



Diversidade, inclusão e formação

SÉRIE

ASAS

DO CONHECIMENTO

CONSTRUÇÃO DE AERONAVES





A Agência Nacional de Aviação Civil (Anac) criou a série “Asas do Conhecimento” com o objetivo de disponibilizar manuais teóricos sobre temas aeronáuticos para interessados em ingressar em profissões da aviação civil. As apostilas estão disponíveis para acesso no [portal da Anac](#).

O projeto faz parte do Asas para Todos, programa estratégico da Agência que fomenta a diversidade, a inclusão, a capacitação e a formação no setor aéreo brasileiro.

As apostilas são baseadas em materiais da autoridade de aviação civil norte-americana, a *Federal Administration Aviation (FAA)*.

CONSTRUÇÃO DE AERONAVES

O termo aeronave significa um dispositivo que é usado ou que se pretenda usar para voar na atmosfera, capaz de transportar pessoas e/ou coisas de acordo com o atual Regulamento Brasileiro de Aviação Civil nº 1, Definições e Abreviações. As categorias de aeronaves para certificação de aviadores incluem avião, aeronave de asas rotativas, planador, aeronave mais leve que o ar, aeronave de sustentação por potência, paraquedas motorizado e aeronave aerodesportiva. O título RBAC 1, também define avião como uma aeronave de asa fixa, acionada por motor, que é sustentada em voo pela reação dinâmica do ar contra suas asas.

Este capítulo apresenta uma breve introdução à estrutura das aeronaves e usa um avião para a maioria das ilustrações. Aeronaves Esportivas Leves (LSA), como aeronaves aerodesportivas, balão, planador, paraquedas motorizado e autogiro, têm seus próprios manuais que incluem informações detalhadas sobre aerodinâmica e controle.

PROJETO, CERTIFICAÇÃO E AERONAVEGABILIDADE

A Anac, assim como a FAA – *Federal Aviation Administration*, Autoridade de Aviação Civil dos Estados Unidos da América do Norte, certifica três tipos de produtos de aviação: aeronaves, motores de aeronaves e hélices. Cada um desses produtos foi projetado de acordo com um conjunto de padrões de aeronavegabilidade. Esses padrões fazem parte dos Regulamentos Brasileiros de Aviação Civil – RBACs.

Os padrões de aeronavegabilidade foram desenvolvidos para ajudar a garantir que os produtos de aviação sejam projetados sem características inseguras. Diferentes padrões de aeronavegabilidade se aplicam a diferentes categorias de produtos de aviação, como segue:

- Aviões de categoria normal, utilitária, acrobática e de passageiros – RBAC 23
- Aviões da categoria de transporte - RBAC 25
- Categoria normal - RBAC 27
- Categoria de transporte Rotorcraft - RBAC 29
- Balões livres tripulados - RBAC 31
- Motores de aeronaves – RBAC 33
- Hélices – RBAC 35

Algumas aeronaves são consideradas “classes especiais” de aeronaves e não têm seus próprios padrões de aeronavegabilidade, como planadores e aeronaves de sustentação por potência. Os padrões de aeronavegabilidade usados para essas aeronaves são uma combinação de requisitos dos RBACs 23, 25, 27 e 29, que a Anac e o projetista concordaram que são apropriados para a aeronave proposta.

A Anac emite um Certificado de tipo (*Type Certificate* - TC) para o produto quando está convencida de que ele está em conformidade com os padrões de aeronavegabilidade aplicáveis. Quando o TC é emitido, é gerado um relatório de dados do certificado de tipo (*Type Certificate Data Sheet*) que especifica as características operacionais e de projeto importantes da aeronave, do motor da aeronave e da hélice.

OBSERVAÇÃO SOBRE AERONAVES ESPORTIVAS LEVES

As Aeronaves Esportivas Leves não são projetadas de acordo com os padrões de aeronavegabilidade da Anac. Em vez disso, elas são projetadas de acordo com um consenso de padrões acordados no setor de aviação. A Anac concordou que o consenso de padrões é aceitável como critério de projeto para essas aeronaves. As aeronaves esportivas leves não têm necessariamente motores e hélices com certificação de tipo individual. Em vez disso, um TC é emitido para a aeronave como um todo. Ele inclui a estrutura, o motor e a hélice.

Aeronaves, motores de aeronaves e hélices podem ser fabricados um de cada vez a partir dos desenhos do projeto ou por meio de um processo de fabricação aprovado pela Anac, dependendo do tamanho e dos recursos do fabricante. Durante o processo de fabricação cada peça é inspecionada para garantir que tenha sido construída exatamente de acordo com o projeto aprovado. Essa inspeção é chamada de inspeção de conformidade.

Quando a aeronave está completa, com a fuselagem, o motor e a hélice, ela é inspecionada e a Anac emite um certificado de aeronavegabilidade para a aeronave. Ter um certificado de aeronavegabilidade significa que a aeronave completa atende aos padrões de projeto e fabricação e está em condições de voar com segurança. Esse certificado de aeronavegabilidade deve ser transportado na aeronave durante todas as operações de voo. O certificado de aeronavegabilidade permanece válido desde que a manutenção e as inspeções necessárias na aeronave sejam mantidas em dia.

Os certificados de aeronavegabilidade são classificados como “Padrão” ou “Especial”. Os certificados de aeronavegabilidade padrão são emitidos para aeronaves de categoria normal, utilitária, acrobática, de passageiros ou de transporte. Eles também são emitidos para balões livres tripulados e aeronaves designadas como “Classe Especial”.

Certificados de aeronavegabilidade Especial são emitidos para aeronave categoria leve esportiva e para a aeronave experimental (vide Instrução de Suplementar IS-21-007C). Os certificados especiais de aeronavegabilidade são emitidos para aeronaves de categoria primária, restrita e limitada e Aeronaves Esportivas Leves. Eles também são emitidos como certificados de aeronavegabilidade provisória, licenças de voo especiais e para aeronaves experimentais.

Mais informações sobre certificados de aeronavegabilidade podem ser encontradas nos próximos volumes e também no site da Anac, em www.anac.gov.br.

SUSTENTAÇÃO E AERODINÂMICA BÁSICA

Para compreender a operação dos principais componentes e subcomponentes de uma aeronave é importante entender os conceitos básicos de aerodinâmica. Este manual faz uma breve introdução à aerodinâmica.

Quatro forças atuam em uma aeronave em relação ao voo reto e nivelado, sem aceleração. Essas forças são o empuxo, a sustentação, o peso e o arrasto. [Figura 1]

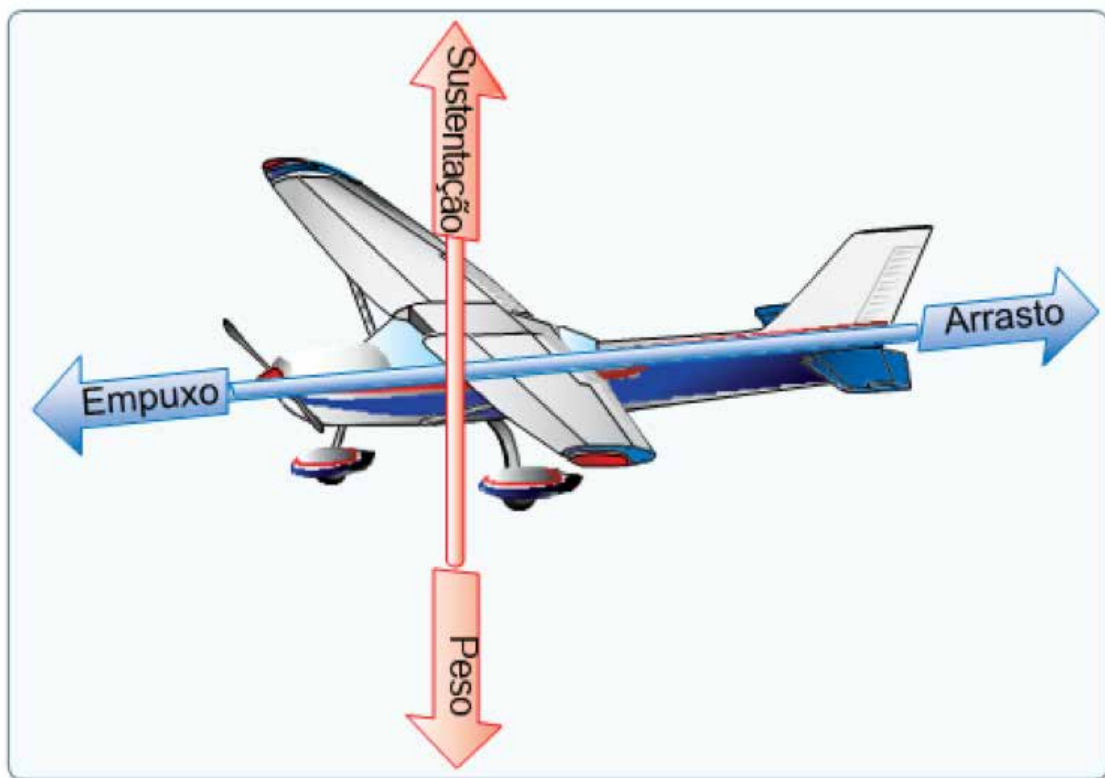


Figura 1. As quatro forças

O empuxo é a força de avanço produzida pela usina/hélice. Ela se opõe ou supera a força de arrasto. Como regra geral, diz-se que ela atua paralelamente ao eixo longitudinal. Esse nem sempre é o caso, conforme explicado mais adiante.

O arrasto é uma força de retardamento para trás e é causado pela interrupção do fluxo de ar pela asa, fuselagem e outros objetos salientes. O arrasto se opõe ao impulso e atua para trás, paralelamente ao vento relativo.

O peso é a carga combinada da própria aeronave, da tripulação, do combustível e da carga ou bagagem. O peso puxa a aeronave para baixo devido à força da gravidade. Ele se opõe à sustentação e atua verticalmente para baixo por meio do centro de gravidade (CG) da aeronave.

A sustentação se opõe à força descendente do peso, é produzida pelo efeito dinâmico do ar que atua sobre a asa e age perpendicularmente à trajetória de voo por meio do Coeficiente de Sustentação (CL) da asa.

Uma aeronave se move em três dimensões e é controlada pelo movimento em torno de um ou mais de seus eixos. O eixo longitudinal, ou de rolagem, se estende pela aeronave do nariz à cauda, com a linha passando pelo CG. O eixo lateral ou de inclinação se estende pela aeronave em uma linha que passa pelas pontas das asas, novamente passando pelo CG. O eixo vertical, ou de guinada, passa pela aeronave verticalmente, cruzando o CG. Todos os movimentos de controle fazem com que a aeronave se mova em torno de um ou mais desses eixos e permitem o controle da aeronave em voo. [Figura 2]

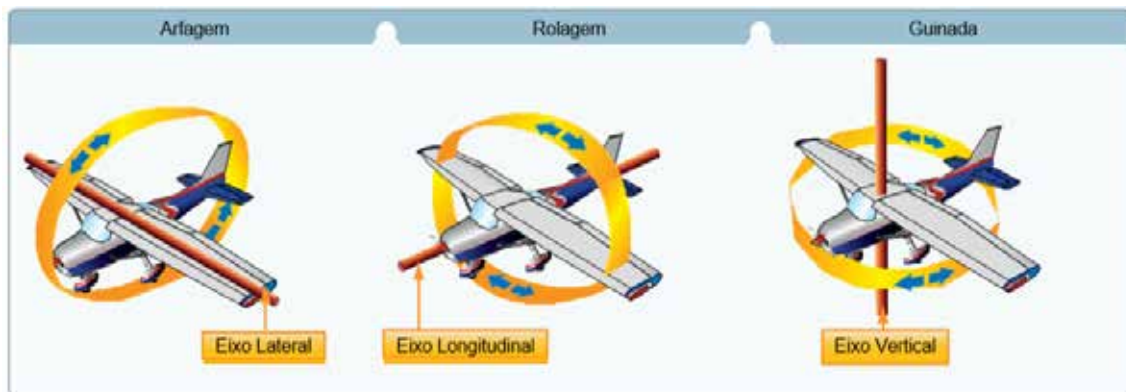


Figura 2. Ilustra o movimento de arfagem, rolagem e guinada da aeronave ao longo dos eixos lateral, longitudinal e vertical, respectivamente.

Um dos componentes mais importantes do projeto da aeronave é o CG. É o ponto específico onde se pode dizer que a massa ou o peso de uma aeronave está centralizado, ou seja, um ponto em torno do qual, se a aeronave pudesse ser suspensa ou equilibrada, ela permaneceria relativamente nivelada. A posição do CG de uma aeronave determina a estabilidade da aeronave em voo. À medida que o CG se move para trás (em direção à cauda), a aeronave se torna cada vez mais instável dinamicamente. Em aeronaves com tanques de combustível situados na frente do CG é importante que o CG seja ajustado com o tanque de combustível vazio. Caso contrário, à medida que o combustível é usado, a aeronave se torna instável. [Figura 3] O CG é calculado durante o projeto e a construção iniciais e é afetado pela instalação do equipamento de bordo, pela carga da aeronave e por outros fatores.



Figura 3. Centro de gravidade(CG).

COMPONENTES PRINCIPAIS

Embora os aviões sejam projetados para diversas finalidades, a maioria deles têm os mesmos componentes principais. [Figura 4] As características gerais são amplamente determinadas pelos objetivos originais do projeto. A maioria das estruturas de aviões inclui fuselagem, asas, empenagem, trem de pouso e motor.

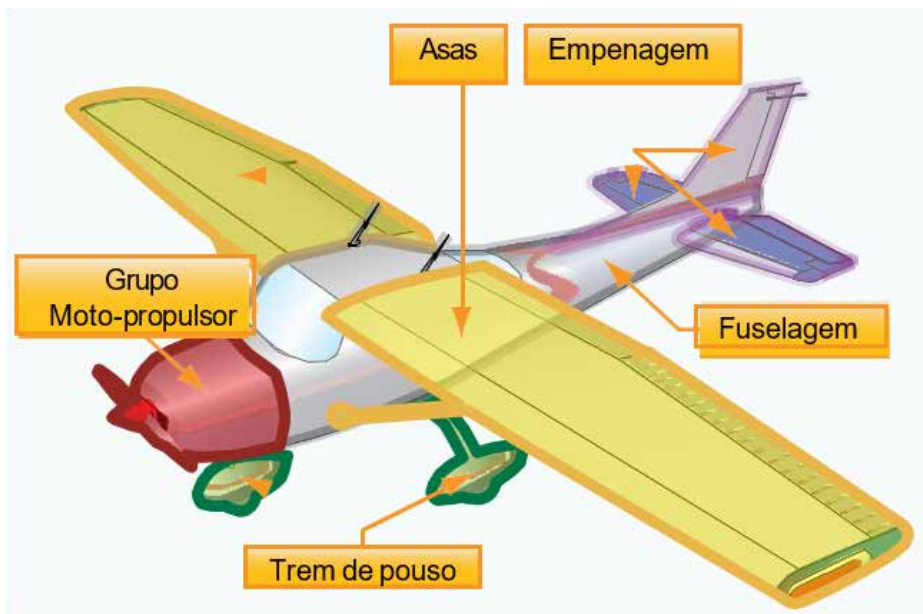


Figura 4. Componentes do avião.

FUSELAGEM

A fuselagem é o corpo central de um avião e foi projetada para acomodar a tripulação, os passageiros e a carga. Ela também fornece a conexão estrutural para as asas e o conjunto da cauda. Os tipos mais antigos de projeto de aeronaves utilizavam uma estrutura de treliça aberta construída com tubos de madeira, aço ou alumínio. [Figura 5] Os tipos mais populares de estruturas de fuselagem usados nas aeronaves atuais são o monocoque (francês para “concha única”) e o semimonocoque. Esses tipos de estrutura são discutidos em mais detalhes na seção de construção de aeronaves, mais adiante neste manual.

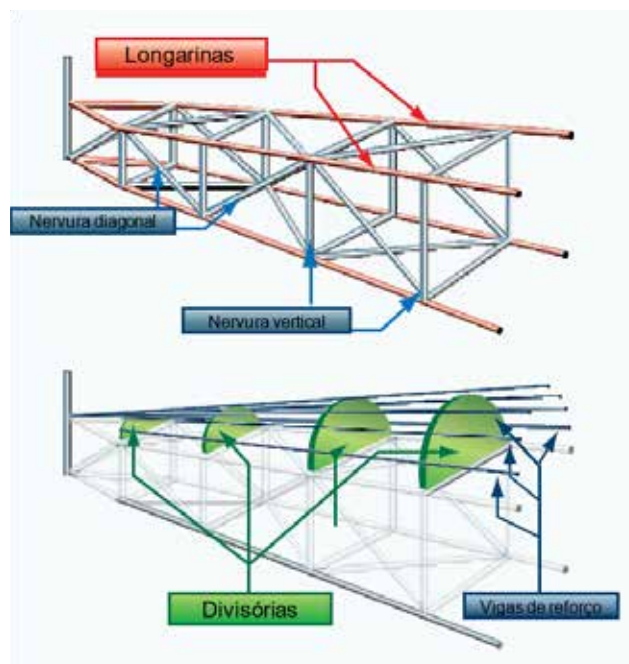


Figura 5. Estrutura da fuselagem tipo treliça.

ASAS

As asas são aerofólios fixados em cada lado da fuselagem e são as principais superfícies que sustentam o avião em voo.

Há vários projetos, tamanhos e formatos de asas usados por diversos fabricantes. Cada uma atende a uma determinada necessidade com relação ao desempenho esperado para o avião específico.

As asas podem ser fixadas na parte superior, média ou inferior da fuselagem. Esses designs são chamados de asa alta, média e baixa, respectivamente. O número de asas também pode variar. Os aviões com um único conjunto de asas são chamados de monoplanos, enquanto aqueles com dois conjuntos são chamados de biplanos. [Figura 6]



Figura 6. Monoplano (esquerda) e biplano (direita).

Muitos aviões de asa alta têm suportes externos, ou suportes de asa, que transmitem as cargas de voo e pouso através dos suportes para a estrutura principal da fuselagem. Como os suportes da asa geralmente são fixados aproximadamente na metade da asa, esse tipo de estrutura de asa é chamado de semicantilever. Alguns aviões de asa alta e a maioria dos aviões de asa baixa têm uma asa totalmente cantilever projetada para suportar as cargas sem escoras externas.

As principais partes estruturais da asa são as longarinas, as nervuras e as vigas de reforço. [Figura 7] Elas são reforçadas por treliças, vigas em I, tubos ou outros dispositivos, incluindo o revestimento. As nervuras da asa determinam a forma e a espessura da asa (aerofólio). Na maioria dos aviões modernos, os tanques de combustível são parte integrante da estrutura da asa ou consistem em contêineres flexíveis montados dentro da asa.

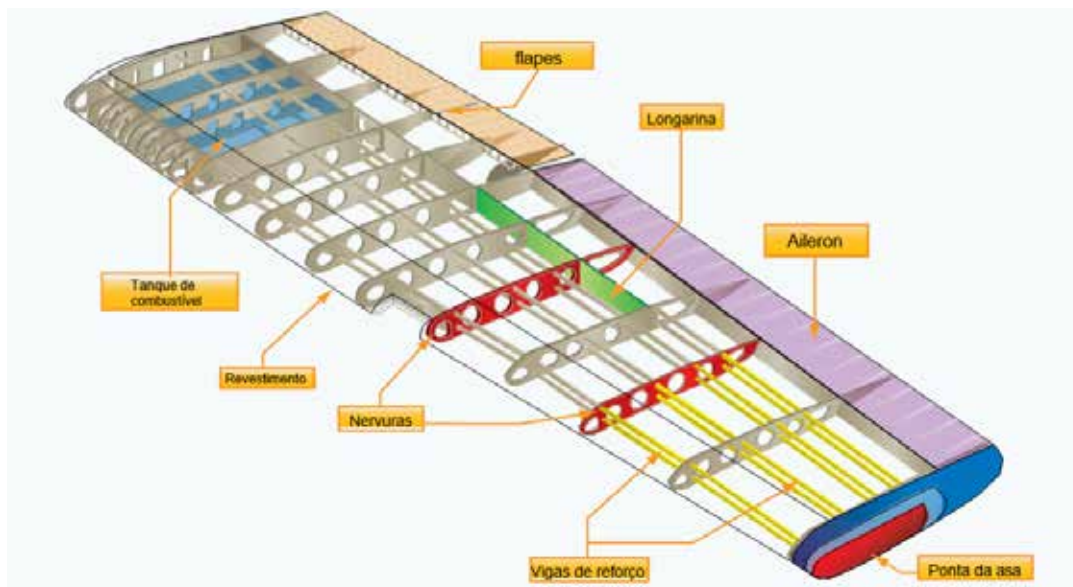


Figura 7. Componentes da asa.

Presos à parte traseira ou bordas de fuga das asas estão dois tipos de superfícies de controle conhecidas como ailerons e flaps. Os ailerons se estendem do ponto médio de cada asa para fora, em direção à ponta, e se movem em direções opostas para criar forças aerodinâmicas que fazem o avião rolar. Os flaps se estendem para fora da fuselagem até próximo ao ponto médio de cada asa. Normalmente, os flaps ficam nivelados com a superfície da asa durante o voo de cruzeiro. Quando estendidos, os flaps se movem simultaneamente para baixo para aumentar a força de sustentação da asa para decolagens e pousos.[Figura 8]

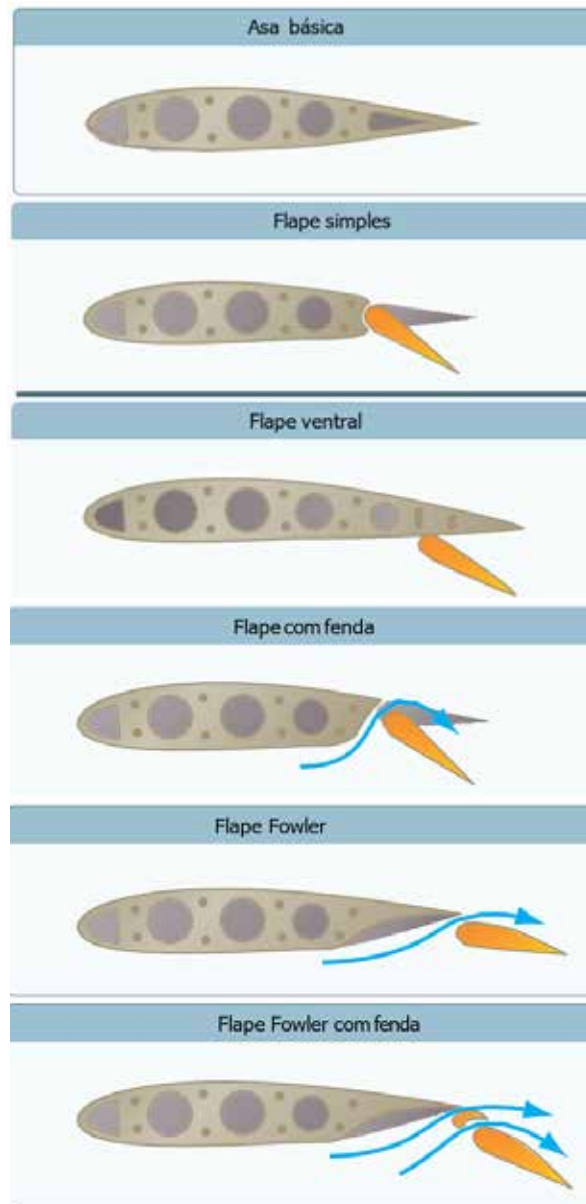


Figura 8. Tipos de flape.

TIPOS ALTERNATIVOS DE ASAS

Tipos alternativos de asas são frequentemente encontrados em aeronaves. A forma e o design de uma asa dependem do tipo de operação para a qual ela foi projetada e é adaptado a tipos específicos de voo.



Figura 9. Aeronave aerodesportiva que usa o deslocamento de peso para controle.

EMPENAGEM

A empenagem inclui todo o grupo da cauda e consiste em superfícies fixas, como o estabilizador vertical e o estabilizador horizontal. As superfícies móveis incluem o leme, o profundor e um ou mais compensadores. [Figura 10]

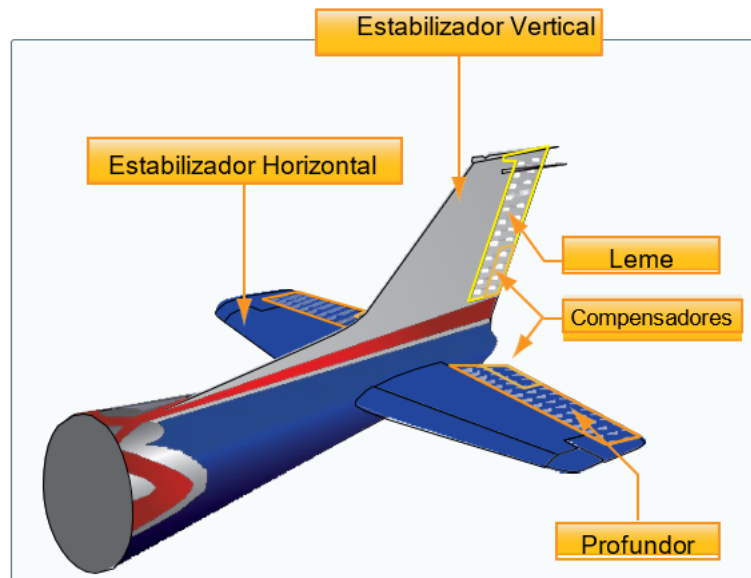


Figura 10. Componentes da empenagem.

O leme é fixado na parte traseira do estabilizador vertical. Durante o voo, ele é usado para mover o nariz do avião para a esquerda e para a direita. O profundor, que é fixado na parte traseira do estabilizador horizontal, é usado para mover o nariz do avião para cima e para baixo durante o voo. Os compensadores são pequenas partes móveis do bordo de fuga da superfície de controle.

Esses compensadores móveis, que são controlados a partir da cabine de comando, reduzem as pressões de controle. Os compensadores podem ser instalados nos ailerons, no leme e/ou no profundor.

Um segundo tipo de projeto de empenagem não requer um profundor. Em vez disso, ele incorpora um estabilizador horizontal de peça única que gira a partir de um ponto de articulação central. Esse tipo de projeto é chamado de estabilizador e é movido usando a roda de controle, da mesma forma que o profundor é movido. Por exemplo, quando um piloto puxa a roda de controle para trás, o estabilizador gira de forma que o bordo de fuga se mova para cima. Isso aumenta a carga aerodinâmica da cauda e faz com que o nariz do avião se mova para cima. Os estabilizadores têm uma aba antiservo que se estende pelo bordo de fuga. [Figura 11]

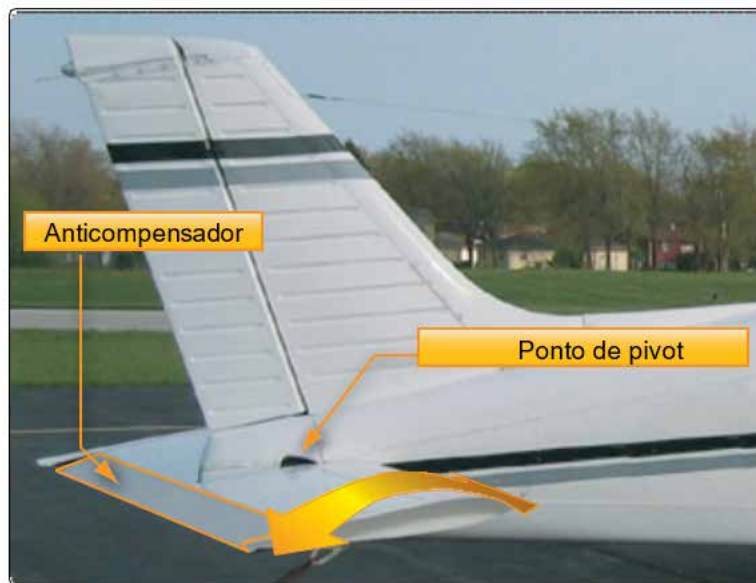


Figura 11. Componentes do estabilizador

A aba do antiservo se move na mesma direção do bordo de fuga do estabilizador e ajuda a tornar o estabilizador menos sensível. A aba antiservo também funciona como uma aba de compensação para aliviar as pressões de controle e ajuda a manter o estabilizador na posição desejada.

TREM DE POUSO

O trem de pouso é o principal suporte do avião quando estacionado, taxiando, decolando ou pousando. O tipo mais comum de trem de pouso consiste em rodas, mas os aviões também podem ser equipados com flutuadores para operações na água ou esquis para pouso na neve. [Figura 12]



Figura 12. Tipos de trem de pouso: flutuadores (em cima), esquis (no meio) e rodas (embaixo).

O trem de pouso com rodas consiste em três: duas rodas principais e uma terceira roda posicionada na parte dianteira ou traseira do avião. O trem de pouso com uma roda montada na traseira é chamado de trem de pouso convencional.

Os aviões com trem de pouso convencional às vezes são chamados de aviões com roda traseira. Quando a terceira roda está localizada no nariz, ela é chamada de roda do nariz, e o projeto é chamado de trem triciclo. Uma roda de nariz ou roda traseira direcionável permite que o avião seja controlado em todas as operações enquanto estiver no solo. A maioria das aeronaves é dirigida com o movimento dos pedais do leme, seja na roda dianteira ou traseira. Além disso, algumas aeronaves são dirigidas por meio de frenagem diferencial.

O MOTOR

O grupo motopropulsor geralmente inclui o motor e a hélice. A principal função do motor é fornecer a potência para girar a hélice. Ele também gera energia elétrica, fornece uma fonte de vácuo para alguns instrumentos de voo e, na maioria dos aviões monomotores, fornece uma fonte de calor para o piloto e os passageiros.[Figura 13] O motor é coberto por uma carenagem ou uma nacele, que são tipos de compartimentos cobertos. A finalidade da carenagem ou da nacele é agilizar o fluxo de ar ao redor do motor e ajudar a resfriá-lo, canalizando o ar ao redor dos cilindros.

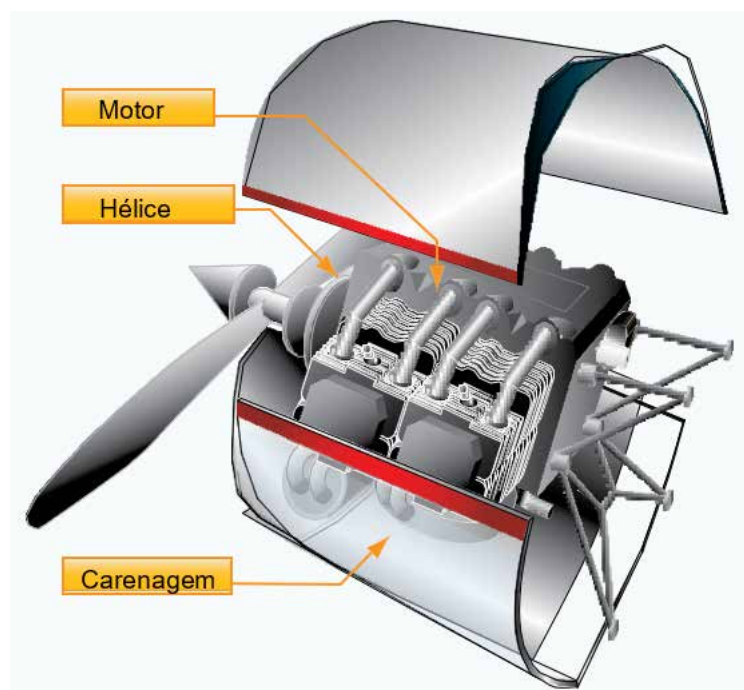


Figura 13. Compartimento do motor.

A hélice, montada na frente do motor, converte a força de rotação do motor em empuxo, uma força de ação para frente que ajuda a mover o avião no ar. Uma hélice é um aerofólio rotativo que produz empuxo por meio de ação aerodinâmica. Uma área de alta pressão é formada na parte traseira do aerofólio da hélice e uma baixa pressão é produzida na face da hélice, semelhante à forma como a sustentação é gerada por um aerofólio usado como superfície de sustentação ou asa. Esse diferencial de pressão desenvolve o empuxo da hélice, que, por sua vez, impulsiona o avião para frente. Os motores podem, juntamente com a hélice na parte traseira, ser virados para serem propulsores.

Há dois fatores importantes envolvidos no projeto de uma hélice que afetam sua eficácia. O ângulo de uma pá, conforme medido contra o cubo da hélice, mantém o Ângulo de Ataque (AOA) relativamente constante ao longo da extensão da pá, reduzindo ou eliminando a possibilidade de estol. A quantidade de sustentação produzida pela hélice está diretamente relacionada ao AOA, que é o ângulo no qual o vento relativo encontra a pá. O AOA muda continuamente durante o voo, dependendo da direção da aeronave.

A arfagem é definida como a distância que uma hélice percorreria em uma revolução se estivesse girando em um sólido. Esses dois fatores se combinam para permitir a medição da eficiência da hélice. As hélices geralmente são adaptadas a uma combinação específica de aeronave/planta motriz para obter a melhor eficiência em um determinado ajuste de potência, e elas puxam ou empurram dependendo de como o motor está montado.

SUBCOMPONENTES

Os subcomponentes de um avião incluem a estrutura, o sistema elétrico, os controles de voo e os freios.

A fuselagem é a estrutura básica de uma aeronave e é projetada para suportar todas as forças aerodinâmicas, bem como as tensões impostas pelo peso do combustível, da tripulação e da carga útil.

A principal função do sistema elétrico de uma aeronave é gerar, regular e distribuir energia elétrica por toda a aeronave. Há várias fontes de energia diferentes na aeronave para alimentar seus sistemas elétricos. Essas fontes de energia incluem: geradores de Corrente Alternada (CA) acionados pelo motor, Unidades Auxiliares de Energia (APUs) e energia externa. O sistema de energia elétrica da aeronave é usado para operar os instrumentos de voo, os sistemas essenciais, como o antigelo, e os serviços aos passageiros, como a iluminação da cabine.

Os controles de voo são os dispositivos e sistemas que controlam a atitude de uma aeronave e, como resultado, a trajetória de voo seguida pela aeronave. No caso de muitos aviões convencionais, os controles de voo primários utilizam superfícies articuladas com bordo de fuga chamadas de profundor para arfagem, ailerons para rolagem e leme para guinada. Essas superfícies são operadas pelo piloto na cabine de comando ou por um piloto automático.

No caso da maioria dos aviões modernos, os freios de avião consistem em várias pastilhas (chamadas de pastilhas de pinça) que são apertadas hidráulicamente umas contra as outras com um disco giratório (chamado de rotor) entre elas. As pastilhas exercem pressão sobre o rotor que está girando com as rodas. Como resultado do aumento do atrito no rotor, as rodas inerentemente diminuem a velocidade e param de girar. Os discos e as pastilhas de freio são feitos de aço, como os de um carro, ou de um material de carbono que pesa menos e pode absorver mais energia. Como os freios dos aviões são usados principalmente durante as aterrissagens e precisam absorver enormes quantidades de energia, sua vida útil é medida em aterrissagens e não em milhas.

TIPOS DE CONSTRUÇÃO DE AERONAVES

A construção de fuselagens de aeronaves evoluiu dos primeiros arranjos estruturais de treliça de madeira para estruturas de monocoque e para as atuais estruturas semimonocoque.

ESTRUTURA DE TRELIÇA

A principal desvantagem da estrutura de treliça é a falta de um formato aerodinâmico. Nesse método de construção, comprimentos de tubulação, chamados de longarinas, são soldados no lugar para formar uma estrutura bem reforçada. As escoras verticais e horizontais são soldadas às longarinas e dão à estrutura uma forma quadrada ou retangular, quando vista da extremidade. São necessárias escoras adicionais para resistir ao estresse que pode vir de qualquer direção. As longarinas e os anteparos, ou formadores, são adicionados para dar forma à fuselagem e apoiar a cobertura.

Com o avanço da tecnologia, os projetistas de aeronaves começaram a envolver os membros da treliça para otimizar o avião e melhorar o desempenho. Isso foi feito originalmente com tecido, que acabou dando lugar a metais leves, como o alumínio. Em alguns casos, o revestimento externo pode suportar todas ou a maior parte das cargas de voo. A maioria das aeronaves modernas usa uma forma dessa estrutura de pele tensionada conhecida como construção monocoque ou semimonocoque. [Figura 14]

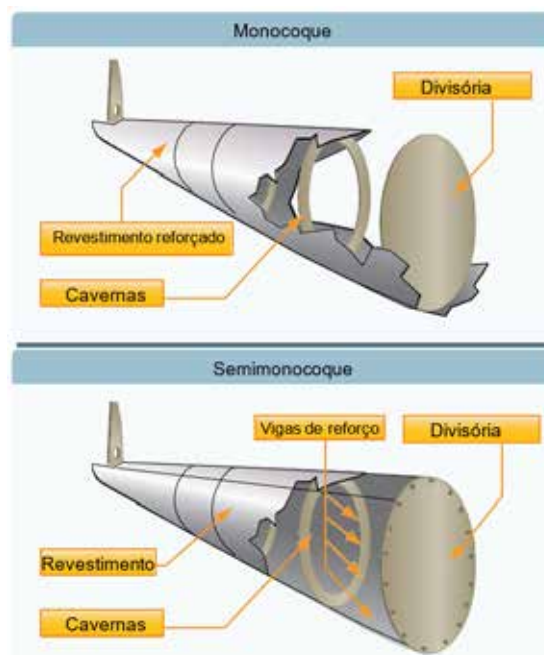


Figura 14. Design de fuselagem semimonocoque e monocoque.

MONOCOQUE

A construção monocoque usa uma pele tensionada para suportar quase todas as cargas, como uma lata de alumínio para bebidas. Embora muito forte, a construção monocoque não é muito tolerante à deformação da superfície. Por exemplo, uma latinha de bebida feita de alumínio suporta forças consideráveis nas extremidades da lata, mas se a lateral da lata for levemente deformada enquanto estiver suportando uma carga, ela entrará em colapso facilmente.

Como a maioria das tensões de torção e flexão é suportada pelo revestimento externo em vez de por uma estrutura aberta, a necessidade de contraventamento interno foi eliminada ou reduzida, economizando peso e maximizando o espaço. Um dos métodos notáveis e inovadores de usar a construção monocoque foi empregado por Jack Northrop. Em 1918, ele desenvolveu uma nova maneira de construir uma fuselagem monocoque usada no Lockheed S-1 Racer. A técnica utilizava duas meia conchas de madeira compensada moldada que eram coladas em torno de aros ou longarinas de madeira. Para construir as meia conchas, em vez de colar muitas tiras de compensado sobre uma forma, três grandes conjuntos de tiras de abeto foram embebidos em cola e colocados em um molde de concreto semicircular que parecia uma banheira. Em seguida, sob uma tampa firmemente presa, um balão de borracha foi inflado na cavidade para pressionar o compensado contra o molde. Vinte e quatro horas depois, a metade lisa da concha estava pronta para ser unida a outra para criar a fuselagem. Cada uma das duas metades tinha menos de um quarto de polegada de espessura. Embora empregada no início do período da aviação, a construção monocoque não ressurgiria por várias décadas devido às complexidades envolvidas. Exemplos cotidianos de construção monocoque podem ser encontrados em fabricação de automóveis em que o monobloco é considerado padrão na fabricação.

SEMIMONOCOQUE

A construção semimonocoque, parcial ou pela metade, usa uma subestrutura à qual o revestimento do avião é fixado. A subestrutura, que consiste em anteparos e/ou formadores de vários tamanhos e longarinas, reforça o revestimento tensionado, retirando parte da tensão de flexão da fuselagem. A seção principal da fuselagem também inclui pontos de fixação das asas e um anteparo contra fogo (*firewall*). Em aviões monomotores, o motor geralmente é fixado na parte dianteira da fuselagem. Há uma divisória à prova de fogo entre a parte traseira do motor e o convés de voo ou a cabine para proteger o piloto e os passageiros de incêndios acidentais no motor. Essa divisória é chamada de *firewall* e geralmente é feita de material resistente ao calor, como aço inoxidável. No entanto, um novo processo emergente de construção é a integração de compostos ou aeronaves feitas inteiramente de compostos.

HISTÓRIA DA CONSTRUÇÃO COM COMPOSTOS

O uso de compostos na construção de aeronaves pode ser datado da Segunda Guerra Mundial, quando o isolamento de fibra de vidro macia foi usado nas fuselagens do B-29. No final da década de 1950, os fabricantes europeus de aviões a vela de alto desempenho estavam usando fibra de vidro como estruturas primárias. Em 1965, a FAA certificou o primeiro avião totalmente em fibra de vidro na categoria normal, um planador suíço chamado Diamant HBV. Quatro anos depois, a FAA certificou um Windecker Eagle de quatro assentos e motor único na categoria normal. Em 2005, mais de 35% das novas aeronaves eram construídas com materiais compostos.

Composto é um termo amplo e pode significar materiais como fibra de vidro, tecido de fibra de carbono, tecido de Kevlar™ e misturas de todos os itens acima. A construção composta oferece duas vantagens: revestimentos e a capacidade de formar facilmente estruturas complexas curvas ou aerodinâmicas.[Figura 15]



Figura 15. Aeronave composta.

MATERIAIS COMPÓSITOS EM AERONAVES

Os materiais compósitos são sistemas de matriz reforçados com fibras. A matriz é a “cola” usada para manter as fibras unidas e, quando curada, dá forma à peça, mas as fibras carregam a maior parte da carga. Há muitos tipos diferentes de fibras e sistemas de matriz.

Em aeronaves, a matriz mais comum é a resina epóxi, que é um tipo de plástico termofixável. Em comparação com outras opções, como a resina de poliéster, o epóxi é mais resistente e tem boas propriedades em altas temperaturas. Há muitos tipos diferentes de epóxi disponíveis com uma ampla gama de propriedades estruturais, tempos e temperaturas de cura e custos.

As fibras de reforço mais comuns usadas na construção de aeronaves são a fibra de vidro e a fibra de carbono. A fibra de vidro tem boa resistência à tração e à compressão, boa resistência ao impacto, é fácil de trabalhar e é relativamente barata e facilmente disponível. Sua principal desvantagem é que ela é um pouco pesada, e é difícil fazer uma estrutura de transporte de carga de fibra de vidro mais leve do que uma estrutura de alumínio equivalente bem projetada.

A fibra de carbono é geralmente mais forte em resistência à tração e à compressão do que a fibra de vidro e tem uma rigidez de flexão muito maior. Ela também é consideravelmente mais leve que a fibra de vidro. No entanto, é relativamente fraca em termos de resistência ao impacto; as fibras são frágeis e tendem a se estilhaçar com impactos fortes. Isso pode ser muito melhorado com um sistema de resina epóxi “endurecida”, como o usado nos estabilizadores horizontais e verticais do Boeing 787. A fibra de carbono é mais cara que a fibra de vidro, mas o preço caiu devido às inovações impulsionadas pelo programa B-2 na década de 1980 e pelo trabalho do Boeing 777 na década de 1990. Estruturas de fibra de carbono muito bem projetadas podem ser significativamente mais leves do que uma estrutura de alumínio equivalente, às vezes em 30% ou mais.

VANTAGENS DOS COMPÓSITOS

A construção compósita oferece várias vantagens em relação ao metal, à madeira ou ao tecido, sendo que o fato de ser mais leve (em relação ao peso) é a característica pela qual é mais frequentemente citada. O peso mais leve nem sempre é automático. É preciso lembrar que construir uma estrutura de aeronave com compósitos não garante que ela será mais leve; isso depende da estrutura e do tipo de compósito que está sendo usado.

Uma vantagem mais importante é que uma estrutura aerodinâmica muito suave, com curvas compostas, feita de compósitos, reduz o arrasto. Esse é o principal motivo pelo qual os projetistas de planadores trocaram o metal e a madeira pelos compostos na década de 1960. Em aeronaves, o uso de compostos reduz o arrasto nas linhas de produção das aeronaves Cirrus e Columbia, o que resulta em seu alto desempenho, apesar do trem de pouso fixo. Os compósitos também ajudam a mascarar a assinatura do radar de projetos de aeronaves “stealth”, como o B-2 e o F-22. Atualmente, os compostos podem ser encontrados em aeronaves tão variadas quanto planadores e na maioria dos novos helicópteros.

A ausência de corrosão é uma terceira vantagem dos compósitos. A Boeing está projetando o 787, com sua fuselagem totalmente composta, para ter um diferencial de pressão mais alto e maior umidade na cabine do que os aviões anteriores. Os engenheiros não estão mais tão preocupados com a corrosão causada pela condensação de umidade nas áreas ocultas das peles da fuselagem, como atrás das mantas de isolamento. Isso deve resultar em menores custos de manutenção de longo prazo para as companhias aéreas.

Outra vantagem dos compósitos é seu bom desempenho em um ambiente de flexão, como nas pás de rotor de helicóptero. Os compostos não sofrem com a fadiga do metal e com o crescimento de rachaduras, como acontece com os metais. Embora seja necessária uma engenharia cuidadosa, as lâminas compostas podem ter uma vida útil consideravelmente maior do que as lâminas de metal, e a maioria dos novos projetos de helicópteros de grande porte tem todas as lâminas compostas e, em muitos casos, cubos de rotor compostos.

DESVANTAGENS DOS COMPÓSITOS

A construção composta tem seu próprio conjunto de desvantagens, sendo a mais importante a falta de prova visual de danos. Os materiais compostos reagem de forma diferente de outros materiais estruturais ao impacto e, geralmente, não há sinais óbvios de danos. Por exemplo, se um carro bater em uma fuselagem de alumínio, ele poderá amassar a fuselagem. Se a fuselagem não estiver amassada, não há dano. Se a fuselagem estiver amassada, o dano é visível e os reparos são feitos.

Em uma estrutura composta, um impacto de baixa energia, como uma batida ou a queda de uma ferramenta, pode não deixar nenhum sinal visível do impacto na superfície. Sob o local do impacto pode haver delaminações extensas, espalhando-se em uma área em forma de cone a partir do local do impacto. O dano na parte traseira da estrutura pode ser significativo e extenso, mas pode estar oculto. Sempre que alguém tiver motivos para pensar que pode ter havido um impacto, mesmo que pequeno, é melhor chamar um inspetor familiarizado com compósitos para examinar a estrutura e determinar os danos subjacentes. O aparecimento de áreas “esbranquiçadas” em uma estrutura de fibra de vidro é uma boa dica de que houve delaminação ou fratura da fibra.

Um impacto de energia média (talvez o carro batendo na estrutura) resulta em esmagamento local da superfície, que deve ser visível a olho nu. A área danificada é maior do que a área esmagada visível e precisará ser reparada. Um impacto de alta energia, como uma batida de pássaro ou granizo durante o voo, resulta em uma perfuração e em uma estrutura severamente danificada.

Em impactos de média e alta energia, o dano é visível aos olhos, mas o impacto de baixa energia é difícil de detectar. [Figura 16]

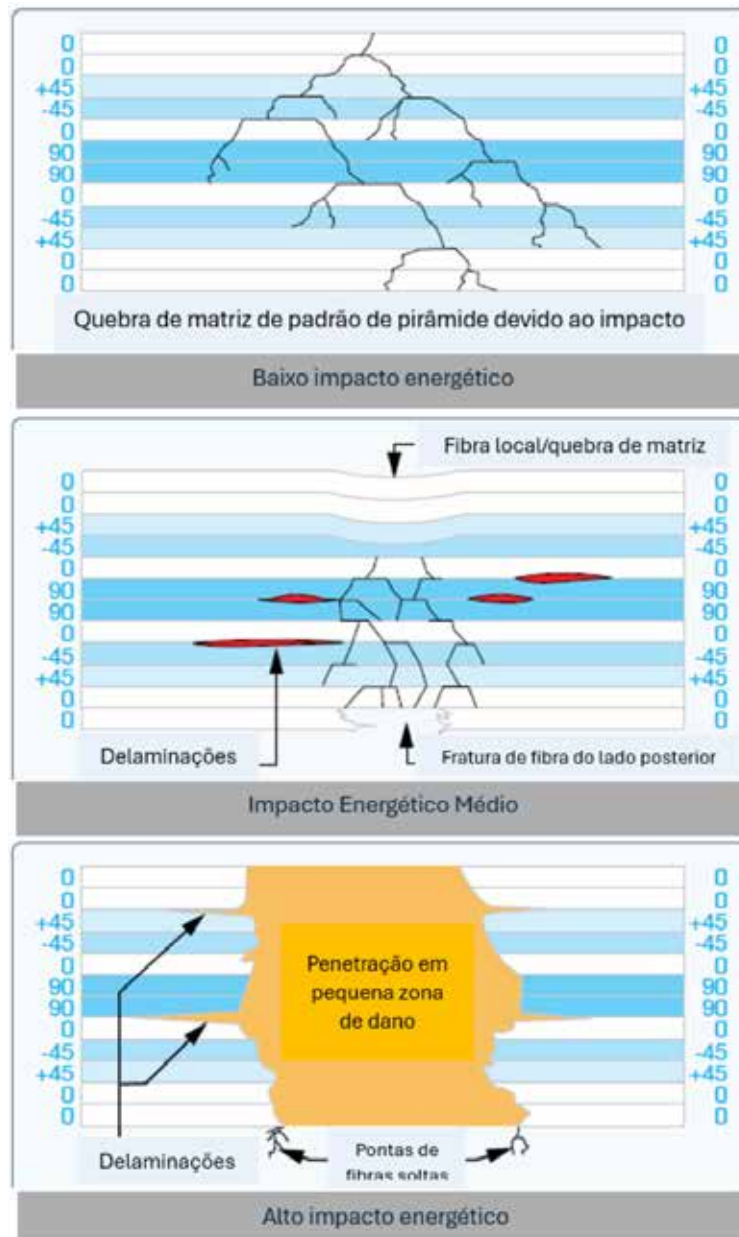


Figura 16. A energia do impacto afeta a visibilidade e a gravidade dos danos em estruturas compostas. Impactos de alta e média energia, embora graves, são fáceis de detectar. Os impactos de baixa energia podem facilmente causar danos ocultos.

Se o impacto resultar em delaminações, esmagamento da superfície ou perfuração, o reparo será obrigatório. Enquanto se aguarda o reparo, a área danificada deve ser coberta e protegida da chuva. Muitas peças compostas são compostas de camadas finas sobre um núcleo alveolar, criando uma estrutura “sanduíche”. Embora seja excelente por motivos de rigidez estrutural, essa estrutura é um alvo fácil para a entrada de água, o que pode causar mais problemas posteriormente. Um pedaço de “speed tape” sobre o furo é uma boa maneira de protegê-lo da água, mas não é um reparo estrutural. O uso de uma massa de enchimento para cobrir o dano, embora aceitável para fins estéticos, também não é um reparo estrutural.

A possibilidade de danos à resina causados pelo calor é outra desvantagem do uso de compostos. Embora “muito quente” dependa do sistema de resina específico escolhido, muitos epóxis começam a se enfraquecer acima de 150 °F. A tinta branca em compósitos é frequentemente usada para minimizar esse problema. Por exemplo, a parte inferior de uma asa pintada de preto em frente a uma rampa de asfalto preto em um dia quente e ensolarado pode chegar a 220°F. A mesma estrutura, pintada de branco, raramente ultrapassa 140°F. Como resultado, as aeronaves compostas geralmente têm recomendações específicas sobre as cores de tinta permitidas. Se a aeronave for repintada, essas recomendações deverão ser seguidas. Os danos causados pelo calor também podem ocorrer devido a um incêndio. Até mesmo um pequeno incêndio no freio, que se extingue rapidamente, pode danificar a parte inferior da asa, as pernas do trem de pouso de material composto ou o revestimento das rodas.

Além disso, os removedores químicos de tinta são muito prejudiciais aos compósitos e não devem ser usados neles. Se for necessário remover a tinta dos compósitos, somente métodos mecânicos são permitidos, como jateamento suave ou lixamento. Muitas peças compostas caras foram danificadas pelo uso de removedores de tinta e esses danos geralmente não podem ser reparados.

DERRAMAMENTO DE FLUIDOS EM COMPOSTOS

Alguns proprietários se preocupam com derramamentos de combustível, óleo ou fluido hidráulico em superfícies compostas. Em geral, isso não é um problema com os compostos modernos que usam resina epóxi. Normalmente, se o derramamento não atacar a pintura não prejudicará o composto subjacente. Algumas aeronaves usam tanques de combustível de fibra de vidro, por exemplo, nos quais o combustível entra em contato direto com a superfície composta sem o uso de selante. Se a estrutura de fibra de vidro for feita com alguns dos tipos mais baratos de resina de poliéster, pode haver um problema ao usar a combinação de gasolina automotiva com etanol misturados. Os tipos mais caros de resina de poliéster, bem como a resina epóxi, podem ser usados com gasolina automotiva, bem como com gasolina de aviação de 100 octanas (avgas) e combustível de aviação.

PROTEÇÃO CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

A proteção contra raios é uma consideração importante no projeto de aeronaves. Quando uma aeronave é atingida por um raio, uma quantidade muito grande de energia é fornecida à estrutura. Seja em uma aeronave leve de Aviação Geral ou em um avião de grande porte, o princípio básico da proteção contra raios é o mesmo. Em qualquer tamanho de aeronave, a energia do raio deve ser distribuída em uma grande área de superfície para reduzir os amperes por polegada quadrada a um nível inofensivo.

Se um raio atinge um avião de alumínio, a energia elétrica é naturalmente conduzida com facilidade pela estrutura de alumínio. O desafio é manter a energia fora dos aviônicos, sistemas de combustível, etc., até que possa ser conduzida com segurança para o mar. O revestimento externo da aeronave é o caminho de menor resistência.

Em uma aeronave composta, a fibra de vidro é um excelente isolante elétrico, enquanto a fibra de carbono conduz eletricidade, mas não tão facilmente quanto o alumínio. Portanto, é necessário adicionar mais condutividade elétrica à camada externa da pele composta. Normalmente, isso é feito com malhas metálicas finas coladas às superfícies do revestimento. As malhas de alumínio e cobre são os dois tipos mais comuns, sendo o alumínio usado em fibra de vidro e o cobre em fibra de carbono. Qualquer reparo estrutural em áreas protegidas contra raios também deve incluir a malha, bem como a estrutura subjacente.

No caso de aeronaves compostas com antenas de rádio internas, deve haver “janelas” na malha de raios na área da antena. As antenas de rádio internas podem ser encontradas em compostos de fibra de vidro porque a fibra de vidro é imperceptível às frequências de rádio, enquanto a fibra de carbono não é.

O FUTURO DOS COMPOSTOS

Nas décadas que se seguiram à Segunda Guerra Mundial, os compostos ganharam um papel importante no projeto de estruturas de aeronaves. Sua flexibilidade de projeto e resistência à corrosão, bem como as altas taxas de força/peso possíveis, sem dúvida continuarão a levar a projetos de aeronaves mais inovadores no futuro. Desde o Cirrus SR-20 até o Boeing 787, é óbvio que os compósitos encontraram um lugar na construção de aeronaves e vieram para ficar.[Figura 17]



Figura 17. Materiais compostos em aeronaves, como o Columbia 350 (em cima), o Boeing 787 (no meio) e um HH-65 da Guarda Costeira (embaixo).

INSTRUMENTAÇÃO: RUMO AO FUTURO

Até recentemente, a maioria das aeronaves Aviação Geral eram equipadas com instrumentos individuais utilizados coletivamente para operar e manobrar a aeronave com segurança. Com o lançamento do sistema *Electronic Flight Display* (EFD), os instrumentos convencionais foram substituídos por múltiplas Telas de Cristal Líquido (LCD). A primeira tela é instalada em frente à posição do piloto e é chamada de Display Primário de Voo (PFD). A segunda tela, posicionada aproximadamente no centro do painel de instrumentos, é chamada de Display Multifuncional (MFD). Essas duas telas organizam os painéis de instrumentos e aumentam a segurança. Isto foi alcançado através da utilização de instrumentos de estado sólido que apresentam uma taxa de falhas muito menor do que a da instrumentação analógica convencional.[Figura 18]



Figura 18. Tela analógica (em cima) e tela digital (embaixo) de um Cessna 172.

Com os aprimoramentos atuais nos aviônicos e a introdução dos EFDs, os pilotos de qualquer nível de experiência precisam ter um conhecimento profundo dos sistemas de controle de voo a bordo, bem como uma compreensão de como a automação se funde com a tomada de decisões aeronáuticas (ADM).

Independentemente de uma aeronave ter instrumentos analógicos ou digitais (vidro), a instrumentação se enquadra em três categorias diferentes: desempenho, controle e navegação.

INSTRUMENTOS DE DESEMPENHO

Os instrumentos de desempenho indicam o desempenho real da aeronave. O desempenho é determinado por referência ao altímetro, velocidade do ar ou Indicador de Velocidade Vertical (VSI), indicador de rumo e indicador de curva e inclinação. Os instrumentos de desempenho refletem diretamente o desempenho que a aeronave está obtendo. A velocidade da aeronave pode ser referenciada no indicador de velocidade do ar. A altitude pode ser referenciada no altímetro. O desempenho de subida da aeronave pode ser determinado com base no VSI. Outros instrumentos de desempenho disponíveis são o indicador de rumo, o indicador de ângulo de ataque e o indicador de derrapagem. [Figura 19]

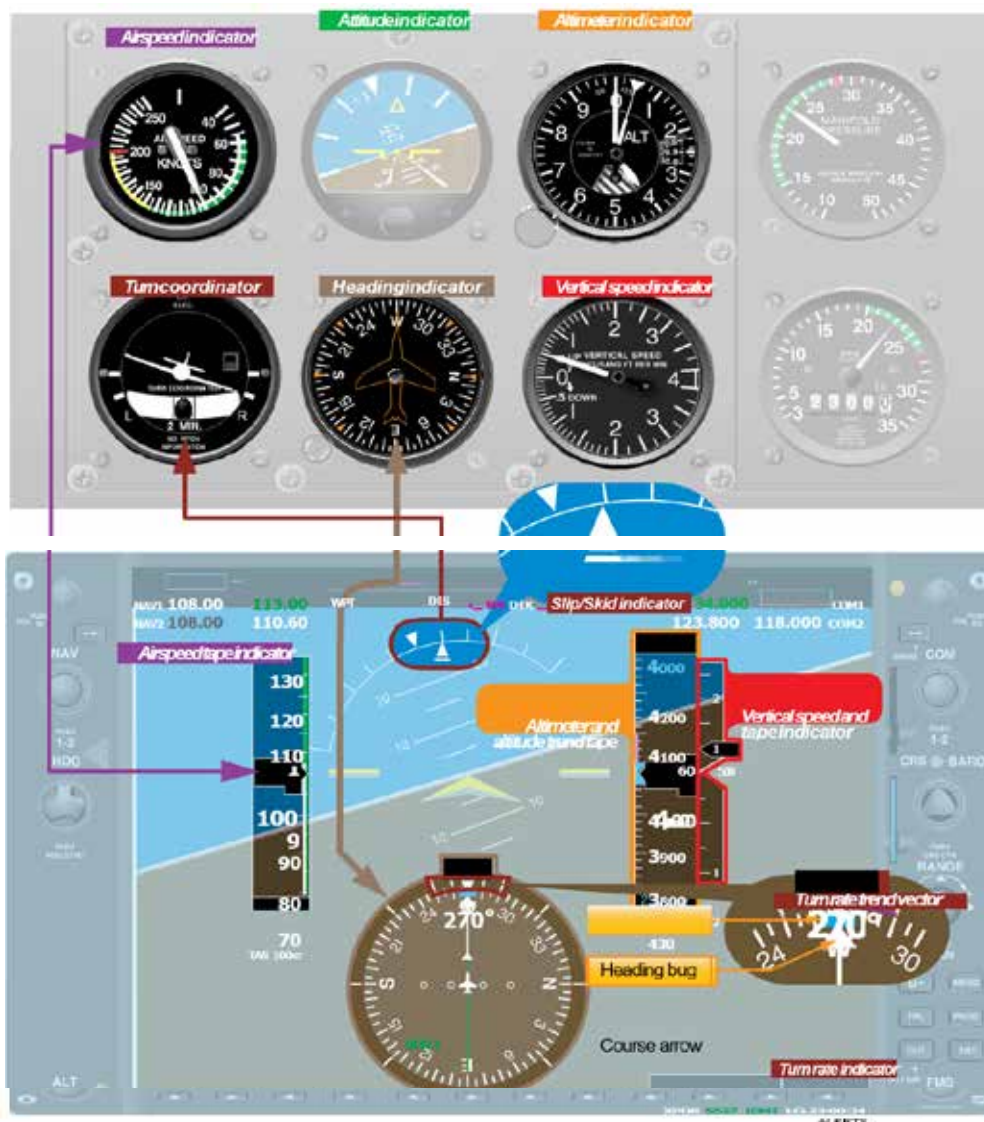


Figura 19. Instrumentos de desempenho.

INSTRUMENTOS DE CONTROLE

Os instrumentos de controle exibem mudanças imediatas de atitude e potência e são calibrados para permitir ajustes em incrementos precisos. [Figura 20] O instrumento para exibição da atitude é o indicador de atitude. Os instrumentos de controle não indicam a velocidade ou a altitude da aeronave. Para determinar essas e outras variáveis, o piloto deve consultar os instrumentos de desempenho.

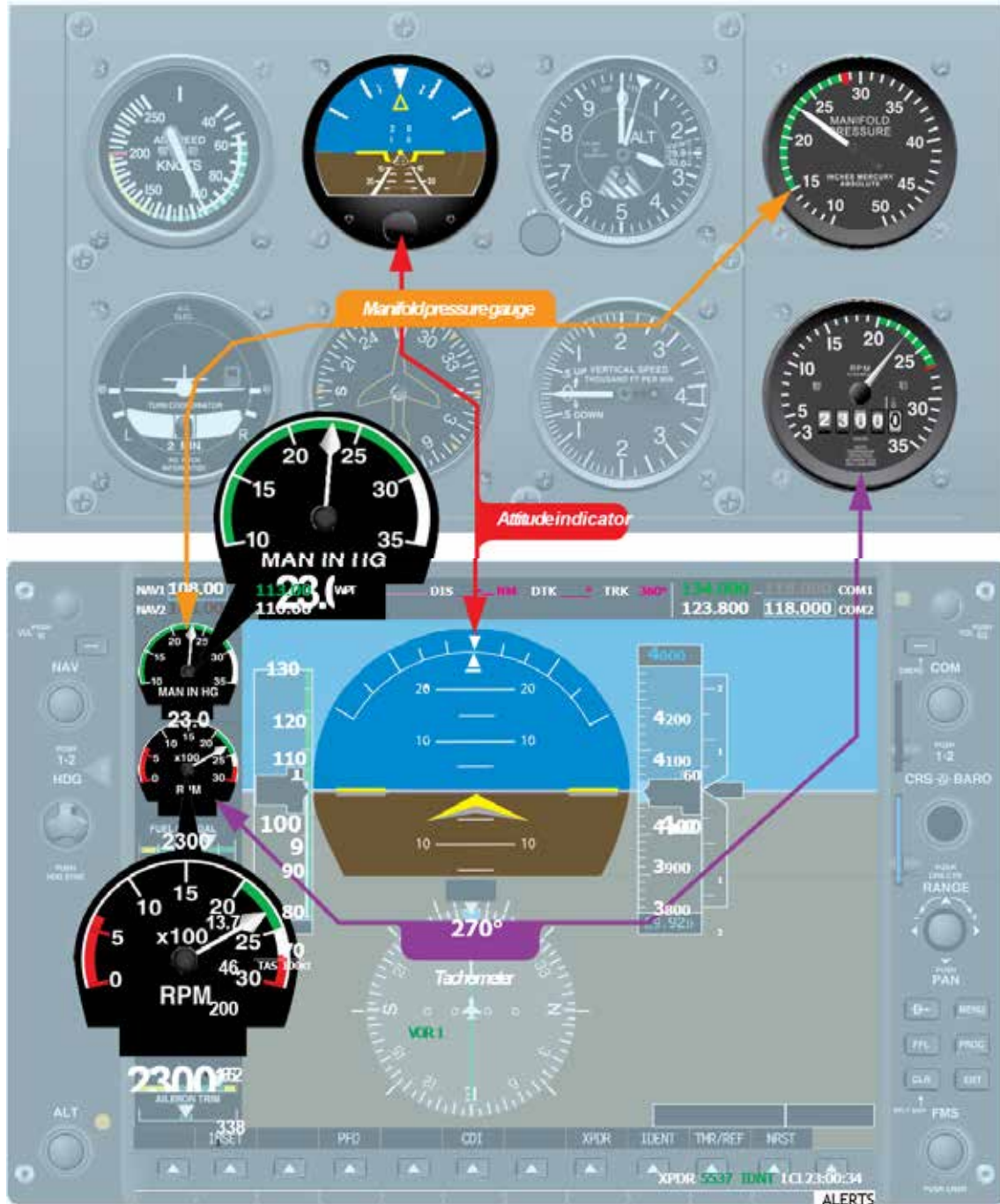


Figura 20. Instrumentos de controle

INSTRUMENTOS DE NAVEGAÇÃO

Os instrumentos de navegação indicam a posição da aeronave em relação a uma instalação de navegação selecionada ou a um ponto fixo. Esse grupo de instrumentos inclui vários tipos de indicadores de curso, indicadores de alcance, indicadores de *glideslope* e indicadores de rumo. Aeronaves mais novas com instrumentação tecnologicamente mais avançada fornecem informações combinadas, dando ao piloto informações de posição mais precisas.

Os instrumentos de navegação são compostos por indicadores que exibem informações de GPS, Rádio Farol Omnidirecional (VOR) em Frequência Muito Alta (VHF), Rádio Farol Não Direcional (NDB) e Sistema de Pouso por Instrumentos (ILS). Os instrumentos indicam a posição da aeronave em relação a uma instalação ou ponto de navegação selecionado. Eles também fornecem informações de pilotagem para que a aeronave possa ser manobrada para mantê-la em um caminho predeterminado. As informações de pilotagem podem estar em duas ou três dimensões em relação às informações de navegação baseadas em terra ou no espaço. [Figuras 21 e 22]

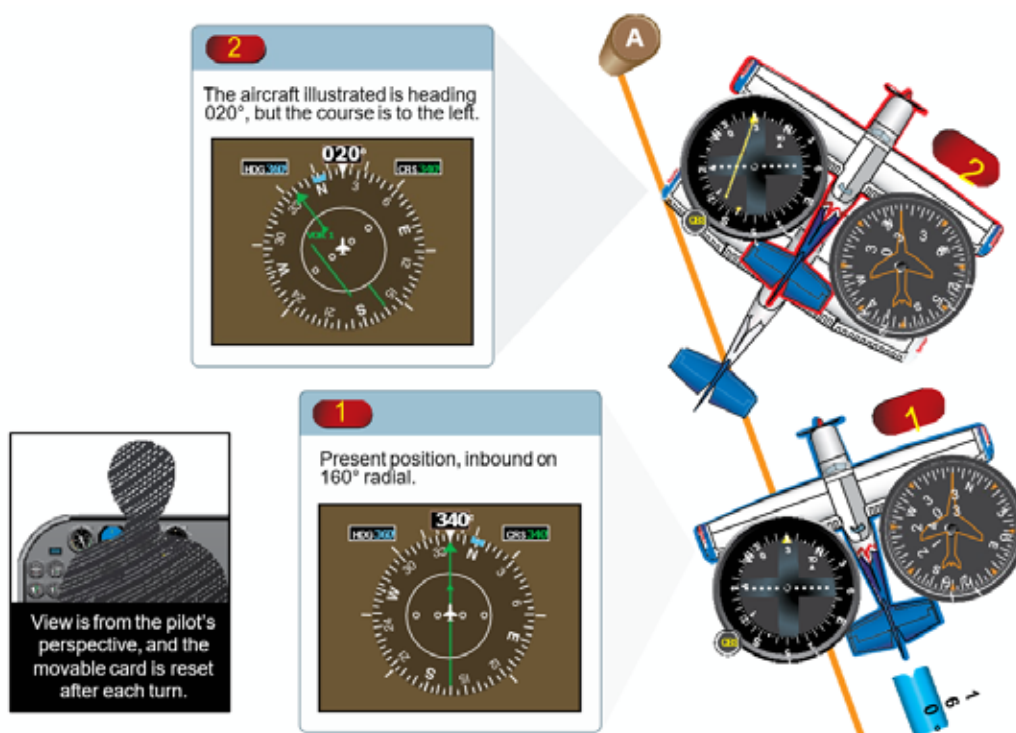


Figura 21. Uma comparação das informações de navegação conforme representadas em telas analógicas e digitais.



Figura 22. Indicações analógicas e digitais para interceptação de *glideslope*.

SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS)

O GPS é um sistema de navegação baseado em satélites composto por uma rede de satélites colocados em órbita pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DOD). O GPS foi originalmente planejado para aplicações militares, mas na década de 1980 o governo disponibilizou o sistema para uso civil. O GPS funciona em todas as condições climáticas, em qualquer lugar do mundo, 24 horas por dia. Um receptor GPS deve estar bloqueado no sinal de pelo menos três satélites para calcular uma posição bidimensional (latitude e longitude) e rastrear o movimento. Com quatro ou mais satélites em vista, o receptor pode determinar a posição tridimensional do usuário (latitude, longitude e altitude). Outros satélites também devem estar à vista para compensar a perda de sinal e a ambiguidade do sinal.

RESUMO

Este manual apresenta uma visão geral das estruturas das aeronaves. Um entendimento mais aprofundado das estruturas e dos controles da aeronave pode ser obtido com o uso de software de simulação de voo ou programas interativos disponíveis online. Os pilotos também são incentivados a assinar ou rever os diversos periódicos de aviação que contêm informações valiosas sobre voos.

QUER SABER MAIS?

Acompanhe a série Asas do Conhecimento para ficar por dentro dos manuais aeronáuticos. Além desse material, a Anac oferece cursos e seminários para aumentar a segurança aérea no [Portal de Capacitação da Agência](#).

Para obter mais informações, entre em contato com a Agência por meio do [serviço “Fale com a Anac”](#). E não se esqueça de seguir a Anac nas redes sociais para ficar por dentro das últimas notícias e atualizações.



ACOMPANHE A ANAC NAS REDES SOCIAIS



[/oficialanac](#)



[/company/oficial-anac](#)



[/oficialanac](#)



[/oficialanacbr](#)



[/oficial_anac](#)