

As vantagens aerodinâmicas e operacionais do rotor de cauda fenestron¹

The aerodynamic and operational advantages of the fenestron tail rotor

Leandro Weigert Caldeira Júnior²

RESUMO

O rotor principal de uma aeronave atua como gerador de sustentação para manter o helicóptero no ar. Ao ser aplicada a potência necessária para fazer o rotor girar, é evidente que uma força de rotação no sentido contrário acontece. Sendo assim o rotor de cauda atua no sentido de gerar uma ação anti-torque do rotor principal. Devido à importância do tema deste trabalho científico, o presente estudo teve como objetivo geral (principal) apresentar as principais vantagens aerodinâmicas e operacionais do rotor de cauda fenestron. O trabalho consistiu em uma revisão teórica em artigos relacionados à aerodinâmica dos rotores, sem a necessidade de uma pesquisa de campo e análise de dados estatísticos. No decorrer do trabalho se abordou sobre a aerodinâmica dos rotores e seus tipos, bem como as particularidades do rotor de cauda fenestron. Ao fim desse estudo concluiu-se que o rotor de cauda carenado possui características próprias que oferecem vantagens com seu emprego.

Palavras-chave: rotor de cauda; fenestron; aerodinâmica.

ABSTRACT

An aircraft's main rotor acts as a lift generator to keep the helicopter in the air. When the necessary power is applied to make the rotor rotate, it is evident that a rotational force in the opposite direction occurs. Therefore, the tail rotor acts to generate an anti-torque action of the main rotor. Due to the importance of the topic of this scientific work, the present study had the general (main) objective of presenting the main aerodynamic and operational advantages of the fenestron tail rotor. The work consisted of a theoretical review of articles related to rotor aerodynamics, without the need for field research and statistical data analysis. During the work, the aerodynamics of rotors and their types were discussed, as well as the particularities of the fenestron tail rotor. At the end of this study, it was concluded that the faired tail rotor has its own characteristics that offer advantages with its use.

Keywords: tail rotor; fenestron; aerodynamic.

1 Artigo apresentado em 15 de setembro de 2023 ao Centro de Instrução de Aviação do Exército como requisito parcial para obtenção do Grau Tecnólogo em Sistemas Mecânicos de Aeronaves.

2 Aluno do Curso de Formação e Graduação de Sargentos – Av Mnt. Centro de Instrução de Aviação do Exército

(CIAvEx). E-mail: leandrowcj@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios o homem olha para o céu vendo os pássaros e deseja o dom de voar. Para isso, grandes pensadores e inventores tentaram estudar e entender as características da habilidade do voo. Foi em 1483 que Leonardo Da Vinci desenhou o seu La Hélice, um modelo um tanto quanto rudimentar mas que serviu de base para os primeiros projetos de uma aeronave capaz de sustentar-se na vertical (MATOS; ARÊAS 2014).

Com o passar do tempo, diversos modelos e projetos foram sendo testados ao redor do mundo. Porém, uma problemática era constante na busca pelo voo de sustentação vertical, pois:

Na falta de algo que evite que o corpo do aparelho gire, ele irá girar em direção oposta ao rotor principal. Para evitar esse fator, você precisa aplicar uma força a ele. O modo normal de fornecer essa força é anexar outro conjunto de pás rotativas a uma longa cauda (MACHADO; REISDORFER 2011).

Essa solução, seria o rotor de cauda da aeronave. Diante disso, alguns modelos de rotor de cauda foram desenvolvidos ao longo do tempo. Entre eles, encontra-se o Fenestron. Originalmente chamado de “Fenestrou”, que significa “pequena janela” no dialeto provençal, o nome evoluiu para o renomado Fenestron (Aeroflap 2018). Desenvolvido pela empresa francesa Aerospatiale, hoje pertencente ao grupo Eurocopter, o fenestron possui uma carenagem que o envolve por completo, oferecendo maior segurança aos seus operadores (MACHADO; REISDORFER 2011). Por possuir essa carenagem, alguns efeitos aerodinâmicos são mitigados, como por exemplo o vórtex criado pelo turbilhonamento do ar na ponta da pá, fenômeno esse que ocasiona uma perda da eficiência do rotor, uma vez que o ar perdido equivale a uma energia perdida que poderia ser utilizada no funcionamento do rotor. Além disso, o fenestron possui de 8-12 pás que estão dispostas de modo a reduzir as vibrações e ruídos sonoros, aspectos esses que colaboram na melhor operacionalidade e segurança orgânica de quem trabalha com as aeronaves que possuem esse modelo de rotor de cauda.

Nesse contexto, o tema deste estudo é a “aerodinâmica”. Por sua vez, o objeto de pesquisa, ou seja, a delimitação do tema é “a aerodinâmica do rotor de cauda fenestron”.

Tendo como base a delimitação do tema supracitada, este trabalho científico busca resolver o seguinte problema de pesquisa: o rotor de cauda fenestron oferece vantagem aerodinâmica em relação aos outros rotores de cauda?

A fim de nortear adequadamente o estudo, este trabalho desdobrou-se em 01 (um) objetivo geral e 04 (quatro) objetivos específicos.

Esta pesquisa tem como objetivo geral apresentar as principais vantagens aerodinâmicas e operacionais do rotor de cauda fenestron.

Além do objetivo geral, descrito acima, a pesquisa tem como objetivos específicos: a) Apresentar o histórico do desenvolvimento do rotor de cauda; b) Compreender a finalidade aerodinâmica do rotor de cauda; c) Analisar a aerodinâmica do rotor de cauda Fenestron; d) Demonstrar as vantagens aerodinâmicas e operacionais do rotor de cauda Fenestron.

No início deste trabalho, foi realizada uma revisão de literatura sobre a aerodinâmica dos rotores de cauda, a fim de proporcionar um melhor entendimento sobre o assunto e tema pesquisados. Quanto ao procedimento de coleta de dados, a pesquisa é do tipo bibliográfica que, conforme Rauen (2005) é definida como “a busca de informações bibliográficas relevantes para a tomada de decisão em todas as fases do projeto de pesquisa”. Para isso, foram consultados meios de material de pesquisa como jornais, revistas, publicações etc. Quanto ao método de raciocínio lógico foi utilizado o indutivo, onde a partir dele pode ser feito um processo mental no qual a partir dos dados estudados pode se inferir uma conclusão subjetiva a respeito das vantagens aerodinâmicas oferecidas pelo rotor de cauda fenestron. E quanto a finalidade, é do tipo pesquisa básica, onde buscamos, através dos meios pesquisados, comparar as diferentes fontes de pesquisa e confrontá-las para mostrar o os conhecimentos difundidos até hoje sobre os diferentes modelos de rotor de cauda e entender as diferenças deles com o modelo carenado.

Este estudo mostra-se relevante uma vez que o rotor de cauda fenestron é um componente que apresenta diversas vantagens aerodinâmicas e operacionais em relação a outros rotores de cauda. Sendo assim, o conhecimento acerca das características do rotor de cauda podem auxiliar tanto os militares que operam as aeronaves que possuem o fenestron, como assessorar o processo decisório do comando ao adquirir o componente.

2 A AERODINÂMICA DOS ROTORES E SUAS VARIAÇÕES

O rotor principal de um helicóptero desempenha um papel multifuncional vital para sua operação. Ele atua como um gerador de sustentação, criando a força ascendente

necessária para manter a aeronave no ar, ao manipular a forma e a inclinação das pás durante sua rotação. Além disso, o rotor é um instrumento de controle versátil, permitindo ao piloto ajustar a altitude ao alterar a inclinação coletiva das pás, controlar a direção ao variar o passo cíclico e realizar manobras complexas, incluindo curvas e mudanças de direção, tornando o voo de um helicóptero uma experiência altamente precisa e controlável.

Pode-se afirmar que o helicóptero é inerentemente instável por natureza. Caso não haja controle efetivo, através do manche, a aeronave pode rapidamente entrar em um movimento de oscilação divergente. Classificado como uma aeronave de asas rotativas, sua sustentação é gerada pelo aerofólio rotativo composto pelo rotor principal e suas pás. Durante qualquer tipo de voo, seja horizontal ou vertical, quatro forças entram em jogo: a sustentação, necessária para equilibrar o peso do helicóptero; o empuxo, que é vital para superar o arrasto causado pela fuselagem e outros componentes da aeronave; o peso, definido pela massa do helicóptero multiplicada pela constante da aceleração da gravidade; e, por fim, a força de arrasto, necessária para vencer a resistência do fluido, que, no caso dos helicópteros, significa superar a resistência do ar.

Para manter o voo, o rotor principal deve criar uma força aerodinâmica que seja igual, mas em direção oposta, ao peso aparente da aeronave. Essas duas forças se equilibram somente quando a aeronave está em uma condição de vento neutro, ou seja, durante o voo estacionário. A sustentação é gerada pelas pás do rotor principal, que, ao girarem com um ângulo de ataque específico, induzem as reações aerodinâmicas necessárias tanto para o movimento vertical quanto para o movimento horizontal da aeronave. Esse processo intrincado permite que o helicóptero permaneça no ar e execute uma ampla variedade de manobras e deslocamentos com precisão.

Figura 1 – Sustentação do perfil de uma pá.

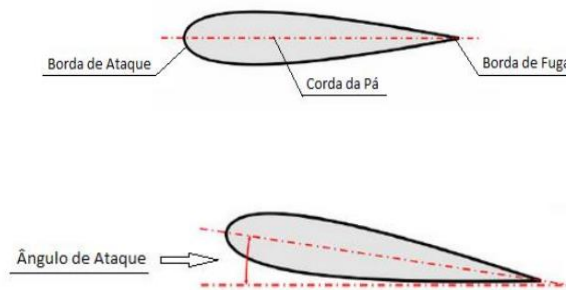


Fonte: Hangar MMA

O ângulo de ataque desempenha um papel fundamental na determinação da força de sustentação e do arrasto. Antes de examinarmos o ângulo de ataque em detalhes, é importante definir o conceito de corda da pá. A corda da pá é a seção da linha imaginária que conecta a

borda de ataque à borda de fuga da pá, constituindo uma parte essencial na análise das características aerodinâmicas das pás do rotor. O ângulo de ataque é o ângulo formado entre a corda da pá e o seu movimento relativo ao ar.

Figura 2 – Ângulo de ataque do perfil de uma pá.

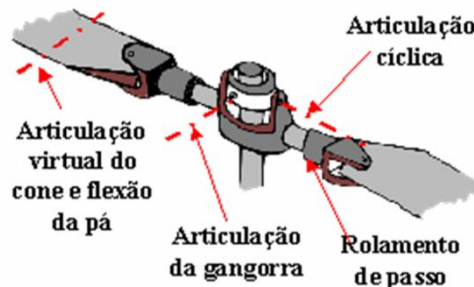


Fonte: Hangar MMA

Os helicópteros são notáveis pela variedade de sistemas de rotor que podem adotar. Existem três principais categorias de sistemas de rotor: rígidos, semi-rígidos e articulados.

Rotores Rígidos: Os rotores rígidos são caracterizados pela rigidez das pás, cabeça e mastro, que são todos solidamente conectados. Nesse tipo de rotor, a única movimentação possível é a mudança de passo, ou seja, as pás do rotor podem ajustar o ângulo de ataque em torno de seu eixo longitudinal.

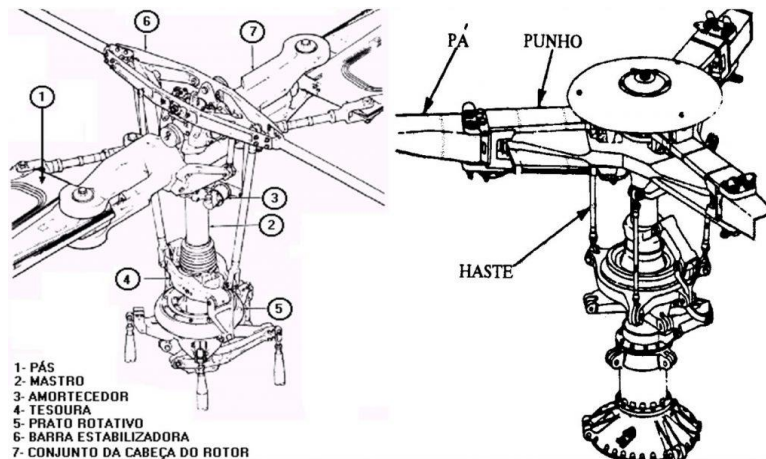
Figura 3 – Rotor rígido.



Fonte: Hangar MMA

Rotores Semi-Rígidos: Nos rotores semi-rígidos, a cabeça e as pás são rígidas entre si, mas têm a capacidade de realizar tanto a mudança de passo quanto o movimento de batimento. Em algumas aeronaves, esse movimento ocorre no conjunto como um todo, assemelhando-se a um movimento de gangorra no disco do rotor.

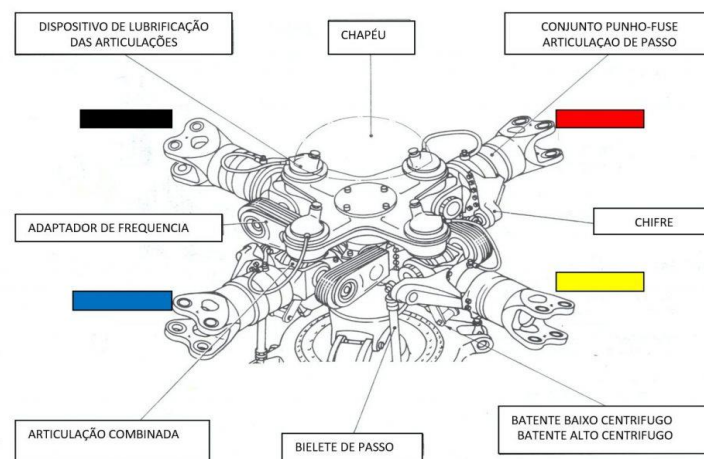
Figura 4 – Rotor semi-rígido.



Fonte: Hangar MMA

Rotores Articulados: Os rotores articulados são os mais versáteis, apresentando três tipos de movimentos: mudança de passo, batimento e avanço e recuo das pás. Além desses movimentos, as pás também podem se mover horizontalmente, realizando um movimento em torno de seu eixo vertical. Esses rotores exigem no mínimo três pás para funcionar adequadamente.

Figura 5 – Rotor articulado.

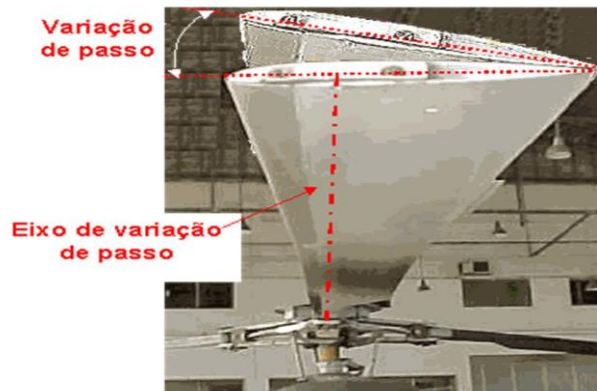


Fonte: Hangar MMA

Cada tipo de rotor oferece vantagens e desvantagens específicas, e a escolha do sistema a ser usado depende das necessidades e das características de cada aeronave.

Articulação de Passo: A articulação de passo é um componente de extrema importância no sistema do rotor, desempenhando duas funções cruciais. Primeiro, permite um controle uniforme do passo em todas as pás do rotor, conhecido como passo coletivo, essencial para controlar o movimento vertical do helicóptero. Segundo, possibilita o controle direcional por meio da variação cíclica do passo de cada pá, denominado comando cíclico, o que é fundamental para a pilotagem da aeronave.

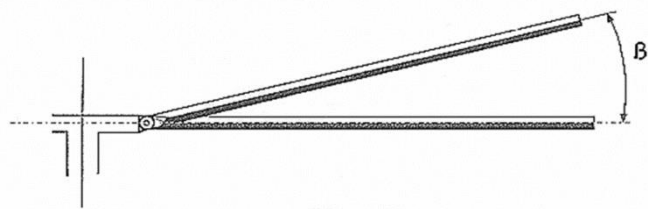
Figura 6 – Articulação de passo.



Fonte: Hangar MMA

Articulação de Batimento: As pás do rotor geram uma força que cria um momento fletor em sua raiz, causando consideráveis esforços no ponto de fixação da pá com o cubo do rotor. Para eliminar esse momento fletor na raiz da pá, é comum utilizar uma articulação de batimento, que pode ser física, com um eixo de articulação, ou virtual, usando material flexível entre a pá e o cubo. A articulação de batimento permite que a pá se desloque verticalmente, substituindo o momento fletor por um movimento da própria pá. Além disso, essa articulação também desempenha o papel de anular o momento cabrador induzido pela assimetria de sustentação no rotor. Curiosamente, o ângulo de batimento (β) de uma pá pode variar de 8 a 10 graus.

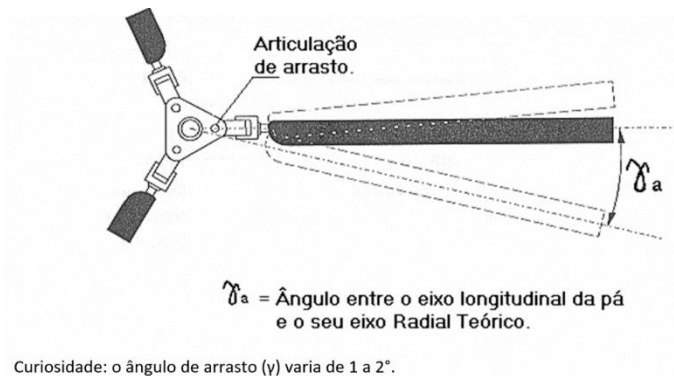
Figura 7 – Articulação de batimento.



Fonte: Hangar MMA

Articulação de Arrasto: Esta articulação opera com base no princípio de Coriolis, que estabelece que um corpo em movimento rotativo mantém constante o produto de sua velocidade pela distância do centro de massa ao eixo de rotação. Quando a pá realiza o movimento de batimento, a trajetória do centro de massa é alterada, reduzindo a distância ao eixo de rotação e, conseqüentemente, variando a velocidade tangencial. Isso resulta no movimento de avanço e recuo da pá. Durante cada rotação, a pá é solicitada alternadamente em flexão horizontal, o que gera esforços alternados, principalmente na raiz da pá. Para eliminar esses efeitos de fadiga, especialmente na raiz da pá, a articulação de arrasto é empregada, permitindo que as pás oscilem horizontalmente em torno de uma posição média.

Figura 8 – Articulação de arrasto.



Fonte: Hangar MMA

3 O DESENVOLVIMENTO DO ROTOR DE CAUDA

Ao contemplar o voo de um helicóptero, muitas vezes subestimamos a complexidade das forças envolvidas em sua decolagem e estabilidade. Nessa sincronia crucial, várias forças interagem: algumas mantêm o helicóptero pairando, outras o fazem subir ou descer, e algumas garantem um voo reto e nivelado. Esse equilíbrio resulta da interação de forças aerodinâmicas, mecânicas e físicas (BLOG HANGAR).

A característica fundamental que distingue o helicóptero é a sua capacidade de realizar voos verticais com precisão e operar com segurança a alturas próximas ao solo. Essa habilidade é possibilitada pela presença de um ou mais rotores, que, de maneira simplificada, podem ser comparados a hélices de grandes proporções que giram em torno de um eixo vertical (PORTAL SÃO FRANCISCO).

Ao aplicar potência ao rotor para induzir seu movimento de rotação, é evidente que a fuselagem do helicóptero tende a girar em sentido contrário, em conformidade com o princípio fundamental da ação e reação. Para contrabalançar esse efeito, torna-se imperativo implementar medidas especiais destinadas a estabilizar a aeronave em relação à guinada. Uma variedade de abordagens foi explorada, como a adoção de dois rotores que giram em sentidos opostos, o que anula os torques reativos resultantes.

Para alcançar essa estabilidade desejada, foram desenvolvidos modelos de helicópteros com configurações diversas, incluindo rotores coaxiais, rotores dispostos em tandem e rotores posicionados lado a lado conforme mostrado anteriormente. No entanto, a solução mais comumente empregada, devido à sua simplicidade e eficácia, é a utilização de uma hélice anti-torque montada na parte traseira da aeronave, conhecida como rotor de cauda. Essa abordagem auxilia na compensação e controle dos efeitos da guinada, permitindo ao helicóptero manter a direção desejada durante o voo (PORTAL SÃO FRANCISCO).

Como observado, o rotor simples é amplamente utilizado devido à sua facilidade de construção. No entanto, apresenta algumas desvantagens, sendo a mais notável o risco de colisão do rotor de cauda com o solo, pessoas e objetos, o que resulta em um número significativo de acidentes.

Por essa razão, o rotor de cauda geralmente é pintado de maneira a torná-lo mais visível para o pessoal em solo quando está em rotação. A perda do rotor de cauda é crítica durante o voo, embora nem sempre seja fatal, pois o piloto pode utilizar a velocidade à frente do helicóptero e a empenagem vertical para manter o voo nivelado, preferencialmente em baixa potência para reduzir o efeito de torque.

Durante o pouso, o piloto frequentemente entra em uma condição de autorrotação para realizar um pouso controlado, mesmo que o rotor de cauda não esteja funcionando.

Com relação a esse problema, duas soluções têm se destacado na melhoria da configuração de rotor simples:

A primeira o sistema NOTAR (*No Tail Rotor*), desenvolvido pela *McDonnell Douglas Helicopter Systems*, utiliza um dispositivo semelhante a um "ventilador" equipado com hélices de passo variável localizado no cone de cauda. Esse dispositivo gera um fluxo de ar de grande volume, porém de baixa pressão, que é direcionado para fora por meio de duas aberturas, criando assim uma camada limite através do Efeito Coanda.

Essa camada limite altera a direção do fluxo de ar que desce do rotor principal ao redor do cone de cauda, gerando uma força de tração que contrabalança o efeito de torque. A capacidade de manter a aeronave pairada é obtida controlando a liberação de ar na extremidade do cone de cauda, usando um direcionador de ar rotativo.

O fenômeno conhecido como Efeito Coanda desempenha um papel fundamental, contribuindo com dois terços da força de contra torque, enquanto o escape de ar na extremidade do cone de cauda, que permite a rotação durante o pairado, é responsável por um terço das forças de contra torque. Durante o voo em linha reta e nivelado, o ar proveniente do rotor principal permanece estagnado, não atravessando as aberturas longitudinais, o que resulta na ausência de dois terços das forças de contra torque. Contudo, simultaneamente, as aletas verticais operam com máxima eficácia, mantendo assim a fuselagem alinhada.

O sistema NOTAR é amplamente considerado como a escolha mais segura e silenciosa entre os sistemas de rotores simples. Além disso, esse sistema elimina a necessidade da caixa de transmissão de cauda, cabos e outros componentes que são comuns em outros sistemas de rotor. No entanto, o sistema apresenta algumas desvantagens notáveis: sofre uma redução de eficiência durante o voo pairado em condições de ventos fortes; experimenta uma perda de eficiência durante voos em baixas velocidades próximos ao solo; requer o consumo de uma porcentagem da potência do motor para acionar o ventilador localizado no cone de cauda.

Figura 9 – Sistema NOTAR.



Fonte: Licença Domínio Público.

E a segunda, objeto de estudo desse artigo é o sistema Ducted Fan, também conhecido como Fantail ou Fenestron, consiste em um rotor de cauda cercado por uma carenagem protetora, o que reduz significativamente o risco de colisões. Além dessa característica distintiva, esse sistema se destaca por ter um número consideravelmente maior de pás em comparação com os rotores de cauda tradicionais, variando entre 8 e 12 pequenas pás, enquanto os sistemas convencionais normalmente possuem de 2 a 4 pás.

As extremidades das pás são protegidas do contato com o ar externo devido à presença da carenagem, resultando em um movimento que envolve apenas a alteração do passo das pás, sem movimento de batimento. As pás giram a uma velocidade significativamente superior em relação aos rotores convencionais, o que permite que sejam de tamanho menor. Além disso, essas pás apresentam ângulos distintos entre si, contribuindo para a "distribuição" do ruído em diversas frequências, proporcionando uma operação notavelmente mais silenciosa em comparação com os rotores de cauda convencionais.

Figura 10 – Rotor de cauda fenestron.



Fonte: Licença creative commons.

4 O FENESTRON: HISTÓRIA E VANTAGENS

Em 12 de abril de 1968, o primeiro Fenestron realizou seu voo inaugural no segundo protótipo do helicóptero *Gazelle*. Desde então, essa inovação tornou-se um ícone nas empresas *Sud Aviation*, *Aerospatiale*, *Eurocopter* e, agora, nos helicópteros da Airbus, incluindo o H160. Essa tecnologia avançada de redução de ruído e aprimoramento da segurança está sendo transportada para a próxima geração de aeronaves de asas rotativas.

A ideia por trás do encapsulamento do rotor de cauda inicialmente surgiu como uma medida de proteção adicional para os trabalhadores em solo, mas também para salvaguardar o rotor de cauda durante o voo, particularmente em cenários operacionais complexos, como operações próximas a linhas de alta tensão. À medida que as pesquisas avançaram e otimizações foram feitas em cada nova iteração do Fenestron, novas vantagens e melhorias na redução de ruído surgiram.

Originalmente conhecido como "Fenestrou", termo que em dialeto provençal significa "pequena janela", o nome evoluiu para o renomado Fenestron. A primeira certificação ocorreu no *Gazelle* em 1972 e posteriormente foi incorporado ao primeiro protótipo do monomotor *Dauphin*, que efetuou seu voo inaugural em junho de 1972. Testes subsequentes foram realizados em um Puma de sete toneladas em 1975. No entanto, com um diâmetro de 1,60m e um rotor de cauda equipado com 11 pás, a aeronave exigia uma potência considerável para que o Fenestron fornecesse uma vantagem operacional nessa classe de helicópteros.

A segunda geração surgiu no final da década de 1970, apresentando um Fenestron fabricado inteiramente em material composto, aumentando o diâmetro em 20% em relação ao novo *Dauphin*, chegando a 1,10m. Essa melhoria foi motivada pela necessidade da Guarda Costeira dos Estados Unidos de uma aeronave altamente manobrável para operações de Busca e Salvamento. As aeronaves da Guarda Costeira dos Estados Unidos ainda estão em operação, acumulando mais de 1,5 milhão de horas de voo.

Enquanto isso, as pesquisas continuaram a aperfeiçoar o design do Fenestron, os materiais das pás e a redução de ruído, especialmente durante determinadas fases do voo. Entre 1987 e 1991, bem-sucedidos testes foram conduzidos em um Esquilo, cujo protótipo ainda está em exibição na entrada da sede da Airbus Helicopters em Marignane.

Em 1994, a terceira geração do Fenestron foi instalada no H135, otimizando os níveis de ruído por meio de um ajuste desigual das pás. Em 1999, o H130 realizou seu primeiro voo com um Fenestron derivado dessa versão. O H145 seguiu em 2010.

Meio século depois, o H160 apresenta o mais recente e o maior Fenestron já incorporado a um helicóptero Airbus, com um diâmetro de 1,20m. Sua inclinação de 12° permite um desempenho aprimorado, proporcionando maior carga útil e estabilidade, especialmente em baixas velocidades. Com o H160 se aproximando da conquista do mercado de bimotores médios, o Fenestron continuará sendo uma das marcas registradas da Airbus Helicopters nos céus nas próximas décadas. Além disso, há também menor requisito de

energia para produzir a mesma pressão de um rotor aberto. As pás do fenestron sempre em número maior e menores que um rotor de cauda convencional giram em velocidade superior. Diante disso, o fenestron permite alcançar um desempenho igual ou superior a um rotor de cauda convencional com menos potência, apresentando assim uma curva de rendimento mais eficiente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos sistemas de rotor de cauda nos helicópteros nos leva a apreciar a complexidade da aerodinâmica e o compromisso incessante com a segurança e o desempenho. Entre essas soluções, o Fenestron emerge como um exemplo notável de engenharia aeronáutica inovadora e eficaz.

O Fenestron oferece uma vantagem significativa em termos de segurança e eficiência. Seu design cuidadosamente elaborado, com uma carenagem protetora e um maior número de pás, não apenas reduz o risco de colisões, mas também proporciona uma operação mais silenciosa. Esse sistema é uma resposta inteligente aos desafios complexos da aerodinâmica dos rotores de cauda, demonstrando como a tecnologia pode evoluir para atender às necessidades crescentes de segurança e desempenho.

Em um mundo onde a precisão, a segurança e a eficiência são essenciais, o Fenestron destaca-se como uma inovação que não apenas aprimora a experiência de voo, mas também redefine os padrões de excelência na indústria de helicópteros. À medida que continuamos a explorar os limites da engenharia aeronáutica, o Fenestron permanece como um exemplo inspirador de como a ciência e a tecnologia podem unir-se para superar desafios complexos e impulsionar a aviação para novos patamares de eficiência e segurança.

REFERÊNCIAS

AEROFLAP. Airbus comemora 50 anos da criação do fenestron, o protetor do rotor de cauda. 18 abr 2018. Disponível em: <https://www.aeroflap.com.br/airbus-comemora-50-anosda-criacao-do-fenestron-o-protetor-do-rotor-em-helicopteros/>. Acesso em: 15 jun 2023.

HANGAR 33. Conheça a origem e evolução dos helicópteros. 2014. Disponível em: <http://blog.hangar33.com.br/conheca-a-origem-e-evolucao-dos-helicopteros/>. Acesso em: 23 ago 2023.

HANGAR MMA. Teoria sobre helicóptero. Disponível em: <https://hangarmma.com.br/blog/teoria-sobre-helicoptero/>. Acesso em: 22 ago 2023.

MACHADO, José Alessandro; REISDORFER, Leandro Marcio. **Conhecimento geral dos helicópteros**. Palhoça, Unisul Virtual, 2011.

MATOS, Lizandra Salvador; ARÊAS, Pyter da Costa Venâncio. **Análise estática e dinâmica da pá do helicóptero**. Rio de Janeiro, 2014.

MONTEBELO. Renan. **Teorias rotativas 03**. Disponível em: canalpiloto.com.br/teorias-rotativas-03/. Acesso em: 22 ago 2023.

PORTAL SÃO FRANCISCO. **História do Helicóptero**. Disponível em: <https://portalsaofrancisco.com.br/historia-geral/historia-do-helicoptero>. Acesso em: 22 ago 2023.

RAUEN, Fábio José. **Roteiros de investigação científica**. Tubarão, SC: Unisul 2002.