



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
INSTITUTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
Engenharia Mecânica Aeronáutica**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
- MONOGRAFIA FINAL -**

**AVALIAÇÃO TÉCNICA DO HELICÓPTERO H135 NAS
OPERAÇÕES AERONAVAIS DA MARINHA DO BRASIL:
UMA ABORDAGEM DA ENGENHARIA DE SISTEMAS**

Aluno: Luiz Filipe de Sousa Morais
Orientador: Prof. Dr. Rogério Frauendorf de Faria Coimbra
Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Santiago de Sousa

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela saúde e por me sustentar até aqui, me proporcionando perseverança durante toda a minha vida.

À minha querida esposa Vanessa pelo seu amor incondicional e pelo apoio sempre presente, além da compreensão durante todo o percurso do curso e por minha dedicação aos estudos.

Aos meus pais José Luiz e Débora que sempre estiveram ao meu lado me apoiando ao longo de toda a minha vida e formação acadêmica, possibilitando que eu alcançasse lugares cada vez mais altos.

Sou grato ao meu sogro Rogério e sogra Luciana pelo apoio sempre presente e pelo carinho durante toda a trajetória.

A todos os meus professores do curso de Engenharia Mecânica Aeronáutica e Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) pela excelência da qualidade técnica de cada um.

Deixo um agradecimento especial aos meus orientadores, professor doutor Rogério Coimbra e professor doutor Marcelo Sousa, pelo incentivo, pela paciência, pelas correções e pela dedicação dos seus escassos tempos ao meu projeto de pesquisa.

Também agradeço a instituição Marinha do Brasil por me conceder a oportunidade e depositar sua confiança na realização deste curso e a nobre missão de enveredar como primeiro oficial no curso de Engenharia Mecânica Aeronáutica na UNIFEI. Em especial, despendo meus agradecimentos ao CMG Sérgio Leite, CC Anderson, CC IM Vinícius, e CT IM Francesco pelo apoio prestado durante o período do curso.

Resumo

Este trabalho final de graduação apresenta uma descrição técnica do helicóptero H135 T3 e sua contribuição em favor da segurança do voo nas aeronaves de asas rotativas. Tem-se por finalidade ampliar e difundir o conhecimento a respeito da aeronave não apenas para a comunidade aeronáutica como também para aqueles que tenham interesse na área. Este trabalho tem como objetivo compreender as inovações tecnológicas em termos construtivos por intermédio de análises e explicações técnicas e conhecer as vantagens operacionais oferecidas pelo H135 T3. Além disso, busca-se explorar a potencialidade desta aeronave nas operações aeronavais na Marinha do Brasil, especificamente, no Programa Antártico Brasileiro. Com base no estudo técnico apresentado, duas ferramentas da Engenharia de Sistemas, denominadas como OCD e CONOPS, são aplicadas com o intuito de validar os requisitos necessários para o cumprimento das missões e também do produto final. Mediante a isso, é feita a descrição operacional da aeronave em ambiente real desde sua saída do Brasil até a chegada na Estação Antártica Comandante Ferraz, considerando não apenas sua operação isolada, mas também, sua interação com os demais meios navais, aéreos e terrestres. Verifica-se que ao aplicar técnicas da Engenharia de Sistemas no processo de análise e validação do produto, os resultados e verificações são obtidos de maneira mais eficiente. Por fim, é introduzido outro conceito presente na Engenharia de Sistemas conhecido como medida de efetividade a fim de realizar uma análise quantitativa do sucesso operacional do helicóptero durante sua operação em ambiente real com o intuito de verificar se o produto final atende os objetivos do cliente.

Palavras-chave: Helicóptero; H135; Programa Antártico Brasileiro; Engenharia de Sistemas; Operações Aeronavais.

Abstract

This Undergraduate Final Work presents a technical description of the H135 T3 helicopter and its contribution in favor of flight safety in rotary-wing aircraft. Its purpose is to expand and disseminate knowledge about the aircraft, not only to the aeronautical community, but also to those interested in the area. This work aims to understand technological innovations in constructive terms through technical analysis and technical explanations and to know the operational advantages offered by the H135 T3. In addition, it seeks to explore the potential of this aircraft in aircraft operations in the Brazilian Navy, specifically in the Brazilian Antarctic Program. Based on the technical study presented, two Systems Engineering tools, called OCD and CONOPS, are applied in order to validate the requirements to carry out the missions and also the final product. Through this, the operational description of the aircraft in a real environment is made from its departure from Brazil to its arrival at Estação Antártica Comandante Ferraz, considering not only its isolated operation, but also, its interaction with other naval, air and land means. It is verified that when applying Systems Engineering techniques in the process of analysis and validation of the product, the results and verifications are obtained in a more efficient way. Finally, another concept present in Systems Engineering known as measure of effectiveness is introduced in order to carry out a quantitative analysis of the helicopter's operational success during its operation in a real environment in order to verify whether the final product meets the client's objectives.

Key words: Helicopter; H135; Brazilian Antarctic Program; Systems Engineering; Aircraft Operations.

Lista de Figuras

Figura 3.1 – Helicóptero BO108	19
Figura 3.2 – Helicóptero H135 T2/P2	20
Figura 3.3 – H135 T2/P2	22
Figura 3.4 – H135 T3/P3	22
Figura 4.1 – Configuração básica para transporte de passageiros.....	25
Figura 4.2 – Configuração EMS.....	26
Figura 4.3 – Configuração para vigilância policial.	26
Figura 4.4 – Configuração de treinamento	27
Figura 4.5 – Vista traseira do H135.....	28
Figura 4.6 – Sistema de sustentação do H135	29
Figura 4.7 – Caixa de transmissão principal: conjunto de engrenagens e rpm (a 100%).....	30
Figura 4.8 – Suportes da caixa de transmissão principal.....	32
Figura 4.9 – Funcionamento de um absorvedor dinâmico de vibrações passiva	33
Figura 4.10 – ARIS presente no H135 T3. a) Modelo esquemático do ARIS; b) Componentes que formam o ARIS; c) ARIS completamente montado.....	33
Figura 4.11 – Amortecedor de oscilação	35
Figura 4.12 – Sistema do rotor principal	36
Figura 4.13 – Punho de comando da pá do rotor principal do H135 T3	38
Figura 4.14 – Punho de raiz de comando e Raiz da pá.....	39
Figura 4.15 – Área de fixação da pá e comando de passo.....	40
Figura 4.16 – Estrutura traseira do H135 T3/P3.....	41
Figura 4.17 – Equilíbrio das forças atuantes no voo nivelado a frente	42
Figura 4.18 – Manobra de autorrotação.....	45
Figura 4.19 – Vista explodida da fuselagem do H135 T3	47
Figura 4.20 – Motor ARRIUS Turbomeca presente no H135 T3	50

Figura 4.21 – Painel do H135 T3 com o sistema <i>Helionix</i> [®] composto por duas telas multifuncionais nas laterais e uma tela central com dados e sensores dos sistemas da aeronave	52
Figura 4.22 – Inspeções programadas	55
Figura 4.23 – Distribuição das <i>work packages</i> para 1 ciclo, com a aeronave tendo mais de 400FH.....	56
Figura 4.24 – Distribuição das <i>work packages</i> para 1 ciclo, com a aeronave tendo menos de 400FH.....	57
Figura 5.1 – Porta-Helicópteros Multipropósito Atlântico (PHM A140)	62
Figura 5.2 – Estação Antártica Comandante Ferraz reinaugurada em janeiro de 2020	64
Figura 5.3 – Helicóptero WASP HAS MK1 operando com meios navais.....	65
Figura 5.4 – Helicóptero esquilo bimotor (UH-13) operando na Antártica	66
Figura 5.5 – Helicóptero H135 T3 denominado UH-17 na Marinha do Brasil.....	67
Figura 6.1 – Interação entre diversos sistemas (meios navais, aéreos e terrestres) em um cenário no mundo real	71
Figura 6.2 – Fluxograma representando o desenvolvimento do sistema desde o problema inicial até a operação real do sistema e a presença do MOE.....	81

Lista de Tabelas

Tabela 3.1 – Variantes do H135.	21
Tabela 4.1 – Dados técnicos do Helicóptero H135 T3.	23
Tabela 4.2 – Principais particularidades da transmissão principal (100% NR).	31
Tabela 4.3 – Número associado a cada cor das pás do rotor principal.	37
Tabela 4.4 – Características do rotor de cauda <i>Fenestron</i> [®] no H135 T3.	44
Tabela 6.1 – Descrição conceitual da operação do sistema.	69
Tabela 6.2 – Validação da aeronave H135 T3.	75
Tabela 6.3 – Características desejadas para as medidas de efetividade.	82

Lista de Siglas e Abreviaturas

- ADV – Absorvedor Dinâmico de Vibrações
- AMM – Manual de Manutenção da Aeronave (do inglês, *Aircraft Maintenance Manual*)
- ARIS – Sistema de Isolamento Anti-ressonância (do inglês, *Anti Resonance Isolation System*)
- ATCM – *Antarctic Treaty Consultative Meetings*
- CIRM – Comissão Interministerial para os Recursos do Mar
- ComForAerNav – Comando da Força Aeronaval
- CONOPS – Conceito de Operação (do inglês, *Concept of Operations*)
- CMP – Programa de Manutenção Continuada (do inglês, *Continuous Maintenance Program*)
- CTP – Caixa de Transmissão Principal
- DAE – Destacamento Aéreo Embarcado
- DAerM – Diretoria de Aeronáutica da Marinha
- ELT - *Emergency Locator Transmitter*
- EACF – Estação Antártica Comandante Ferraz
- FADEC – *Full-Authority Digital Engine Controls*
- FH – Horas de Voo (do inglês, *Flight Hours*)
- FOD – Danos por Objetos Estranhos (do inglês, *Foreign Objective Damage*)
- HEMS – Helicóptero para Serviços Médicos Emergenciais (do inglês, *Helicopter Emergency Medical Services*)
- IFR – Regras de Voo por Instrumentos (do inglês, *Instrument Flight Rules*)
- KIAS – *Knots-Indicated Air Speed*
- MB – Marinha do Brasil
- MBB – *Messerschmitt Bölkow Blohm*
- MOE – Medidas de Efetividade (do inglês, *Measures of Effectiveness*)
- MSM – *Master Servicing Manual*
- MTOM – Máxima Massa de Decolagem (do inglês, *Maximum Take-Off Mass*)

NR – Número de Rotações

NVG – Óculos de Visão Noturna (do inglês, *Night Vision Goggle*)

OCD – Descrição Conceitual da Operação (do inglês, *Operational Concept Description*)

OEI – *One Engine Inoperative*

OPERANTAR – Operação Antártica

PROANTAR – Programa Antártico Brasileiro

SOS – *System of Systems*

TAS - *Traffic advisory system*

TM – Manual de Treinamento (do inglês, *Training Manual*)

TSN – *Time Since New*

VERTREP – *Vertical Replenishment*

VFR – Regras de Voo Visual (do inglês, *Visual Flight Rules*)

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	11
1.1 Introdução	11
1.2 Justificativa	12
1.3 Objetivos.....	12
1.3.1 <i>Objetivo geral</i>	12
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	12
1.4 Estrutura do Trabalho	13
CAPÍTULO 2 – REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1 Operação Antártica e Peculiaridades Climáticas.....	15
2.2 Tecnologia do Rotor Principal dos Helicópteros.....	16
2.3 Embasamento Técnico.....	17
CAPÍTULO 3 – HISTÓRIA DO HELICÓPTERO H135	19
3.1 Início do Desenvolvimento.....	19
3.2 Características Atuais	21
CAPÍTULO 4 – DESCRIÇÃO GERAL DO H135 T3	23
4.1 Descrição Técnica.....	23
4.2 Configurações	24
4.3 Sistema de Sustentação.....	28
4.3.1 <i>Acionamento do rotor principal</i>	29
4.3.2 <i>Sistema do rotor principal</i>	35
4.4 Rotor de Cauda	41
4.4.1 <i>Cone de cauda</i>	41
4.4.2 <i>Estabilizador horizontal</i>	42
4.4.3 <i>Estabilizador vertical</i>	43
4.5 Fuselagem.....	45

4.6 Sistemas Embarcados	47
4.6.1 FADEC.....	48
4.6.2 Helionix®.....	51
4.7 Manutenção do H135.....	52
4.7.1 Inspeções programadas.....	54
4.7.2 Programa de manutenção continuada (CMP).....	55
4.7.2.1 CMP para helicópteros com mais que 400FH por ano.....	56
4.7.2.2 CMP para helicópteros com menos que 400FH por ano.....	56
4.7.3 Custos de manutenção e operação.....	57
4.8 Considerações sobre o H135 T3.....	58
CAPÍTULO 5 – HISTÓRIA DA ATUAÇÃO DAS AERONAVES NAS OPERAÇÕES AERONAVAIS E OPERAÇÃO AÉREA NA MISSÃO OPERANTAR.....	60
5.1 Breve História do Início Operacional da Aviação Embarcada no Contexto Mundial....	60
5.2 Aviação na Marinha do Brasil.....	62
5.3 Operações Aéreas no PROANTAR.....	64
CAPÍTULO 6 – ENGENHARIA DE SISTEMAS APLICADA NA ANÁLISE TÉCNICA E OPERACIONAL DO H135M T3	68
6.1 OCD.....	69
6.2 CONOPS	70
6.2.1 Descrição operacional.....	71
6.2.2 Validação da aeronave H135M T3.....	74
6.3 MOE	80
CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	83
7.1 Conclusões.....	83
7.2 Sugestões para Trabalhos Futuros	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
ANEXO A – DIMENSÕES EXTERIORES DAS VERSÕES DO H135.....	89
APÊNDICE A – FUSELAGEM DO H135 T3: COMPOSIÇÃO ESTRUTURAL	90

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 Introdução

Atualmente, devido às várias configurações disponíveis para os helicópteros, proporcionados pelos crescentes avanços tecnológicos tanto em material como novos sistemas embarcados, tem sido possível atender as mais diversas demandas de clientes civis e governamentais com o propósito de executar diferentes missões como: busca e salvamento, transporte de passageiros, missões policiais, vigilância de fronteiras, resgate aeromédico, transporte de cargas, transporte VIP, manutenção de parques eólicos industriais, treinamento militar, entre outras. Diante da enorme versatilidade e operacionalidade proporcionada por esse meio aéreo (o helicóptero) é que se insere a Marinha do Brasil (MB) que tem empregado cada vez mais meios aeronavais no cumprimento de suas missões, principalmente, realizando operações em conjunto com seus meios navais a fim de apoiá-los no mar, nos rios e em terra.

A Marinha do Brasil, perante a sua vasta operação dentro e fora do Brasil, atua em certas missões militares que demandam elevado nível de exigências operacionais, materiais e sistêmicas das aeronaves, o que leva a MB a buscar novos meios dotados de tecnologias mais avançadas e atualizadas para executar as suas tarefas. Dentre suas missões, encontra-se o Programa Antártico Brasileiro (OPERANTAR) que contribui para a pesquisa, apoiando 17 projetos científicos de diferentes áreas de conhecimento e atua na manutenção e funcionamento da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) no “Continente Gelado” (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2018).

Portanto, constata-se que atuar em ambientes climáticos extremos, submetidos a diversas intempéries como: baixas temperaturas, fortes ventos e nevascas, requer aeronaves robustas, versáteis e ágeis. Neste contexto, este trabalho busca apresentar a nova aeronave adquirida pela MB, conhecida como H135M T3 (linha Alemã, construída pela empresa *Airbus Helicopters*), explicitando tecnicamente as suas características e novas tecnologias que proporcionam maior eficiência, conforto e, principalmente, segurança para a realização de voos.

Além disso, serão apresentados conceitos de Engenharia de Sistemas e sua aplicação na análise técnica e operacional do H135M T3, utilizando duas ferramentas (Descrição

conceitual de operação - OCD e conceito de operação - CONOPS) para entender o ambiente operacional real na qual a aeronave está inserida e sua interação com os demais meios externos. Ainda nesse âmbito, será introduzido o conceito de medida de efetividade (MOE) que busca analisar quantitativamente o sucesso operacional da aeronave em atuação no ambiente real para qual foi projetada.

1.2 Justificativa

O presente trabalho objetiva analisar tecnicamente as inovações tecnológicas presentes no H135 principalmente no seu sistema de sustentação, além de apresentar as vantagens da aeronave nas operações navais no Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho de conclusão de curso é analisar a dinâmica operacional da aeronave H135, apresentando seus sistemas e componentes separadamente e como suas interações promovem uma maior eficiência e robustez nas operações aéreas, mesmo operando em condições extremas.

1.3.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral deste trabalho, será necessário:

- Explicar o funcionamento do sistema de sustentação e seus componentes periféricos para entender o diferencial operacional presente no H135;
- Entender o processo de manutenção do H135 e os tipos de manutenções que podem ser executadas na aeronave;
- Explicitar a aplicação do H135 nas operações navais na Marinha do Brasil, especificamente, no Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR);
- Entender duas ferramentas inseridas na Engenharia de Sistemas, OCD e CONOPS, na qual buscar-se-á explicar como o H135M T3 (sistema) interage nas operações no PROANTAR (sistema maior);

- Entender o conceito de medida de efetividade (MOE) que está presente na Engenharia de Sistemas e como aplicá-la nas operações aéreas do H135M T3.

1.4 Estrutura do Trabalho

No Capítulo 1 é apresentada a introdução do trabalho, juntamente com os objetivos que se deseja alcançar e as motivações para que a pesquisa fosse realizada.

No Capítulo 2 são apresentadas as bases teóricas utilizadas como apoio para o desenvolvimento do trabalho, indicando autores, trabalhos acadêmicos e materiais de apoio.

No Capítulo 3 é apresentada a história da criação do H135, além da sua evolução, desenvolvimento e aprimoramento, mediante apresentação das suas versões até os dias atuais. Ademais, são expostos os novos recursos e modificações aplicados na última versão disponível e as características operacionais presentes.

No Capítulo 4 é descrito detalhadamente o sistema de sustentação e suas subdivisões, explicando tecnicamente as vantagens construtivas e operacionais resultante da configuração do rotor principal não rolamentado (*bearingless main rotor*). Além disso, são descritos o rotor de cauda e a atuação do *Fenestron*[®] no voo e suas vantagens e desvantagens. A fuselagem é discriminada e apresentada a fim de entender melhor sua influência na aerodinâmica da aeronave e sua importância como plataforma para os sistemas do helicóptero, tripulação, passageiros e carga paga. Em seguida, são apresentados alguns sistemas presentes no H135 T3 que trouxeram inovação e maior confiabilidade operacional ao piloto. Por último, poderá ser entendido como funciona o programa de manutenção do H135, explicando as duas formas de coordenar e executar a manutenção e quais os principais tipos de inspeções realizadas, além de entender a importância da manutenção durante a vida operacional da aeronave.

No Capítulo 5 serão apresentados: a história da aviação embarcada num contexto mundial, os fatores que levaram à aplicação dos meios aéreos a bordo dos navios, a história da aviação na Marinha do Brasil (MB), o motivo pela qual a MB opera meios aéreos e a evolução das operações de asas rotativas juntamente com os navios. Será tomado como destaque, dentre os diversos programas e missões executadas pela MB, o Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR) e a atuação da recém aeronave adquirida, o H135M T3, nesse programa.

No Capítulo 6 será apresentado o conceito de Engenharia de Sistemas juntamente com a aplicação de duas ferramentas conhecidas como OCD e CONOPS. Como base nelas, uma

descrição operacional da aeronave, que participa da OPERANTAR, será apresentada de maneira que o H135 T3 possa ser validado, ou seja, será verificado se ele é capaz de cumprir os requisitos exigidos nas operações aeronavais, além de analisar sua interação com outros meios. Nesse contexto também será apresentado e explicado o conceito de *System of Systems* (SoS). Por fim, será introduzido o conceito dentro da Engenharia de Sistemas conhecido como medidas de efetividade (MOE) que busca fazer uma análise quantitativa do sistema em operação, em outras palavras, uma medição do sucesso do projeto a fim de verificar se o produto final ao operar em ambiente real atende os objetivos do cliente.

No Capítulo 7 apresentar-se-á a conclusão do presente trabalho bem como sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Operação Antártica e Peculiaridades Climáticas

A Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM) possui a finalidade de coordenar os assuntos relativos aos temas relacionados a execução da Política Nacional para os Recursos do Mar. Ela passou a gerenciar o Programa Antártico Brasileiro a partir de 1982 (SECIRM, 2020).

Segundo a SECIRM (2020), o PROANTAR tem como foco a pesquisa nas áreas de Ciência da Atmosfera, Ciência da Terra e Ciências da Vida, além de pesquisa na área tecnológica. Devido a isso, o programa promove essas pesquisas com enfoque multidisciplinar e interinstitucional. Assim, o interesse no continente Antártico e a enorme importância da presença brasileira na região deve-se a alguns fatores como:

- Presença de grandes reservas de recursos minerais estratégicos ainda não explorados, tanto em solo Antártico como em sua plataforma continental;
- Os efeitos provenientes dos fenômenos meteorológicos e oceanográficos advindos da região Antártica que afetam o Brasil devido a sua posição geográfica, uma vez que grande parte do território brasileiro é atingido pelos ventos e massas de ar frio geradas na Antártica, afetando a pecuária e a agricultura, além das correntes marinhas que trazem recursos vivos, oxigênio e nutrientes para o litoral brasileiro, influenciando a pesca e fauna marítima;
- O desenvolvimento de pesquisas na região Antártica é a condição essencial para que o país possa manter sua condição de Membro Consultivo do Tratado da Antártica, permitindo que o Brasil tenha direito de participar dos grandes projetos científicos globais que são desenvolvidos em parceria internacional. Além disso, permite ao Brasil ter direito de voto e veto nos fóruns da Antarctic Treaty Consultative Meetings (ATCM) concedendo ao Brasil a participação sobre as tomadas de decisões relacionadas aos rumos do continente Antártico;
- A Antártica possui um papel importante como regulador térmico do planeta, agindo diretamente nas chuvas e secas tanto nos mares como nos demais continentes.

Outro ponto importante é entender e compreender as condições climáticas na Antártica para que seja possível saber lidar com as intempéries presentes nessa região. Conforme Schwerdtfeger (1984), a Antártica é a região mais fria da Terra, com temperaturas médias de -15°C a -30°C no litoral e -40°C a -70°C no interior do continente durante o inverno e temperatura média de 0°C no litoral e -15°C a -35°C no interior do continente durante o verão. Essas temperaturas baixas devem-se principalmente à cobertura permanente de neve que reflete mais de 80% da radiação solar que incide sobre o continente e sobre o gelo flutuante no mar. Ademais, a região do litoral, localizada entre as latitudes 60°S e 75°S , está em uma área de um cinturão de baixa pressão durante o ano inteiro resultando em condições atmosféricas frequentemente muito instáveis. O clima é, em geral, frio e úmido e a precipitação é uma mistura de chuva e neve. O vento não possui um comportamento padrão em relação a direção, mas sim, em relação à intensidade que na maior parte do tempo é extremamente forte, tornando a região extremamente perigosa para pessoas que executam alguma atividade na península Antártica. Assim, os ventos presentes na região são diferentes do que ocorrem em qualquer parte do mundo pois, sua intensidade e direção não são controladas por padrões gerais de pressão atmosférica. Além disso, ele afirma que devido às bruscas variações de pressões atmosféricas na Antártica, as condições climáticas são muito instáveis e extremamente difíceis de serem previstas.

2.2 Tecnologia do Rotor Principal dos Helicópteros

O sistema de rotor de um helicóptero é classificado em três tipos: rotor articulado, rotor semi-rígido e rotor rígido. Entretanto, devido aos avanços tecnológicos e a aplicação de materiais compósitos na fabricação das pás do rotor principal do helicóptero, uma nova classificação surgiu, definida como rotor sem rolamento ou rotor não rolamentado (*bearingless*). Este sistema de rotor está presente no H135 (VENKATESAN, 2014).

Venkatesan (2014) relata que no rotor sem rolamento não há a presença de articulações e as pás são fixadas diretamente no cubo do rotor principal, ou seja, diretamente no mastro por intermédio de uma viga de material compósito denominada de *flexbeam* ou viga flexível. Essa viga de compósito não é projetada apenas para fornecer rigidez nas deformações de batimento e avanço-recuo mas atua como mecanismo de mudança de passo. A principal vantagem desse sistema de rotor é que ele possui menos peças móveis, contudo, a simplicidade na configuração esconde a complexidade nos aspectos de projeto.

Os autores Jin, Yu e Yong (2015) realizaram um estudo sobre a redução de vibração de um rotor de helicóptero sem rolamentos com acoplamento ao cubo do rotor principal utilizando materiais compósitos. O propósito principal foi obter algumas características importantes da influência da rigidez em flexão e torsão na raiz da pá acoplada ao cubo do rotor, além de analisar as vibrações presentes. Eles afirmam que níveis altos de vibrações limitam o desempenho do helicóptero, reduzem a vida estrutural dos componentes, levam o piloto a fadiga e cansaço, podem proporcionar baixa qualidade durante o voo e aumentam o custo operacional. Com a introdução de materiais compósitos avançados em 1960, foi aberto um novo campo para a construção de aeronaves e seus componentes por serem fortes, leves, possibilitarem um aspecto construtivo de integração de componentes, ou seja, formar uma única peça sem junções, terem resistência à corrosão e elevada resistência à fadiga. Para analisar a dinâmica de rotores sem rolamentos e o efeito da vibração, foi utilizada a abordagem de elementos finitos usando teorias de viga do tipo deflexão moderada. Os dados da pesquisa concluíram que esse aspecto construtivo, baseado em um rotor sem rolamento e utilizando materiais compósitos, possui efeitos significativos para redução das cargas vibratórias, contanto que certos requisitos sejam atendidos como otimização de projeto adequado, força de acoplamento adequada ao mastro e distribuição correta das cargas atuantes.

O mesmo é reforçado por Panda e Chopra (1986) na qual realizaram um estudo acerca da estabilidade dinâmica de um rotor sem rolamento em voo pairado e em voo a frente. Eles afirmam que esta concepção de construção proporciona melhores características de manutenção por não possuir articulações e rolamentos, além de permitir maior poder de controle das pás.

2.3 Embasamento Técnico

Teixeira (2019) realizou sua monografia com foco na pesquisa e análise do sistema de sustentação do helicóptero EC135/H135. No trabalho, o autor objetivou apresentar como o sistema de sustentação inovador do H135, dotado de tecnologia, tem contribuído para a segurança operacional dos voos nas aeronaves de asas rotativas. Ele afirma que o benefício proveniente do sistema de sustentação do helicóptero EC135/H135, baseado em um rotor na qual as pás são diretamente instaladas no mastro, resulta em um voo estável e seguro. Isto foi possibilitado devido aos componentes empregados, como as pás do rotor principal cujas raízes

permitem que os movimentos de avanço e recuo, batimento e de mudança de passo das pás possam ser realizados sem a presença de articulações. Além disso, ele conclui que a tecnologia e as recentes inovações desde o projeto até a fabricação de peças e componentes atrelados aos novos sistemas embarcados foram responsáveis por aumentar a segurança dos voos e seu desempenho e versatilidade, tornando-o destaque no seu segmento. O autor recomenda em seu trabalho um acompanhamento da evolução do EC135/H135, principalmente no que tange as novas atualizações e as formas como ele tem sido empregado nas operações aéreas.

Este trabalho de conclusão de curso busca apresentar uma aeronave de asa rotativa denominada H135, projetada e desenvolvida pela empresa *Airbus Helicopter* e recém adquirida pela Marinha do Brasil para o Primeiro Esquadrão de Helicópteros de Emprego Geral (EsqdHU-1) com o viés de uma aeronave multipropósito e com foco nas operações no PROANTAR. Assim, para tal estudo, foi realizada uma pesquisa técnica no âmbito das aeronaves de asas rotativas utilizando documentação técnica, incluindo sites especializados no helicóptero H135. Foi imprescindível, para a descrição detalhada dos sistemas e suas abordagens, a utilização do manual para treinamento dos mecânicos (TM 2018) e o manual de voo (PMV) elaborado pelo fabricante da aeronave. Além disso, outro fator extremamente relevante que corroborou para maior detalhamento e entendimento do H135, foi o período de dois meses no hangar da empresa Helicópteros do Brasil (HELIBRAS) que permitiu ter acesso e visualizar todos os sistemas que compõem a aeronave, além de presenciar seu funcionamento e operação.

Ademais, livros, normas técnicas e o site da empresa *Airbus Helicopters* e da HELIBRAS permitiram acessar informações históricas da aeronave H135, sua evolução ao longo do tempo, dados técnicos e atualizações.

CAPÍTULO 3 – HISTÓRIA DO HELICÓPTERO H135

3.1 Início do Desenvolvimento

O helicóptero H135 é uma aeronave civil, bimotor leve, fabricada na Alemanha pela empresa *Airbus Helicopters*, contudo, sua primeira concepção, denominada de BO108, foi projetada e desenvolvida pela *Messerschmitt Bölkow Blohm* (MBB), que realizou seu primeiro voo em 15 de outubro de 1988 (ALLEN, 1996). A Figura 3.1 apresenta a aeronave BO108.



Figura 3.1 – Helicóptero BO108 (Fonte: HELIS, 2020)¹.

No começo dos anos de 1990, a MBB e a *French Aerospatiale* se fundiram e formaram a *Eurocopter*. Assim, o BO108 foi utilizado como modelo de produção para demonstração de novas tecnologias, tendo seu projeto modificado para aumentar a capacidade de lugares, podendo ter a configuração de um piloto e sete passageiros ou dois pilotos e seis passageiros, além da introdução de novas tecnologias como sendo o primeiro a embarcar o *full-authority digital engine controls* (FADEC) e a incorporação do rotor de cauda *Fenestron*[®]. Devido a isso, a aeronave foi renomeada para EC135 e seu primeiro voo ocorreu em 15 de fevereiro de 1992 tendo a possibilidade de ser equipado com motores ARRIUS da

¹ Disponível em: <<https://www.helis.com/database/model/MBB-Bo-108/>>. Acesso em: 25 jan, 2020.

Turbomeca ou PW206 da Pratt & Whitney Canada. A denominação militar deste modelo era EC635 até o ano de 2015 (HELIBRAS, 2016).

Em janeiro de 2014, o grupo *Eurocopter* foi renomeado como *Airbus Helicopters*, iniciando uma nova fase na história da empresa. Por consequência, a partir de 1 de janeiro de 2015 os produtos dela ganharam novos nomes, de maneira que as letras EC foram substituídas pela letra H, que resultou na mudança de EC135 para H135 e a versão militar obteve o acréscimo da letra M ao final do termo, substituindo o número 6 da antiga nomenclatura, tornando-se H135M, como é conhecido nos dias atuais (AIRBUS HELICOPTER, 2017). A Figura 3.2 apresenta a versão H135 T2/P2.



Figura 3.2 – Helicóptero H135 T2/P2 (Fonte: TM H135, 2014).

A história das aeronaves de asas rotativas revela que os engenheiros e fabricantes sempre estão em busca de maior eficiência, segurança e conforto durante a realização dos voos. Assim, o H135 passou por diversas modificações e evoluções tecnológicas, resultando em modificações em sua carenagem e utilização de novos motores. Segundo TM H135 (2018), os motores podem ser produzidos pelos fabricantes Turbomeca ou Pratt & Whitney, assim, quando equipado com motor Turbomeca recebe-se a letra T (H135T) e com motor Pratt & Whitney a letra P (H135P). Diante da evolução, esses motores e modelos se modernizaram gerando suas variantes como apresentado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Variantes do H135.

Versão	Motor	MTOM
H135 P1	Equipado com Pratt & Whitney PW 206 B	2720 kg
H135 T1	Equipado com Turbomeca ARRIUS 2B1, 2B1A, 2B1A1	2720 kg
H135 P2 / P2+	Equipado com Pratt & Whitney PW 206 B2	2910 kg
H135 T2 / T2+	Equipado com Turbomeca ARRIUS 2B2	2910 kg
H135 P3	Equipado com Pratt & Whitney PW 206 B3	2980 kg
H135 T3	Equipado com Turbomeca ARRIUS 2B2 plus	2980 kg

Adaptado de: TM H135, 2018.

3.2 Características Atuais

Início de 2015, a *Airbus Helicopters* lança sua última versão para essa família de aeronaves conhecido como H135 T3/P3, fornecendo e elevando os níveis de segurança, desempenho e confiabilidade requeridos. Essa nova versão trouxe custos operacionais e de manutenção mais competitivos no mercado aeronáutico. Isso se deve as modernizações e alterações realizadas na versão anterior (H135 T2/P2), promovendo melhorias técnicas e de desempenho, que compreendem (AIRBUS HELICOPTERS, 2017):

- Novo projeto das pás do rotor principal com 10 centímetros a mais de comprimento que proporcionou maior sustentação (no Anexo A é possível verificar esse aumento das pás);
- Novas entradas de ar laterais para melhorar a eficiência dos motores;
- Novo *software* FADEC (atualização mais recente) que proporcionou melhorias no controle do combustível, tornando o processo mais otimizado, permitindo um acréscimo de até 70 kg a mais de carga em voo monomotor (*One Engine Inoperative - OEI*);
- Retirada das *Ends Plates* do estabilizador horizontal e aumento do seu comprimento (Vide Anexo A);
- Melhor eficiência dos motores, proporcionando maior desempenho de voo em grandes altitudes e altas temperaturas (versatilidade em ambientes *High&Hot*) oferecendo mais de 200 kg de carga útil adicional;
- Instalação de um novo mini *tail bumper* (atua como amortecedor e absorvedor de impactos e está localizado na parte inferior da carenagem do *Fenestron*[®]).

Para elucidar algumas diferenças supracitadas, são apresentadas as Figuras 3.3 e 3.4, além do Anexo A.



Figura 3.3 – H135 T2/P2 (Fonte: TURBOSQUID, 2020)².



Figura 3.4 – H135 T3/P3 (Adaptado de: TURBOSQUID, 2020)².

² Disponível em: <https://www.turbosquid.com/Search/Index.cfm?keyword=H135&media_typeid=2>. Acesso em: 10 jan 2020.

CAPÍTULO 4 – DESCRIÇÃO GERAL DO H135 T3

4.1 Descrição Técnica

Os dados apresentados na Tabela 4.1 fornecem uma visão geral dos diversos parâmetros da aeronave, contudo, ela pode ser equipada com diversos itens opcionais e configurada para várias operações mediante necessidade do operador. Conseqüentemente, essas mudanças resultarão em alterações dos parâmetros de massa e desempenho. Entretanto, conhecer esses valores e analisá-los cuidadosamente, mesmo na sua versão básica, já possibilita a comparação com outras aeronaves da mesma classe, além de viabilizar uma análise em conjunto com outros dados e especificações técnicas que serão explicados no presente trabalho. Para maiores detalhes em relação aos parâmetros dimensionais, consultar o Anexo A. Ressalta-se que a descrição dos dados técnicos, apresentados na Tabela 4.1, é referente a versão básica do H135 T3 que se encontra na configuração com até cinco assentos para passageiros e dois pilotos. Essa configuração e disposição dos assentos pode ser vista na Figura 4.1.

Tabela 4.1 – Dados técnicos do Helicóptero H135 T3.

Dados Técnicos	Valores
Parâmetros Geométricos	
Comprimento com as pás	12,26 m
Comprimento sem as pás	10,20 m
Altura do rotor principal	3,35 m
Altura da empenagem vertical	3,51 m
Largura entre <i>skids</i>	2,00 m
Envergadura (Diâmetro do rotor principal)	10,40 m
Área do disco do rotor (S_{ref})	84,95 m ²
Número de pás	4 pás
Parâmetros de Massa	
Peso vazio (<i>Empty Weight</i>)	1583 kg

Carga útil (<i>Useful Load</i>)	1397 kg
MTOM	2980 kg
<i>Sling Load</i>	1300 kg
Grupo Motopropulsor	
Motor	2 x SAFRAN ARRIUS 2B2
Sistema de controle de combustível	FADEC
Parâmetros de Desempenho	
Vel. máxima – nunca exceder (V_{NE}) [*]	130 kt (241 km/h)
Vel. máxima – nunca exceder [*] (condição OEI)	110 kt (203 km/h)
Alcance	342 NM (633 km)
Autonomia (Com tanque de combustível padrão)	3h 36min
Parâmetros Calculados	
Razão de Carga (Carga no Disco do Rotor)	35,08 kg/m ²
Parâmetros Operacionais	
Teto Operacional	20.000 ft (6.096 m)
Temperatura mínima do ar para operação	-35 °C
Temperatura máxima do ar para operação	ISA + 39°C
*Na configuração básica da aeronave em MTOM – Nível do Mar – ISA	

Adaptado de: AIRBUS HELICOPTER, 2020³.

4.2 Configurações

O H135 T3 foi criado baseado em uma concepção que oferece versatilidade operacional e usabilidade em diversos ambientes. Segundo *Airbus Helicopters* (2020), quatro configurações podem ser adotadas mediante a necessidade do cliente, sendo elas:

³ Disponível em: <<https://www.airbus.com/helicopters/civil-helicopters/light-twin/h135.html#tech>>. Acesso em: 01 out 2020.

Configuração básica

Configuração para até dois pilotos e cinco passageiros, voltado para operações de transporte de passageiros. O posicionamento dos assentos voltados um de frente para outro cria um ambiente propício para conversas e trabalho. Este *layout* é considerado uma aeronave na configuração VIP para transporte de autoridades.

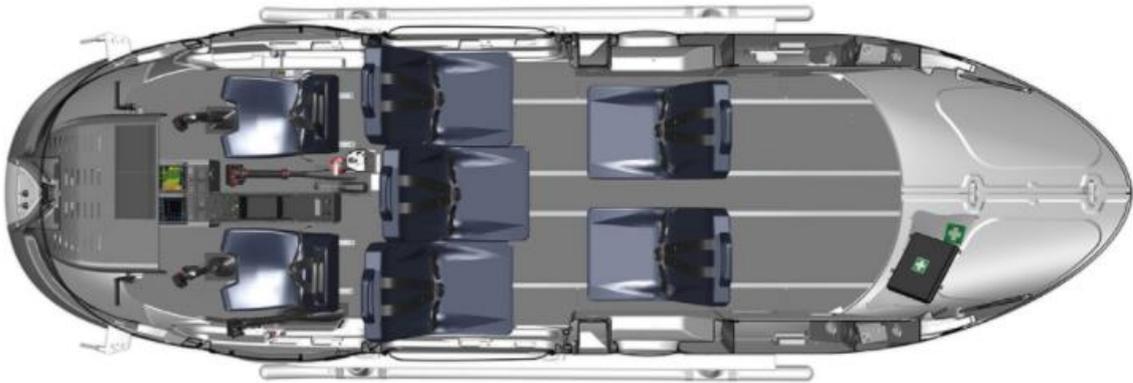


Figura 4.1 – Configuração básica para transporte de passageiros (Fonte: AIRBUS HELICOPTER, 2020)⁴.

Helicopter Emergency Medical Services (HEMS)

Neste *layout*, várias configurações internas são possíveis dependendo da necessidade do operador. Na Figura 4.2 é apresentado um modelo para dois pilotos e dois médicos deixando espaço suficiente para tratar o paciente e facilmente embarcar e desembarcá-lo seja pelas portas laterais ou pela porta traseira.

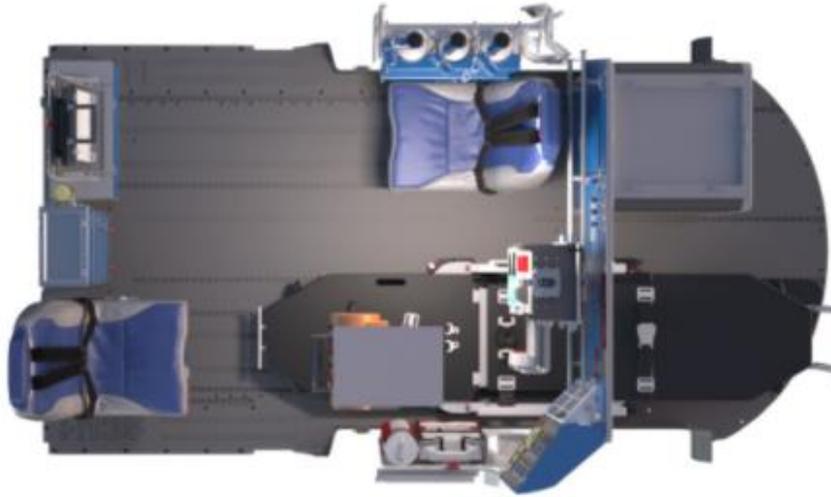


Figura 4.2 – Configuração HEMS (Fonte: AIRBUS HELICOPTER, 2020)⁴.

Vigilância policial

Diversas configurações são possíveis para as operações policiais. Na Figura 4.3 é apresentado um *layout* típico com dois pilotos e um tripulante a bordo para operar armas e equipamentos, deixando espaço para transporte de carga e equipamentos.

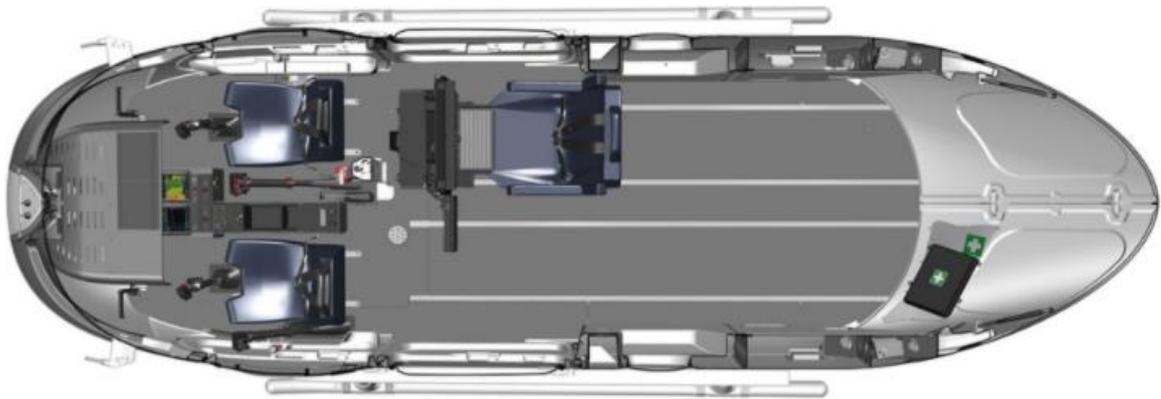


Figura 4.3 – Configuração para vigilância policial (Fonte: AIRBUS HELICOPTER, 2020)⁴.

Treinamento

A disposição de dois pilotos e três assentos voltados para frente, logo atrás dos pilotos, oferece aos alunos uma visão de perto do ambiente operacional da cabine tornando as instruções mais intuitivas e expositivas, facilitando as instruções de voo.

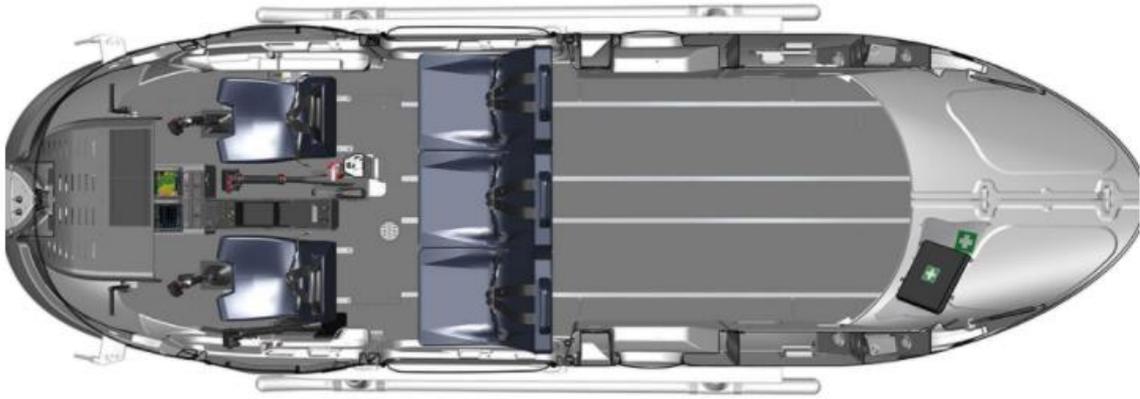


Figura 4.4 – Configuração de treinamento (Fonte: AIRBUS HELICOPTER, 2020)⁴.

Diante das possíveis configurações supramencionadas, é imprescindível destacar a larga cabine oferecida pelo H135 (Figura 4.5) em comparação com outros helicópteros da mesma classe, além do aspecto construtivo interno que proporciona uma rápida mudança da disposição ou implementação de opcionais intercambiáveis oferecidos (EUROCOPTER, 2006). Assim, tais características resultam em:

- Piso plano e desobstruído em toda a área da cabine com trilhos integrados;
- Cabine espaçosa podendo acomodar cargas longas e volumosas;
- Excelente visibilidade externa para pilotos e passageiros;
- Capacidade de embarque e desembarque de materiais e maca pela porta traseira com ampla abertura.

As configurações descritas anteriormente representam algumas possibilidades oferecidas pelo fabricante, contudo, várias outras customizações podem ser feitas mediante requisitos estabelecidos pelo cliente, além da implementação de acessórios e equipamentos opcionais para atender as missões. Em visto disso, as aeronaves H135M T3 (versão militar) adquiridas pela Marinha do Brasil, sendo duas na configuração HEMS e uma na configuração VIP, receberam diversos equipamentos e acessórios para atender as especificidades nas missões no PROANTAR. Ao longo do presente trabalho explicações técnicas e operacionais acerca da aeronave serão apresentadas, expondo as vantagens e inovações tecnológicas que permitirão que ela cumpra com sucesso a missão para qual está sendo designada.

⁴ Disponível em: <<https://www.airbus.com/helicopters/civil-helicopters/light-twin/h135.html#config>>. Acesso em: 01 out 2020.



Figura 4.5 – Vista traseira do H135 (Fonte: EUROCOPTER, 2006).⁵

4.3 Sistema de Sustentação

Segundo o TM H135 (2014), “O sistema de sustentação do H135 está localizado em cima do teto da cabine e dentro da área do centro de gravidade”. Seus componentes principais podem ser verificados na Figura 4.6, sendo composto por:

- Acionamento do rotor principal;
- Sistema de freio do rotor;
- Sistema do rotor principal;
- Sistema de monitoramento.

⁵ Disponível em: <https://exclusiveaircraft.co.uk/sites/default/files/brochure/Eurocopter-EC135-Brochure_0.pdf>. Acesso em 30 set 2020.

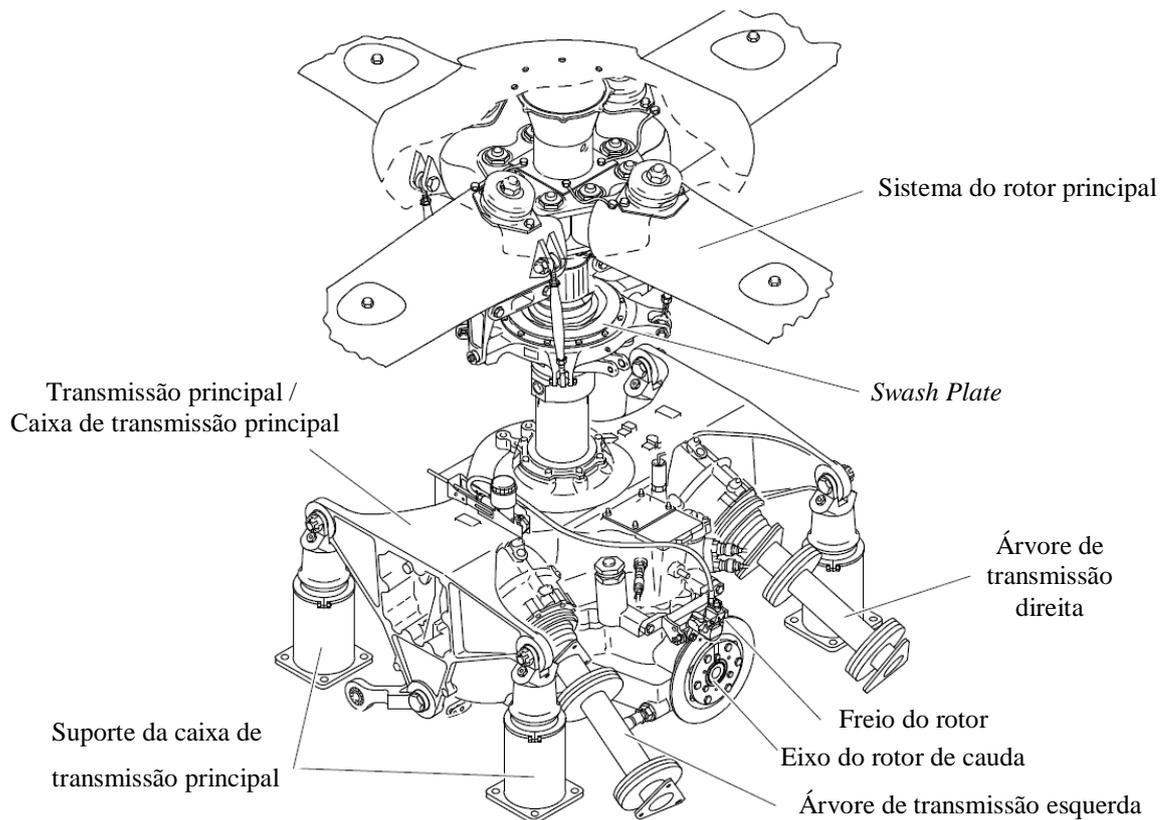


Figura 4.6 – Sistema de sustentação do H135 (Adaptado de: TM H135, 2014).

4.3.1 Acionamento do rotor principal

O H135 T3 é uma aeronave bimotor, possuindo um motor de cada lado da seção longitudinal, desta maneira, o sistema de acionamento do rotor principal transmite potência dos dois motores para o rotor principal e para o rotor de cauda, bem como para as bombas hidráulicas, os dois ventiladores e o compressor do ar-condicionado que são unidades auxiliares.

O conjunto de acionamento do rotor principal, composto por duas árvores de transmissão advinda dos motores, transmissão principal e seus suportes, sistema de monitoramento do acionamento principal e sistema de freio rotor, é um componente estrutural do helicóptero que transmite todas as cargas estáticas e dinâmicas, vibrações e esforços entre o sistema do rotor principal e a fuselagem. Estas partes podem ser verificadas na Figura 4.6.

A transmissão principal possui uma concepção modular e tem por objetivo transmitir a potência dos dois motores para o eixo do rotor principal, eixo do rotor de cauda e demais sistemas auxiliares como bombas de óleo, bombas hidráulicas e ventiladores de

arrefecimento. Além disso, duas rodas livres incorporadas nos acionamentos de entrada, que são as árvores de transmissão esquerda e direita, permitem que a potência seja transmitida apenas no sentido do motor para a transmissão principal, ou seja, elas evitam a inversão do fluxo de potência da transmissão principal para os motores. Elas são responsáveis por possibilitar que a aeronave execute a manobra de autorrotação, quando o rotor principal é acionado devido à ação do vento, independente do funcionamento dos motores. Segundo Coimbra (2009, p. 165), “Autorrotação é a capacidade do helicóptero em manter suas pás girando, por ação aerodinâmica, em caso de falha do(s) motor(es), permitindo ao piloto manter o controle da aeronave durante a descida para um pouso seguro”.

A caixa de transmissão principal (CTP) reduz a rotação de entrada dos dois acionamentos, esquerdo e direito, para a rotação de saída necessária ao rotor principal, rotor de cauda e demais acessórios. Na Figura 4.7 é apresentado detalhadamente o interior da CTP, sendo possível observar como são realizadas as reduções de número de rotações (NR) em cada componente: redutores cônicos, coroa dentada e engrenagens, e como ocorre a transmissão de potência através de árvores, eixos e flectores⁶.

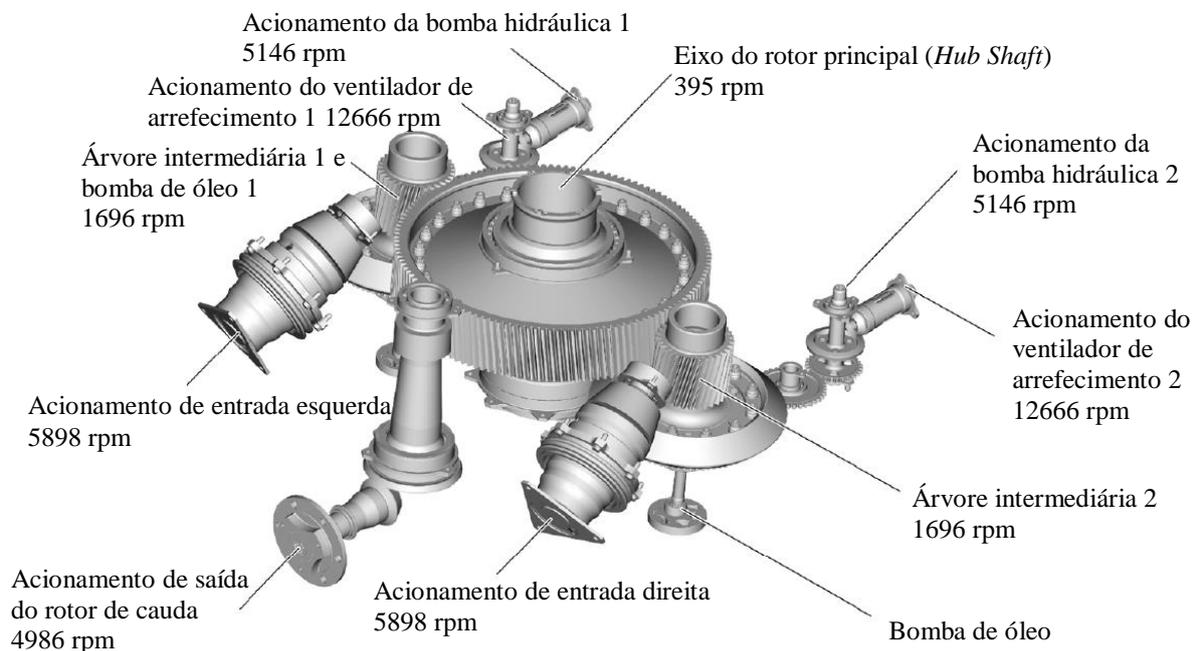


Figura 4.7 – Caixa de transmissão principal: conjunto de engrenagens e rpm (a 100%) (Adaptado de: TM H135, 2018).

⁶ Flector também conhecido como acoplamento flexível (*Flexible Coupling*) é um componente presente na árvore de transmissão localizado nos pontos de conexão entre duas seções de eixos. Ele tem a função de absorver vibrações na direção longitudinal do eixo além de possibilitar pequenos desalinhamentos entre os eixos.

O eixo do rotor principal possui uma rotação de saída de 395 rpm quando a NR da aeronave está em 100%. Esta rotação irá atuar diretamente no sistema do rotor principal, rotacionando as pás, que gerarão sustentação e tração durante a operação. A Tabela 4.2 apresenta dados técnicos da transmissão principal do H135 T3.

Tabela 4.2 – Principais particularidades da transmissão principal (100% NR).

Peso	Aproximadamente 143,5 kg	
Redução da engrenagem	Rotor principal	14,923
	Rotor de cauda	1,183
Velocidade	Acionamento	5898 rpm
	Rotor principal	395 rpm
	Saída do rotor de cauda	4986 rpm
Quantidade de óleo	Aproximadamente 10,0 L	
Material	Liga de alumínio	

Adaptado de: TM H135, 2018.

A transmissão principal é fixada na estrutura da aeronave por meio de quatro amortecedores com sistema de isolamento antirressonância (ARIS), um suporte de carga lateral (Y-Strut) e dois suportes de torque. Esses componentes juntos possuem a função de transmitir as forças e momentos do rotor principal para a estrutura do helicóptero.

O suporte de carga lateral (Y-Strut) tem a função de suportar todos os esforços na direção Y, enquanto, os dois suportes de torque, feitos de titânio, suportam as reações do torque do rotor principal e todos os esforços longitudinais (direção X) do sistema do rotor principal. Na Figura 4.8 são apresentados os 4 amortecedores, os suportes e o sistema de coordenadas.

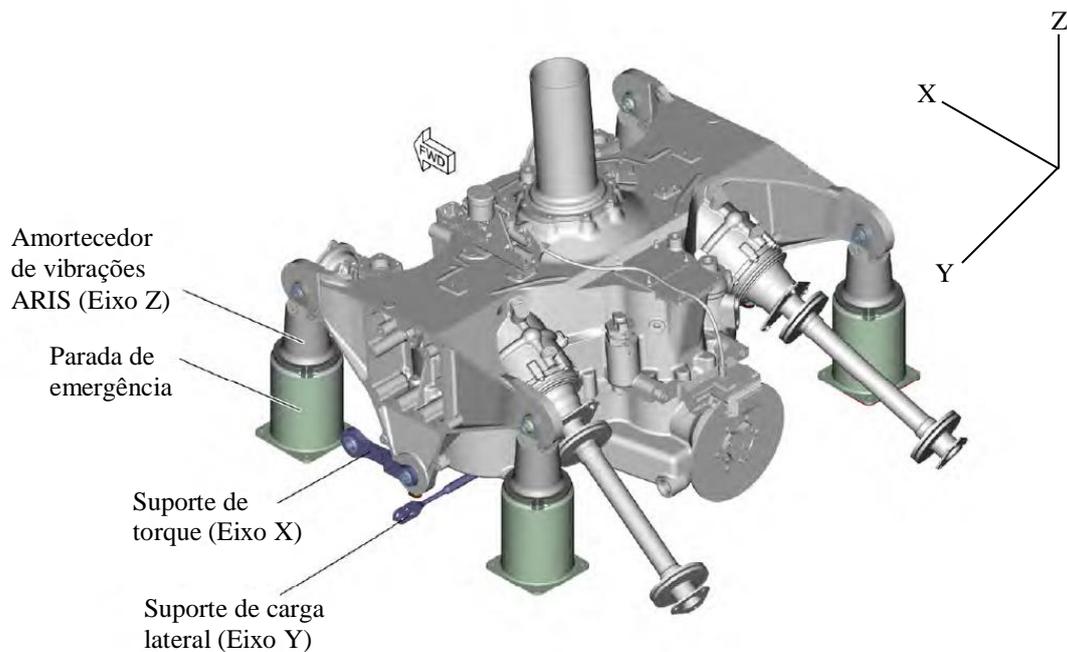


Figura 4.8 – Suportes da caixa de transmissão principal (Adaptado de: TM H135, 2018).

O sistema ARIS tem a função de absorver, reduzir e isolar as vibrações geradas pelo rotor principal para a fuselagem do helicóptero apenas no eixo vertical da aeronave (eixo Z). Para tal, é aplicado o conceito de amortecedor massa-mola. Este conjunto é dimensionado de tal maneira que a frequência do rotor principal induza uma oscilação antirressonante no sistema massa-mola, ou seja, a massa presente no ARIS vibra na mesma frequência natural do sistema do rotor principal, mas, com uma defasagem de 180° de fase, evitando que ocorra o fenômeno conhecido como ressonância. Desta forma, a força gerada pelo rotor principal no sentido vertical quando direcionada para cima é compensada pela força resultante das quatro massas, presentes no interior do ARIS, se deslocando para baixo, e vice-versa. Deve-se ter em mente que o ARIS apenas é efetivo no eixo Z e quando a frequência é ajustada corretamente. Para elucidar este comportamento é apresentada a Figura 4.9.

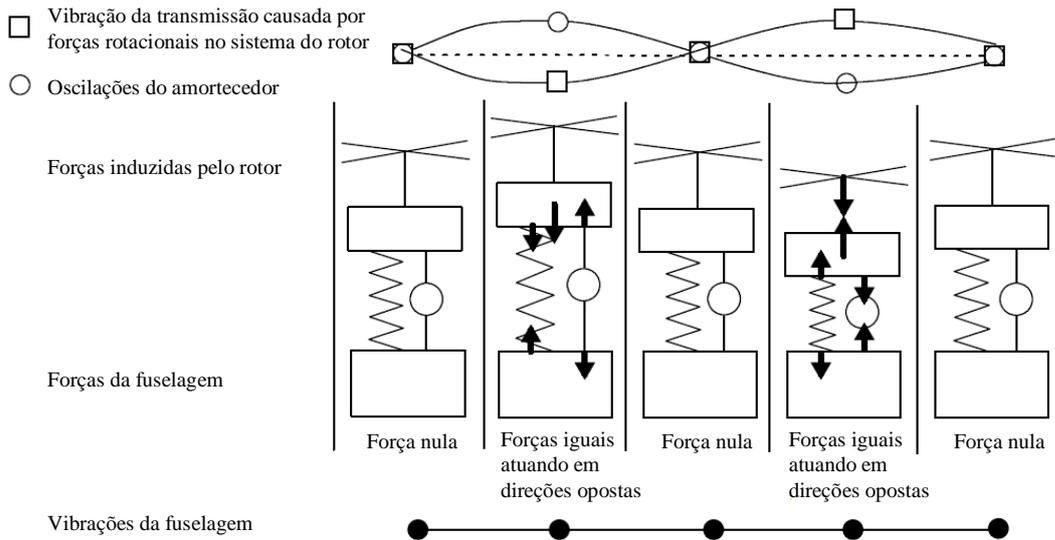


Figura 4.9 – Funcionamento de um absorvedor dinâmico de vibrações passivo (Adaptado de: TM H135, 2018).

O ARIS possui o comportamento de um absorvedor dinâmico de vibrações (ADV) que é um dispositivo de controle de vibrações passivo que busca reduzir as amplitudes de um sistema primário (fuselagem) gerado pela vibração de um sistema secundário (sistema de sustentação) em uma frequência de projeto específica. Este ADV é baseado em uma concepção hidromecânica apresentado internamente na Figura 4.10.

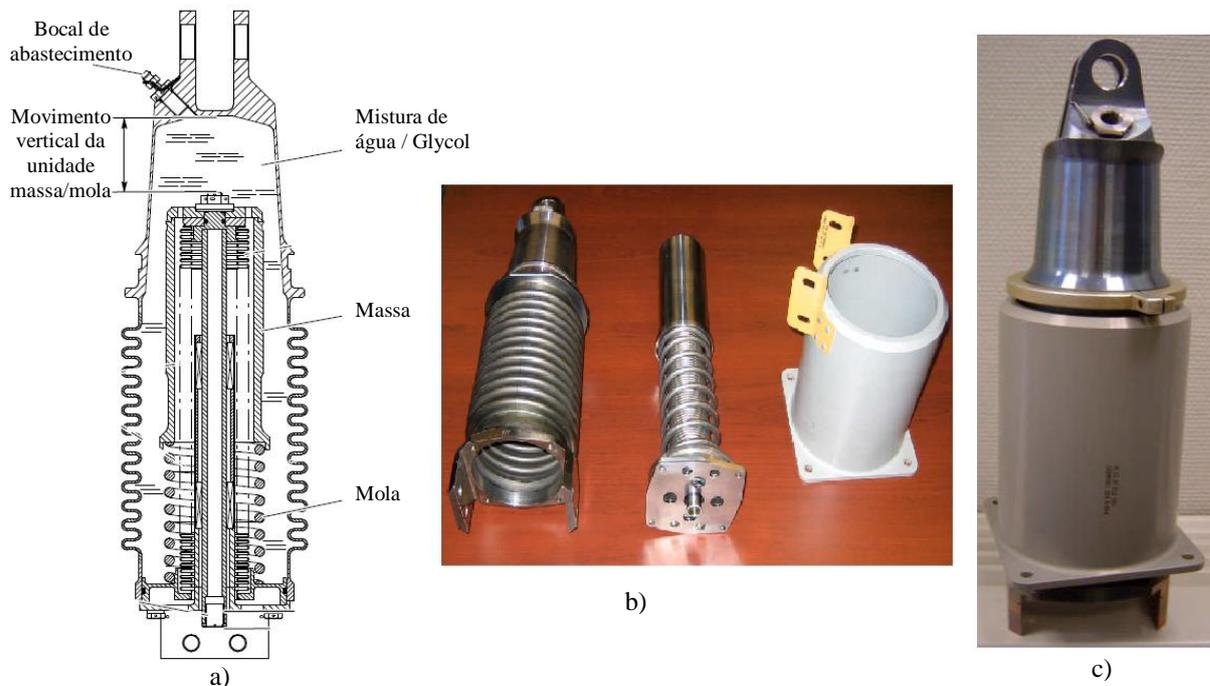


Figura 4.10 – ARIS presente no H135 T3. a) Modelo esquemático do ARIS; b) Componentes que formam o ARIS; c) ARIS completamente montado. (Adaptado de: TM H135, 2018).

O sistema ARIS supracitado possui apenas capacidade de reduzir as vibrações na direção Z. Para reduzir as vibrações laterais da fuselagem ou estrutura na direção Y é utilizado um amortecedor de oscilação, conhecido também como “amortecedor y”. Ele é montado na fuselagem fixado a um suporte abaixo do painel do piso no lado esquerdo do helicóptero no sentido longitudinal da aeronave. Este amortecedor consiste de duas massas (padronizadas pelo fabricante) aparafusadas em uma lâmina, podendo essas massas padrões serem ajustáveis por acréscimo de massas, ou seja, é possível fixar até seis chapas (placas de ajuste) de mesma massa para realizar uma melhor regulação da massa total caso seja necessário. Além disso, o posicionamento das massas na lâmina pode ser ajustável permitindo variar a constante de rigidez do conjunto a fim de obter um ajuste ideal para a nova condição a qual o helicóptero poderá estar submetido. Ele funciona baseado no princípio de massa-mola, contudo, não existe efetivamente uma mola e sim uma lâmina que proporciona tal propriedade. Este conjunto descrito é exposto na Figura 4.11 para que seja possível facilitar o entendimento e visualização.

O amortecedor y começa a atuar quando há oscilações laterais da fuselagem, assim, sua frequência natural deve ser igual à frequência de vibração da estrutura, mas, defasado em 180° em fase a fim de que o amortecedor reaja em oposição direta às vibrações da fuselagem. Esta frequência natural pode ser ajustada variando a massa dos pesos ou movendo-se os pesos nas lâminas.

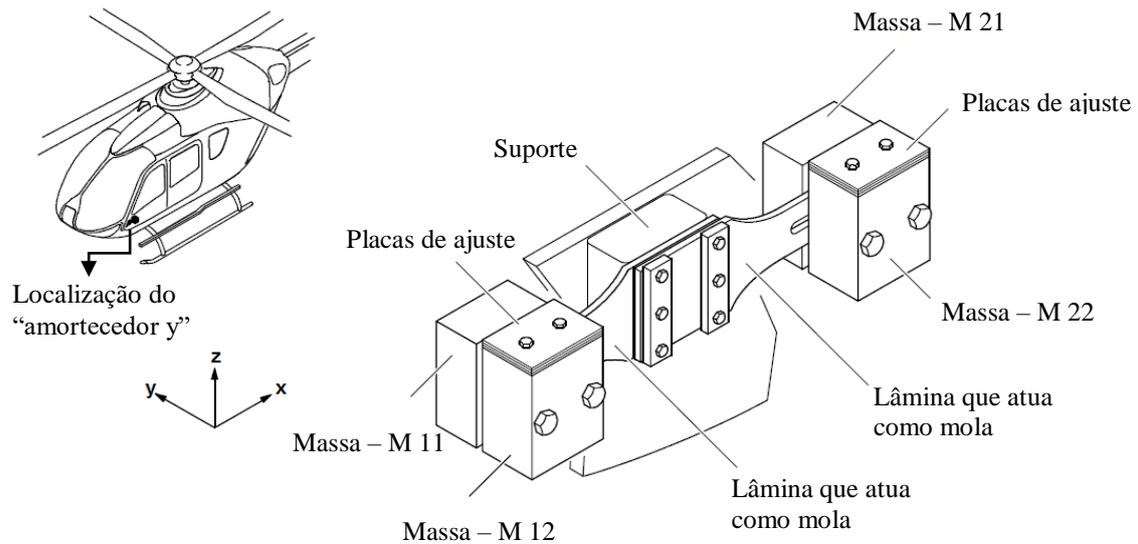


Figura 4.11 – Amortecedor de oscilação (Adaptado de: TM H135, 2018).

4.3.2 Sistema do rotor principal

O sistema do rotor principal (Figura 4.6) é a alma da aeronave, uma vez que ele é responsável por gerar ao mesmo tempo a tração e sustentação necessária para que o voo possa ser realizado. No H135 T3, esse sistema consiste de quatro pás sem articulações e sem rolamento (rotor não rolamentado - *bearingless*), uma árvore do rotor principal com cabeça integrada ao mastro, elementos de comando e sensores de monitoramento.

Na Figura 4.12 têm-se os principais componentes do sistema do rotor principal do H135 T3. Eles serão detalhados posteriormente, ressaltando quais foram as alterações e inovações realizadas.

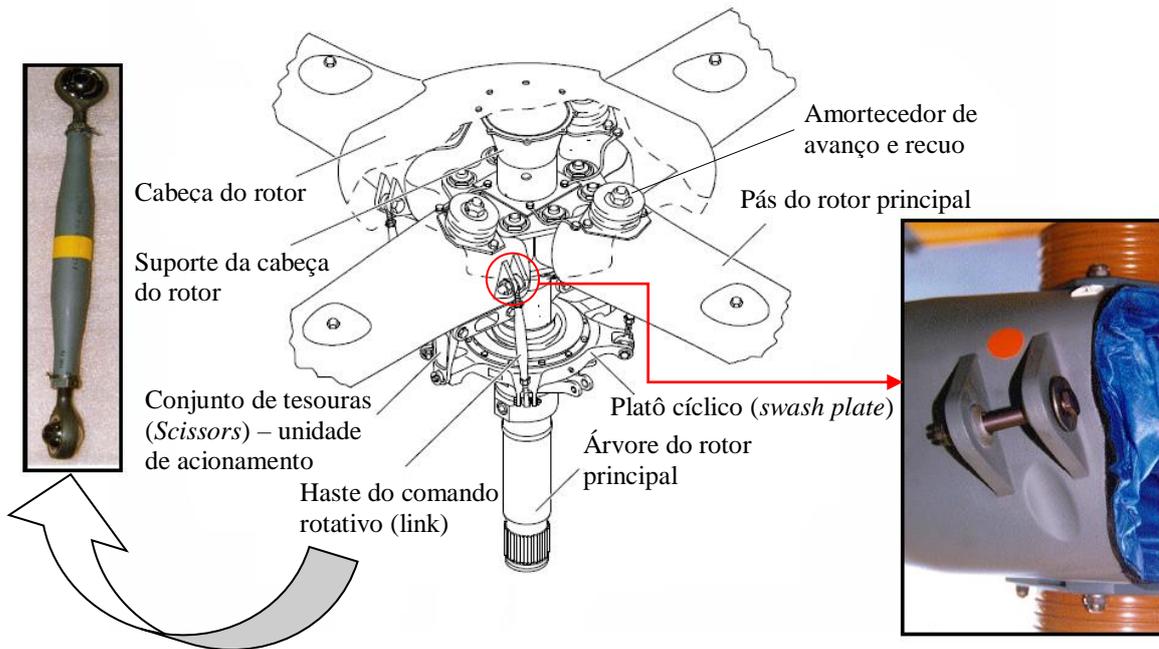


Figura 4.12 – Sistema do rotor principal (Adaptado de: TM H135, 2018).

O rotor principal é composto por quatro pás que giram no sentido anti-horário quando vistas de cima, as quais são fabricadas a partir de material compósito (ver Apêndice A). Ponto de destaque para essa aeronave é a concepção das pás integradas diretamente ao mastro principal que somente foi possível devido à utilização de materiais compósitos na sua construção. O avanço tecnológico e estudos mais aprimorados permitiram que esses materiais constituíssem peças de responsabilidades, devido a virtude inerente aos materiais compósitos que possibilitam a construção total e integrada de uma peça, como é o caso das pás que estão presentes no rotor principal do H135 T3.

A raiz das pás possui baixa rigidez a flexão e torção, pois, em seu interior há uma longarina flexível (*flexbeam*) na seção do punho de comando que é responsável por realizar as funções de batimento, avanço e recuo e mudança de passo das pás, tornando o sistema de sustentação mais eficiente e rápido nas respostas comandadas pelo piloto por intermédio do cíclico e coletivo.

Cada uma das quatro pás do rotor principal é identificada com uma cor diferente e na árvore do rotor principal, há uma numeração de 1 a 4 na região de fixação das pás de maneira que cada número é associado a uma cor para que, quando for preciso retirar as pás e instalá-

las novamente, não seja necessário realizar novo procedimento de balanceamento e *tracking*⁷. As relações de cores e números padronizadas são expostas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Número associado a cada cor das pás do rotor principal.

Cor	Número
Amarela	1
Verde	2
Azul	3
Vermelho	4

Adaptado de: TM H135, 2018.

A pá número 1 (amarela) é a referência, ela pode ser reconhecida visualmente como apresentado na Figura 4.12, na qual, em torno da haste do comando rotativo, há uma fita amarela centralizada, logo, o comprimento do *link* e os ajustes nos *tabs* no bordo de fuga na ponta da pá não devem ser alterados durante a manutenção a fim de conservar os ajustes básicos do rotor conforme determinado pelo fabricante, sendo possível realizar ajustes apenas nas demais pás.

A região do punho de comando é dividida em 4 seções como na Figura 4.13, sendo cada seção responsável por um movimento da pá durante o voo. A seção 1 serve para fixar a pá do rotor principal na cabeça do rotor, a seção 2 é a área que permite que a pá tenha movimento (bata) para cima e para baixo, a seção 3 permite que a pá efetue movimento de torção sobre seu eixo de mudança de passo para mudar o ângulo de passo da pá e a seção 4 permite o movimento para frente e para trás dentro de seu plano (avanço-recuo, *lead-leg*).

A seção transversal do punho possui um arqueamento grande para possibilitar a construção do *flexbeam* em seu interior e proporcionar maior resistência da raiz que está conectada diretamente ao mastro do rotor principal, além disso, ele está integrado no revestimento da pá para fornecer uma conexão rígida com a seção de aerofólio.

⁷ *Tracking* refere-se ao ajuste dos *tabs* que estão localizados no bordo de fuga próximo da ponta da pá a fim de que todas as pás estejam no mesmo plano de rotação durante seu movimento rotacional.

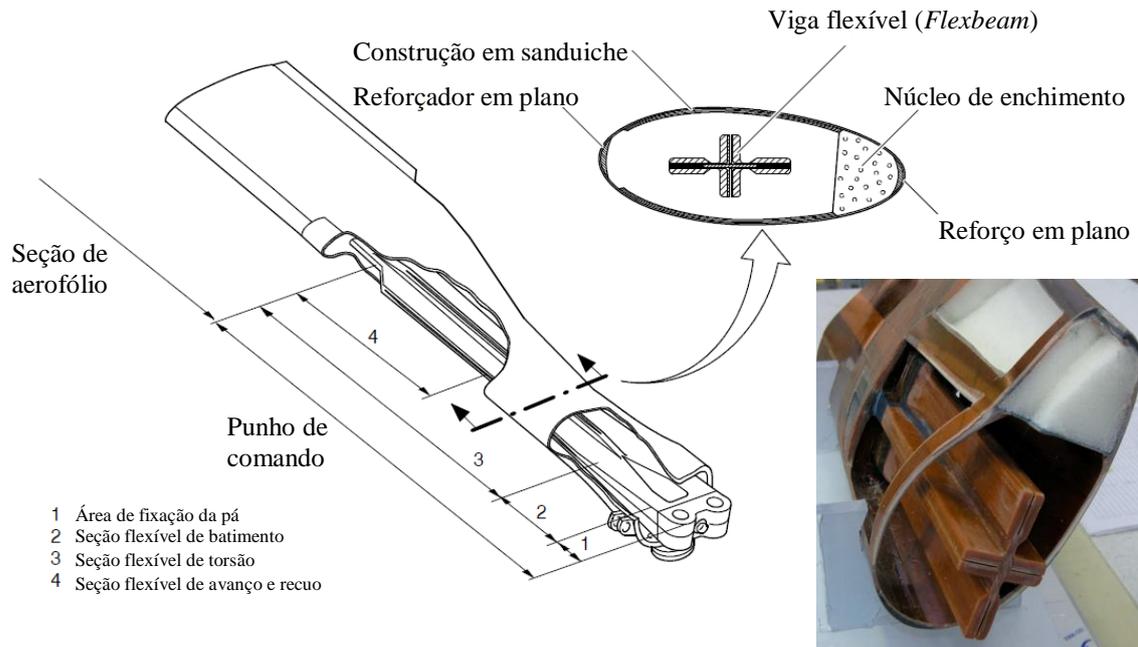


Figura 4.13 – Punho de comando da pá do rotor principal do H135 T3 (Adaptado de: TM H135, 2018).

As funções do punho de comando são: transmitir os esforços comandados para a parte aerodinâmica da pá permitindo mudar o ângulo de passo, fornecer um perfil aerodinâmico para a região da raiz da pá e transmitir os movimentos da pá no plano dela para os amortecedores de avanço e recuo (*lead-lag dampers*).

Dois amortecedores de avanço-recuo são instalados em cada pá na região da raiz sendo: um na parte superior e outro na parte inferior. Eles são feitos de elastômeros e fornecem amortecimento suficiente no plano das pás do rotor principal para prevenir o efeito de ressonância no ar e no solo que podem resultar na destruição total do helicóptero. Maior detalhamento do que fora citado e explicado é evidenciado nas Figuras 4.14 e 4.15.

Para melhor esclarecimento e distinção entre a ressonância no ar e no solo, Machado e Reisdorfer (2011) afirmam que a principal diferença entre a ressonância no solo e no ar está relacionada com as respectivas fontes de amortecimento e rigidez. Na ressonância no solo, a fonte geradora tipicamente está relacionada ao conjunto do trem de pouso quando o helicóptero entra em contato com o solo no pouso, é importante saber que ela é uma ressonância autoexcitada causada quando o movimento oscilatório de avanço e recuo das pás do rotor principal passa a vibrar em algum dos modos de vibrar da fuselagem devido ao toque no solo no momento do pouso. Na ressonância no ar, as fontes são múltiplas: efeito da

gravidade, tração do rotor, amortecimento das pás do rotor em decorrência à flexão em batimento e à aerodinâmica. A ressonância no ar é apresentada da seguinte maneira:

Dentre todos os fenômenos aeroelásticos conhecidos, a ressonância no ar é talvez o maior desafio para o projetista, em virtude da quantidade e variedade de forças de interação (de inércia, aerodinâmicas, elásticas e gravitacionais) necessárias para definir suas características (CRUZ, [200-?], apud MACHADO, 2011).

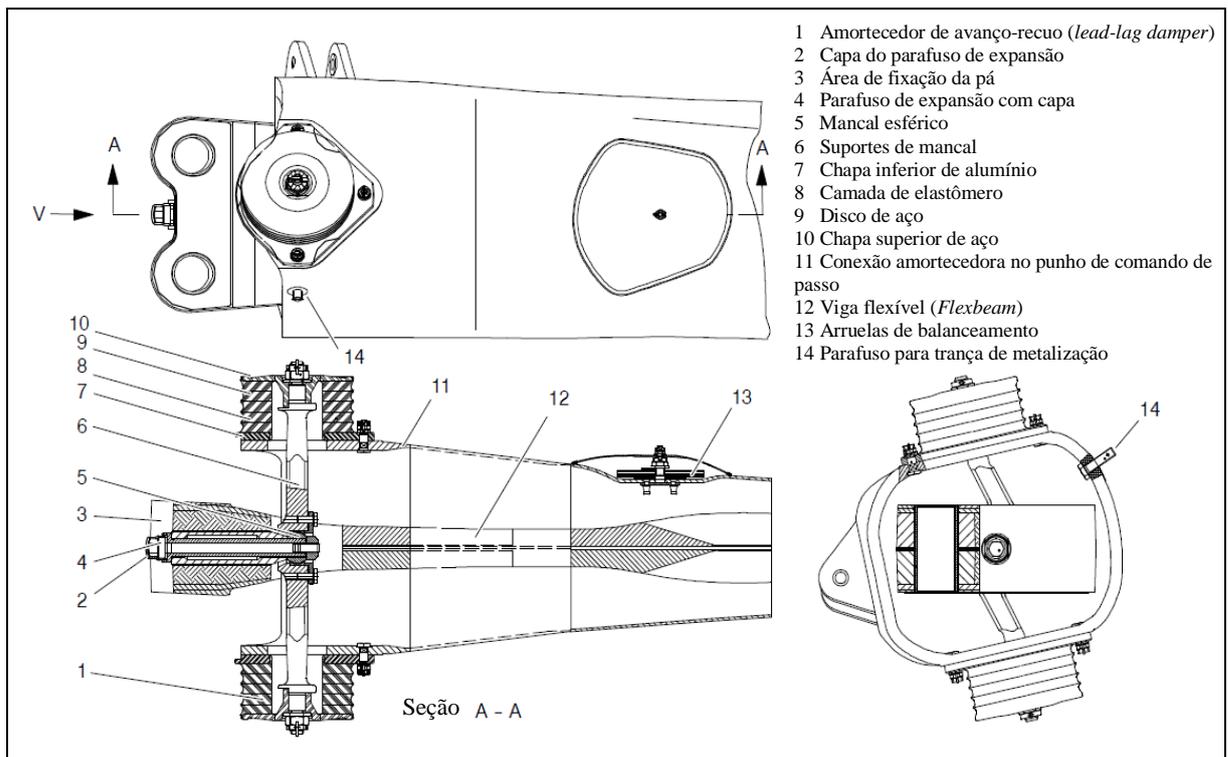


Figura 4.14 – Punho da raiz de comando e raiz da pá (Adaptado de: TM H135, 2018).

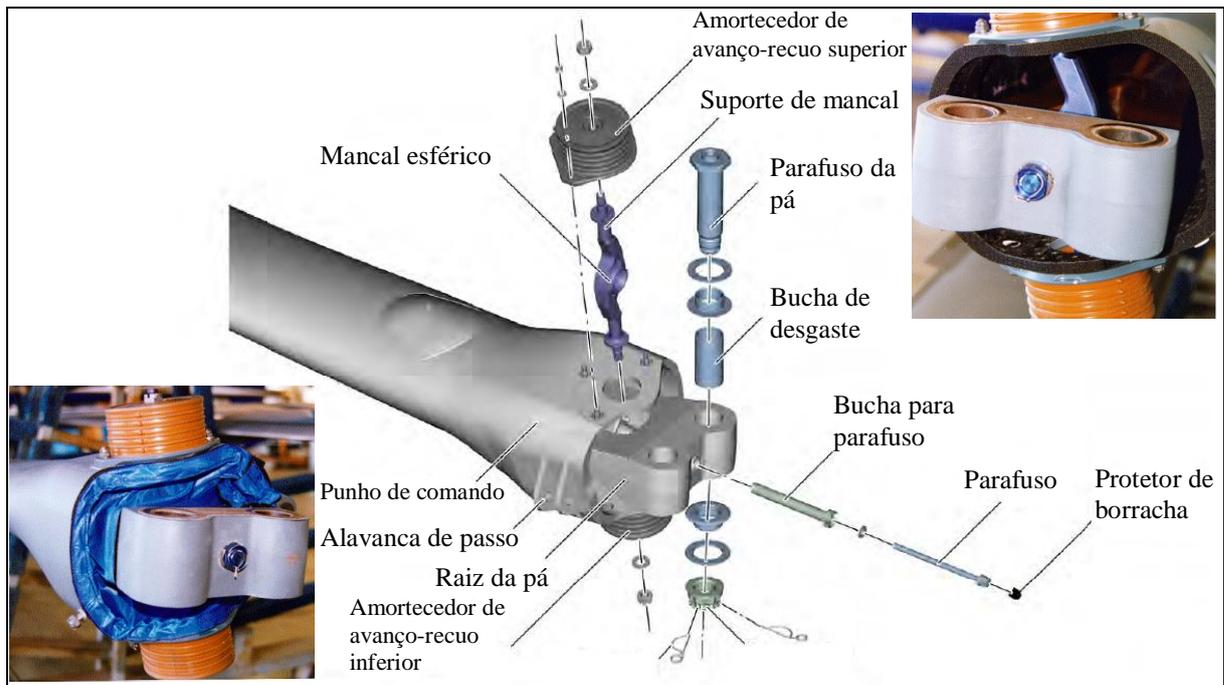


Figura 4.15 – Área de fixação da pá e comando de passo (Adaptado de: TM H135, 2018).

Após os detalhamentos anteriores, conclui-se que este modelo de helicóptero revolucionou o sistema de sustentação, pois, trouxe inovação e grandes avanços tecnológicos tanto em novos desenvolvimentos em projetos quanto em materiais. Isto pode ser verificado no rotor principal com a aplicação de materiais compósitos na construção das pás que passaram a estar conectadas diretamente ao mastro e exercendo as funções de mudança de passo das pás, arrasto e batimento sem a instalação de complicados rolamentos de esferas, articulações que geram atritos e elastômeros. Logo, esta concepção de construção juntamente com o crescimento tecnológico trouxe benefícios em termos de manutenção, peso e custo, que geraram melhoras significativas diretamente no desempenho e na segurança da aeronave. Além disso, os sistemas de redução de vibração supracitados e detalhados anteriormente proporcionaram o aumento na segurança e melhora na sensação de conforto durante os voos. A construção do rotor principal, quando comparado a outros helicópteros, possui menor número de articulações e componentes que realizam as mesmas funções, gerando menor intervenção de manutenção e, por conseguinte, maior disponibilidade da aeronave para executar suas operações.

4.4 Rotor de Cauda

Segundo TM H135 (2018), a estrutura traseira da aeronave é responsável por estabilizar a aeronave em voo pairado ou de translação. Ela é composta por:

- Cone de cauda;
- Estabilizador horizontal (ou empenagem horizontal);
- Estabilizador vertical (ou empenagem vertical) com rotor tipo *Fenestron*[®] integrado.

Na Figura 4.16 é apresentado cada componente supracitado para melhor elucidação.

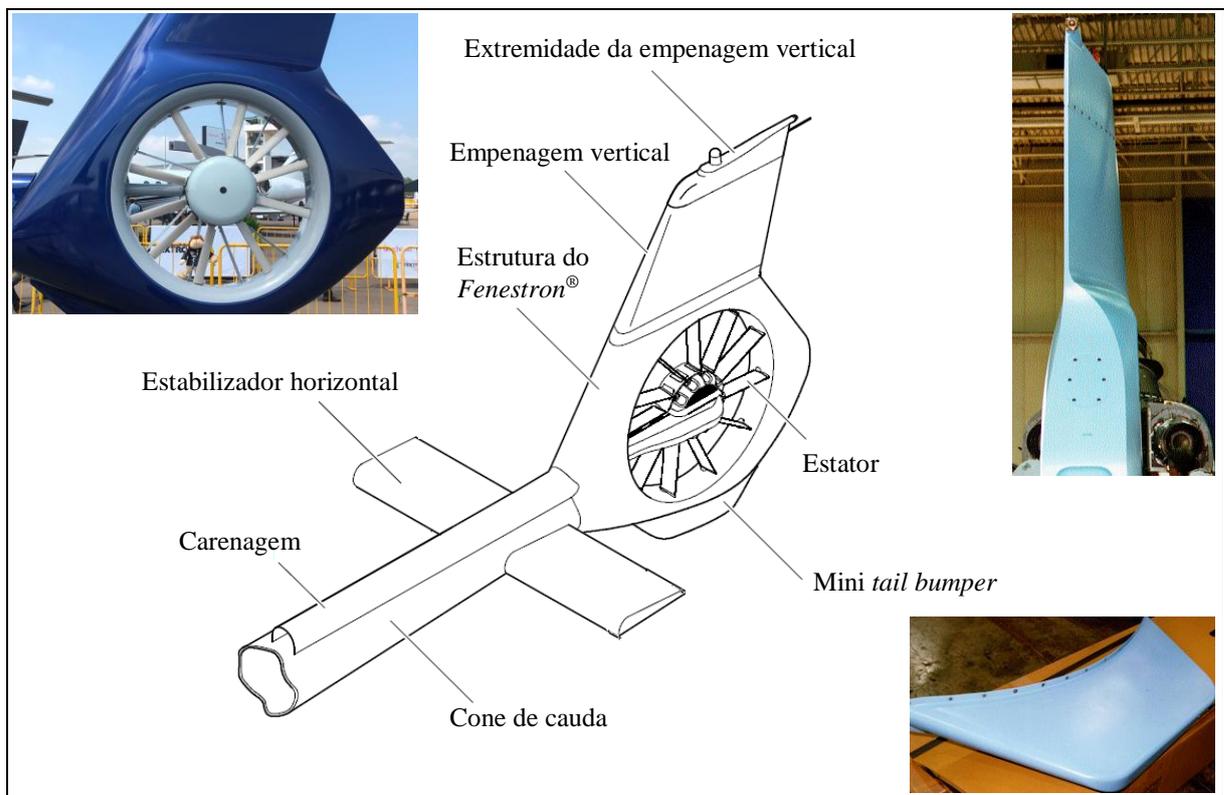


Figura 4.16 – Estrutura traseira do H135 T3 (Adaptado de: TM H135, 2018).

4.4.1 Cone de cauda

O cone de cauda conecta a estrutura traseira à estrutura da fuselagem principal. Ele tem por função suportar o sistema do rotor de cauda e os estabilizadores vertical e horizontal. Na parte superior do cone de cauda está localizada uma carenagem removível que é feita de material pré-impregnado híbrido de fibra de vidro e carbono. A carenagem removível tem por funções: proporcionar menor arrasto aerodinâmico advindo do fluxo de ar gerado pelo rotor

principal; abrigar tubulações hidráulicas, sistema de comando de passo do rotor de cauda atuado pelos pedais e o eixo de transmissão do rotor de cauda.

4.4.2 Estabilizador horizontal

Esse componente é responsável por estabilizar o helicóptero em relação ao seu eixo lateral ou transversal, amortecendo o seu movimento de arfagem (cabrar e picar) durante o voo. O estabilizador horizontal possui um perfil assimétrico com arqueamento negativo, dessa forma, sua maior curvatura está voltada para baixo (parte inferior). Este perfil age com o propósito de produzir uma força para baixo a fim de contrapor o momento gerado pelo helicóptero quando em voo à frente, isto é, ele mantém aerodinamicamente a atitude de arfagem do helicóptero. Esse conceito é ilustrado na Figura 4.17.

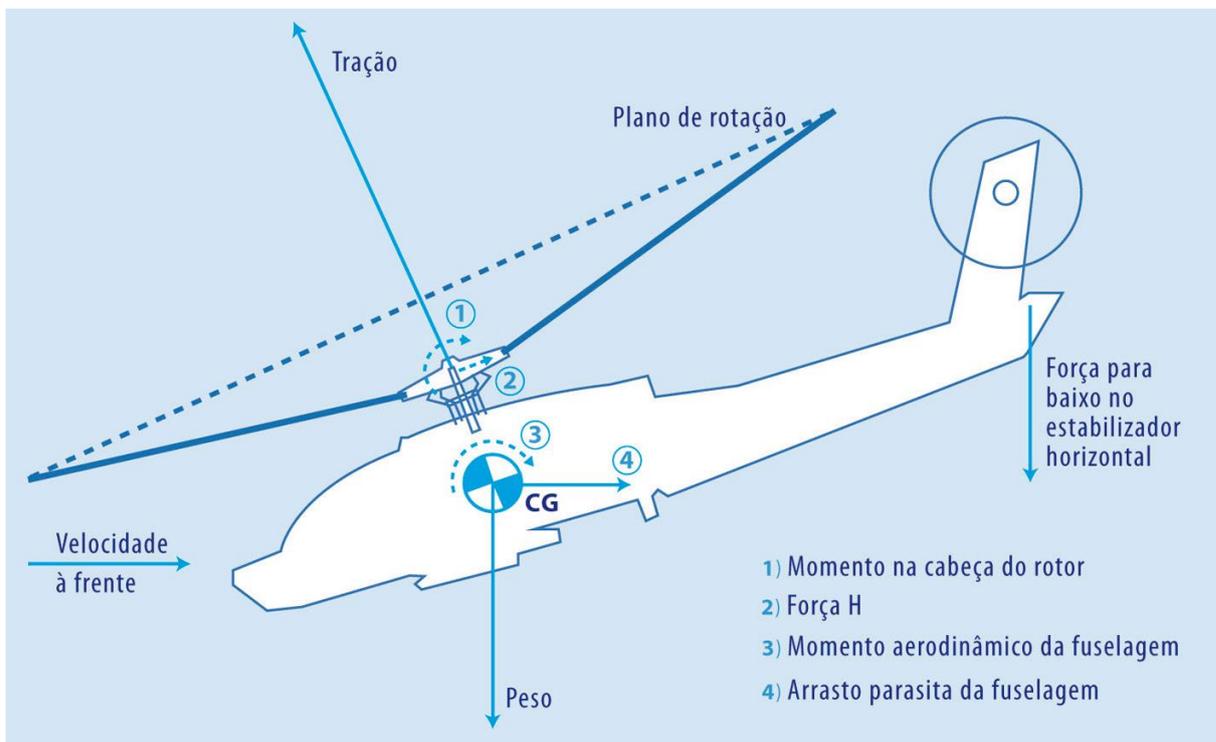


Figura 4.17 – Equilíbrio das forças atuantes no voo nivelado a frente (Fonte: CRUZ, 2009).

4.4.3 Estabilizador vertical

O estabilizador vertical juntamente com a estrutura do *Fenestron*[®] formam uma unidade única. A região superior da estrutura tem uma função aerodinâmica enquanto a região inferior, além de ser responsável por abrigar o *Fenestron*[®], também envolve o sistema do rotor de cauda. A guinada do helicóptero é possível devido a presença do *Fenestron*[®].

Fenestron[®] é uma marca comercial da empresa *Airbus Helicopters* que representa o nome modelo do rotor de cauda instalado em algumas das aeronaves atuais de sua fabricação. Ele tem a função de contrariar o torque do rotor principal e controlar o helicóptero em torno do eixo de guinada. Além disso, ele vem ganhando espaço na construção dos helicópteros devido as suas vantagens, tais como:

- Aumento da segurança em voo, uma vez que o invólucro reduz a possibilidade de choque com objetos externos;
- Aumento da segurança em solo, pois, devido as suas pás estarem dentro da carenagem, possibilita uma menor susceptibilidade a danos por objetos estranhos (*foreign object damage* - FOD), além de preservar a vida de mecânicos ou pessoas que se encontram em torno da aeronave;
- Menor ruído e vibração devido ao espaçamento desigual entre as pás do rotor e seu número maior de pás;
- Redução do arrasto aerodinâmico em voo a frente devido as pás estarem dentro do invólucro;
- Proporciona maior eficiência de controle anti-torque, reduzindo a carga de trabalho do piloto durante o voo.

Contudo, diante de tais vantagens há a presença de desvantagens, como:

- Aumento no peso, devido ao sistema do rotor de cauda ser de construção mais complexa;
- Maior custo na construção e, conseqüentemente, no preço de venda do helicóptero.

O rotor de cauda *Fenestron*[®] presente no H135 T3 possui as particularidades apresentadas na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Características do rotor de cauda *Fenestron*[®] no H135 T3.

Dados	Características
Peso (incluindo as pás)	8,2 kg
Velocidade nominal de rotação	3584 rpm
Potência necessária	110 a 120 kW (valores máximo de consumo)
Rotação	Sentido anti-horário (visto do lado direito do helicóptero)
Peso de uma pá	Aproximadamente 0,29 kg
Quantidade de pás	10
Material das pás	Liga de alumínio
Perfil das pás	Aerofólio não linear e torção no sentido da envergadura

Adaptado de: TM H135, 2018.

É importante ressaltar na Figura 4.16 que o mini *tail bumper* atua como um protetor do rotor de cauda e amortecedor contra possíveis choques com o solo, dentre suas funções, ele é fundamental na manobra conhecida como “autorrotação”. Próximo do solo, há a necessidade de executar uma manobra denominada de “*flare*” na qual permite a transformação de parte da energia cinética de translação em energia cinética rotacional para o rotor principal, gerando sustentação. O objetivo do procedimento consiste em cabrar o helicóptero ao final da descida em voo oblíquo a determinada altura do solo para reduzir a velocidade de translação, aumentando assim a sustentação, permitindo um pouso suave no solo. Esses procedimentos ficam evidentes ao analisar a Figura 4.18, que descreve todos os movimentos explicados anteriormente.

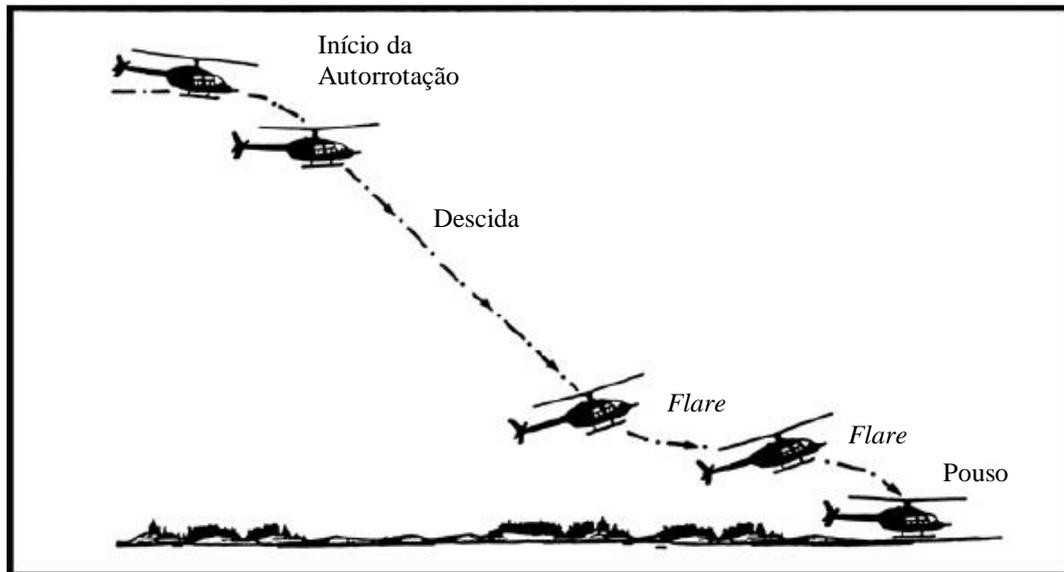


Figura 4.18 – Manobra de autorrotação (Adaptado de: *HELICOPTER FLIGHT TRAINING MANUAL* (TP 9982), 2006).

Na prática, é comum que pilotos inexperientes ou em aprendizagem toquem o cone de cauda no solo ao executar o *flare*. Contudo, esta prática não pode tornar-se uma regra própria individual ou um vício, dado que o *mini tail bumper* tem a função de atuar em momentos de emergência e possui um limite de resistência aos esforços que recebe ao sofrer o impacto com o solo. Uma vez que ele seja danificado, isso poderá causar danos sérios ao cone de cauda e ao *Fenestron*[®], que acarretaria em perda do controle do helicóptero podendo propiciar perdas graves de materiais e de vidas.

Em relação ao movimento de voo a frente para o H135 T3, quando alcançada a velocidade em torno de 50 KIAS (*Knots-Indicated Air Speed* – velocidade indicada em nós) a empenagem vertical produz força suficiente para se contrapor ao momento produzido pelo rotor principal, isto significa, que a partir dessa velocidade, menor potência é consumida pelo rotor de cauda, sendo essa, destinada ao rotor principal.

4.5 Fuselagem

Anteriormente foram apresentados os principais sistemas e componentes do H135 T3 e como suas novas tecnologias trouxeram condições benéficas para as operações aéreas. O desempenho operacional da aeronave deve-se também à contribuição da estrutura que a compõe, principalmente devido à grande utilização de material compósito em seu projeto

construtivo. De acordo com o TM H135 (2018), a fuselagem serve como plataforma para os sistemas do helicóptero, tripulação, passageiros e carga paga. A forma externa da fuselagem é ditada pelas principais funções durante a operação e utilização do helicóptero. Tendo isso em mente, os componentes da fuselagem são constituídos por:

- Estrutura da cabine (moldura da cabine e estrutura do teto);
- Estrutura principal da fuselagem;
- Estrutura traseira (cone de cauda com estabilizador horizontal e estrutura *Fenestron*[®]);
- Portas e carenagens de serviço;
- Janelas.

Na Figura 4.19 é apresentado a vista explodida da fuselagem de maneira a facilitar a localização de cada componente supracitado.

Toda a fuselagem do H135 T3 é baseada no conceito modular, pois, ele simplifica o conjunto de componentes da fuselagem do helicóptero e permite a substituição de módulos individuais sem que seja necessário desmontar toda a fuselagem, permitindo não só que as manutenções ocorram mais rapidamente como também promove a redução dos custos de manutenção. Outro fator importante são os materiais utilizados na construção da fuselagem que são compostos por (TM H135, 2018):

- Alumínio;
- Titânio;
- Materiais compósitos (fibra de vidro, carbono e KEVLAR[®]);
- Painéis de acrílico.

No Apêndice A do presente trabalho é apresentado detalhadamente cada parte da estrutura da fuselagem, citando o componente, suas subdivisões, os materiais que a compõe e uma breve justificativa da utilização desses materiais nessas regiões. Este trabalho não visa esclarecer minuciosamente como são formados os materiais nem como se comportam e sim buscar entender como sua aplicação trouxe melhoras aerodinâmicas e operacionais para a aeronave em um todo.

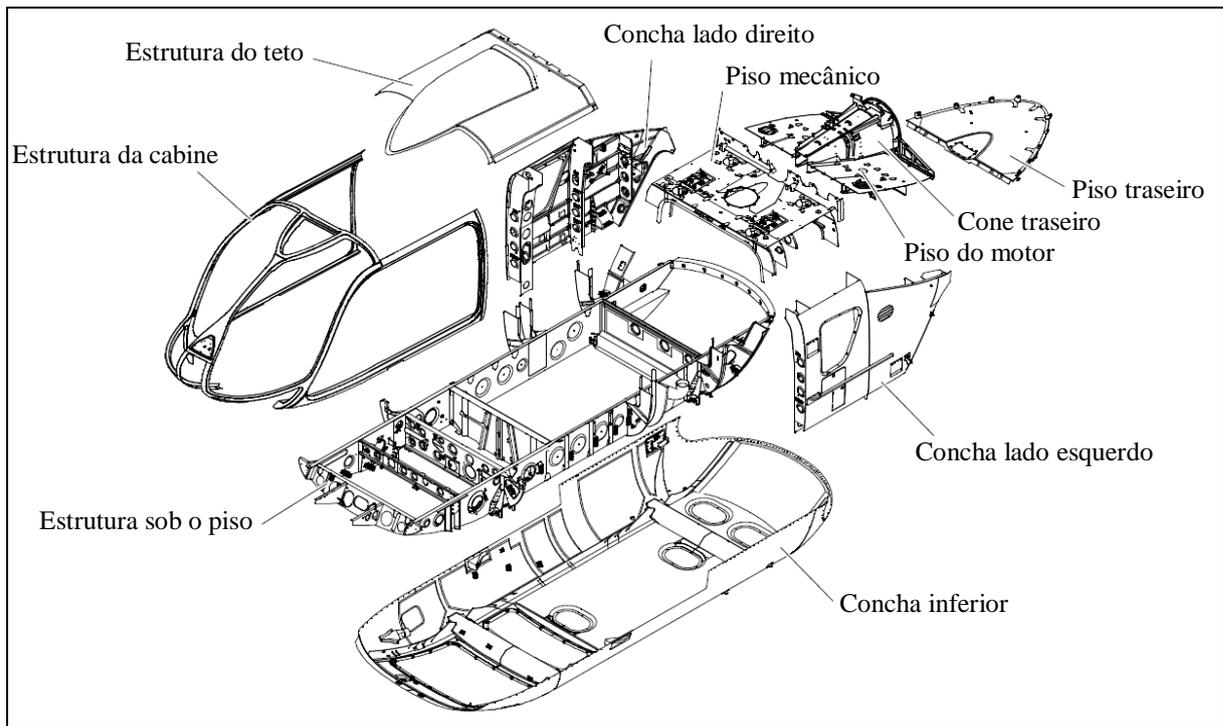


Figura 4.19 – Vista explodida da fuselagem do H135 T3 (Adaptado de: TM H135, 2018).

Analisando o Apêndice A, constata-se a predominância na utilização de materiais compósitos nas estruturas secundárias e primárias. Materiais como fibra de carbono/epóxi, fibra de vidro/epóxi, plástico reforçado com fibra de vidro (GFRP), painéis sanduiches com núcleo NOMEX[®] e fibras prepreg (previamente impregnadas) são utilizados largamente. É relevante entender que esses materiais contribuem para (ANCELOTTI, 2020):

- Reduzir o peso da aeronave, proporcionando maior disponibilidade de potência, redução de consumo de combustível e consequentemente maior autonomia;
- Reduzir o arrasto aerodinâmico, uma que vez processos de fabricação cada vez mais robustos de materiais compósitos propiciam peças com excelente acabamento superficial;
- Reduzir custos de manutenção, pois, são materiais resistentes à corrosão e à fadiga.

4.6 Sistemas Embarcados

Uma aeronave é constituída por diversos sistemas e cada um separadamente é responsável por executar uma função específica e vital para que o helicóptero possa operar com segurança, cumprindo a missão para qual foi designado. O objetivo desta seção não é detalhar minuciosamente cada sistema e seus respectivos subsistemas presentes no H135 T3,

mas sim, apresentá-los ou citá-los de maneira ampla e destacar alguns sistemas que trouxeram expressiva evolução tecnológica para sua operação. Diante disso, o H135 T3 é formado pelos seguintes sistemas (TM H135, 2018):

- Sistema elétrico;
- Sistema hidráulico;
- Sistema de combustível;
- Sistema de prevenção de incêndio;
- Sistema de comunicação;
- Sistema de navegação.

As tecnologias empregadas atualmente nas aeronaves visam promover maior segurança nas operações aéreas e reduzir a carga de trabalho do piloto a fim de que ele possa focar em cumprir a missão designada. Logo, tem-se investido em modelos sistêmicos que realizem a integração dos sistemas supracitados de maneira mais eficaz e precisa. Assim, conforme *Airbus Helicopter* (2020), os sistemas de maiores destaques em inovações e avanços tecnológicos disponíveis no H135 T3 são:

- Sistema digital FADEC;
- Helionix®.

4.6.1 FADEC

O *Full Authority Digital Electronic Control* (FADEC) é um controle eletrônico digital dos motores presente no H135 T3 que tem por objetivo controlar o fornecimento de combustível à câmara de combustão do motor durante sua operação (TM H135, 2018).

Este sistema inovador mudou a concepção de operação nos helicópteros, dado que devido à presença dele, a carga de trabalho do piloto reduziu substancialmente, enquanto garante melhor eficiência no consumo de combustível e ótimo desempenho do motor. Alinhados a essas vantagens, inúmeros sensores são acoplados aos motores e por intermédio deles, os dados são recebidos em tempo real pelo FADEC que consegue monitorar a saúde do motor e os parâmetros críticos durante seu funcionamento (ANAC).⁸

⁸ Disponível em: <<https://www2.anac.gov.br/anacpedia/sig/tr2275.htm>>. Acesso em: 18 set 2020.

A versão do H135 T3 recebeu uma atualização do *software* FADEC que proporcionou um aumento relevante no seu desempenho em termos de potência, atrelado claro, a outros parâmetros físicos já citados neste trabalho, como: nova entrada lateral de ar para os motores e aumento das pás do rotor principal em 10 centímetros.

No H135 T3, a unidade de controle digital FADEC para os motores 1 e 2 atua nas seguintes funções (TM H135, 2018):

- Acionamento automático dos motores;
- Controle automático do motor em todas as NR e faixas de potência;
- Monitoramento do motor e parâmetro de potência;
- Limitação do fluxo de combustível após os limites estabelecidos para os parâmetros de operação terem sido alcançados;
- Proteção contra *overspeed* (ocorre quando o número de rotações excede o valor máximo previsto em manual. Normalmente é apresentado com uma faixa vermelha no tacômetro indicando ao piloto que o valor de NR não pode ser ultrapassado);
- Modo treinamento para situações de perda de fluxo de combustível para um dos dois motores (o FADEC possui em seu painel uma chave seletora que ao ser acionada permite ao piloto simular a condição *one engine inoperative* - OEI);
- Seleção de limites de parâmetros;
- Detecção de falha.

Antes do FADEC, o motor era controlado manualmente pelo piloto por intermédio de comandos mecânicos na qual o fluxo de combustível, a potência do motor e outros parâmetros eram geridos. Por intermédio das funções exercidas pelo FADEC como supracitadas, constata-se as vantagens proporcionadas ao piloto, pois o FADEC executa o controle preciso e automático da dosagem de combustível em todas as condições de voo, propiciando a utilização eficiente da potência disponível.

Para que se tenha uma ideia da complexidade durante uma determinada operação, é essencial que a NR do rotor se mantenha constante, independentemente da posição do coletivo, cíclico e pedais (COIMBRA, 2009). Por exemplo: Caso o piloto atue no coletivo objetivando aumentar o ângulo de passo das pás (mantendo os demais controles parados, ou seja, cíclico e pedal), isso irá fazer com que as pás gerem mais sustentação fazendo o helicóptero ascender, contudo, esse aumento de sustentação proporcionará maior arrasto nas pás reduzindo o torque do rotor principal e conseqüentemente redução de NR. Para que isso

não ocorra, é necessário que mais combustível seja injetado na câmara de combustão, produzindo maior temperatura e geração de gases, resultando em uma maior rotação da turbina do compressor (n_1) e da turbina livre ou turbina de potência (n_2), mantendo ao final a NR constante, mesmo com o aumento da resistência torcional no rotor principal resultante do maior arrasto das pás.

A Figura 4.20 apresenta claramente a seção do motor (lado direito) e seção de engrenagens redutoras (lado esquerdo), além de apresentar esquematicamente a disposição dos componentes. Ela facilita e complementa o entendimento do último parágrafo.

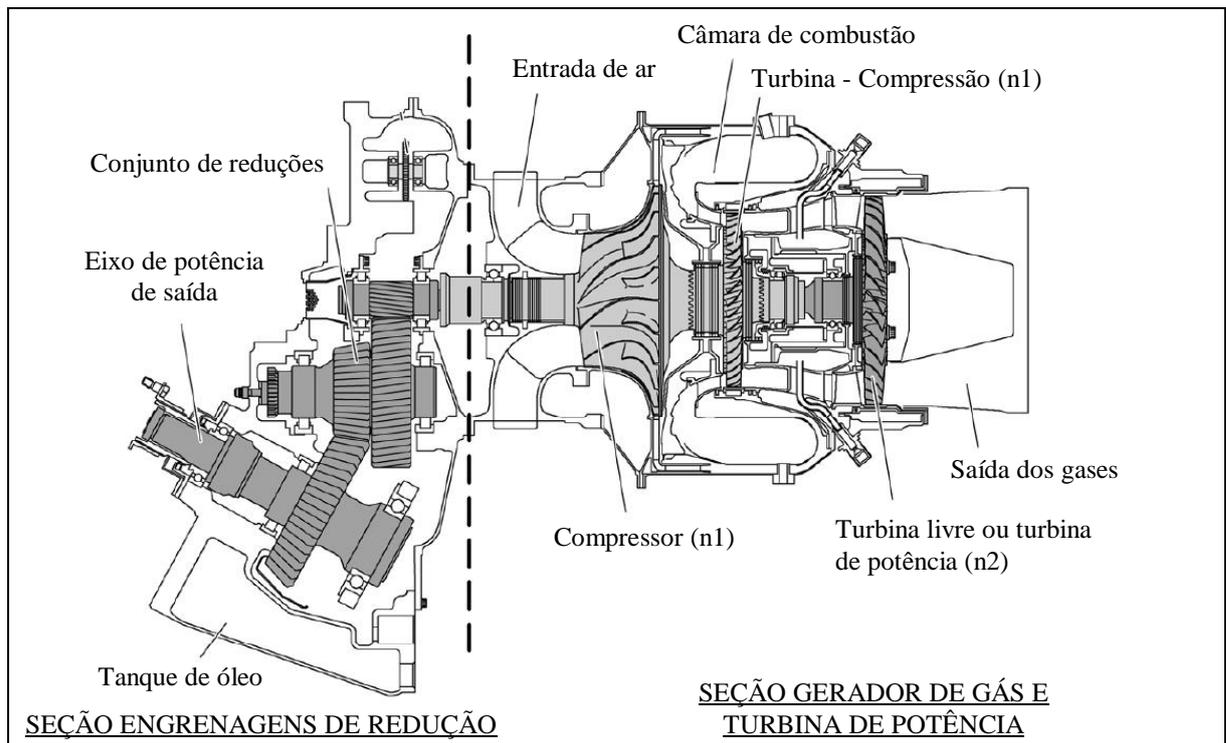


Figura 4.20 – Motor ARRIUS Turbomeca presente no H135 T3 (Adaptado de: TM H135, 2018).

Conclui-se que o FADEC garante um controle acurado da vazão do combustível que entra no motor e uma resposta rápida às mudanças na demanda de potência, demonstrando sua complexidade e importância durante as missões do helicóptero, reduzindo de forma expressiva a carga de trabalho do piloto.

4.6.2 *Helionix*[®]

O recente sistema aviônico *Helionix*[®], projetado e desenvolvido pela empresa *Airbus Helicopters*, foi criado com o propósito de oferecer uma interface homem-máquina mais moderna e com maior flexibilidade, proporcionando maior segurança nas operações aéreas e redução da carga de trabalho do piloto, possibilitando, maior agilidade na tomada de decisão.

O *Helionix*[®] oferece as seguintes vantagens, segundo *Airbus Helicopters* (2016):

- Piloto automático de 4 eixos;
- Exibe todos os parâmetros do voo, por intermédio das suas telas multifuncionais;
- *Night Vision Goggle* (NVG)⁹;
- Sistema de navegação e comunicação (GPS/ NAV/ Comm GTN-750), tudo em uma única tela;
- *Traffic Advisory System* (TAS) 620A. Sistema que auxilia o piloto a detectar e evitar a colisão com outras aeronaves ou objetos externos, corroborando para o aumento da segurança durante a operação.

Verifica-se que o *Helionix*[®] leva o H135 T3 a um nível incomparável de segurança devido às funções adicionais e recursos. Em uma única tela é possível apresentar todos os parâmetros de voo, bem como os dados de gerenciamento da aeronave (fornecimento em tempo real da situação do motor, sistema de combustível, sistema elétrico, além de apresentar os alarmes). Isso proporciona ao piloto filtrar apenas as informações relevantes no momento do voo, permitindo avaliar rapidamente a situação.

O sistema de piloto automático de 4 eixos traz um ganho enorme em termos de estabilidade, uma vez que é possível manter a aeronave fixa em um determinado ponto, possibilitando que o piloto possa aumentar sua concentração em outras tarefas como em uma situação de resgate.

Conclui-se que esse sistema complexo possui a capacidade de integrar todos os demais sistemas presentes na aeronave, recebendo todas as informações e processando-as em tempo real, exibindo-as ao piloto de maneira simples e intuitiva, ou seja, uma evolução na interação

⁹ *Night Vision Goggle* (NVG) ou Óculos de Visão Noturna (OVN) é um equipamento optoeletrônico capaz de produzir imagens em ambientes com níveis de luz que se aproximam da escuridão total, pois ele fornece, detecta e controla a luz. Assim, eles possibilitam maior grau de acuidade visual noturna pela ampliação da luminosidade existente (CUNHA, 2007).

homem-máquina que possibilita a redução de erros humanos e permite que o piloto se concentre no mais importante: a missão, ajudando-o a aumentar a consciência situacional do ambiente na qual ele está operando.

A Figura 4.21 apresenta o painel presente em um H135 T3 com suas três grandes telas onde são apresentadas as informações citadas anteriormente e nela é destacado sucintamente onde os dados podem ser visualizados.



Figura 4.21 – Painel do H135 T3 com o sistema *Helionix*[®] composto por duas telas multifuncionais nas laterais e uma tela central com dados e sensores dos sistemas da aeronave (Fonte: AIRBUS HELICOPTERS, 2016).¹⁰

4.7 Manutenção do H135

A manutenção tem o propósito de manter a aeronave em condição aeronavegável, ou seja, em condição de voo. Para que essa condição seja cumprida, o órgão certificador (ANAC, EASA, FAA) emite o certificado de aeronavegabilidade mediante o cumprimento de duas condições necessárias de acordo com o RBAC 21, que são: a aeronave deve estar em conformidade com seu certificado de tipo, ou seja, ela deve cumprir todos os requisitos de

¹⁰ Disponível em: <http://www.helicopters.airbus.com/website/docs_wsw/img/x1000/RUB_151/press_2044/H135_SN2002_Helionix_Cockpit_Copyright_Airbus_Helicopters.jpg?t=%C2%A9+Airbus+Helicopters&tS=8>. Acesso em: 17 set 2020.

construção e operação do projeto aprovado e ela deve estar em condições seguras de operação (ANAC, 2020).

Para que a aeronavegabilidade continuada seja possível, o fabricante constrói um programa de manutenção programada que leva em consideração diversos parâmetros, tais como: o tempo de vida de peças e componentes; fadiga de estruturas; propriedades mecânicas; resistência à torção, flexão, compressão, cisalhamento, térmica, dentre outros. Diante disso, esta seção 4.7 tem por finalidade apresentar quais são os tipos de inspeções e como são planejadas as verificações e inspeções programadas para o H135 T3.

Para uma melhor compreensão é importante citar que há quatro tipos de inspeções que são realizadas de acordo com o manual de manutenção da aeronave (*aircraft maintenance manual* - AMM) do H135 T3:

- Inspeção visual (*Visual Inspection*) tem o propósito de prover informação acerca da condição externa de um sistema, como: deformações, trincas, partes danificadas ou perdidas. Ela é executada inicialmente sem a necessidade de remoção de qualquer parte ou componente de um sistema. Dessa maneira, os diversos sistemas (sistema de ar-condicionado, sistema hidráulico, motores, entre outros) são acessíveis por intermédio de painéis ou janelas posicionadas na carenagem;
- Inspeção condicional (*Condition Inspection*) é uma extensão da inspeção visual na qual determinados componentes, unidades específicas e partes da aeronave devem ser inspecionadas a fim de avaliar a presença de corrosão, danos e desgastes. Para tal, é necessário a utilização de equipamentos especiais como instrumentos de medidas, lupas, dentre outros. Assim, a remoção de carenagem ou partes pode ser necessária;
- Testes funcionais (*Functional Tests*) verificam a correta operação dos sistemas e subsistemas. Neste teste é realizado uma inspeção quantitativa para verificar se a funcionalidade de um determinado sistema, componente ou item está dentro dos limites especificados no manual;
- Inspeção de trincas (*Inspection for Cracks*) são executadas a fim de detectar defeitos nos materiais que estão sujeitos a fadiga ou elevadas tensões. Devido à complexidade da verificação nos casos de trincas internas, três procedimentos são realizados: inspeção visual a olho nu ou com ajuda de lupas; ensaio não destrutivo por líquido penetrante e inspeção por partícula magnética.

Com o objetivo de garantir a aeronavegabilidade do H135, verificações (*checks*) e inspeções (*inspections*) devem ser realizadas de acordo com o Capítulo 05 da AMM, logo, de modo amplo, o programa de inspeção pode ser dividido em dois tipos de tarefas importantes e frequentemente citadas na AMM, que devem ser distinguidos. São eles:

- *Checks*: tarefas de manutenção realizadas pelo piloto ou mecânico sem a necessidade de um inspetor;
- *Inspections*: tarefas de manutenção realizadas por um mecânico e assinado por um inspetor.

4.7.1 Inspeções programadas

As inspeções programadas são consideradas manutenções preventivas e executadas por intermédio de um plano estabelecido de manutenções com a finalidade de evitar a degradação dos sistemas da aeronave e perda potencial de funcionalidades. Essas inspeções podem ser programadas tomando como base: horas de voo, ciclos e datas programadas (TM H135, 2018). A Figura 4.22 apresenta resumidamente como é estruturado e organizado o programa de manutenção programada da aeronave H135 T3. Não é objeto de estudo deste trabalho detalhar como é realizada cada parte da manutenção e sim prover uma abordagem ampla para que seja entendida sua forma de organização para execução das tarefas.

É interessante salientar que por solicitação ou necessidade do operador, as inspeções intermediárias e periódicas podem ser substituídas pelo programa de manutenção continuada (*Continuous Maintenance Program - CMP*) que será explicado em detalhes na Seção 4.7.2.

As inspeções programadas, quando comparadas com a CMP, não permitem que a aeronave permaneça constantemente em operação, posto que, nos prazos determinados é necessário que todas as *task cards*¹¹ programadas sejam executadas, necessitando a parada da aeronave por certo período tempo até que ela tenha cumprido todo o programa de inspeções e manutenções determinados para o período em questão, estando assim, em condições aeronavegáveis, fazendo com que a confiabilidade do sistema, equipamentos e estruturas retornem a valores aceitáveis conforme seu certificado de tipo.

¹¹ *Task Cards* são cartões de tarefas que devem ser executadas durante a manutenção, geradas a partir do AMM.

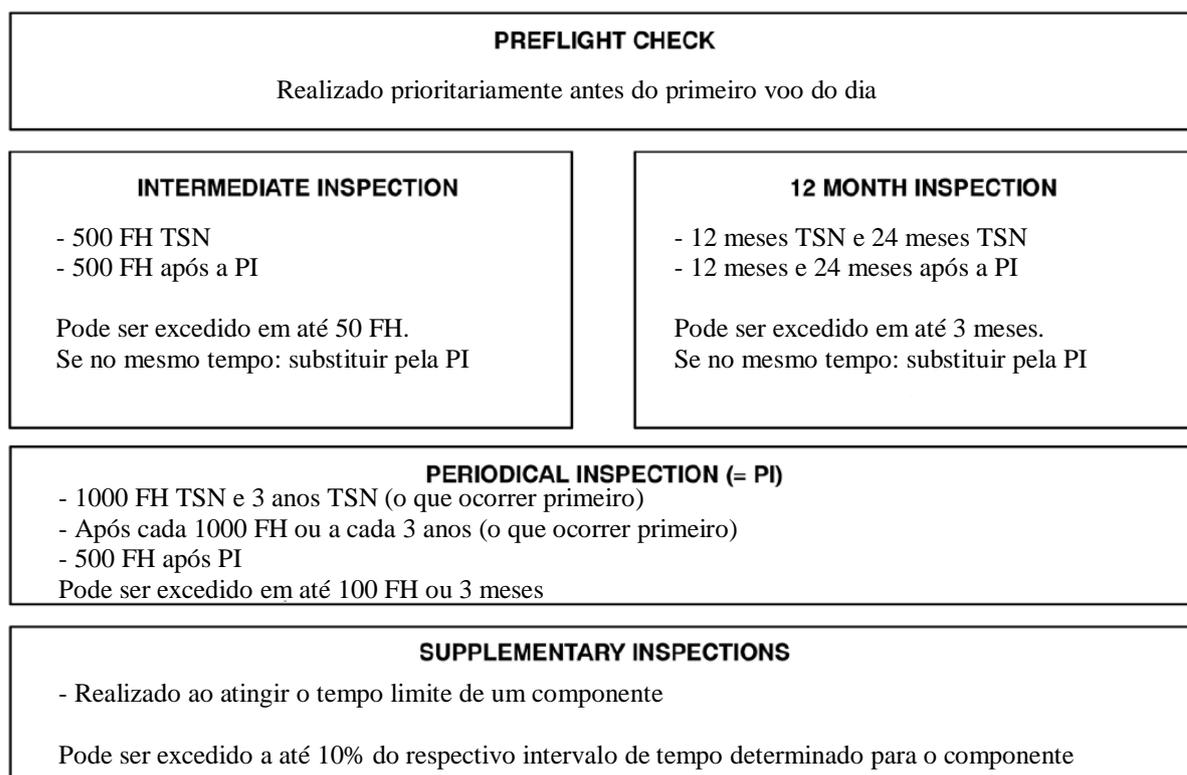


Figura 4.22 – Inspeções programadas (Adaptado de: TM H135, 2018).

4.7.2 Programa de manutenção continuada (CMP)

O programa de manutenção continuada (*Continuous Maintenance Program - CMP*) permite que as operações aéreas sejam contínuas sem serem interrompidas por eventos de inspeções de longa duração, como ocorre na inspeção programada. Este programa de manutenção desenvolvido pelo fabricante garante, de maneira semelhante a inspeção programada, a aeronavegabilidade continuada da aeronave (TM H135, 2020).

Neste conceito, as inspeções são realizadas por intermédio de *work packages* (pacotes de tarefas) executadas em curtos períodos de tempo e igualmente espaçadas, além de serem realizadas pequenas tarefas de manutenção. O conteúdo presente em cada “pacote de tarefa” individual é descrito no MSM (*Master Servicing Manual*) do H135 e deve ser executado de acordo com o AMM.

Dentro do CMP há dois tipos de aplicabilidade mediante a quantidade de horas de voo (*flight hours - FH*) realizada pela aeronave. São elas:

- CMP para helicópteros com **mais** que 400FH por ano;
- CMP para helicópteros com **menos** que 400FH por ano.

4.7.2.1 CMP para helicópteros com mais que 400FH por ano

Para esta inspeção, um ciclo de manutenção é definido como 1000FH que é denominado como uma inspeção periódica. Deve-se ter em mente que o fabricante determina que independente do CMP, a inspeção de 12 meses, a inspeção após incidentes operacionais, a inspeção suplementar e a inspeção condicional devem ser adicionalmente realizadas.

Para essa manutenção, 20 *work packages* devem ser executadas com espaçamento de 50FH e uma tolerância de ± 10 FH. Cada pacote de tarefa deve ser realizado dentro da janela de tempo determinado. Para facilitar o que foi dito em relação a execução é apresentado a Figura 4.23.

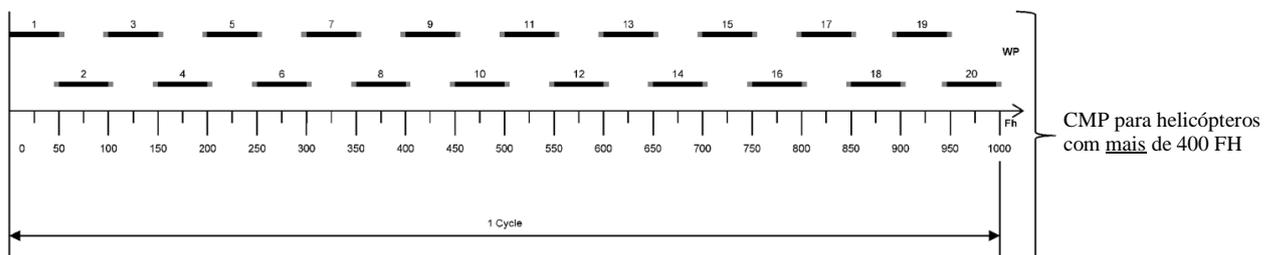


Figura 4.23 – Distribuição das *work packages* para 1 ciclo, com a aeronave tendo mais de 400FH (Adaptado de: TM H135, 2018).

4.7.2.2 CMP para helicópteros com menos que 400FH por ano

Neste caso, para helicópteros com menos de 400FH por ano, 1 ciclo de manutenção terá uma duração de três anos e incluirá a execução das mesmas *work packages* citadas na seção anterior. Cada *work package* terá uma tolerância de uma semana, logo, é possível que alguns pacotes sejam sobrepostos devido a essa tolerância de uma semana. Para facilitar o que foi dito, é apresentada a Figura 4.24.

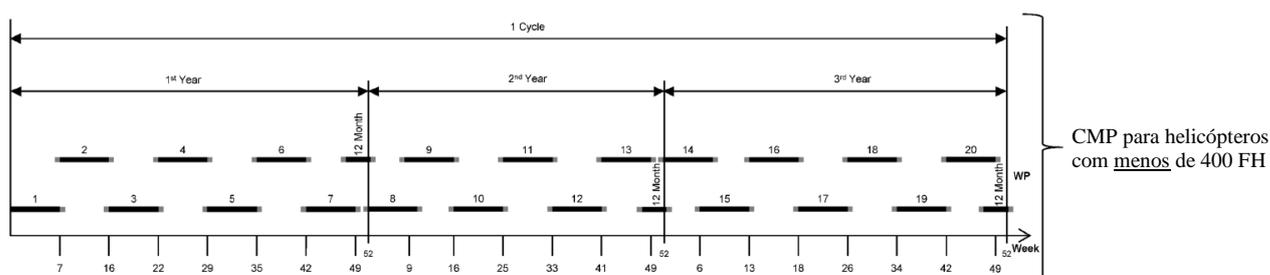


Figura 4.24 – Distribuição das *work packages* para 1 ciclo, com a aeronave tendo menos de 400FH (Adaptado de: TM H135, 2018).

Para os dois casos citados anteriormente é importante saber que após 1 ciclo ser concluído, ele deverá começar novamente. Caso não seja possível completar e executar totalmente os requisitos e manutenções previstas no MSM, o programa de manutenção deve retornar ao procedimento de manutenção padrão explicado na Seção 4.7.1. Além disso, as tolerâncias supracitadas não possuem efeitos prolongados e não são cumulativas.

4.7.3 Custos de manutenção e operação

Um dos fatores mais decisivos na aquisição de uma aeronave, não é apenas o custo inicial de compra, mas, principalmente, o custo de manutenção prevista ao longo da vida útil operacional, pois, inevitavelmente, qualquer aeronave deve possuir e passar por um ciclo de inspeções e manutenções, como descrito acima para o H135 T3.

O cliente busca encontrar em uma aeronave ciclos mais espaçados de manutenção, que possam propiciar maior economia possível. Segundo a HELIBRAS (2020)¹², o H135 é referência hoje em custo de manutenção devido a seus espaçados intervalos de inspeção: inspeção intermediária a cada 500 horas de voo e inspeções periódicas a cada 1.000 horas de voo ou três anos. Além disso, a empresa afirma que o H135 possui os mais baixos custos de operação da categoria médio porte, sendo considerada a de menor custo para operar atualmente. Isso tudo é possível devido ao *design* simples do helicóptero que garante manutenção rápida e simplificada.

¹² Disponível em: < https://www.helibras.com.br/website/po/ref/H135_17.html >. Acesso em 28 ago 2020.

4.8 Considerações sobre o H135 T3

Ao longo do Capítulo 4, foram apresentados dados e explicações técnicas que comprovam o grande destaque do H135 na categoria médio peso diante dos concorrentes. A nova concepção de construção do rotor principal não rolamentado; rotor de cauda *Fenestron*[®]; processo construtivo do H135 baseado em grande parte no uso de materiais compósitos; motores mais modernos e de alta potência gerenciado por um sistema FADEC com *software* mais eficiente; e modificações realizadas na versão H135 T3 (descritas na Seção 3.2), viabilizou custos baixos tanto em manutenção quanto em operação.

No quesito segurança, o *cockpit* de última geração com a presença do sistema aviônico *Helionix*[®], juntamente com o piloto automático de 4 eixos oferecem os mais altos níveis de segurança e proporcionam aos pilotos uma superioridade indiscutível em termo de assistência, envelope de voo e consciência situacional, que resultam em operações seguras sem precedentes. Corroborando para isso, tem-se um rotor de principal de construção ímpar e inovadora (baseado na utilização de matérias compósitos) e o rotor de cauda na concepção *Fenestron*[®] (AIRBUS HELICOPTERS, 2020).

Uma característica interessante do H135 é sua operação mais silenciosa. As pás do rotor principal otimizadas com uma geometria avançada em combinação com o *Fenestron*[®] que possui suas pás com espaçamento desigual, tornam essa aeronave a mais silenciosa da sua classe, trazendo uma geração de ruído de 6,5dBA, abaixo do limite determinado pela ICAO¹³ (EUROCOPTER, 2006). Assim, torna-se interessante sua operação em áreas densamente povoadas, em operações médicas (HEMS), em operações policiais e militares que necessitam do efeito surpresa em suas abordagens.

Na questão do conforto, principalmente ao piloto em operações que possam durar horas, o H135 T3 conta com o sistema ARIS que possui a capacidade de filtrar eficientemente as vibrações induzidas pelo sistema do rotor principal levando o conforto no voo a um alto patamar conforme explicado na Seção 4.3.1.

Os motores para o H135 T3 são o ARRIUS 2B2 da empresa *Turbomeca Helicopter Engine*. Eles fornecem potência de sobra que garantem reservas de energia vital mesmo em cenários com um motor inoperante (OEI), além da alta versatilidade em ambiente *High&Hot*,

¹³ O limite máximo de ruído permitido para helicópteros com MTOM até 3.175kg é de 10 dBA, conforme determinado no Appendix 4 do Annex16 Vol I da ICAO.

resultando em uma aeronave capaz de voar com segurança e desempenho aprimorado (*AIRBUS HELICOPTERS, 2020*).

No quesito manutenção, o sistema do rotor com alto tempo entre revisões (*Time Between Overhauls*) da CTP, em conjunto com os componentes da fuselagem garantem elevado tempo disponível de operação como explicado na Seção 4.7.

Como resultado, o H135 atraiu a atenção do mercado global de helicópteros (tanto os modelos civis quanto militares) que culminou na venda de mais de 1.300 unidades bimotor que estão em serviço em mais de 60 países. Isso se deu devido ao H135 ser conhecido por sua resistência, construção compacta, baixos níveis de ruído, confiabilidade, versatilidade e competitividade de preço no mercado (*AIRBUS HELICOPTER, 2020*).

CAPÍTULO 5 – HISTÓRIA DA ATUAÇÃO DAS AERONAVES NAS OPERAÇÕES AERONAVAIS E OPERAÇÃO AÉREA NA MISSÃO OPERANTAR

5.1 Breve História do Início Operacional da Aviação Embarcada no Contexto Mundial

Inicialmente é plausível haver o questionamento acerca do motivo pela qual a Marinha do Brasil, tendo como finalidade as operações navais, operar meios aéreos.

A história da navegação e utilização de barcos nasceram associadas às aventuras dos seres humanos de explorarem novos territórios. As primeiras embarcações que se há conhecimento datam do período Neolítico, há cerca de 10.000 anos, e eram utilizadas inicialmente para caça e pesca. Contudo, vislumbrando seu potencial, essas embarcações foram sendo desenvolvidas e começaram a ter funções de exploração de novos territórios e continentes, que se definiu como conquistas ultras marítimas. Diante disso, entre os séculos XV e XVII iniciou-se um fenômeno na Europa conhecido como expansão marítima, quando incontáveis expedições partiram das grandes potências europeias como o objetivo de alcançar terras no Oriente. O objetivo tinha como meta procurar metais preciosos, converter populações nativas ao Cristianismo e realizar o comércio marítimo de especiarias, contudo, esse processo foi fundamental e extremamente marcante no âmbito global possibilitando conquistas além-mar ainda desconhecida pelos Europeus (KEEGAN, 2004).

Diante dessa expansão, as embarcações passaram a executar um papel ainda mais importante para o poder militar do país, principalmente no que tange a expansão terrestre e controle marítimo, uma vez que tal controle permitiria acesso a rotas comerciais e territórios. Assim, diversas batalhas navais foram travadas e decisivas para manter a hegemonia de um país e controlar os mares, tais como: a Batalha de *Camperdown*, 1797, na qual terminou com a competição pelos mares da Holanda com a Inglaterra; Batalha de Copenhague, 1801, na qual passou o controle das águas do norte europeu para a Inglaterra; Batalha de Trafalgar, 1805, que destruiu e extinguiu o poder naval de Napoleão; e a batalha da Jutlândia, 1916, que inibiu a ambição alemã de operar uma marinha oceânica (KEEGAN, 2004).

Com o advento da Primeira Guerra Mundial, a aviação evoluiu rapidamente, na qual uma nova disputa, não mais pelo mar e sim pelo controle aéreo iniciou-se. Esse fato foi observado pelo capitão Bertram Dickson:

Em 1911, o capitão Bertram Dickson, o primeiro militar britânico a voar, profetizou corretamente o uso militar da aviação. Ele afirmou que os primeiros aviões iriam ser usados para reconhecimento, mas ele iria forçar cada lado a tentar "impedir ou prevenir o inimigo de obter informações", o que eventualmente vai levar a uma batalha para o controle do ar. (BORGA, 2015, p. 340).

Isso foi de fato o que ocorreu nos anos seguintes durante a Segunda Guerra Mundial.

Durante a Segunda Guerra Mundial, 1939 a 1945, a maneira de combate naval foi modificada devido a presença de aeronaves de asas fixas embarcadas nos recém construídos porta-aviões. Esse meio naval visava servir de base móvel, permitindo que a força naval pudesse projetar seu poder aéreo a grandes distâncias, sem a necessidade de depender de base fixa, ou seja, aeroportos ou aeródromos. Esses navios tornaram-se o corpo principal da frota no mar, substituindo os antigos couraçados¹⁴ que até a Primeira Guerra Mundial eram o corpo principal. A guerra aérea intensificou-se ainda na Primeira Guerra Mundial e consolidou-se na Segunda Guerra Mundial. Em 1942, na Batalha de Midway, foi marcante a presença aérea no combate, devido a capacidade de reconhecimento a grandes distâncias e ataques aéreos surpresas, na qual a vitória americana se fez presente, evitando que o Japão tomasse o controle do pacífico ocidental (KEEGAN, 2004).

Concomitantemente com o desenvolvimento da aviação de asa fixa, durante o século XX, como fora supracitado, voltou-se a atenção a uma primeira ideia criada por Leonardo da Vinci no século XV, conhecida como helicóptero. O primeiro voo exitoso e registrado ocorreu em 1907 por Paul Cornu na França, a partir daí desencadeou-se uma busca acelerada em prol da evolução deste meio aéreo (COIMBRA, 2009). Seu interesse militar logo veio à tona, sendo ele adquirido pelas forças armadas de todo o mundo. Devido as suas vantagens como: versatilidade, manobrabilidade, operacionalidade e funcionalidade permitiram seu avanço e aplicação em diversas missões tais como: pouso e decolagem do convoo¹⁵; transporte de

¹⁴ Couraçado ou Encouraçado era um navio de guerra fortemente blindado e armado com artilharia de longo alcance e de elevado calibre. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Coura%C3%A7ado>>. Acesso em: 13 out 2020.

¹⁵ Convoo ou convés de voo é o local designado no convés principal de um navio na qual o helicóptero realiza pouso e decolagem.

tropas, equipamentos e meios; evacuação aeromédica; guindaste aéreo; vigilância de grandes áreas como as fronteiras; apoio a combate a incêndios; transporte de autoridades; acesso a áreas remotas; manutenção de rede elétrica; dentre outras.

Nos dias atuais, a Marinha do Brasil ostenta, como símbolo naval da sua força e corpo principal, o Porta-Helicópteros Multipropósito Atlântico (PHM A140) (Figura 5.1). Sua principal função é servir de base aérea móvel, possibilitando o embarque, lançamento e recolhimento de helicópteros.



Figura 5.1 – Porta-Helicópteros Multipropósito Atlântico (PHM A140) (Fonte: MARINHA DO BRASIL, 2018).¹⁶

5.2 Aviação na Marinha do Brasil

Diante do que fora descrito anteriormente, a história da aviação naval na Marinha do Brasil foi dividida em quatro fases, sendo a primeira compreendida entre os anos de 1916 a 1941 com a criação da Escola de Aviação Naval, sendo a primeira escola militar de aviação do país. Tal pioneirismo implementado pela MB deve-se ao fato da visão prospectiva da potencialidade a qual era possuir e empregar meios aéreos em conjunto com meios navais, que iria se confirmar na Segunda Guerra Mundial, na qual os meios aéreos mostraram-se

¹⁶ Disponível em: <<https://www.defesanet.com.br/prosuper/noticia/30316/PHM-A140---Atlantico-Chega-ao-Rio-de-Janeiro/>>. Acesso em: 19 set 2020.

indispensáveis para a condução das operações de guerra no mar, assim como a história tão bem comprovou (ComForAerNav, [201-?]).

A segunda fase, entre os anos de 1952 até 1965, marcada pela criação da Diretoria de Aeronáutica da Marinha (DAerM), culminou no recebimento das primeiras aeronaves, juntamente do porta-aviões NAeL Minas Gerais, além da criação do Comando da Força Aérea Naval (ComForAerNav), centralizando as tarefas e atividades atinentes à aviação naval. Contudo, em 1965, por determinação presidencial, a MB foi restrita a operar somente aeronaves de asa rotativa, conhecidas como helicópteros (ComForAerNav, [201-?]).

De 1965 até a 1998, a terceira fase, a MB operou e aperfeiçoou-se nas operações diurnas e noturnas com helicópteros embarcados, principalmente em navios de pequeno porte, marcando de vez a presença aérea nas operações conjuntas com os meios navais.

Na quarta fase, que deu início em 1998 e se estende até os dias atuais, foi assinado novamente um Decreto Presidencial concedendo novamente o direito da MB operar aeronaves de asa fixa, na qual à época se fez presente nas operações com o NAe São Paulo (ComForAerNav, [201-?]).

Atualmente a MB opera dois meios navais: aeronaves de asa fixa e asa rotativa, realizando missões embarcadas nos navios da Esquadra e das Forças Distritais e com os fuzileiros navais, tendo como principais missões:

- Defesa aérea da Esquadra e ataque no mar;
- Patrulha marítima;
- Busca e salvamento;
- Operações anfíbias.

Além disso, os helicópteros (asa rotativa) têm participado de diversas operações de apoio, principalmente as de caráter humanitário, como assistência hospitalar às comunidades ribeirinhas na região da Amazônia, programas sociais do governo federal e busca e salvamento no continente como na participação em resgates no acidente em Brumadinho, Minas Gerais. Ademais, com a criação da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) em 1984 e sua reinauguração em 2020 (Figura 5.2), localizada na Baía do Almirantado na ilha do Rei George, os helicópteros da Força Aeronaval iniciaram a sua participação juntamente com os navios hidrográficos no Programa Antártico Brasileiro denominado como PROANTAR.



Figura 5.2 – Estação Antártica Comandante Ferraz reinaugurada em janeiro de 2020 (Fonte: Defesa Aérea e Naval, 2020).¹⁷

5.3 Operações Aéreas no PROANTAR

O PROANTAR surgiu do interesse do Governo Brasileiro, alinhado com a comunidade científica, estudiosos, autoridades militares e políticas em se fazer presente no continente Antártico. A presença brasileira vislumbrava a pesquisa científica envolvendo maior entendimento dos eventos climáticos, além do estudo geológico em busca de recursos econômicos vivos e não vivos, além de possibilitar que o Brasil tivesse voz durante as tomadas de decisões referentes ao “Continentes Gelado”. Assim sendo, a Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM) ficou responsável pela gestão do programa na Antártica, coordenando a pesquisa e apoiando-a operacionalmente, logo, a Marinha do Brasil ficou responsável pela logística naval apropriada para execução das atividades designadas. Cabe ressaltar que devido às condições meteorológicas inerentes à região Antártica, as atividades de pesquisas são realizadas durante o período de verão, entre os meses de outubro a março, na qual as temperaturas são mais amenas (MARINHA DO BRASIL, [2019]).

Diante desse contexto é que se insere a participação das aeronaves, que têm como missão o apoio logístico aos navios, devido a praticidade e rapidez no deslocamento de

¹⁷ Disponível em: <<https://www.defesaareanaval.com.br/defesa-aerea-naval/marinha-do-brasil-reinaugura-a-estacao-antartica-comandante-ferraz>>. Acesso em: 16 set. 2020.

material e pessoal entre o “Continente Gelado” e os navios hidrográficos, além de permitir o acesso as regiões mais remotas no continente com a finalidade de deslocamento de pesquisadores e equipamentos para tais áreas.

Para cumprir essa missão, no verão de 1982, na OPERANTAR I, foram empregados os helicópteros pertencentes ao Primeiro Esquadrão de Helicópteros de Emprego Geral (EsqdHU-1) utilizando aeronaves modelo WASP HAS MK1 (Figura 5.3), de origem inglesa, da fabricante *Westland Aircraft* (ARMASNACIONAIS, 2019).



Figura 5.3 – Helicóptero WASP HAS MK1 operando com meios navais (Fonte: ARMASNACIONAIS, 2019).¹⁸

A partir da OPERANTAR VI, helicópteros do modelo esquilo bimotor (AS355) começaram a ser empregados por serem meios que proviam maior versatilidade, facilidade na manutenção e avanço operacional à época. Estas aeronaves ficaram sob operação do EsqdHU-1 e foram denominadas como UH-13 na MB (Figura 5.4). Cabe ressaltar neste momento o ambiente operacional desta aeronave, marcado por características tão extremas que tornam as missões mais desafiadoras e singulares. As intempéries presentes na região, tais como: baixíssimas temperaturas, ventos fortes, ambiente salino, neve e mudanças meteorológicas rápidas, despertam a atenção e preocupação durante as operações. Diante disso, os equipamentos e meios operacionais nesta região demandam elevada atenção e características capazes de resistirem a tais condições impostas, por mais agressivas que sejam (MARINHA DO BRASIL, [2019]).

¹⁸ Disponível em: <<http://www.arnasnacionais.com/2019/05/westland-wasp-serie-3-has-mk1.html>>. Acesso em: 16 set. 2020.



Figura 5.4 – Helicóptero esquilo bimotor (UH-13) operando na Antártica (Fonte: MARINHA DO BRASIL, [2019]).¹⁹

Diante do exposto é inegável a importância e cuidado com a seleção dos meios nessa região, assim, após trinta anos de serviço ativo nas missões na Antártica executadas pelo UH-13, foi vislumbrado uma solução para substituição dessas aeronaves, buscando outra com desempenho equivalente ou superior, modernas e com tecnologias mais avançadas. Assim, buscando aperfeiçoar e ampliar a capacidade operacional, a MB tendo como pilar a DAerM e o esquadrão HU-1 assinaram, em fevereiro de 2019 com a HELIBRAS, um contrato para aquisição de três aeronaves modelo H135M T3 - linha alemã, fabricados pela empresa *Airbus Helicopteres*, sendo duas na configuração *Helicopter Emergency Medical Services (HEMS)* e a outra na configuração para transporte VIP. Elas possuem a finalidade de substituir os esquilos bimotor, após anos de contribuição e operações na missão Antártica (HELIBRAS, 2019).

A Figura 5.5 apresenta o H135M T3 adquirido pela MB, já em sua configuração operacional. Esta aeronave foi denominada UH-17 na MB.

¹⁹ Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/secirm/proantar/aeronaval>>. Acesso em: 17 set. 2020.



Figura 5.5 – Helicóptero H135 T3 denominado UH-17 na Marinha do Brasil (Fonte: DEFESA AEREA & NAVAL, 2020).²⁰

²⁰ Disponível em: <<https://www.defesaareanaval.com.br/aviacao/helibras-entrega-o-primeiro-h135-da-marinha-do-brasil>>. Acesso em: 23 set. 2020.

CAPÍTULO 6 – ENGENHARIA DE SISTEMAS APLICADA NA ANÁLISE TÉCNICA E OPERACIONAL DO H135M T3

O presente Capítulo irá apresentar uma visão e aplicação da Engenharia de Sistemas relativa à atuação do H135M T3 nas operações aéreas no PROANTAR. Em primeiro lugar é importante entender o conceito de Engenharia de Sistemas, que dentre as suas definições, é uma abordagem multidisciplinar a qual se concentra em olhar um problema em sua totalidade levando em conta todas as variáveis presentes, direcionado para o *design*, execução, gerenciamento técnico, operação e finalização de um sistema. Ademais, a Engenharia de Sistemas tem uma visão interativa que se apoia no aprendizado e melhoria contínua, buscando ao final obter um produto que atenda às necessidades dos *stakeholders*²¹ (INCOSE, 2006).

A perspectiva da Engenharia de Sistemas está baseada em uma visão sistêmica. O pensamento sistêmico ocorre por intermédio da descoberta, aprendizagem, diagnóstico, e diálogo que levam a sentir, modelar e falar sobre o mundo real com o objetivo de melhor entender, definir e trabalhar com sistemas. Deve-se ter em mente que a complexidade pode levar a comportamentos inesperados e imprevisíveis do(s) sistema(s), portanto, um dos principais objetivos é minimizar consequências indesejáveis (INCOSE, 2006).

Diante dos conceitos apresentados, surgiu um novo conceito denominado *system of systems* (SoS) que está inserido dentro da Engenharia de Sistemas. O SoS é um conjunto de sistemas independentes que trabalham juntos para alcançar algum propósito em comum. Ele pode evoluir com o tempo e é aplicado em razão da alta complexidade presente na análise, pois, sistemas individuais são integrados para trabalhar juntos de forma eficaz (FAA, 2014).

Entendendo os conceitos supracitados, é plausível admitir que uma aeronave é formada por um conjunto de sistemas independentes que separadamente possuem suas funções específicas, mas ao interagirem de modo cadenciado, permitem que o voo e as missões possam ser realizados. Então, pode-se inferir que o helicóptero por si só é um sistema altamente complexo constituído por um conjunto de sistemas. Todavia, tomando uma visão

²¹ *Stakeholders* são os clientes ou a pessoa física ou jurídica que irá receber o produto final atendendo as suas necessidades conforme seus anseios.

ampla e externa, este sistema (helicóptero) está inserido em um ambiente operacional e interagindo com outros meios (ou sistemas) como navios, outras aeronaves e a base em terra.

Diante de tal análise, aplicar-se-á algumas ferramentas conceituais contidas dentro da Engenharia de Sistemas conhecidas como OCD e CONOPS. Elas ajudam muito no processo de validação do produto (aeronave) que busca, ao final, atender a necessidade do cliente (ou *stakeholders*). Ainda, essas ferramentas são capazes de levar o engenheiro para o mundo das operações reais, buscando entender na prática as interações que o sistema terá com outros sistemas e quais as dificuldades que podem ser encontradas. Esses conceitos serão apresentados nas seções seguintes em maiores detalhes.

6.1 OCD

O OCD (*Operational Concept Description*) é o conceito de descrição operacional de um sistema, ele apresenta as informações discretas do sistema objetivando descrever quem são os usuários, como pretende-se utilizá-lo e como e onde ele será utilizado (HALLIGAN, [201-?]). Este conceito tem por base realizar algumas perguntas que auxiliam na formação e determinação dos requisitos que devem ser atendidos para que o produto final (aeronave) satisfaça a necessidade do cliente (MB).

Inicialmente, formula-se algumas perguntas para começar a obter dados a fim de construir uma ideia do que se espera para a aeronave desejada (o sistema). Na Tabela 6.1 são apresentadas essas perguntas e suas respostas.

Tabela 6.1 – Descrição conceitual da operação do sistema.

Descrição Conceitual da Operação do Sistema	
Perguntas	Respostas
Quem é o usuário?	Marinha do Brasil
Quem irá operar?	Pilotos treinados pertencentes ao 1º Esquadrão de Helicópteros de Emprego Geral (EsqdHU-1)
Onde será usado?	A aeronave, com característica multipropósito, terá como aplicação principal atuar nas operações aeronavais no Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR).
Como será usado?	A aeronave será utilizada como apoio aéreo, prioritariamente, no que tange ao apoio logístico móvel na comissão OPERANTAR, cumprindo tais missões:

	<ul style="list-style-type: none"> • Transporte de pessoal e material entre navio-terra e vice-versa, com o lançamento e recolhimento de Projetos; • Patrulha aérea com reconhecimento de campo de gelo; • Apoio Aeromédico; • Busca e salvamento (SAR); • Apoio aos voos VIP (transporte de autoridades militares e civis); • Apoio à imprensa (tiragem de fotos e filmagens).
Porque será usado?	A aeronave visa substituir os helicópteros UH-13 (AS355 esquilo bimotor) que já possuem mais de 30 anos de serviço ativo no PROANTAR, adotando uma aeronave (sistema) de tecnologia mais avançada e atualizada com desempenho superior, a fim de cumprir as missões designadas no Continente Antártico, sendo capaz de resistir e atuar eficientemente em condições ambientais extremas.

Fonte: o Autor, 2020.

Mediantes as respostas obtidas na Tabela 6.1, inicia-se a construção dos requisitos necessários que a aeronave deve atender para que ela possa cumprir a missão a qual foi destinada. Entretanto, até o momento, apenas foram obtidas informações pontuais acerca da aeronave que se pretende obter para cumprir os anseios esperados. Para que seja possível aprimorar as características necessárias da aeronave, levando em consideração a sua operação em um cenário real, será aplicado o conceito de CONOPS.

6.2 CONOPS

O CONOPS (*concept of operations*) descreve uma visão geral da operação do sistema atuando sozinho ou interagindo, e como ele deverá agir durante suas atividades, tendo como chave atender as expectativas esperadas pelo operador. Esse conceito é desenvolvido dentro da Engenharia de Sistemas com o propósito de analisar e descrever como se pretende operar para que seja possível alcançar os objetivos e metas estabelecidas (missão estipulada). Além disso, esse conceito ajuda a garantir que o sistema em questão (aeronave) esteja integrado dentro de um sistema maior e eficiente, ou seja, um sistema dentro de outro sistema (*system of systems*) para que as expectativas esperadas aconteçam (FAA, 2014).

Nesta análise, durante a operação do sistema, não é considerado isoladamente apenas o produto helicóptero e sim sua interação com outros sistemas como navios, submarinos, helicópteros, satélites, torres de controle, bases terrestres, dentre outros. A Figura 6.1 ilustra

claramente um exemplo como cada sistema individualmente interage em um cenário do mundo real.

Essa concepção e visão global apresentada na Figura 6.1 é de suma importância para o engenheiro, pois, ao analisar o ambiente operacional e as interações com outros meios, permite que sejam considerados e analisados requisitos que não foram levados em consideração ao examinar a operação isolada da aeronave.

Na subseção a seguir, será descrita a operação da aeronave prevista durante sua atuação no PROANTAR, de modo a entender como o sistema atuará em ambiente real e como será sua interação com outros meios.

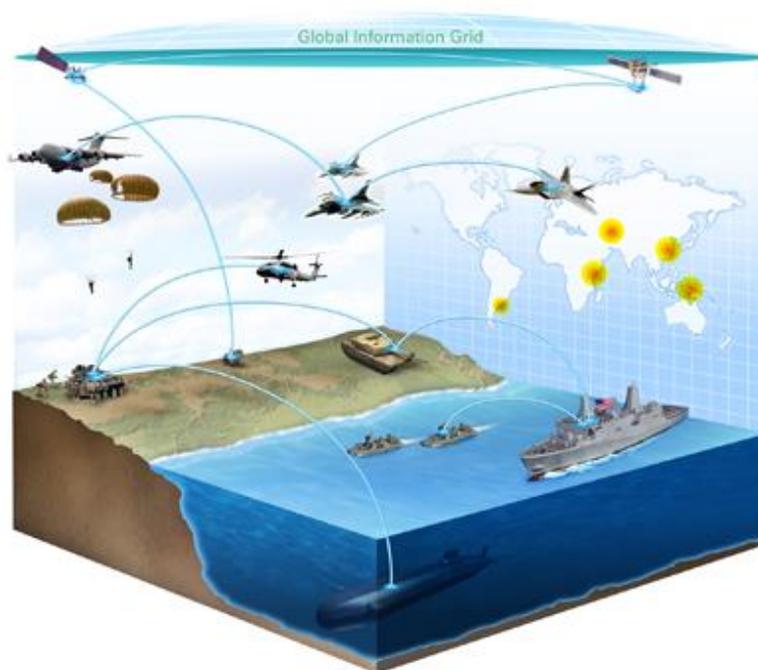


Figura 6.1 – Interação entre diversos sistemas (meios navais, aéreos e terrestres) em um cenário no mundo real

(Fonte: PARKINSON, [201-?]).²²

6.2.1 Descrição operacional

A principal finalidade da aeronave é atuar como apoio logístico móvel na Antártica junto aos navios ou à Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF). Contudo, para entender todas as interações da aeronave no cenário a qual está inserida, far-se-á uma descrição geral

²² Disponível em: <http://www.24hrco.com/images/articles/html/MikeParkinson_May12.html>. Acesso em: 24 set 2020.

da dinâmica operacional dela em campo. Para tal, a dinâmica operacional será descrita em seguida, dividida em fases.

1ª Fase – Preparação e deslocamento da aeronave

Inicialmente, a aeronave que fica situada no 1º Esquadrão de Helicópteros de Emprego Geral (EsqdHU-1) na Base Aeronaval de São Pedro da Aldeia na cidade de São Pedro da Aldeia no estado do Rio de Janeiro, irá embarcar o Destacamento Aéreo Embarcado (DAE) que participará da missão Antártica. Em seguida, a aeronave desloca-se para o navio designado que executará a missão (cabe ressaltar que os navios hidrográficos são os responsáveis pela execução da missão Antártica). O navio possui convoo capaz de recebe-lo e transportá-lo com segurança.

2ª Fase – Deslocamento da comissão para a Antártica

No momento que a aeronave está embarcada, ela é peiada²³ no convoo, suas pás são dobradas e ela é coberta com uma capa de forma a evitar que fique exposta às intempéries externas como chuva, sol e salinidade devido a água do mar, objetivando reduzir sua degradação. Durante todo o percurso, desde a saída do Brasil até a chegada na Baía do almirantado na EACF, a aeronave fica vinculada ao navio. Durante as pernadas²⁴ podem ser realizadas operações aéreas com o objetivo de incrementar o adestramento dos tripulantes do navio e do DAE.

3ª Fase – Chegada na EACF e Operações aéreas na Antártica

Na chegada do navio à região Antártica as operações aéreas já se iniciam. Devido a presença de grande quantidade de gelo no mar e falta de clareza para o avanço da navegação que garanta a segurança do deslocamento do navio para cumprimento da derrota²⁵, a aeronave é lançada para realização de patrulha aérea com reconhecimento de campos de gelo, permitindo verificar as condições de navegação à frente. Este voo é muito importante nessa região pois permite que tomadas de decisões sejam feitas em prol de seguir ou não com o planejado ou escolher melhores derrotas a serem seguidas.

²³ Peiar é uma expressão marinheira que significa prender ou amarrar todo o material que possa se deslocar ou ser danificado em decorrência do movimento (balanço) do navio durante a navegação. Visa proteger o material e o pessoal.

²⁴ Pernada é o trecho de uma viagem marítima entre dois pontos estabelecidos previamente.

²⁵ Derrota é uma expressão marinheira que significa o rumo seguido por um navio entre dois pontos planejados na carta náutica.

Ademais, na chegada, os acampamentos relativos aos projetos de pesquisa são lançados em terra em locais previamente estipulados durante o planejamento. Nessa ocasião, a aeronave realiza o transporte de pessoal e material, visto que não há a possibilidade de atracação nestes lugares nem aproximação segura, além do acesso terrestre ser extremamente complicado.

Um fator a ser destacado é a grande dificuldade do navio em permanecer fundeado²⁶ em virtude da grande concentração de gelo nos locais de fundeio e as rápidas mudanças climáticas que afetam a região. Isso obriga o navio a pairar sob máquina²⁷ durante grande parte do tempo. Consequentemente, impacta no pouso e decolagem do convoo, pois, o navio precisa constantemente estar realizando manobras a fim de propiciar condições ideais do envelope de vento para executar um pouso ou decolagem, salvaguardando tanto a equipe de militares e civis embarcados no navio quanto na aeronave, além de resguardar os meios. Ainda, tais condições citadas acarretam em atrasos, pois, tornam as operações mais lentas e devido ao navio ficar sob máquinas, o lançamento da aeronave ocorre mais distante do continente, resultando em maior gasto de combustível.

Em situações de emergência, como por exemplo: acidentes pessoais graves ou enfermidades, a aeronave tem uma função primordial nessa região uma vez que permite acesso a locais inóspitos rapidamente. Logo, possuir uma aeronave com capacidade de evacuação aeromédica torna-se indispensável, posto que as condições climáticas críticas podem corroborar para reduzir as chances de um salvamento rápido de um paciente.

Outra atividade executada é o apoio à imprensa para registro de fotos e vídeos além do transporte de autoridades civis e militares que se dirijam àquela região.

A aeronave possui a capacidade de transportar carga externa por intermédio de gancho para deslocamento de material ou pessoal quando não há a possibilidade de serem transportados no interior da aeronave devido ao volume, formato, peso excessivo em relação ao limite de resistência do piso da cabine ou outra situação que possa comprometer a segurança do transporte no seu interior. Uma manobra executada pela aeronave é o *Vertical Replenishment* (VERTREP) ou conhecida como reabastecimento vertical de carga que utiliza o gancho externo para reabastecimento de material e seu descolamento.

²⁶ Fundeado é a condição na qual o navio encontra-se próximo ao litoral e lança a âncora com o objetivo de permanecer fixo na água, ou seja, prender o navio ao fundo do mar.

²⁷ Pairar sob máquina é a condição na qual a embarcação permanece com os motores ligados ininterruptamente e constantemente realiza manobras no mesmo local devido a impossibilidade de realizar o fundeio.

No decorrer das operações, a aeronave executa as manutenções programadas previstas em manual para manter aeronavegabilidade e segurança em voo, além de possíveis manutenções corretivas ou não-programadas que sejam necessárias. Logo, o planejamento dessas manutenções, materiais disponíveis, equipamentos e ferramental devem ser devidamente e corretamente armazenados para que a operação da aeronave não seja prejudicada.

As condições climáticas e as rápidas mudanças meteorológicas inerentes a região afetam as operações aéreas e navais e isso é fato incontestável, assim, é de suma relevância descrever as condições ambientais presentes na região Antártica e ter em mente a todo instante como elas podem interferir diretamente nas operações do navio, da aeronave e na operação conjunta entre ambos. Os seguintes pontos não visam detalhar as intempéries em termos quantitativos, mas apresentá-las de modo amplo:

- Baixas temperaturas (sendo negativas em grande parte do tempo);
- Ventos fortes;
- Neve / Nevascas;
- Neblina;
- Campos de gelo;
- Salinidade;
- Bruscas mudanças climáticas;
- Correntes marítimas;
- Presença de *Iceberg*.

4º Fase – Regresso para o Brasil e fim da missão

Durante o regresso, a aeronave permanece peiada no convoo e na condição de deslocamento do navio igualmente explicadas na 1º Fase. Após o fundeio / atracação do navio no Brasil, a aeronave embarca o DAE e desloca-se para a Base Aeronaval de São Pedro da Aldeia, regressando ao EsqdHU-1 e finalizando sua missão.

6.2.2 Validação da aeronave H135M T3

Apresentada a descrição operacional que a aeronave deva ser capaz de realizar, inicia-se o processo de validação, ou seja, baseado na análise e explicação técnica do H135 T3 ao longo do Capítulo 4, será feita uma correlação entre o que as operações exigem e verificado se

o H135 T3 possui capacidade de cumpri-las em sua plenitude. A Tabela 6.2 apresenta essa correlação.

Deve-se levar em conta que este trabalho não apresentou minuciosamente todos os sistemas e equipamentos presentes no H135 T3, mas, destacou e explicou pontos inovadores que essa aeronave trouxe, assim, a Tabela 6.2 irá apresentar alguns requisitos que uma aeronave deve atender mediante a descrição operacional feita anteriormente e alguns desses itens, o H135 T3 atende, contudo, não foram explicados ao longo do trabalho, mas, objetivava-se entender como é aplicada a ferramenta inserida dentro da Engenharia de Sistemas.

Ressalta-se, diante da Tabela 6.2, que requisitos exigidos pela MB em termos quantitativos (limites máximos e mínimos e valores definidos) não serão abordados e mencionados, uma vez que tais valores possuem restrições de divulgação por se tratar de um meio aéreo operacional militar, que resguarda seus sigilos técnicos.

Tabela 6.2 – Validação da aeronave H135 T3.

Validação do H135 T3 na OPERANTAR		
O que precisa para cumprimento das operações?	O que o H135 T3 possui para cumprir as operações?	Foi atendido?
Requisitos dimensionais		
Aeronave deve ter dimensões para pousar no convoo dos navios que participam da OPERANTAR	Dimensões previstas conforme Tabela 4.1 e Anexo A atendem os requisitos dimensionais da MB	Sim
Capacidade de dobragem das pás durante o translado embarcado	Kit de dobragem das pás homologado e oferecido pelo fabricante	Sim
Proteção e resistência às condições climáticas		
A aeronave deve possuir capa para proteção contra intempéries (Vento, água, neve, salinidade)	Fabricante fornece capa personalizada	Sim
Capacidade de operar em baixas temperaturas	Conforme dados técnicos da Tabela 4.1, aeronave pode operar em ambientes em até -35°C	Sim
Proteção contra raios e cargas estáticas	A aeronave possui <i>static discharges</i> nas pontas das pás do rotor principal e na empenagem vertical	Sim
Presença de um sistema de anti-congelamento na entrada dos compressores do motor	A aeronave possui sistema homologado de aquecimento na entrada dos compressores	Sim
Presença de um sistema de anti-congelamento nos tubos de Pitot	Os tubos de Pitot possuem aquecimento para evitar congelamento	Sim

Segurança, agilidade e praticidade operacionais e requisitos de emergência		
Segurança do pessoal durante embarque e desembarque da aeronave	A altura do rotor principal é 3,35m (conforme Anexo A), garantindo uma distância segura durante embarque e desembarque de pessoal.	Sim
Segurança operacional durante o pouso e decolagem no convoo	- <i>Cockpit</i> em conceito aberto que garante ampla visualização situacional aos pilotos durante manobras. - <i>Fenestron</i> [®] envolve as pás do rotor de cauda reduzindo a probabilidade de choques com objetos externos e promovendo maior segurança ao pessoal externo a aeronave.	Sim
Embarque e desembarque de material e pessoal com maior praticidade, agilidade e segurança	- A aeronave possui duas portas corredeiras localizadas uma em cada lateral, podendo o voo ser realizada com uma ou ambas abertas; - A aeronave possui acesso a parte traseira com ampla abertura da porta (Figura 4.5).	Sim
Capacidade de realizar pouso e decolagem rapidamente em virtude de bruscas mudanças climáticas e situações emergenciais	Concepção das pás do rotor conectadas direto ao mastro permitindo rápida resposta comandadas pelo piloto.	Sim
Resposta rápida aos comandos executados pelo piloto	Concepção das pás do rotor conectadas direto ao mastro permitindo rápida resposta comandadas pelo piloto.	Sim
Capacidade de transportar cargas e equipamentos no interior da cabine	- A aeronave possui espaçoso e comprido espaço interno da cabine (Figura 4.5 e dimensões no Anexo A); - Piso da cabine possui resistência à compressão, conforme requisito exigido pela MB.	Sim
Capacidade de mudanças no <i>layout</i> interno da cabine	O fabricante possibilita a mudança rápida e ágil do <i>layout</i> interno da cabine para diversas configurações mediante obtenção de acessórios e itens opcionais (Seção 4.2).	Sim
Presença de flutuadores em caso de pouso na água	O fabricante oferece os flutuadores homologados e certificados como item opcional.	Sim
Sistema de extinção de fogo dos motores	O fabricante fornece o sistema homologado de extinção de fogo do grupo motopropulsor.	Sim
Limpadores de para-brisa individual para cada piloto ou um que atenda aos dois pilotos (utilização durante chuva e neve)	O H135 T3 fornece limpador de para-brisa que atende ao requisito.	Sim

Dispositivo de ventilação e desembaçamento que impeça a formação de condensação no para-brisa, quando operando em clima frio.	O H135 T3 possui sistema de desembaçamento do para-brisa.	Sim
Possuir aquecimento da cabine	O H135 T3 possui sistema de aquecimento da cabine.	Sim
Capacidade de pousar sobre a neve	A empresa disponibiliza <i>snow skids</i> certificado para pouso sobre a neve	Sim
Requisitos do conjunto motopropulsor		
Presença de um sistema eletrônico capaz de realizar automaticamente todo o controle do combustível que alimenta o motor	O H135 T3 possui o sistema FADEC (explicado na Seção 4.6.1 FADEC)	Sim
Sensores capazes de evitar a partida do motor em situações em que a temperatura externa esteja abaixo de 35°C	O H135 T3 possui o sistema FADEC integrado a outros sistemas da aeronave que realiza todo o sensoriamento e proíbe que as operações ocorram fora dos limites estabelecidos.	Sim
Aeronave composta por dois motores (bimotor)	O H135 T3 é uma aeronave bimotora equipada com 2 motores Turbomeca ARRIUS 2B2.	Sim
Requisitos de navegação e comunicação		
Capacidade de operação aérea nos períodos diurno e noturno	O H135 T3 é homologado para operação diurna e noturna sob regras de voo visual (<i>Visual Flight Rules - VFR</i>) e por instrumentos (<i>Instrument Flight Rules - IFR</i>).	Sim
Presença de equipamentos que permitam operação noturna	O H135 T3 possui iluminação externa e interna que possibilita o uso de NVG.	Sim
Capacidade de operar em condições de baixa visibilidade e/ou presença de névoa	O H135 T3 é homologado para operação diurna e noturna sob regras de voo IFR, além da presença de sistemas de navegação .	Sim
Presença de Piloto automático	O H135 T3 possui piloto automático de 4 eixos com módulo de controle no painel/console.	Sim
Capacidade de intercomunicação com outros meios aéreos, navais e terrestres (comunicação na faixas HF,VHF,UHF)	O H135 T3 possui os equipamentos certificados que atendem o requisito da MB.	Sim
Sistema de navegação	O H135 T3 possui equipamentos de navegação que atende o requisito da MB.	Sim
Indicador de temperatura externa	O H135 T3 possui o equipamento certificado que atende o requisito da MB.	Sim

Altímetro	O H135 T3 possui o equipamento certificado que atende o requisito da MB.	Sim
Velocímetro	O H135 T3 possui o equipamento certificado que atende o requisito da MB.	Sim
Bússola magnética	O H135 T3 possui o equipamento certificado que atende o requisito da MB.	Sim
Relógio / Cronômetro	O H135 T3 possui o equipamento certificado que atende o requisito da MB.	Sim
Equipamento de localização em situação de emergência	O H135 T3 possui o <i>Emergency Locator Transmitter</i> (ELT) certificado que atende o requisito da MB.	Sim
Maior autonomia	3h 36min (Conforme Tabela 4.1)	Sim
Maior alcance	345 NM (Conforme Tabela 4.1)	Sim
Requisitos Estruturais		
Aeronave com estrutura resistente à operação em ambiente marítimo por período prolongando	Construção da fuselagem e rotor principal predominantemente em material compósito (Ver Seção 4.5 e Apêndice A).	Sim
O piso da cabine deverá suportar e resistir aos esforços de cargas	O H135 T3 possui capacidade de carga do piso da cabine para atender ao requisito da MB.	Sim
A aeronave deve ser peiada no convoo durante as operações embarcadas em navios	O H135 T3 possui a possibilidade de instalação de olhais, manilhas ou argolas na estrutura da aeronave para sua devida fixação.	Sim
Sistemas de identificação da aeronave em espaço aéreo controlado		
Presença de Transponder	O H135 T3 possui o equipamento certificado que atende o requisito da MB.	Sim
Presença de <i>Traffic advisory system</i> (TAS)	O H135 T3 possui o equipamento certificado que atende o requisito da MB.	Sim
Manutenção		
Acesso rápido ao rotor principal para inspeções	Presença de degraus na fuselagem que permitem acesso rápido ao rotor principal para realização de inspeções.	Sim
Manutenções rápidas e simples	Fuselagem construída em concepção modular, com portas de acesso rápido na carenagem (conforme explicação na Seção 4.7).	Sim
Capacidade de proporcionar maior tempo de operação e menos paradas para manutenções programadas	Intervalos de manutenção ampliados (conforme explicação na Seção 4.7)	Sim

Fonte: o Autor, 2020.

O objetivo da utilização da ferramenta CONOPS foi atendido, posto que, foram elencadas algumas necessidades operacionais que o helicóptero deve possuir para cumprir sua missão. Perceba que durante a análise foi considerada sua operação real e sua interação com o meio ao redor (navio, pessoal envolvido nas atividades, outras aeronaves, estação em terra). Deve-se ter em mente que na Tabela 6.2 não foram esgotados todos os requisitos e interações operacionais, mas, é possível concluir a contribuição que as ferramentas inseridas dentro da Engenharia de Sistemas são capazes de proporcionar, olhando o sistema não apenas operando isoladamente, mas em conjunto, o que torna a análise mais complexa.

Várias etapas, além das que foram apresentadas, são necessárias ao longo do processo de obtenção do produto final. As necessidades do cliente/operador permitem iniciar um processo longo e minucioso de determinação dos requisitos. Em seguida, para que o produto final seja alcançado, operando sozinho e integrado em um ambiente altamente complexo, etapas como montagem da arquitetura, implementação, integração, teste e validação devem ser executados com o objetivo de cumprir e satisfazer eficazmente os anseios dos *stakeholders* para que o sistema cumpra sua missão com a maior probabilidade possível de assertividade, tendo em visto que em um mundo real não existem sistemas perfeitos.

O H135M T3 realizará sua primeira operação no PROANTAR em 2020. A partir do início operacional com sua atuação *in loco* no ambiente operacional para o qual foi projetado, poder-se-á, ao longo do tempo, registrar o histórico das operações do sistema (aeronave), possibilitando que estudos e considerações sejam feitas (realimentação ou *feedback*). Assim, o projeto pode ser consolidado e eventuais discrepâncias poderão ser ajustadas. Os *feedbacks*, relativos a atuação do helicóptero em um ambiente real, permitem que haja uma visão interativa, buscando a melhora contínua.

Cabe salientar a importância e a dificuldade da determinação e criação dos requisitos de um sistema. Requisitos bem feitos resultarão em produtos próximos aos desejados, todavia, requisitos mal escritos e construídos poderão facilmente conduzir a resultados fracassados ou até mesmo reprojatos que gerem custos elevados. Esse é um dos pontos cruciais que o engenheiro deve se atentar diante de um novo projeto.

6.3 MOE

Tendo em vista a validação dos requisitos realizada na Seção 6.2, é importante entender que o H135M T3 ainda não iniciou suas operações em um cenário real. Tão logo se inicie, faz-se necessário verificar e comparar se as operações reais do sistema (helicóptero) atendem os objetivos esperados pelo cliente. Assim, é importante ter alguma forma de medição do sucesso do atingimento dos objetivos esperados pelo *stakeholder*, ou seja, uma avaliação quantitativa para medir quanto os objetivos do cliente foram atendidos. Nesse escopo, insere-se um conceito que se encontra dentro da Engenharia de Sistema conhecido como medida de efetividade (*Measures of effectiveness* - MOE).

Segundo Sproles (2001), as medidas de efetividade (MOEs) são uma ferramenta projetada para ajudar a estabelecer se um sistema, quando desenvolvido como uma solução para um problema, cumpre a missão requerida pelo *stakeholder*. MOEs são uma parte essencial da Engenharia de Sistemas e eles vêm a solução para o problema a partir do ponto de vista dos *stakeholders*. Ele conclui que a MOE mede como um sistema executa suas funções dentro do ambiente real a qual ele está inserido.

O MOE busca medir alguns parâmetros do sistema em operação em um ambiente real e verifica ao final, com os valores medidos, se os objetivos do cliente foram atendidos. Ressalta-se a importância de que os problemas dos clientes estejam bem relacionados com os objetivos, pois, se o sistema for operado e não atender os anseios do cliente, conseqüentemente, as medidas de efetividade do sistema em operação não irão refletir corretamente os anseios esperados pelo cliente. A Figura 6.2 explicita um fluxograma desde o problema inicial do cliente, a determinação dos seus objetivos, o desenvolvimento dos requisitos, até a construção e operação real do sistema. Além disso, apresenta a aplicação da ferramenta MOE e a validação e verificação que o produto final, em operação, deve passar para garantir que os objetivos foram atendidos conforme os anseios dos *stakeholders*.

Analisando o helicóptero H135M T3, tendo como base a Figura 6.2, o desenvolvimento do sistema (helicóptero) encontra-se no quadro “construção do sistema”, uma vez que a aeronave ainda não iniciou sua operação real no PROANTAR. Assim, verifica-se que a partir do início das operações, poder-se-á utilizar o MOE para medir se a aeronave irá atingir os objetivos esperados pela MB.

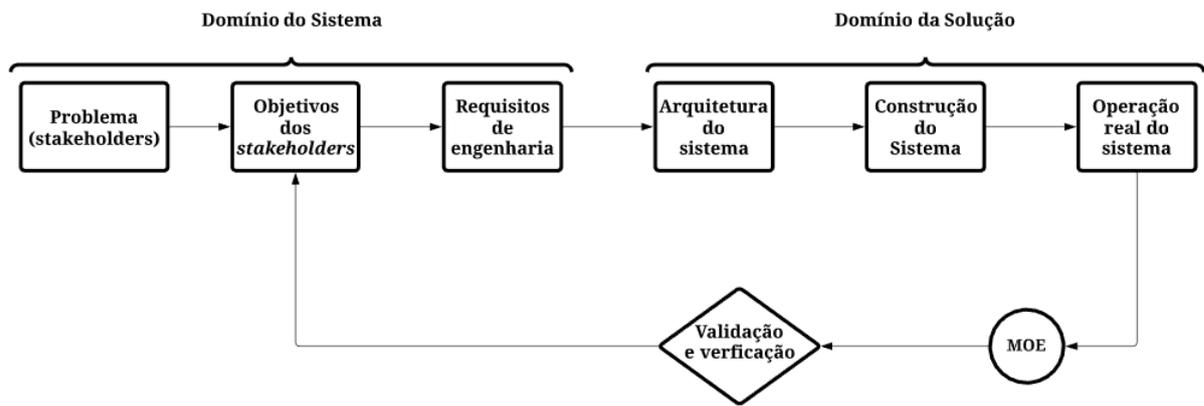


Figura 6.2 – Fluxograma representando o desenvolvimento do sistema desde o problema inicial até a operação real do sistema e a presença do MOE (Fonte: o Autor, 2020).

Diante dessa análise, surge o questionamento de como essa medida de efetividade pode ser realizada na prática ou quais são as características que elas devem possuir. Mediante a isso, Green (2001) afirma que as medidas de efetividade devem ser capazes de serem ao mesmo tempo medidas e testadas, ou seja, elas devem possuir uma natureza quantitativa. Ademais, elas não necessitam refletir apenas uma mudança em um conjunto de parâmetros, mas também, devem ter uma referência a partir da qual a mudança do parâmetro possa ser avaliada, em outras palavras, se o valor do parâmetro dobrar não significa necessariamente que a medida de efetividade deve também dobrar. Assim, por exemplo, expressar o MOE como uma probabilidade, permite determinar se uma mudança no parâmetro é estatisticamente significativa. A Tabela 6.3 resume as características desejadas que as medidas de efetividade devem possuir segundo Green (2001).

Por fim, mediante o que fora analisado anteriormente, para o H135M T3 em operação, algumas sugestões de medidas que podem ser analisadas após o início das operações são:

- Número de pousos e decolagens: avaliação estatística pode ser feita;
- Análise estatística do tempo de vida de peças e componentes;
- Custo operacional;
- Custo de manutenção;
- Taxa de sucesso dos voos planejados;
- Taxa de despachabilidade.

Tabela 6.3 – Características desejadas para as medidas de efetividade.

Características	Definição
Orientado para a missão	Refere-se ao sistema.
Discriminatório	Identifica real diferença entre alternativas.
Mensurável	Pode ser calculado ou estimado.
Quantitativo	Poder ser atribuído números.
Realista	Relaciona-se de maneira realista com o sistema, com incertezas associadas.
Objetivo	Definido ou derivado, independente da opinião subjetiva.
Apropriado	Refere-se a padrões aceitáveis.
Sensível	Reflete as mudanças nas variáveis ou parâmetros do sistema.
Inclusivo	Reflete os padrões exigidos pelos objetivos da análise.
Independente	Mutuamente exclusivo em relação a outras medidas.
Simple	Facilmente entendido pelo usuário.

Adaptado de: GREEN, 2001.

CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

7.1 Conclusões

Neste trabalho de conclusão de curso foi apresentada a motivação pela qual a MB adquiriu a aeronave H135M T3, tendo como principal objetivo atuar como apoio aéreo, prioritariamente, no que tange ao apoio logístico móvel no Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR). Essa aquisição foi motivada pela busca da MB em obter um meio aéreo que pudesse substituir as aeronaves esquilo bimotor UH-13, após trinta anos de serviço ativo nas missões na Antártica, por outra aeronave que fosse dotada com desempenho equivalente ou superior e com tecnologias mais avançadas permitindo aperfeiçoar e ampliar a capacidade operacional da MB. Além disso, a aeronave escolhida devia atender os requisitos técnicos e operacionais para atuar na Antártica que é um ambiente hostil com condições climáticas extremas devido às baixas temperaturas, fortes ventos e a presença de neve e nevascas, exigindo uma aeronave robusta, versátil e ágil.

Nesse escopo realizou-se uma análise técnica do helicóptero H135 T3 desde suas possíveis configurações, passando pela análise técnica do sistema de sustentação, do sistema do rotor de cauda, a estrutura da fuselagem, os principais sistemas embarcados e as diretrizes para a execução das manutenções. Mediante a isso, ressalta-se a complexidade presente nas análises e a importância do conhecimento interdisciplinar que exigiu o conhecimento em diversos ramos tais como: aerodinâmica e desempenho; resistência dos materiais; estrutura e propriedades dos materiais metálicos, poliméricos e compósitos; vibrações mecânicas; elementos de máquinas; processos de fabricação, dentre outros. Esse agrupamento dos diversos ramos do conhecimento visou alcançar um objetivo em comum que foi entender desde a construção da aeronave, o funcionamento dos seus sistemas separadamente e em conjunto, os avanços tecnológicos e as operações da aeronave.

As possíveis configurações internas da cabine demonstraram a versatilidade do H135 T3 diante das diversas operações a serem executadas. Ponto de notável destaque e considerável inovação é seu moderno sistema de sustentação sem rolamento (*bearingless*) que juntamente com as quatro pás construídas em compósito, permitiu reduzir o peso do rotor e

consequentemente de toda a aeronave; reduzir o tempo e custo de manutenção devido à ausência de articulações e à resistência a corrosão proporcionada pelos materiais compósitos; proporcionar maior segurança em voo; reduzir a vibração e melhorar o conforto durante as operações aéreas. Ademais, foi explicado o sistema do rotor de cauda e a presença do *Fenestron*[®] que trouxe dentre suas principais vantagens: a redução de ruído e vibração, devido ao espaçamento desigual entre as pás do rotor e seu maior número de pás, e maior segurança devido ao rotor estar inserido no interior do invólucro.

A história da aviação embarcada, a partir da Segunda Guerra Mundial, demonstrou a importância e a relevância das operações em conjunto dos meios aéreos e navais, levando as missões militares a um patamar de maior complexidade. Diante disso, a MB buscou aperfeiçoar e aprimorar não apenas seus meios aéreos embarcados com também buscou maior capacitação para seus militares uma vez que novas tecnologias e sistemas exigem maior conhecimento. À vista disso, a MB adquiriu três helicópteros H135 T3 dotados de novas tecnologias e sistemas, atendendo a demanda operacional e permitindo se armar com os meios mais modernos.

A utilização das ferramentas OCD e CONOPS presentes na Engenharia de Sistemas, permitiu entender os requisitos exigidos pelo cliente, obter uma visão real do cenário operacional em que a aeronave estará inserida e como ela irá interagir nesse ambiente. Esse entendimento possibilitou validar os requisitos exigidos pelo cliente, uma vez que, a análise técnica do H135 T3 proporcionou um melhor entendimento da evolução da aeronave, suas inovações e seus sistemas. Por fim, foi introduzido e explicado o conceito de MOE pela qual é possível medir e quantificar o sucesso da operação do sistema em ambiente real. Foram apresentadas as características que as medidas de efetividade devem possuir e diante disso, foram apontadas algumas sugestões de medidas que podem ser analisadas após o início das operações do H135M T3.

7.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Tratando-se de uma aeronave recém adquirida e operada pela MB, além da presença de inovações e modernizações presentes no H135M T3, para trabalhos futuros, recomenda-se o estudo do novo sistema disponível na aeronave: o *Helionix*[®]. Neste contexto, sugere-se analisar quais os possíveis ganhos obtidos, tendo como alicerce, uma visão técnica e operacional nas atividades militares.

Outra sugestão de estudo seria a análise operacional do piloto diante da concepção da interação homem-máquina que tem evoluído rapidamente em decorrência do avanço tecnológico acelerado, na qual o piloto é inserido em um ambiente inovador que possibilita voltar a sua atenção e concentração praticamente para o cumprimento da missão e muito pouco para a operação da aeronave.

Por fim, seria interessante uma abordagem e aplicação de ferramentas de Engenharia de Sistemas com o propósito de analisar os requisitos determinados pela MB para a aeronave que irá operar na Antártica, realizando um estudo comparativo com os dados da operação real da aeronave com o intuito de validá-la, ou seja, garantir que o produto final atenda os objetivos e especificações operacionais esperadas pela MB (*stakeholder*), uma vez que no ano de 2020, ela iniciará sua operação no PROANTAR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **RBAC21**: Certificação de produto e artigo aeronáuticos. 6 ed. Brasília, 2020. 81 p.
- AIRBUS HELICOPTERS (org.). **Retrofit H135**: Fly High & Hot. França: SPI, 2017. 12 p. Disponível em: <<https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/brochures/HCare-Helicopter-Maintenance-Upgrades-H135-Retrofit.pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2020.
- AIRBUS HELICOPTERS (org.). **Airbus Helicopters Naming Convention, from EC to H**. Marignane, França: Airbus Helicopters, 2017. 2 p.
- AIRBUS HELICOPTERS (org.). **H135 - Light Twin**. 2020. Disponível em: <<https://www.airbus.com/helicopters/civil-helicopters/light-twin/h135.html>>. Acesso em: 28 ago. 2020.
- ALLEN, P. **The Helicopter**: An Illustrated History of Rotary-winged Aircraft. 1. ed. Shrewsbury, England: Airlife, 1996. 144 p.
- ANCELOTTI, A. C. **Materiais e Processos de Fabricação Aeronáuticos**: Introdução. 02 mar. 2020, 10 jul. 2020. 91 p. Notas de Aula.
- BORGA, R. N. **Primeira Guerra Mundial**: a história contada através da fotografia. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: Clube de Autores, 2015. 404 p.
- COMFORAERNAV. **Histórico e Missão**: Comando da Força Aeronaval. [S. l.], [201-?]. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/comforaernav/historico#:~:text=A%20hist%C3%B3ria%20da%20Avia%C3%A7%C3%A3o%20Naval,do%20nascimento%20da%20Avia%C3%A7%C3%A3o%20Naval>>. Acesso em: 19 set. 2020.
- COIMBRA, R. F. F. **Introdução a Aerodinâmica de Helicópteros**. 1. ed. [S. l.: s. n.], 2009. 185 p.
- CRUZ, R. V. **Fundamentos da Engenharia de Helicópteros e Aeronaves de Asas Rotativas**. MP-Safety-ITA. São José dos Campos, 2009.
- CUNHA, C. E. D. **O voo com o NVG e a fadiga**. Revista da UNIFA, Rio de Janeiro, v.20, n. 22, p. 30-42, ago. 2007.

EUROCOPTER. **Technical Data: EC135**. [Marignane]: Eurocopter, 2006. 88 p. Disponível em: https://exclusiveaircraft.co.uk/sites/default/files/brochure/Eurocopter-EC135-Brochure_0.pdf. Acesso em: 01 out. 2020.

GREEN, J. M. **Establishing System Measures of Effectiveness**. San Diego: Raytheon Naval & Maritime Integrated Systems, 2001. 6 p.

HALLIGAN, R. **What is the difference between an OCD & CONOPS?**. [201-?]. Disponível em: <https://www.ppi-int.com/resources/systems-engineering-faq/difference-ocd-conops/>. Acesso em: 02 out. 2020.

HELIBRAS (org.). **História: de Eurocopter a Airbus Helicopters**. [S. l.], 2016. Disponível em: https://www.helibras.com.br/website/po/ref/Hist%C3%B3ria_71.html. Acesso em: 20 jan. 2020.

HELIBRAS (org.). **Helibras assina contrato com a Marinha do Brasil para fornecimento de três helicópteros H135**. 2019. Disponível em: https://www.helibras.com.br/website/po/press/Helibras-assina-contrato-com-a-Marinha-do-Brasil-para-fornecimento-de-tr%C3%AAs-helic%C3%B3pteros-H135_526.html. Acesso em: 16 set. 2020.

JIN, Y.; YU, L.; YONG, L. Vibration Reduction of a Bearingless Helicopter Rotor with Composite Tailored Couplings. **Procedia Engineering**, [S.L.], v. 99, p. 1372-1379, 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.672>.

KEEGAN, J. **Battle at Sea: From Man-of-War to Submarine**. Great Britain: Pimlico, 2004. 304 p.

MACHADO, A. J.; REISDORFER, M. L. **Conhecimento Geral dos Helicópteros**. Palhoça: Unisulvirtual, 2011. 201 p.

MARINHA DO BRASIL. **O Esquadrão HU-1 na OPERANTAR**. [2019]. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/secirm/proantar/aeronaval>. Acesso em: 17 set. 2020.

MINISTÉRIO DA DEFESA. **37ª Operação Antártica (OPERANTAR) contribui para pesquisa e funcionamento da Estação Comandante Ferraz**. Brasília: Assessoria de Comunicação Social, 20 nov. 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/noticias/ultimas-noticias/37-operacao-antartica-operantar-contribui-para-pesquisa-e-funcionamento-da-estacao-antartica>. Acesso em: 20 jan. 2020.

PANDA, B.; CHOPRA, I. Dynamic stability of hingeless and bearingless rotors in forward flight. **Computers & Mathematics With Applications**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 111-130, jan. 1986. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0898-1221\(86\)90090-8](http://dx.doi.org/10.1016/0898-1221(86)90090-8).

SCHWERDTFEGER, W. **Weather and Climate of the Antarctic**. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1984. 259 p.

SECIRM - Secretaria da Comissão Interministerial Para Os Recursos do Mar (org.). **Pesquisa Brasileira Na Antártica**. 2020. Disponível em: <<https://proantar.com.br/page/pesquisa-brasileira-na-antartica-1574106352>>. Acesso em: 20 out. 2020.

SPROLES, N. The difficult problem of establishing measures of effectiveness for command and control: a systems engineering perspective. **Systems Engineering**, [S.L.], v. 4, n. 2, p. 145-155, 2001. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/sys.1012>.

TEIXEIRA, L. A. F. **O Helicóptero EC135 e o Seu Sistema De Sustentação**. Orientador: Prof. Ângelo Damigo Tavares. 2019. 49 p. Monografia (Bacharel em Ciências Aeronáuticas) - Universidade do Sul de Santa Catarina, [S. l.], 2019.

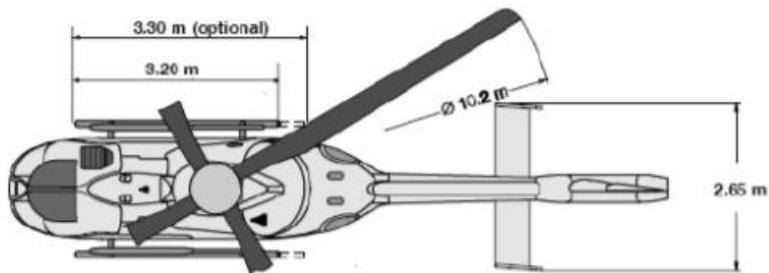
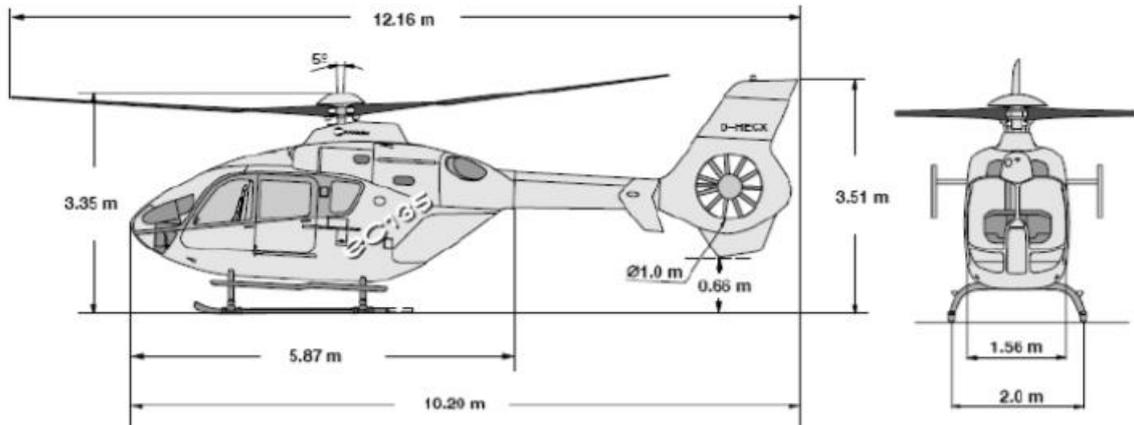
Training Manual (TM): H135. 3. ed. rev. Donauwörth: Airbus Helicopters, 2014. 776 p.

Training Manual (TM): H135. 6. ed. rev. Donauwörth: Airbus Helicopters, 2018. 842 p.

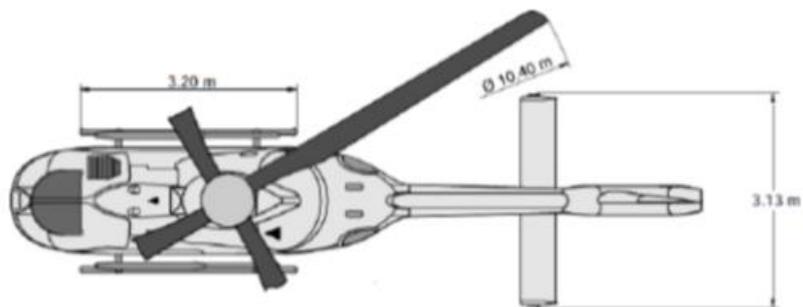
TRANSPORT CANADA. **Helicopter Flight Training Manual (TP 9982)**. 2. ed. rev. Canada: Transport Canada, 2006. 142 p.

VENKATESAN, C. **Fundamentals of Helicopter Dynamics**. Boca Raton: Crc Press, 2014. 332 p.

ANEXO A – DIMENSÕES EXTERIORES DAS VERSÕES DO H135



H135 P1, P2, P2+, T1, T2, T2+



H135 P3, T3

Fonte: ANAC, 2016.²⁸

²⁸ Disponível em: <<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.anac.gov.br%2Fassuntos%2Fsetor-regulado%2Fprofissionais-da-aviacao-civil%2Favaliacao-operacional-1%2FRelAvOpEC135FamilyFinalVersion.pdf&psig=AOvVaw0yQ0Da3C0LIKwtND0Yv-x&ust=1601617255059000&source=Images&cd=vfe&ved=2ahUKEwi26Nmt15LsAhULFLkGHV6EAHkQjhx6BAGAEBI>>. Acesso em: 01 out 2020.

APÊNDICE A – FUSELAGEM DO H135 T3: COMPOSIÇÃO ESTRUTURAL

H135 T3 - <i>Airbus Helicopter</i>			
Fuselagem			
Componentes da fuselagem	Subdivisão	Material	Justificativa
Estrutura da cabine	Armação da cabine	Fabricada como um perfil cônico em material compósito, principalmente fibra de carbono, fibra de vidro e KEVLAR®.	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzir peso, proporcionando maior disponibilidade de potência; • Relação peso/resistência menor.
	Teto da cabine	Fabricado em material composto principalmente de fibra de carbono, fibra de vidro e KEVLAR®. Para maior rigidez, são integrados núcleos parcialmente em NOMEX®.	
	Coluna dos comandos	Instalada entre o piso e o teto da cabine. A coluna de comando é feita de chapa metálica de alumínio.	

Estrutura principal da fuselagem	Estrutura do corpo	<ul style="list-style-type: none"> - Painéis laterais - Piso mecânico - Piso do motor - Cone de fixação da estrutura traseira -Piso dos equipamentos 	<p>Fabricado predominantemente de liga de alumínio e algumas partes com revestimento de chapas de titânio como o piso do motor que faz parte do sistema de parede de fogo.</p> <p>Utiliza-se para o piso dos equipamentos uma estrutura em colmeia de alumínio, suportado por uma caverna de fibra de carbono.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzir peso, proporcionando maior disponibilidade de potência e redução do consumo. • Estruturas externas mais acabadas que melhoraram a aerodinâmicas e reduzem o arrasto.
	Estrutura do piso	Fabricado com os seguintes materiais: sanduíche de alumínio e revestimento formado por uma mistura de fabricação pré-impregnado (prepreg) que consiste de carbono, vidro e poliéster.		
Portas	Portas do piloto	Fabricado em material compósito de fibra de vidro e carbono.	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzir peso, proporcionando maior disponibilidade de potência; 	
	Portas deslizantes	Material composto de fibra de carbono e vidro.		
	Portas traseiras	Construção prepreg híbrida de poliéster, vidro e carbono reforçada com núcleos NOMEX®.		

Carenagens de serviço	Carenagem do furo para inspeção manual	Fibra de Carbono	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzir peso, proporcionando maior disponibilidade de potência e redução do consumo. • Estruturas externas mais acabadas que melhoraram a aerodinâmicas e reduzem o arrasto.
	Carenagem do nariz	Construção em sanduíche prepreg de fibra de carbono e vidro com núcleo NOMEX®.	
	Carenagem de acesso dianteira	Construção em sanduíche prepreg de fibra de carbono e vidro com núcleo NOMEX®.	
	Carenagem central	Fabricado em chapa metálica de alumínio.	
	Carenagens dos tanques de combustível	Fabricado em chapa metálica de alumínio.	
	Carenagens da estrutura traseira	Construção em sanduíche prepreg de fibra de carbono e vidro	

Capôs	Capô de transmissão	Construção em sanduíche: prepreg de fibra de carbono, vidro e poliéster com núcleo NOMEX®.	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzir peso, proporcionando maior disponibilidade de potência e redução do consumo. • Estruturas externas mais acabadas que melhoraram a aerodinâmicas e reduzem o arrasto.
	Capô do motor		
	Capô traseiro		
Sistema de Sustentação Principal			
Componente	Subdivisão	Material	Justificativa
Tampa da cabeça do rotor principal – <i>Hub Cap</i>	-	Fabricado em material composto de fibra de carbono e fibra de vidro	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzir peso, proporcionando maior disponibilidade de potência e redução do consumo. • Estruturas externas mais acabadas que melhoraram a aerodinâmicas e reduzem o arrasto
Pás do rotor principal	-	Plástico reforçado com fibra de vidro e fibra de carbono.	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzir peso, proporcionando maior disponibilidade de potência e redução do consumo. • Estruturas externas mais acabadas que melhoraram a aerodinâmicas e reduzem o arrasto; • Proporciona maior rigidez torsional e flexão das pás.

Unidade de cauda			
Componente	Subdivisão	Material	Justificativa
Cone de Cauda	-	Estrutura de sanduíche consistindo de um núcleo NOMEX® com revestimento de fibra de vidro e carbono, no qual está embutida uma lâmina de cobre para assegurar a condutividade elétrica.	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzir peso, proporcionando maior disponibilidade de potência e redução do consumo. • Estruturas externas mais acabadas que melhoraram a aerodinâmicas e reduzem o arrasto;
Estabilizador horizontal	-	Estrutura tipo concha feita de fibra de vidro e carbono reforçada com plástico e parcialmente reforçada com núcleos de NOMEX®.	
Estabilizador Vertical com <i>Fenestron</i> ®	-	Construção de sanduíche de NOMEX® reforçado com fibra de carbono.	