma componente vertical (a força que mantém o helicóptero no ar) e um componente lateral (a força que move o helicóptero para frente, para trás ou para os lados).



Cada pá pode girar em torno de seu eixo longitudinal e seu passo é alterado ciclicamente, através de um sistema de ligação, por uma placa oscilante que gira em torno do eixo e permite que as pás girem quando o rotor gira.

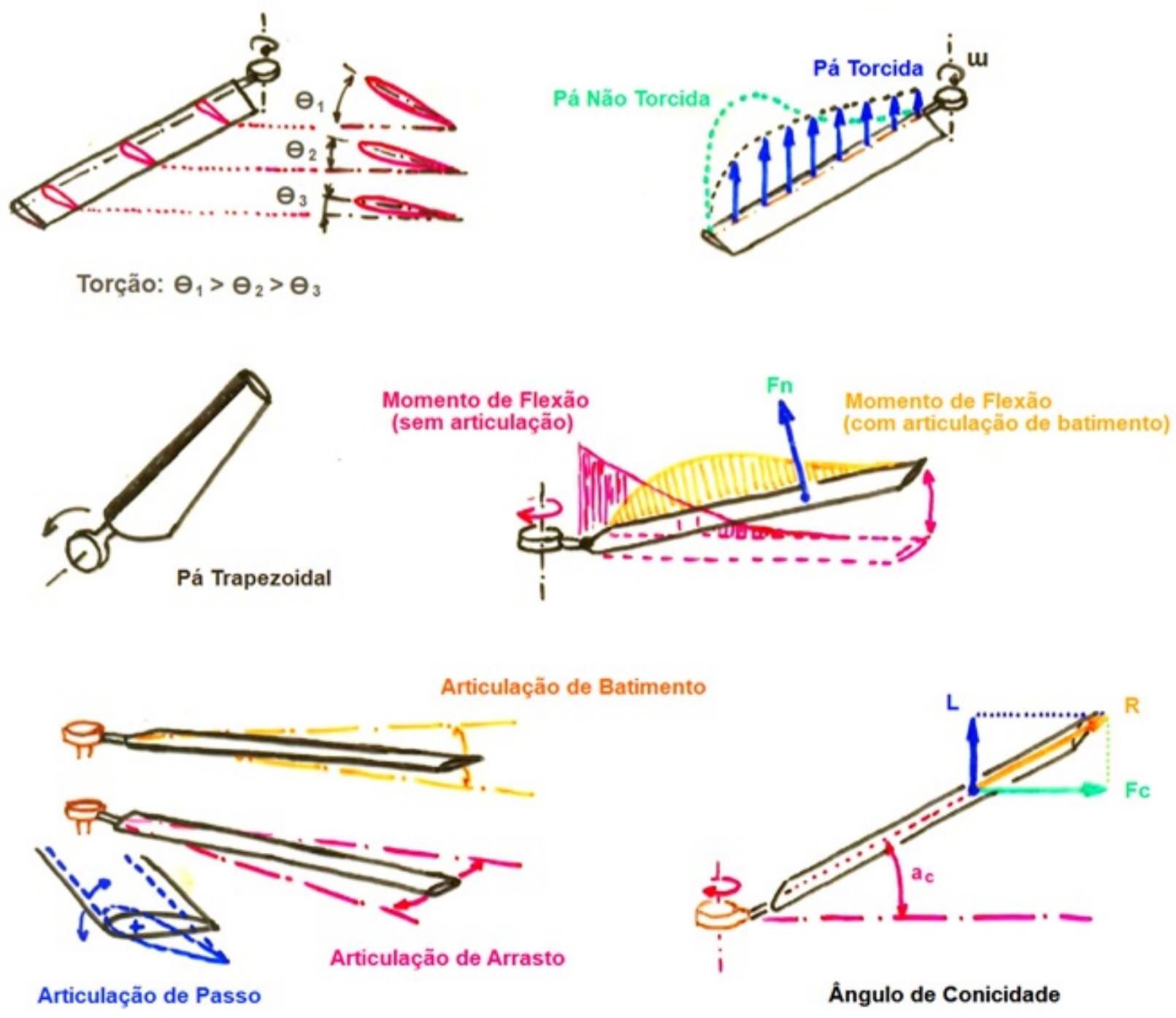
## **Articulações de Batimento e de Arrasto**

A pá se prende à cabeça do rotor através das chamadas articulações. Se não houvesse articulações, a inclinação do plano de rotação das pás do rotor em relação ao helicóptero causaria grandes variações na velocidade das pás. Isso produziria tensões extremas nas pás - essas tensões são atenuadas ou suprimidas pela fixação articulada. O movimento em torno da articulação permite que a pá gire a uma velocidade constante, independentemente de quanto o rotor está inclinado.

No movimento para frente do helicóptero, a velocidade da rotação da pá e a velocidade do movimento geral para frente são somadas no lado do avanço do rotor; no lado em retirada, eles são subtraídos um do outro. Isso significa que, à medida que o rotor gira, uma das pás se move significativamente mais rápido que a outra (em relação ao ar ao redor delas). Se as pás do rotor estivessem fixadas rigidamente ao eixo, a sustentação variaria ciclicamente e faria o helicóptero rolar.

Isso é evitado pelas articulações que permitem que as pás do rotor "batam" ciclicamente quando giram (Articulação de batimento).

A rotação do rotor tende a fazer com que a fuselagem da aeronave gire na direção oposta (com base no princípio de ação e reação). Para evitar isso, o helicóptero de rotor único é equipado com um rotor de cauda ou rotor traseiro, produzindo um empuxo lateral capaz de anular ou contrariar essa tendência. Alternativamente, os helicópteros podem ter dois rotores que giram em sentidos opostos (contra-rotativos) e, portanto, contrabalançam um ao outro.



# Rogério Ribeiro

Engenheiro Mecânico Aeronáutico formado pela Universidade Federal de Minas Gerais (1981), com mestrado e doutorado em Engenharia Mecânica também pela mesma universidade. Lecionou nos cursos de Engenharia Mecânica/Mecânica

Aeronáutica/Aeroespacial por mais de 34 anos. Vai trazer para o Portal uma visão prática sobre manutenção de aeronaves, focando nos conceitos fundamentais que qualquer estudante de engenharia deve saber para trabalhar no setor aeronáutico.





*Engenharia*  
**Aeronáutica**