



UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Alexandre Aurichio

**IMPORTÂNCIA DO SISTEMA DE
MONITORAMENTO DA SAÚDE E CONDIÇÃO
DE USO EM HELICÓPTEROS**

Taubaté – SP

2016

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Alexandre Aurichio

**IMPORTÂNCIA DO SISTEMA DE
MONITORAMENTO DA SAÚDE E CONDIÇÃO
DE USO EM HELICÓPTEROS**

Monografia apresentada para obtenção do Título de Especialista em Engenharia Aeronáutica pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. Me. Pedro Marcelo A. F. Pinto

Taubaté – SP

2016

Alexandre Aurichio

IMPORTÂNCIA DO SISTEMA DE MONITORAMENTO DA SAÚDE E CONDIÇÃO DE USO EM HELICÓPTEROS

Monografia apresentada para obtenção do Título de Especialista em Engenharia Aeronáutica pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. Me. Pedro Marcelo A. F. Pinto

Data: 25/06/2016

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Pedro Marcelo Alves Ferreira Pinto

Orientador

Assinatura _____

Prof. Dr. Giorgio Eugenio Oscare Giacaglia

Membro

Assinatura _____

Dedico este trabalho todas às pessoas que me apoiaram durante a sua realização.

Principalmente à minha família que sempre acreditou em mim.

AGRADECIMENTOS

Aos colegas de curso que me ajudaram durante esta jornada elevar meu conhecimento através da dissiminação de experiências relatadas, pelo convívio durante esta jornada e pelas amizades germinadas durante este período.

Ao meu orientador pela sua sabedoria em me guiar, devido seu amplo conhecimento, que me ajudou na orientação deste trabalho.

A todos os professores do curso de Pós-Graduação em Aeronáutica que através das aulas ministradas souberam estigar as dicussões e opiniões diversas de todos nós dentro da sala de aula, laborários e no ambiente externo.

Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende.

Leonardo da Vinci.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. DESENVOLVIMENTO	13
2.1. REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1.1. HISTÓRIA DO HELICÓPTERO	13
2.1.2. HELICÓPTEROS	14
2.2.1. DESCRIÇÃO GERAL DOS HELICÓPTEROS	16
2.2.2. CARACTERIZAÇÃO DAS FORÇAS ATUANTES	17
2.3. SISTEMAS	18
2.3.1. SISTEMA DE MONITORAMENTO DE VIBRAÇÃO	20
2.3.2. SISTEMA DE MONITORAMENTO SAÚDE E CONDIÇÃO DE USO	20
2.3.2.1. PRINCIPAIS FUNÇÕES DO SISTEMA HUMS	20
2.3.2.2. VANTAGENS DO SISTEMA HUMS	22
2.3.2.3. DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES	23
3. METODOLOGIA	28
3.1. DESENVOLVIMENTO DA ANÁLISE	28
3.2. PROCESSO DE VERIFICAÇÃO	29
3.3. ANÁLISE DOS COMPONENTES	30
4. RESULTADOS	31
5. CONCLUSÃO	34
6. REFERÊNCIAS	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Foto de uma aeronave modelo AW139 fabricante AgustaWestland	18
Figura 2 – Arquitetura do sistema Primus EPIC da Honeywell	19
Figura 3 – Dimensões externas da aeronave modelo AW139	19
Figura 4 – Visualização dos componentes que compõe o HUMS	21
Figura 5 – Localização dos equipamentos e sensores que compõe o HUMS	23
Figura 6 – Imagem da EDTU – Dispositivo Universal de Alinhamento	24
Figura 7 – Imagem do acelerômetro RTB	24
Figura 8 – Imagem do acelerômetro instalado na transmissão principal	25
Figura 9 – Imagem do acelerômetro de fator de carga	25
Figura 10 – Imagem do tacômetro	26
Figura 11 – Imagem da DAU – Unidade de Aquisição de Dados	26
Figura 12 - Imagem da CDU – Dispositivo de Controle de Cabine	27
Figura 13 – Gráficos da transmissão principal	27
Figura 14 – Tela do HGS de Resumo Individual de Aeronaves	28
Figura 15 – Tela do HGS de Resumo de Excedência	29
Figura 16 – Tela do HGS de Parâmetros de Aeronave	30
Figura 17 – Demonstração do capítulo 18 do manual da AW139	30
Figura 18 – Gráfico do caso real com discrepância no eixo do rotor de cauda A7	32
Figura 19 – Gráfico do caso real com discrepância na transmissão intermediária	32
Figura 20 – Localização do componente Input Pinion na aeronave	33
Figura 21 – Foto do componente Input Pinion com sinal de atrito	33

LISTA DE SIGLAS

a.C. – antes de Cristo

ARINC – radio aeronáutico incorporado (*Aeronautical Radio Incorporated*)

BIT – teste de inicialização (*Built in Test*)

CAA – autoridade da aviação civil do Reino Unido (*Civil Aviation Authority*)

CDU – unidade de exibição de cabine (*Cockpit Display Unit*)

CTA - centro técnico aeroespacial

CVR – gravador de voz de cabine (*Cockpit Voice Recorder*)

DAU – unidade de aquisição de dados (*Data Acquisition Unit*)

DTD – dispositivo de transferência de dados (*Data Transfer Devide*)

FDR - gravador de dados de voo (*Flight Data Recorder*)

EUTD – dispositivo universal rastreador (*Enhanced Universal Tracker Device*)

EMS – serviços médicos de emergência

IOGP – associação internacional de produtores de óleo e gás (*International Association of Oil & Gas Producers*)

kg – kilograma

kHz – kilo hertz

km – quilômetro

h - horas

HUMS - sistema de monitoramento da saúde e condição de uso (*Health Usage Monitoring System*)

MAU – unidade aviônico modular (*Modular Avionic Unit*)

MD – fabricante de helicópteros americana

Mil – fabricante de helicópteros russo

NFF – nenhuma falha encontrada (*No Fault Found*)

OBS – sistema embarcado (*On Board System*)

PCMCIA – cartão de memória de computador pessoal (*Personal Computer Memory Card International Association*)

RTB – balaceamento e alinhamento de rotor (*Rotor Tracking and Balance*)

SAR – busca e resgate (*Search and Rescue*)

Vdc – voltagem de corrente contínua

VHM – monitoramento de vibração saúde (*Vibration Health Monitoring*)

RESUMO

A necessidade de se entender o que levou a perda de diversos componentes e helicópteros precocemente, iniciou uma corrida no desenvolvimento de sistemas para monitorar inicialmente o índice de vibração em locais específicos e cruciais em componentes e áreas dos helicópteros. Iniciou visando entender o comportamento para realizar ações preventivas antes de ocorrer uma fatalidade durante os voos na década de 70 pela Marinha Americana. Este trabalho tem o objetivo de demonstrar a importância destes sistemas de monitoramento das vibrações nos helicópteros, que através dos sistemas desenvolvidos possuem a função de auxiliar, orientar e demonstrar aos engenheiros ou técnicos as ações a serem disponibilizadas a manutenção de forma preventiva. Assim, constatou-se que os sistemas de monitoramento de vibração podem trazer redução nos custos de manutenção preventiva, maior disponibilidade operacional, maior confiabilidade na aeronave e principalmente eleva o nível de segurança operacional.

Palavras chave: helicóptero, VHM, HUMS, monitoramento de vibração, acelerômetro, tacômetro, manutenção aeronáutica.

ABSTRACT

The need to understand what led to loss of many components and helicopters early, generated a race in the development of systems to initially monitor the vibration index in specific and critical local components and areas of helicopters in order to understand behavior, to perform actions preventive before a fatality occur during flights in the 70s by the US Navy. This work aims to demonstrate the importance of these systems for monitoring vibrations in helicopters, which developed through the system has the function of assisting, guiding and demonstrate to engineers shares to be made available to maintenance preventively. Thus, it was found that vibration monitoring systems can bring reduction in preventive maintenance costs, higher operational availability, and greater reliability in the aircraft and particularly increases the safety level.

Keywords: helicopter, VHM, HUMS, vibration monitoring, accelerometer, tachometer, aircraft maintenance.

1. INTRODUÇÃO

Ao visualizar o voo de um helicóptero não se imagina a quantidade de forças aplicadas para decolar e voar de modo estável em perfeita e admirável sincronia. No século 15 o gênio Leonardo da Vinci elaborou a primeira concepção de uma máquina voadora, capaz de se sustentar na vertical, porém somente em 1929, Von Baumhauer construiu o primeiro helicóptero com rotor principal e rotor de cauda em vista de anular o torque (3a Lei de Newton – Ação e Reação). Para chegar ao que o helicóptero é hoje foram necessários séculos de estudo e de experiências.

O Sistema de Monitoramento da Saúde e Condição de Uso, em inglês HUMS (*Health Usage Monitoring System*), foi desenvolvido para atender a necessidade de se gerenciar a presente condição operacional de um helicóptero monitorando sistemas dinâmicos e detectando degradações. O gerenciamento é realizado através de sensores instalados em pontos determinados para obter os índices de vibração, computadores que calculam seus respectivos algoritmos e disponibilizam os dados a serem analisados através de softwares dedicados. Atualmente o HUMS é utilizado principalmente para redução dos custos de manutenção e garantia da aeronavegabilidade elevando o nível de segurança de voo resultando na preservação de vidas e de materiais.

O HUMS possui funções distintas quando utilizado em helicópteros, são elas:

- Monitorar os parâmetros de vibração em pontos cruciais no helicóptero e prover dados para engenheiros e técnicos emitirem ações de manutenções preventivas nos devidos componentes;
- Suportar os técnicos de manutenção na tarefa de balanceamento de rotores principal e de cauda tanto em solo como em voo em suas devidas condições para ser realizado as correções.
- Gerenciar de forma detalhada a vibração da aeronave para minimizar as falhas de componentes mecânicos e aviônicos até mesmo a fadiga da tripulação, resultando consideravelmente na segurança integral das operações.

Este trabalho tem como objetivo apresentar a evolução do HUMS, utilizado no modelo de helicóptero AW139, bem como exemplo real em sua operação offshore demonstrando seus benefícios.

O HUMS disponível atualmente para instalação eleva consideravelmente a eficiência operacional através da redução de manutenções não programadas dos motores, transmissões,

componentes rotativos, incrementando a disponibilidade dos helicópteros e prevenindo falhas mecânicas em voo. Suas inovações interligadas com toda a estrutura sistêmica do helicóptero, possui a capacidade de prover diagnósticos antecipados e prognósticos de falha apontados em tempo real, através de parâmetros dedicados a partir da obtenção de dados capturados por sensores de vibração e devidamente gravados para serem analisados posteriormente.

Devido à esta possibilidade de garantir antecipadamente uma extensão da vida útil de componentes e a substituição dos mesmos sempre antes que a falha ocorra, eleva a segurança operacional consequentemente demanda o constante de estudo e aprimoramento do sistema. Através de software se realiza um modelamento analítico simplificado do sinal de vibração monitorado na estrutura de um helicóptero para detecção aos desvios equivalentes. Um exemplo o desbalanceamento e desalinhamento (*out of tracking*) das pás. Essas são as degradações mais comuns do rotor principal onde se geram inúmeras excitações periódicas transmitidas à toda estrutura da aeronave, cuja as respostas vibratórias sob análise que estão limitadas à frequência fundamental de 1 por revolução (*1 per rev*).

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. REVISÃO DE LITERATURA

2.1.1. HISTÓRIA DO HELICÓPTERO

O helicóptero nasceu através do legado de brilhantes cientistas da antiguidade que com suas experiências foram desenvolvendo conceitos aprimorados até chegar nesta fascinante máquina de voar. A palavra helicóptero vem do grego onde *helix* significa helicóide e *pteron* significa asa. Cerca de 400 a.C. os chineses idealizaram os primeiros rotores com penas de aves presas a uma haste, que quando girada com o movimento rápido das palmas das mãos, ganhavam sustentação e eram capazes de voar.

Em 1483 Leonardo Da Vinci desenhou um esboço de uma asa em espiral, chamado de la hélice, que nunca saiu do papel, mas que apresentava para o mundo após alguns séculos depois o que seria a base do voo e os princípios básicos da máquina que um dia passaria a ser o helicóptero.

O russo Mikhail Lomonosov em 1754, desenvolveu um rotor coaxial, similar ao que os chineses haviam projetado, mas impulsionado por uma mola onde dispositivo seria capaz

de voar livre e ganhar uma boa altura. O francês Cossus em 1845 desenhou uma máquina que voaria impulsionada por um motor a vapor e com três conjuntos de rotores.

O nome helicóptero, foi usado pelo francês Vicomte Gustave Ponton d'Amecourt que idealizou um modelo com hélices contra rotativas movidas também por um motor a vapor. A máquina foi apresentada na Exposição Aeronáutica de Londres em 1868, mas não conseguiu voar.

Em 1878, o francês Castel idealizou um helicóptero movido a ar comprimido, que impulsionava dois eixos contra rotativos que nunca conseguiu voar, mas anos depois fez seu experimento voar com elásticos de borracha. No mesmo ano, o engenheiro civil italiano Enrico Forlanini construiu um helicóptero movido a motor a vapor com dois rotores contra rotativos que subiu 40 pés e voou por cerca de 20 segundos (Cilio, 2011).

2.1.2. HELICÓPTEROS

Atualmente os helicópteros são divididos em duas principais categorias: militar e civil. Nas duas categorias atendem diversas missões, como: EMS, SAR, petróleo e gás, serviços públicos, transporte aéreo comercial, transporte aéreo particular e executivo, transporte de carga interna e externa, varredura armada, ataque, operações especiais, naval e marítimo.

Existem alguns fabricantes de helicópteros no mundo, mas podemos classificar como principais os seguintes: AgustaWestland, Airbus, Bell, Boeing, Kamov, Mil, MD, Robinson e Sikorsky.

Segundo a Abraphe (*Associação Brasileira de Pilotos de Helicóptero*), em 2015 o Brasil já possuía uma frota de 2.191 helicópteros registrados com a quarta maior frota de helicópteros do mundo. Em 2013 a cidade de São Paulo, não por acaso, já havia se tornado notória como a metrópole com maior concentração de asas rotativas para uso executivo do planeta com 411 aeronaves registradas e cerca de 2.200 pousos e decolagens diários. Nova York figura como vice líder com números bem inferiores: de 150 helicópteros e pouco mais de 1.200 operações (Admin, 2013).

No Brasil existe apenas uma fabricante de helicópteros localizada em Itajubá atualmente chamada de AIRBUS, anteriormente conhecida como Helibras. Foi fundada no CTA (*Centro Técnico Aeroespacial*) em São José dos Campos - SP em 14 de abril de 1978, a partir de uma decisão do Governo Brasileiro de ter uma indústria de asas rotativas no país. Com a parceria entre a extinta indústria francesa Aerospatiale, o Governo de Minas Gerais e a

Aerofoto Cruzeiro a empresa iniciou suas operações no Hangar X10 localizada no CTA, durante dois anos. Mudou definitivamente para Itajubá, em 1980, onde até hoje estão suas instalações industriais. Aos poucos, a antiga Helibras foi atendendo ao mercado, sobretudo os clientes nas áreas estatais, participando de programas estratégicos de ampliação da infraestrutura de aviação militar e das polícias civil e militar em praticamente todos os estados da federação. Desta forma, o primeiro helicóptero a ser produzido pela antiga Helibras foi o modelo AS350 Esquilo, lançado no mercado mundial em 1976 e que é hoje o helicóptero a turbina mais vendido no mundo. O Esquilo continua a ser fabricado na linha de montagem da empresa, incorporando ao longo desses 35 anos de experiência muitas inovações inclusive locais, fazendo com que atualmente de 48% a 54% de conteúdo nacional agregado em sua produção. Além das vendas que registraram ao longo do tempo severas flutuações, a empresa foi se qualificando para realizar também as manutenções e também adquiriu conhecimentos para fazer algumas customizações em todos os modelos que sua matriz produzia. A empresa sempre esteve diretamente ligada à consolidação do uso de aeronaves de asas rotativas no país e foi protagonista em momentos estratégicos da aviação brasileira em todos os mercados, resultado de sua crescente qualificação (Cap' Mediatel, 2016).

Um segmento com grande relevância no mercado nacional é a operação offshore, que consiste no transporte de passageiros por via aérea para plataformas de petróleo e atualmente é a maior atividade de transporte civil utilizando helicópteros do mundo. Ao contabilizar pouco mais de 1 milhão de passageiros embarcado por ano, a Petrobras tornou-se a maior empresa do mundo em transporte de passageiros em helicópteros.

Com esta demanda do mercado mundial em transportar passageiros para plataformas de petróleo, os fabricantes de helicópteros estão sempre em desenvolvimento em novas tecnologias e aprimorando as que já estão em operação. Nesta mesma linha de raciocínio pode ser enfatizado de que os contratantes, empresas petrolíferas, estão sempre seguindo requisitos de segurança recomendados pela IOGP (*International Association of Oil & Gas Producers*), para este tipo de operação offshore, que são exigidos das empresas de táxi aéreo contratados principalmente nas configurações de sistemas dos helicópteros, o HUMS faz parte destes requisitos recomendado pela IOGP.

Para a operação offshore existem duas categorias de helicópteros classificados de médio porte e de grande porte para as empresas petrolíferas.

Os helicópteros de médio porte, pode ser considerado uma configuração básica com capacidade máxima para até 12 passageiros, dois tripulantes, com peso máximo de decolagem

de 6.800 kg, alcance de 1.200 km e com aproximadamente 03:30 h de autonomia. Nesta linha podemos citar dois modelos: AW139 fabricante do AgustaWestland e S76 do fabricante Sikorsky.

Os helicópteros de grande porte, pode ser considerado uma configuração básica com capacidade máxima para até 19 passageiros, 3 tripulantes, com peso máximo de decolagem de 12.000 kg, alcance de 999 km e com aproximadamente 03:30 h de autonomia. Nesta linha podemos citar dois modelos: EC225 do fabricante AIRBUS e S92 do fabricante Sikorsky.

2.2.1. DESCRIÇÃO GERAL DOS HELICÓPTEROS

O helicóptero é uma máquina mais pesada que o ar capaz de realizar um voo vertical, mesmo não utilizando asas fixas como as dos aviões convencionais e sim mediante um ou mais rotores motorizados que giram ao redor de um eixo vertical situado sobre o fuselagem.

O helicóptero pode se movimentar verticalmente, para frente, para atrás, para os lados e pode permanecer em uma posição determinada. O helicóptero é diferente do autogiro, outra classe de aeronave com asas giratórias, em que o rotor fornece sustentação, propulsão e quase todo o controle de voo.

O rotor principal de um helicóptero tem normalmente duas ou mais pás dispostas simetricamente ao redor de um eixo central que a sustenta durante o giro. O rotor principal é acoplado a um ou mais motores para gerar o movimento, geralmente é instalado na parte superior da fuselagem, composta por uma conjunto de engrenagens que reduzem a velocidade de rotação disponibilizado pelo motor.

Uma característica importante do desenho do helicóptero é o desenvolvimento de um sistema antitorque para equilibrar e estabilizar a força de reação produzida quando a rotação do rotor principal em um sentido tende a girar a fuselagem no sentido contrário.

A forma mais comum de sistema antitorque é um pequeno propulsor ou rotor de cauda, instalado no helicóptero sobre um eixo lateral, em tal posição que exerce uma força contrária ao sentido de rotação do rotor principal.

Outros tipos de helicóptero usam rotores principais acoplados instalados um em cima do outro em um mesmo eixo, que giram em sentidos opostos e neutralizam automaticamente suas forças.

2.2.2. CARACTERIZAÇÃO DAS FORÇAS ATUANTES

Um helicóptero puro pode ser definido como uma máquina capaz de ganhar sustentação por intermédio de asas rotativas. Essas asas girariam no ar impulsionadas por um rotor principal acionado por um motor através de um eixo. O segredo estaria em obter energia suficiente para girar os rotores e suportar o peso de todo conjunto, além de controlar todas as forças que envolviam o aparelho. A conhecida terceira lei de Newton, também conhecida por lei da ação e reação, onde para toda força existe outra em sentido contrário com a mesma intensidade, criou a necessidade de se instalar um rotor de cauda com o propósito de contrapor o torque aplicado pelo rotor principal acionado por um motor. Uma máquina dessas teria que ser capaz de decolar na vertical, executar um voo pairado, voar à frente, ser controlado no ar, voltar ao seu local de origem, novo voo pairado e finalmente executar um pouso na vertical (Saunders, 1985).

A citação de Igor Ivanovitch Sikorsky retrata bem seu entusiasmo em fazer um helicóptero voar: "a idéia de um veículo que pode ser suspenso do chão por meios próprios e pairar sem se movimentar no ar provavelmente nasceu simultaneamente ao sonho de voar". Quando o helicóptero se eleva ou desce na vertical, existe a mesma sustentação em todas as pás do rotor, porque todas se movem à mesma velocidade. Mas quando o aparelho se desloca para adiante ou em qualquer direção horizontal, a sustentação em algumas pás é maior que em outras. Em cada ciclo varia a velocidade das pás, dependendo se o sentido de rotação é o mesmo ou contrário ao do movimento do helicóptero. Portanto, se as pás estivessem fixas em posição horizontal, o grau de sustentação que forneceria a cada pá variaria durante o ciclo porque a sustentação aumenta ao fazer a velocidade do ar e o helicóptero se inclinaria para um lado. Para evitar esta forma de instabilidade, quase todos os helicópteros de rotor único têm pás de batimento. As pás estão articuladas de forma quando cada pá sobe reduz a sustentação pois se move em maior velocidade e a quando cada pá desce aumenta a sustentação pois se move em menor velocidade, assim se anula o efeito da variação da velocidade. Os helicópteros podem ser movimentados em qualquer direção ao comandar o rotor na direção desejada. O giro do rotor altera a sustentação, que passa de ser totalmente vertical a uma combinação de horizontal e vertical. Para girar o helicóptero, o rotor inclina-se primeiro na direção de giro e depois o impulso do rotor de cauda muda para girar a fuselagem na direção desejada. A ascensão e o descensão do helicóptero são controladas aumentando ou reduzindo a velocidade do rotor, a incidência das pás do rotor ou ambas. Em

caso de falha de propulsão do motor, o rotor do helicóptero se solta e inicia uma autorotação igual que ao rotor de um autogiro, mantendo uma sustentação suficiente para que a máquina desça devagar e não se produza um choque o que seria catastrófico.

2.3. SISTEMAS

Um helicóptero é composto do conjunto de diversos sistemas para seu complexo funcionamento, contudo pode ser considerado como principais os seguintes sistemas: motor ou motores, rotor principal simples ou composto, rotor de cauda, controle de voo, hidráulico, elétrico e aviônico. Suas composições são diferentes em cada fabricante conforme o desenvolvimento de cada produto, mas os fabricantes estão sempre elevando tecnologicamente os sistemas instalados em seus respectivos modelos. Pode se dizer que os quatro fabricantes mais fortes no mundo atualmente são: AgustaWestland, Airbus, Bell e Sikorsky. Eles já oferecem helicópteros de 3ª geração no que diz respeito a integração dos sistemas principalmente aviônicos. Esta geração é derivada de plataformas já utilizadas em aviões que certamente já utilizam tecnologias mais elevadas quando comparados aos de helicópteros em relação a sistema aviônico integrados. Em uma breve descrição dos sistemas principais será apresentado do modelo AW139 fabricado pela AgustaWestland (Figura 1) de categoria médio porte, capacidade de até 15 passageiros, 2 tripulantes, peso máximo de decolagem de 6.800 kg e alcance de 1.200 km.



Figura 1. AW139 (airliners.net)

O AW139 é um helicóptero considerado de 3º geração pois utiliza a plataforma Primus Epic da Honeywell (Figura 2), utilizado atualmente em alguns modelos de aviões em

freio de rotor principal utilizado no procedimento após parada dos motores. O sistema elétrico é alimentado por 28 Vdc através de uma bateria principal e dois geradores instalados um em cada motor. Para se ter uma breve imaginação em relação as dimensões do helicóptero AW139.

2.3.1. SISTEMA DE MONITORAMENTO DE VIBRAÇÕES (VHM)

No início dos anos 90 foram introduzidas para quase todos os grandes helicópteros que operavam no Mar do Norte em apoio da indústria de petróleo e gás o sistema de monitoramento de vibração, VHM (*Vibration Health Monitoring*). O Reino Unido e operadores noruegueses tomaram esta ação voluntariamente e mais tarde, em Junho de 1999, a CAA (*Aviação Civil do Reino Unido Autoridade*), tendo reconhecido o potencial benefício da segurança deste sistema até emitiram uma AAD (*Additional Airworthiness Directive*) número 001-05-99. Isso fez com que a instalação e utilização de VHM fosse obrigatório para os helicópteros registrados no Reino Unido com certificado de aeronavegabilidade na categoria de transporte passageiros com configuração de mais do que nove passageiros (Grã-Bretanha, 2012). O uso de dados gerados pelo processamento de sinais de vibração para detectar a falha ou degradação de integridade mecânica incipiente. Um sistema de VHM compreende tipicamente de sensores de vibração com cablagem associada, aquisição de dados através de hardware de processamento, meios de download de dados do helicóptero, um software instalado em computador chamado de Ground Station, para decodificar versus analisar os dados extraídos e todas as instruções associadas para a operação do sistema.

Atualmente, alguns modelos de helicópteros possuem sensores instalados em seus sistemas ou componentes que geram diversos parâmetros a ser disponibilizado para o VHM possibilitando realizar análises pontuais e dedicadas.

2.3.2. SISTEMA DE MONITORAMENTO SAÚDE E CONDIÇÃO DE USO (HUMS)

2.3.2.1. PRINCIPAIS FUNÇÕES DO SISTEMA HUMS

Primeiramente alguns pontos devem ser apresentado o porque possuir o HUMS instalado. Os helicópteros são fundamentalmente diferentes de aviões, a virtude de voo dos aviões é a estrutura já a virtude de voo dos helicópteros é o mecanismo. O mecanismo possui

inúmeros pontos de cargas que formam o sistema de rotor e transmissão, conclusão helicópteros são potencialmente mais vulneráveis mecanicamente a falha catastrófica do que aeronaves de asa fixa.

O sistema HUMS automaticamente gerência a saúde dos componentes mecânicos, da estrutura e dos componentes dinâmicos elevando a segurança de voo, a manutenção preditiva e reduzindo o custo operacional. São necessários três elementos para compor o HUMS (Figura 4), são eles: sistemas aviônicos e sensores incorporados, sistema de informação de base terrestre, suporte e infraestrutura de gerenciamento de dados (Taylor, 2007).

As funções e integração do HUMS podem ser definidos: CVR (*Cockpit Voice Recorder*); FDR (*Flight Data Recorder*); Balanceamento e alinhamento das pás; Monitoramento da saúde da transmissão (vibração, detrito, temperatura e pressão no óleo); Monitoramento saúde do motor (vibração, detrito, temperatura e pressão no óleo); Monitoramento de excedências (torques, temperaturas, pressões, alarmes, velocidade de rotor e potência de motor); Monitoramento da aeronave (tempo de voo, ciclos de fadiga e vida dos componentes) e Monitoramento da estrutura da aeronave.



Figure 4. Visão geral HUMS (Modificado de Taylor, 2007)

O HUMS é um sistema opcional no helicóptero modelo AW139, ou seja somente operadores que tem o interesse, seja ele contratual com seu cliente final normalmente offshore, ou por opção própria solicita a instalação deste sistema durante seu processo de

fabricação na AgustaWestland. Apesar de ser uma ferramenta poderosa e de grande confiabilidade nos parâmetros que providência o HUMS não é um sistema que determina a liberação para voo da aeronave uma vez que é classificado como um sistema opcional.

Para realizar este investimento na configuração final do AW139 os operadores devem levar em consideração elementos do tipo de operação do helicóptero, softwares e material humano com treinamento dedicado para realizar a análise dos dados obtidos do HUMS, para utilizar de forma eficaz toda a informação disponível.

O HUMS está integrado a bordo do sistema aviônico composto de duas funções principais, são elas: monitoramento da saúde e monitoramento da condição de uso. O monitoramento da saúde providência automaticamente, se selecionado, monitoramento manual da saúde dos componentes dinâmicos dos helicópteros, através da análise dos sinais de vibração dos sensores dedicados. O monitoramento de uso dos componentes providência o tempo de voo dos componentes, tempo de operação e parâmetros de voo excedidos que são continuamente monitorados e relatado após voo. Os dados do HUMS após serem coletados via OBS (*On Board System*) são carregados via download no DTD (*Data Transfer Devide*) para a Ground Station para armazenamento e análise. A Ground Station automaticamente gera alertas e alarmes para informar o usuário de comportamento anormal e potencial problemas relativos ao helicóptero. Para suportar a manutenção do helicóptero o HUMS também incorpora a função de balaceamento e alinhamento dos rotores onde calcula e orienta qualquer ajuste necessário.

2.3.2.2. VANTAGENS DO SISTEMA HUMS

A lista abaixo contém apenas alguns dos benefícios intrínsecos que podem ser alcançados com um programa HUMS:

- Reduzir a manutenção programada e não-programada;
- Elevar a disponibilidade de manutenção e o suporte logístico;
- Reduzir o uso de partes e sobressalentes através de monitoramento acurado e automatizado;
- Reduzir o número de eventos NFF (*no fault found*);
- Reduzir os consequentes danos através de diagnóstico prévio;
- Prover dados confiáveis para análise de eventos / incidentes / acidentes.

2.3.2.3. DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES

Para alcançar a função do HUMS o sistema necessita um número adicional de sensores que normalmente são instalados na aeronave. A figura 5 demonstra como estes grupos principais estão divididos no AW139:

- (a) EDTU – (*Enhanced Universal Tracker Device*)
- (b) Acelerômetros – (*RTB x 4, Transmission x 11*)
- (c) Tacômetros – (*Main Rotor, Tail Rotor, Drive Train*)
- (d) Sensor de fator de carga – (*Load Factor Sensor*)
- (e) Sensores magnéticos - (*Magnetic Pickup*)
- (f) DAU – (*Data Aquisition Unit*)
- (g) CDU - (*Cockpit Display Unit*)

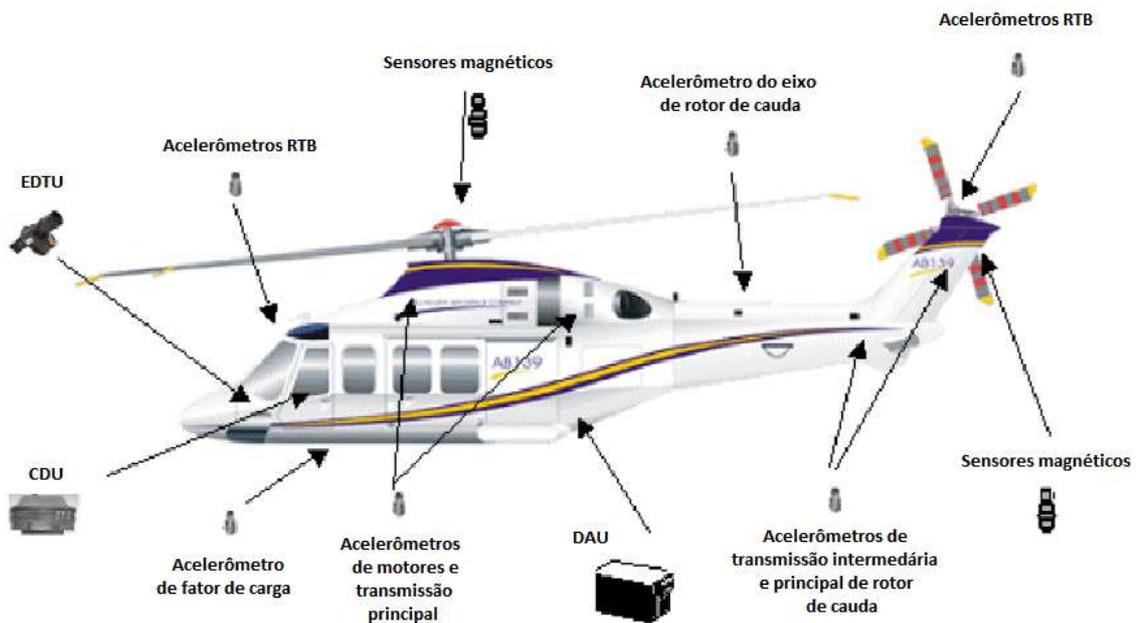


Figure 5. Localização de equipamentos e sensores (Modificado de Taylor, 2007)

O tracker instalado no AW139 é um EUTD (Enhanced Universal Tracker Device), (Figura 6) localizado na cabine de piloto entre o painel e o parabrisa do helicóptero com lentes direcionadas as pás do rotor principal. Este sensor óptico é para realizar a leitura de alinhamento e posição do avanço e recuo das pás através da condição do voo, que opera

automaticamente controlado pelo HUMS capaz de coletar dados durante condições de dia e noite com capacidade de 24 horas de dados gravados.



Figure 6. EUTD – Dispositivo Universal de Alinhamento (Taylor, 2007)

Os acelerômetros convertem vibração mecânica em sinal elétrico para o HUMS analisar e operar somente em uma direção a vibração. Existem três tipos de acelerômetros instalados no AW139, o acelerômetro RTB, o acelerômetro de transmissão e o acelerômetro de fator de carga. Os acelerômetros RTB são 4 unidades otimizado para baixa frequência na vibração do rotor (Figura 7).



Figure 7. Acelerômetro RTB (Taylor, 2007)

Os acelerômetros de transmissão são 11 unidades mensurando vibrações acima de 40 kHz (Figura 8).



Figure 8. Acelerômetro de transmissão (Taylor, 2007)

O acelerômetro de fator de carga é instalado no piso da cabine mensurando a aceleração vertical utilizado para monitoramento de uso estrutural (Figura 9).



Figure 9. Acelerômetro de Fator de Carga (Taylor, 2007)

Os tacômetros são usados no HUMS para gerar pulsos de referência relacionado a rotação dos eixos em que são instalados. Estes são utilizados no monitoramento da saúde dos componentes do helicóptero e para a função de RTB (*Rotor Track and Balance*). Tacômetros magnéticos (Figura 10) são instalados nos suportes dos eixos rotacionais para gerar pulsos elétricos a serem enviados ao HUMS.



Figure 10. Tacômetro (Taylor, 2007)

A DAU (*Data Acquisition Unit*) é a principal unidade do HUMS, nela está contida cartões de leitura, análise e armazenagem de dados e sinais provenientes de todo o helicóptero (Figura 11). Esta interface com os outros sistemas são realizadas através de entrada de dados proveniente da MAU (*Modular Avionic Unit*) via ARINC 429 e processada para alimentar a Ground Station baseada no programa de execução. A DAU disponibiliza a análise realizada com os dados recebidos para a CDU (*Cockpit Display Unit*) de forma visual e para a DTU (*Data Transfer Unit*) gravar os dados e para ser coletado.



Figure 11. DAU – Unidade de Aquisição de Dados (Taylor, 2007)

A CDU (*Cockpit Device Unit*) é a interface que o piloto e a manutenção possui com o HUMS. Através da CDU (Figura 12) é possível verificar a inicialização do sistema, providência a informação do BIT (*Built in Test*), utilizado para iniciar a coleta dos dados de RTB e alerta se existe algum problema com a análise. A CDU também dispõe de um drive para um cartão de memória PCMCIA que armazena todos os dados de HUMS coletados da DAU utilizado para alimentar a Ground Station.



Figure 12. CDU – Dispositivo de Controle de Cabine (Taylor, 2007)

A Ground Station recebe os dados do HUMS via download e processa todos os dados para orientar o usuário em relação as excedências e recomendações de manutenção a serem realizadas. As excedências são disponibilizadas através de gráficos e cores que indicam caso algum limite foi ultrapassado de acordo com o status e condição operacional do voo (Figura 13).

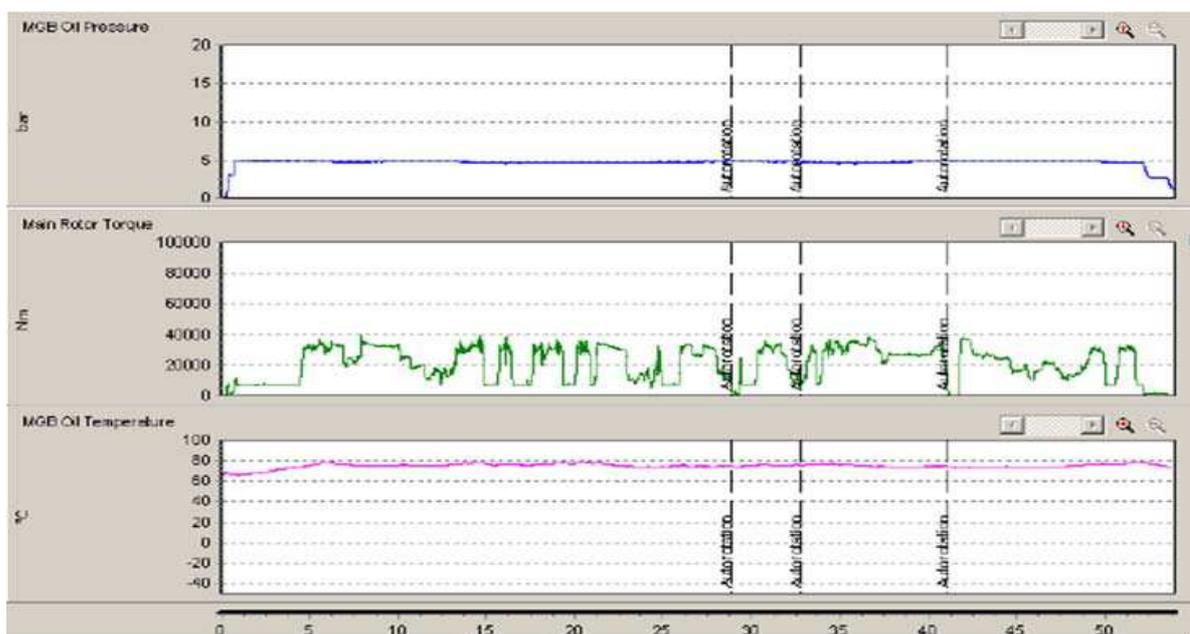


Figure 13. Exemplos gráficos (Taylor, 2005)

3. METODOLOGIA

3.1. DESENVOLVIMENTO DA ANÁLISE

A análise dos dados é realizada no HGS (*HUMS Ground Station*) após coletar os dados através do cartão de memória PCMCIA que fica instalada no drive da CDU onde são gravados os dados durante os voos. Após o carregamento dos dados no HGS e abrir o arquivo da aeronave em questão, realiza a verificação se algum dos parâmetros extrapolou os limites estabelecidos. Ao selecionar o ícone “Individual Aircraft Summary” no rodapé esquerdo da tela será disponibilizada conforme a seguir.

The screenshot displays the HGS software interface with the following sections:

- Usage:**

Operation	2771
Start	27/06/2016 16:43:39
Duration	2:39:04
- Flights:**

Takeoff	Duration	Landing
27/06/2016 16:50:12	1:05:19	27/06/2016 17:55:31
27/06/2016 18:04:14	1:13:23	27/06/2016 19:17:37
-	-	-
- Logbook Data:**

	This Operation	Overall
Operating Time	2,7 hours	1057,5 hours
Flight Time	2,3 hours	872,5 hours
Ground Time	0,3 hours	184,9 hours
Flight Time Unknown	0,0 hours	0,1 hours
Rotor Starts	1	780
DEI Landings	0	7
Autorotation Landings	0	0
Other Landings	2	110
Total Landings	2	1067
Rotor Turning Time	2,7 hours	1056,6 hours
Rotor Speed Invalid	0,0 hours	0,1 hours
DEI Time	0,00 hours	0,17 hours
- Engine:**

Power Assurance	NG	MGT
Engine 1	-	-
Engine 2	-	-
- This Operation Exceedances & Faults:**

Exceedance	Exc Start	Duration	Max/Min
INIT SYS (LOGBOOK INIT FAIL)	00:00:00	00:00:00	-
TRACKER FAIL (TRACKER)	00:00:00	00:00:00	-
1st Stg Pin RH SD L2	00:12:09	00:00:00	0,00
1st Stg Pin RH SD L3	00:12:09	00:00:00	0,00
1st S-Pin R-Brigs TON2 L2	00:12:49	00:00:00	0,00
1st S-Pin R-Brigs EB2 L2	00:12:49	00:00:00	0,00
- Outstanding Exceedances & Faults:**

Operation	Exceedance	Exc Start	Duration	Max/Min	Count	Action	Actioned By	Time Action	Maintenance
2771	1st S-Gear R-Brigs TON2 L3	02:17:56	00:00:00	0,00	1	<input type="checkbox"/>	-	-	Cl Exc Warning
2771	1st Stg Pin RH SD L3	02:13:20	00:00:00	0,00	37	<input type="checkbox"/>	-	-	Cl Exc Warning
2771	TRACKER FAIL (TRACKER)	00:00:00	00:00:00	-	11	<input type="checkbox"/>	-	-	Refer to HUMS
2771	1st S-Gear R-Brigs EB2 L2	02:17:56	00:00:00	0,00	50	<input type="checkbox"/>	-	-	Cl Exc Caution
2771	1st S-Gear R-Brigs TON2 L2	02:17:56	00:00:00	0,00	51	<input type="checkbox"/>	-	-	Cl Exc Caution
2771	1st S-Pin R-Brigs EB2 L2	02:14:22	00:00:00	0,00	54	<input type="checkbox"/>	-	-	Cl Exc Caution
2771	1st S-Pin R-Brigs TON2 L2	02:14:22	00:00:00	0,00	56	<input type="checkbox"/>	-	-	Cl Exc Caution
2771	1st Stg Gear RH SD L2	02:17:07	00:00:00	0,00	44	<input type="checkbox"/>	-	-	Cl Exc Caution
2771	1st Stg Pin RH SD L2	02:13:20	00:00:00	0,00	54	<input type="checkbox"/>	-	-	Cl Exc Caution
2771	INIT SYS (LOGBOOK INIT FAIL)	00:00:00	00:00:00	-	3	<input type="checkbox"/>	-	-	Refer to HUMS
2771	TGB Gear S02 L2	02:23:33	00:00:00	0,00	47	<input type="checkbox"/>	-	-	Cl Exc Caution
2771	TR Axl 1T Cruise L2	02:28:40	00:00:00	0,31	4	<input type="checkbox"/>	-	-	Cl Exc Caution
2763	TR Axl Man 1T Cruise L2	00:37:07	00:00:00	0,36	1	<input type="checkbox"/>	-	-	Cl Exc Caution

At the bottom of the interface, there are navigation tabs: Top Screen Summary, Aircraft Parameters, Individual Aircraft Summary, and Exceedance Summary. The current user is HGSADMIN and the database is Teste.

Figura 14. Tela de Resumo Individual de Aeronaves (Elaborado pelo autor)

Na tela (Figura 14) o status de cada parâmetro será representada por cores para demonstrar de forma clara ao operador quais são os parâmetros que estão fora dos limites estabelecidos conforme:

- (a) Verde – Indica nenhuma excedência (baixo nível)
- (b) Cinza – Indica severidade baixa (segundo baixo nível)
- (c) Amarelo – Indica severidade média (segundo alto nível)
- (d) Vermelho – Indica severidade alta (alto nível)

A partir dos dados representados através das cores o operador deve explorar o HGS, pode selecionar Exceedance Summary no rodapé esquerdo para que a tela (Figura 15) seja representada.

AC/ID	Operation	Date	Op Start Time	Run Time	Flight Time	Exceedance	Exc Start	Duration	Max/Min	Actioned By	Time Actioned
2771		27/06/2016	16:43:39	02:39:04	02:18:42	INIT SYS (LOG800	00:00:00	00:00:00	-	-	-
2771		27/06/2016	16:43:39	02:39:04	02:18:42	TRACKER FAIL (TR	00:00:00	00:00:00	-	-	-
2771		27/06/2016	16:43:39	02:39:04	02:18:42	1st Stg Pin RH SD L	00:12:09	00:00:00	0,00	-	-
2771		27/06/2016	16:43:39	02:39:04	02:18:42	1st Stg Pin RH SD L	00:12:09	00:00:00	0,00	-	-
2771		27/06/2016	16:43:39	02:39:04	02:18:42	1st S-Pin R-Brigs EB	00:12:49	00:00:00	0,00	-	-
2771		27/06/2016	16:43:39	02:39:04	02:18:42	1st S-Pin R-Brigs TOI	00:12:49	00:00:00	0,00	-	-
2771		27/06/2016	16:43:39	02:39:04	02:18:42	1st Stg Gear RH SD	00:15:29	00:00:00	0,00	-	-
2771		27/06/2016	16:43:39	02:39:04	02:18:42	1st S-Gear R-Brigs EI	00:16:11	00:00:00	0,00	-	-
2771		27/06/2016	16:43:39	02:39:04	02:18:42	1st S-Gear R-Brigs TI	00:16:11	00:00:00	0,00	-	-
2771		27/06/2016	16:43:39	02:39:04	02:18:42	TGB Gear S02 L2	00:20:59	00:00:00	0,00	-	-
2771		27/06/2016	16:43:39	02:39:04	02:18:42	TRDS S02 L2	00:36:25	00:00:00	0,00	-	-
2771		27/06/2016	16:43:39	02:39:04	02:18:42	1st Stg Pin RH SD L	00:44:22	00:00:00	0,00	-	-
2771		27/06/2016	16:43:39	02:39:04	02:18:42	1st Stg Pin RH SD L	00:44:22	00:00:00	0,00	-	-
2771		27/06/2016	16:43:39	02:39:04	02:18:42	1st S-Pin R-Brigs EB	00:45:05	00:00:00	0,00	-	-
2771		27/06/2016	16:43:39	02:39:04	02:18:42	1st S-Pin R-Brigs TOI	00:45:05	00:00:00	0,00	-	-
2771		27/06/2016	16:43:39	02:39:04	02:18:42	1st Stg Gear RH SD	00:47:47	00:00:00	0,00	-	-
2771		27/06/2016	16:43:39	02:39:04	02:18:42	1st S-Gear R-Brigs EI	00:48:32	00:00:00	0,00	-	-
2771		27/06/2016	16:43:39	02:39:04	02:18:42	1st S-Gear R-Brigs TI	00:48:32	00:00:00	0,00	-	-
2771		27/06/2016	16:43:39	02:39:04	02:18:42	TGB Gear S02 L2	00:53:25	00:00:00	0,00	-	-
2771		27/06/2016	16:43:39	02:39:04	02:18:42	TRDS S02 L2	01:30:30	00:00:00	0,00	-	-
2771		27/06/2016	16:43:39	02:39:04	02:18:42	1st Stg Pin RH SD L	01:39:50	00:00:00	0,00	-	-

Figura 15. Tela de Resumo de Excedências (Elaborado pelo autor)

3.2. PROCESSO DE VERIFICAÇÃO

Ao explorar a janela Browser versus Aircraft Parameters será representada provendo maiores informações através de gráfico do período em que foi verificada uma excedência. Na tela (Figura 16) também poderá ser selecionado (*group, events, exceedance, parameters*) no lado esquerdo para que os gráficos sejam representados e analisados o detalhe da cada parâmetro que indicou alguma discrepância durante o voo.

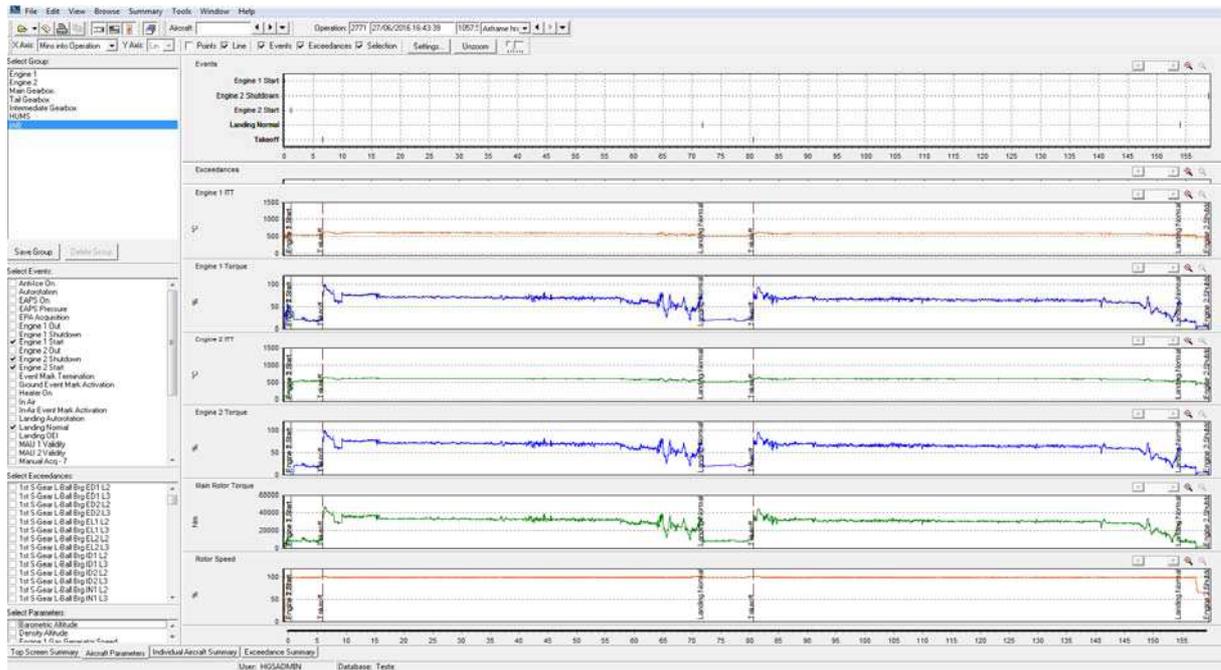


Figura 16. Parâmetros de Aeronave (Elaborado pelo autor)

3.3. ANÁLISE DOS COMPONENTES

Após uma análise pontual de cada parâmetro que apresentou excedência, no AW139 possui incorporado em seu manual de manutenção um capítulo 18 que orienta o operador verificar em todos os pontos em que os sensores são instalados as possíveis causas quando encontrado excedência. Neste manual irá fazer referência ao procedimento de desmontar, substituir, inspecionar, ajustar ou até mesmo uma simples limpeza no componente envolvido (Figura 17).



Figura 17. Capítulo 18 do Manual de Manutenção AW139 (Amerigo 4, 2016)

A análise dos componentes encontrados com limites extrapolados apresentados através do HGS, devem ser realizados primeiramente a partir de orientações proveniente do manual de manutenção.

O AW139 também disponibiliza alguns manuais de componentes com detalhes em suas dimensões, limites, reparos, testes, áreas a serem inspecionadas para minimizar o questionamento ao fabricante e dando mais autonomia ao operador com embassamento técnico oficial.

Em alguns casos em componentes mais específicos, se faz necessário solicitar avaliação do fabricante quanto a falta de informação pertinente nos manuais disponíveis. Neste caso, necessita de uma avaliação do especialista do fabricante para orientar de forma correta do procedimento ou ação a ser realizada pelo operador.

4. RESULTADOS

A seguir será apresentado um caso real de utilização do HUMS, onde foi realizado uma intervenção de manutenção preservando a segurança operacional e os componentes afetados após receber um alerta do HGS.

Conforme apresentado anteriormente, o HUMS possui acelerômetros, tacômetros e sensores magnéticos (*pickup*) para prover as condições reais no período específico operacional o que resulta em alertas na HGS quando algo estiver fora dos limites estabelecidos e dedicados.

No caso a seguir apresentado, ocorreu em um helicóptero AW139 com aproximadamente 3100 horas de voo e 3500 ciclos em operação offshore.

No gráfico (Figura 18) pode ser observado de que o TRDS (*Tail Rotor Drive Shaft*) identificado como A7 em voo cruzeiro no dia 22/02/2016 saiu dos seus limites mínimo conforme estabelecido na linha em amarelo.

Somente como referência o limite máximo estabelecido para este parâmetro está representado na linha em vermelho.

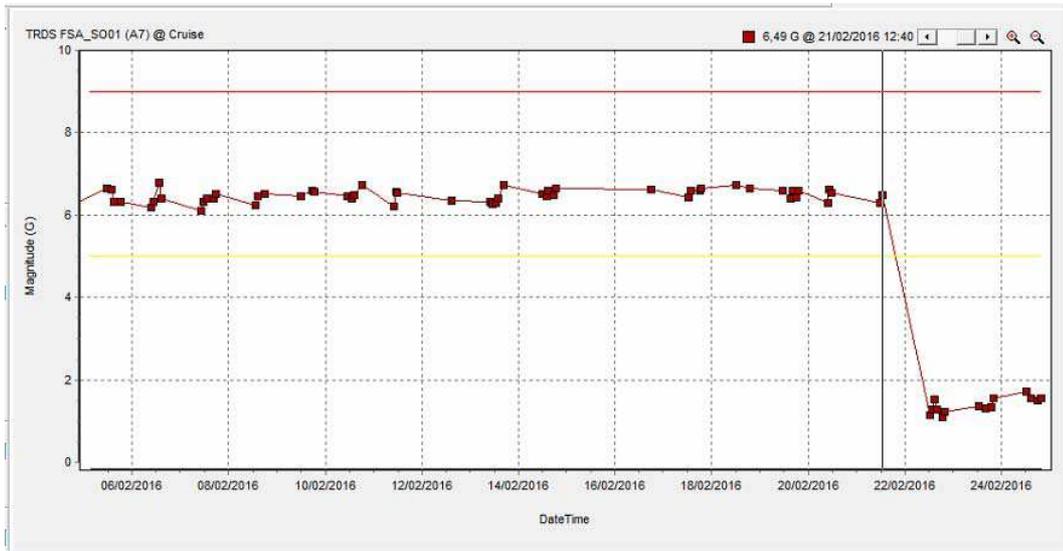


Figure 18. Gráfico TRDS A7 (Elaborado pelo autor)

No gráfico (Figura 19) pode ser observado de que a IGB Pin (*Intermediate Gear Box Pin*) identificado como A8 em voo cruzeiro no dia 22/02/2016 também saiu dos seus limites mínimo conforme estabelecido na linha em amarelo.

Somente como referência o limite máximo estabelecido para este parâmetro está representado na linha em vermelho.

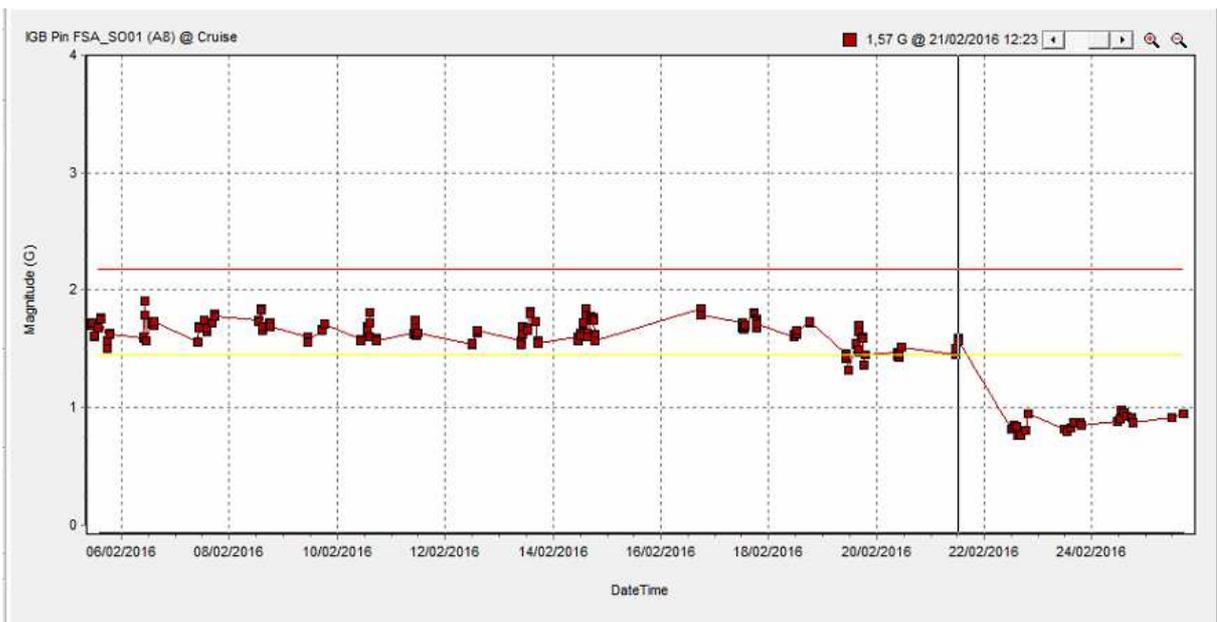


Figure 19. Gráfico IGB Pin A8 (Elaborado pelo autor)

Ao realizar a correlação entre os dados fornecidos e localizado próximo a área em que os sensores estão instalados, foi solicitado a manutenção de verificar a condição física do Input Pinion (Figura 20).

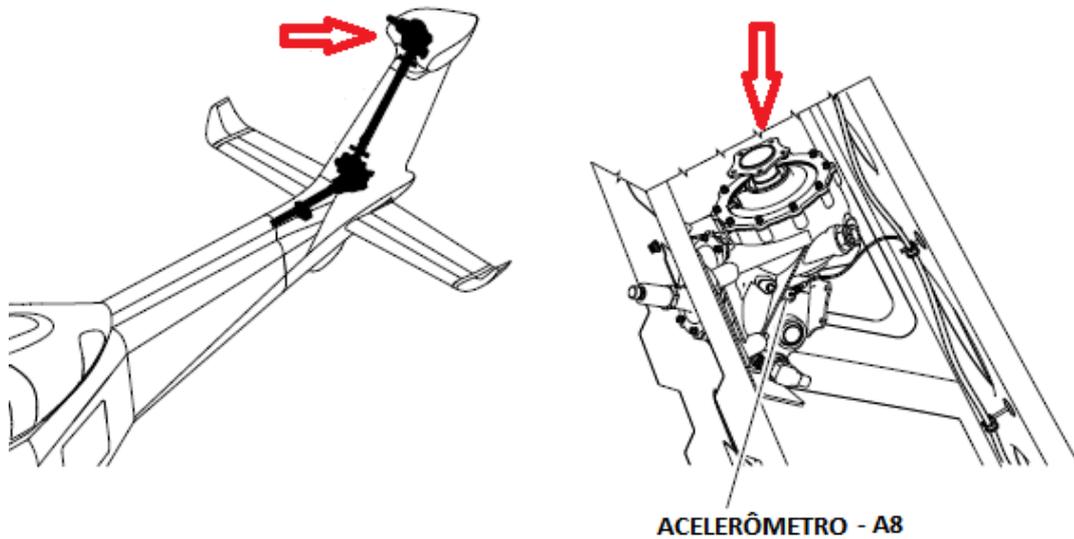


Figure 20. Localização Input Pinion (Modificado de Amerigo, 2016)

Ao remover o Input Pinion foi confirmado sinais de atrito com perda de material nos dentes da engrenagem (Figura 21).



Figure 21. Foto do Input Pinion com sinal de atrito (Elaborado pelo autor)

Ao consultar o fabricante a manutenção foi orientada ao operador de confirmar as medidas estabelecida no manual do helicóptero AW139. Os resultados obtidos com a utilização da ferramenta apropriada foram satisfatórios e o componente pode ser reinstalado com 180° de defasagem para garantir que o Sling Adapter localizado no interior da IGB e ponto de acomodação do Input Pinion não fosse afetado. Os limites estabelecidos foram restaurados e até o presente momento não foi gerado qualquer anormalidade neste dois sensores o que garante que neste caso a ação de manutenção obteve sucesso realizando uma manutenção preventiva garantindo a segurança operacional e o custo operacional de não ter substituído o componente afetado gerando economia.

5. CONCLUSÃO

Atualmente é imprescindível investir em ferramentas que auxiliam principalmente na segurança de voo, pois tudo na área aeronáutica depende da confiabilidade operacional, seja da equipe de apoio terrestre até ao topo da cadeia administrativa. O monitoramento de vibrações sem a utilização do HUMS equipamento opcional no helicóptero AW139 não pode ser realizado de forma a preceder qualquer anormalidade, restando somente as inspeções programadas para verificação da condição real dos componentes. Com o avanço de sistemas confiáveis como o HUMS, acredito ser indispensáveis para operação de helicópteros em situações adversas como a operação offshore, onde se faz necessário atender elevados requisitos operacionais. O treinamento de técnicos ou engenheiros para analisar o dados após carregado no HGS é peça fundamental para o sucesso das ações a serem tomadas. Levando em considerações os pontos mencionados e se houver um planejamento eficiente dentro das operadoras, o alto grau de segurança de voo e a redução nos custos operacionais estará garantido.

6. REFERÊNCIAS

ADMIN, **Estudo confirma São Paulo como capital mundial do helicóptero**, ABRAPHE, agosto 2013. Disponível em:

<<http://www.abraphe.org.br/noticias/estudo-da-abraphe-confirma-sao-paulo-como-capital-mundial-do-helicoptero>>. Acesso em: 10 de dezembro de 2015.

AMERIGO 4, **IETP – Interactive Electronic Technical Publications**. FINMECCANICA HELICOPTER DIVISION, 2016.

CAP'MEDIATEL, **Origem da primeira fabricante de asas rotativas instaladas no Brasil**, HELIBRAS, 2016. Disponível em:

<http://www.helibras.com.br/website/po/ref/Hist%C3%B3ria_90.html>. Acesso em: 20 de maio de 2016.

CILIO, JOHN. **Helicopter Evolution**, Vintage Flyer Media LLC, junho 2011.

GRÃ-BRETANHA. **Helicopter Vibration Health Monitoring (VHM) CAP 753**, Civil Aviation Authority, agosto 2012. Disponível em:

<<https://publicapps.caa.co.uk/docs/33/CAP753.pdf>>. Acesso em: 17 de janeiro de 2016.

SAUNDERS, G. H. **A Dinâmica de Voo do Helicóptero**. Ed Livros Técnicos e Científicos: São Paulo, 1985.

TAYLOR, JONES, **Introduction to Helicopter HUMS**. GE AVIATION SYSTEMS, October 2007.

TAYLOR, JONES. **HUMS Ground Station User Guide**. SMITHS AEROSPACE ELECTRONIC SYSTEM, 2005.

Autorizo cópia total ou parcial desta obra, apenas para fins de estudo e pesquisa, sendo expressamente vedado qualquer tipo de reprodução para fins /comerciais sem prévia autorização específica do autor.