

RELATÓRIO AVALIAÇÃO DE INCIDENTE COM AERONAVE
AIRCRAFT INCIDENT EVALUATION REPORT

SINOPSE

SYNOPSIS

PROCESSO GPIAAF GPIAAF PROCESS ID 2022/AVAL/12		<i>Classificação Classification</i> Incidente Incident	
		<i>Tipo de evento Type of event</i> SCF-PP System / component failure or malfunction [Powerplants]	
OCORRÊNCIA OCCURRENCE			
<i>Data Date</i> 27-09-2022	<i>Hora Time</i> 11:49 UTC	<i>Local Location</i> FIR de Santa Maria Santa Maria FIR	
AERONAVE AIRCRAFT			
<i>Tipo Type</i> Boeing 787- 8		<i>N.º de série Serial No.</i> 37503	<i>Matrícula Registration</i> N781AV
<i>Categoria Category</i> Avião Airplane			<i>Operador Operator</i> Avianca
VOO FLIGHT			
<i>Origem Origin</i> Bogotá El Dorado Int., Colombia (SKBO)		<i>Destino Destination</i> London Heathrow, United Kingdom (EGLL)	
<i>Tipo de voo Type of flight</i> Transporte Aéreo Comercial Commercial Air Transport		<i>Tripulação Crew</i> 10	<i>Passageiros Passengers</i> 244
<i>Fase do voo Phase of flight</i> Em rota En-route		<i>Condições de luminosidade Lighting conditions</i> Diurno Daylight	
CONSEQUÊNCIAS CONSEQUENCES			
<i>Lesões Injuries</i>	<i>Tripulação Crew</i>	<i>Passageiros Passengers</i>	<i>Outros Other</i>
Fatais Fatal	0	0	0
Graves Serious	0	0	0
Ligeiras Minor	0	0	0
Nenhuma None	10	244	0
Total	10	244	0
<i>Danos na aeronave Aircraft damage</i> Ligeiros Minor		<i>Outros danos Other damage</i> nenhuns None	

DESCRIÇÃO DA OCORRÊNCIA

DESCRIPTION OF THE OCCURRENCE

No dia 27 de setembro de 2022, um Boeing 787-8 operado pela Avianca com registo N781AV realizava um voo comercial regular da cidade de Bogotá, El Dorado Intl. (SKBO) para Londres Heathrow (EGLL) no nível de voo FL410 quando decorridas 6 horas e 18 minutos de voo, o motor n.º 1 sofreu uma paragem não comandada.

On the 27 of September 2022, a Boeing 787-8 operated by Avianca (registration N781AV) was performing a scheduled commercial service from Bogotá El Dorado Intl. (SKBO) to London Heathrow (EGLL) at FL410 when it experienced an uncommanded in-flight shutdown of engine no.1, 6 hours and 18 mins into its flight.

A tripulação de voo, composta pelo PIC e pelo segundo FO, reconheceu imediatamente os sinais de motor em falha, confirmados pelos três alertas *Master Caution* no EICAS, todos relacionados com o motor esquerdo; ENG FAIL L, ENG CONTROL L e ENG EEC C1 L.

The flight crew, consisting of the PIC and the relief-FO immediately recognized that an engine flameout had occurred and received three Master Caution alerts on their EICAS display, all of which were related with the left engine; ENG FAIL L, ENG CONTROL L and ENG EEC C1 L.

A tripulação executou os procedimentos aplicáveis à falha de motor e iniciaram a descida para nível de voo FL270.

The flight crew executed the corresponding abnormal procedures for an inoperative engine and initiated a descent to FL270.

Foram tentadas duas reinicializações manuais do motor, ambas infrutíferas tendo adicionalmente indicação no EICAS de falha da ENG FUEL VALVE L.

A tripulação declarou então emergência ao ATC e coordenou o seu desvio para o aeroporto mais próximo, o aeroporto das Lajes nos Açores. O Centro de Controlo e Despacho e o Centro de Controlo de Manutenção do operador em Bogotá auxiliaram a tripulação durante o desvio para o alternante após terem sido alertados via ACARS e SATCOM sobre a falha do motor em voo.

A tripulação decidiu chamar ao cockpit o primeiro oficial piloto (FO) que estava em período de descanso. O FO trocou de lugar com o segundo FO que permaneceu no *cockpit*.

Foi também feita a coordenação com a tripulação de cabine, que teve tempo suficiente para preparar a cabine para a aterragem.

Foi realizada uma aterragem na pista 15 do aeroporto das Lajes às 12h40 sem incidentes reportados.

Lesões e danos

O desembarque ocorreu com normalidade sem registo de feridos entre os ocupantes da aeronave.

Uma inspeção preliminar ao motor n.º 1 revelou uma fissura significativa no cárter da caixa de acessórios externa (EGB) com quantidade significativa de óleo derramado em torno dessa zona.

Two manual restarts were attempted, both unsuccessful and the ENG FUEL VALVE L fault was additionally displayed on the EICAS.

The flight crew declared the emergency to ATC and coordinated their diversion to their nearest alternate which was Lajes airport in the Azores. The operator's Dispatch Control Center (CC) and Maintenance CC in Bogotá also assisted the crew during the diversion to Lajes. They were alerted of the in-flight shutdown by both ACARS message and SATCOM.

The flight crew decided to call the resting FO to the cockpit and briefed him on the situation. The FO switched places with the relief-FO who remained in the cockpit.

Coordination also took place with the cabin crew who had sufficient time to prepare the cabin for landing.

An uneventful landing was performed on runway 15 at Lajes airport at 12:40 without further reported issues.

Injuries and damage

Disembarkation occurred normally and no injuries were reported among the occupants of the aircraft.

A preliminary inspection of engine no.1 revealed a significant quantity of oil spilled in the area of the external gear box (EGB) and a large crack in its casing.



Figura 1 ||
Motor 1 e fratura no cárter da EGB



Figure 1 ||
Engine no.1 and crack found in EGB casing



CONSTATAÇÕES RELEVANTES

Tripulação técnica de voo

Segundo o operador, a tripulação estava licenciada e qualificada para o voo de acordo com os regulamentos aplicáveis.

A tripulação realizou os procedimentos operacionais padrão para a falha de motor e coordenou o desvio para o aeroporto das Lajes em colaboração com a tripulação de cabine, com as equipas do operador em terra e com o ATC.

A aeronave

O Boeing 787-8 é um avião bimotor de longo alcance, com fuselagem larga fabricado nos Estados Unidos pela The Boeing Company.

Com duas opções de motorização disponíveis, o 787 pode usar os motores da Rolls-Royce, modelo Trent 1000 e o GEnx da General Electric.

Entregue em 19 de dezembro de 2014, o N781AV é um dos 12 Boeing 787-8 em serviço do operador, equipados com motores Rolls-Royce Trent 1000.

O motor Trent 1000

O Rolls-Royce Trent 1000 é um motor *turbofan* de elevada razão de *bypass* projetado especificamente para o Boeing 787, contando com três eixos coaxiais independentes.

Com certificação inicial da EASA/FAA em 2007, a variante D2 do Trent 1000 (modelo do evento) recebeu a respetiva certificação a 10 de setembro de 2013.

Com um sistema de compressor em três secções, o Trent 1000 conta com uma *fan*, um compressor intermédio e um de alta pressão, acionadas por um eixo concêntrico triplo movido igualmente por três secções de turbina independentes.

É um motor projetado sem sangria de ar, capaz de gerar até 500 kW de potência elétrica para acionar os vários sistemas do Boeing 787 com uma filosofia predominantemente elétrica.

Para esse objetivo, a caixa de acessórios externa (EGB) do Trent 1000 que tem acoplados dois geradores, um alternador, uma bomba hidráulica, um respirador do sistema de óleo, uma bomba de óleo de lubrificação, uma unidade hidromecânica (controlo de combustível)

RELEVANT FINDINGS

Flight Crew

According to the operator, the crew was licensed and qualified for the flight in accordance with applicable regulations.

The flight crew adhered to SOPs for an engine shutdown and coordinated with the cabin crew, company HQ and ATC, their diversion to Lajes airport.

The aircraft

The Boeing 787-8 is a long range, wide-body, twin-engine airliner manufactured in the United States by The Boeing Company.

There are two engine options approved for powering the 787. These are Rolls-Royce Trent 1000 and General Electric GEnx engine models.

Delivered on the 19 of December 2014, N781AV is one of 12 Boeing 787-8s in service at the operator and is powered by Rolls-Royce Trent 1000 engines.

The Trent 1000 engine

The Rolls-Royce Trent 1000 is a high-bypass turbofan engine designed specifically for the Boeing 787 with three independent coaxial shafts.

While it originally received EASA/FAA certification in 2007, the D2 variant of the Trent 1000 (which was the engine type which experienced the IFSD) received its certification on the 10 of September 2013.

The three-stage compressor of the Trent 1000 consists of low (*fan*), intermediate and high-pressure sections which are driven by a triple-spool design that is powered by three separate groups of turbines.

Developed with a bleed-less engine design, each Trent 1000 generates up to 500kW of power to drive the Boeing 787s all-electric aircraft systems.

To achieve this, the external gearbox (EGB) of the Trent 1000 drives two generators, an alternator, a hydraulic pump, an oil system breather, an engine oil pump, a hydro-mechanical unit (fuel flow control) and



e o conjunto de bombas de baixa pressão (LP)/alta pressão (HP) de combustível.

the low-pressure (LP)/high-pressure (HP) fuel pump assembly.

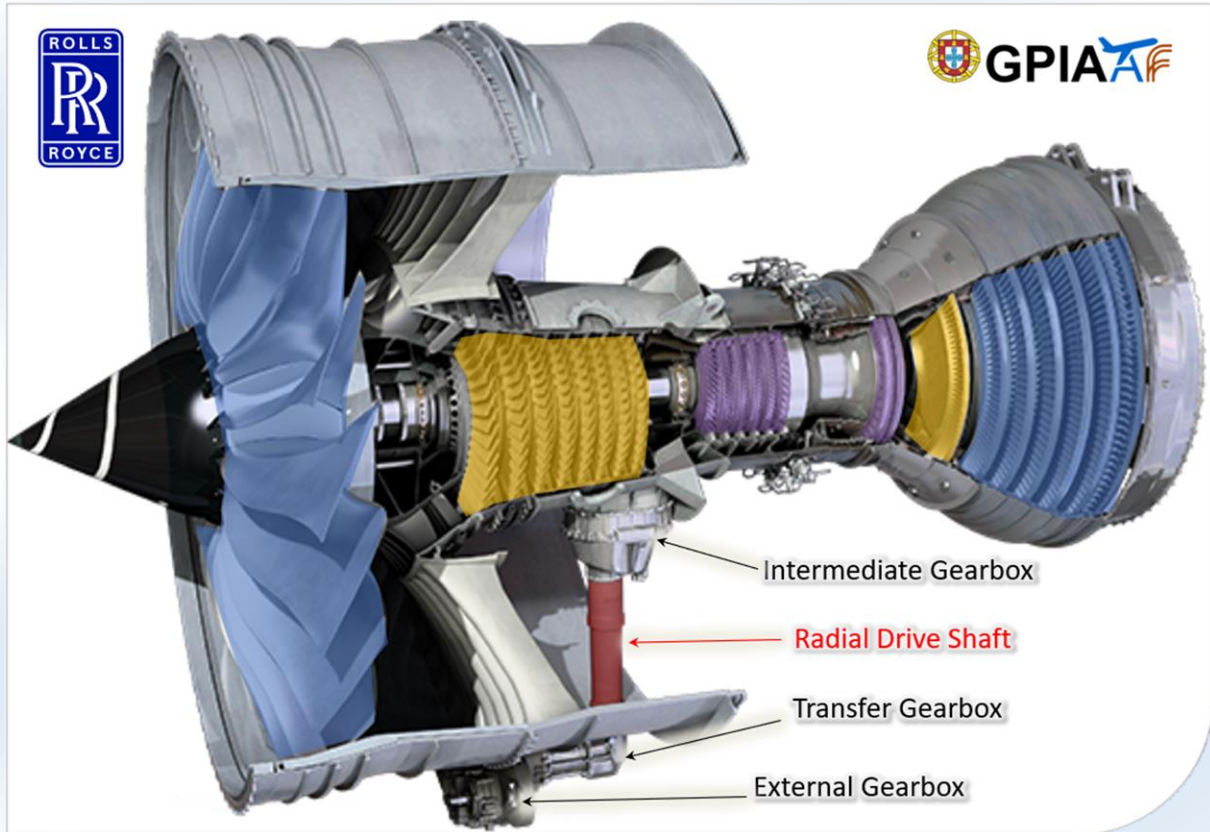


Figura 2

Visão geral do motor e mecanismo de acionamento da EGB

Figure 2

Engine overview and EGB drive mechanism

A EGB é acionada pela caixa de transferência (TGB) (que consiste num conjunto de engrenagens cônicas de transmissão de binário), conectada à caixa de transmissão intermédia (IGB ou SAGB) através de um eixo de transmissão radial (também conhecido como eixo ADS). O conjunto é movido pelo veio intermédio (IP) que transmite o movimento aos vários componentes e acessórios instalados na EGB (ver Figura 2).

Esta transmissão de movimento é conseguida pela combinação do casquilho e adaptador do ADS e o eixo radial (veio ADS), num arranjo algo complexo com deslocamentos das peças ao longo das estrias por forma a conseguir a instalação do conjunto de acoplamento superior e inferior.

O alinhamento dos dois conjuntos de estrias superiores mantém o eixo radial verticalmente em posição e garante a transmissão e acionamento para a EGB.

The EGB is driven by the transfer gearbox (TGB) (which consists of a set of power-transmission bevel gears) which is connected to the intermediate gearbox (IGB) (also referred to as the SAGB, Step-Aside Gearbox) via the radial drive shaft (also referred to as the ADS Shaft). The assembly is powered from the IP shaft which transmits drive through the various components to the accessories installed on the EGB (see Figure 2).

This torque transmission is achieved by combining the ADS coupling, the ADS adapter and the radial drive shaft (ADS Shaft) in an intricate process which culminates with the splines of the ADS coupling sliding up along the splines of the IP output shaft.

The alignment of the two upper sets of splines holds the radial drive shaft vertically in place and ensures proper transmission of drive to the EGB.

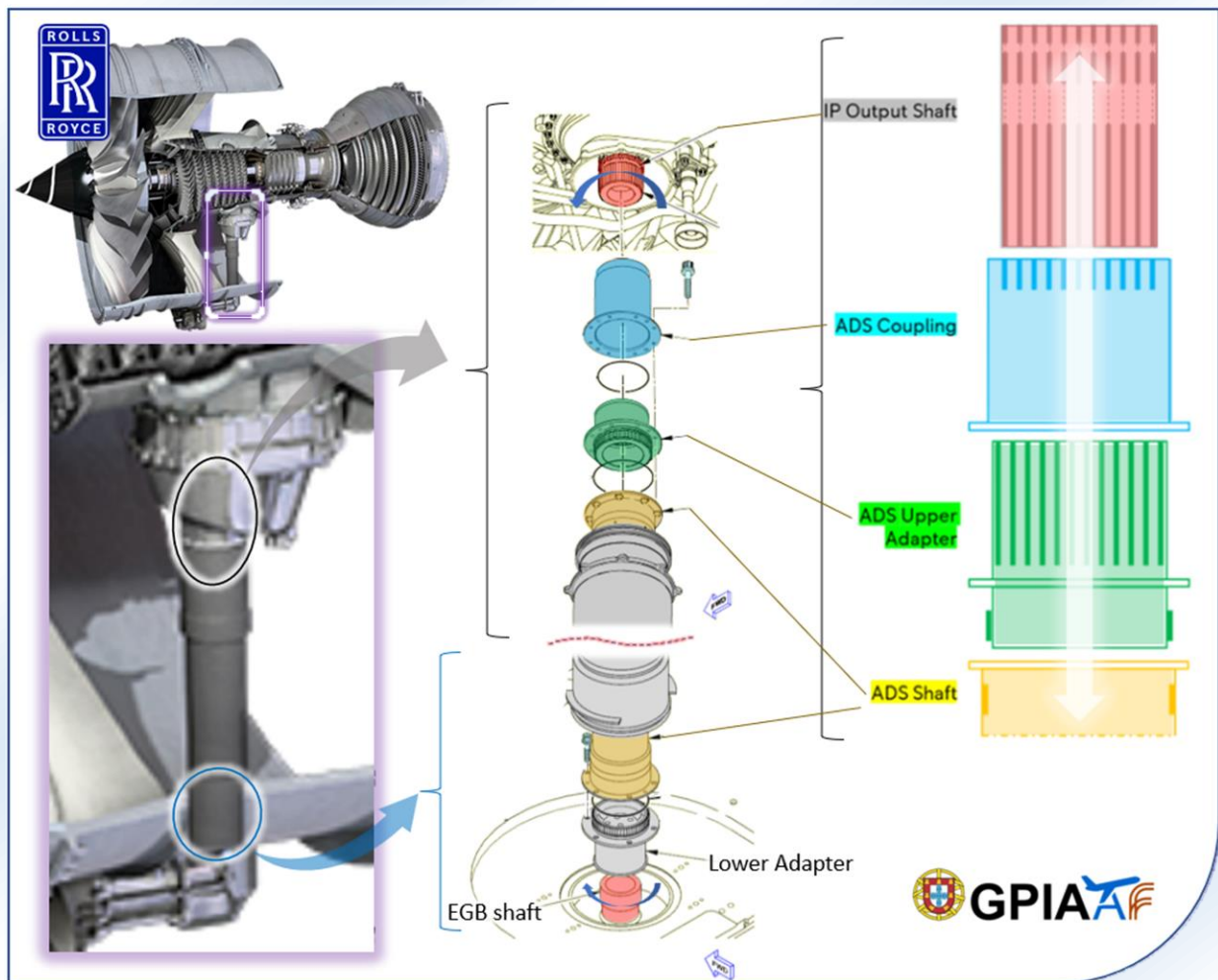


Figura 3 || **Figure 3**
 Detalhe do sistema de engrenagem do veio radial || Overview of the radial drive shaft assembly

Aeronavegabilidade do motor

Em maio de 2018 o motor acumulava 13 372 Horas desde novo (HSN) tendo sido intervençionado em oficina de motores para trabalhos no compressor intermédio (IPC) e turbina de alta (HPT), onde foi encontrado desgaste no acoplamento superior (também conhecido como *ADS Assembly*).

Não estando, à data, definido um limite para o desgaste nessas áreas, o centro de serviços do motor solicitou e foi aprovada pela Rolls-Royce a variância técnica (TV187599), permitindo uma inspeção de seguimento a ser realizada até ao máximo de 6 000 horas (não mais de 19 371 HSN do motor).

Atendendo a que foram encontrados desgastes semelhantes em vários outros motores, uma TV repetitiva (RTV187913) foi emitida em julho de 2018, com os requisitos de inspeção e critérios de aceitação

Engine airworthiness

During an engine shop visit in May 2018 for intermediate pressure compressor (IPC) and high-pressure turbine (HPT) overhaul of the event engine, which had accrued 13,372 Hours Since New (HSN), wear was discovered in the upper coupling (also known as the ADS Assembly).

As no limits had been published at the time for wear in these areas, the engine service centre raised a technical variance (TV187599) approved by Rolls-Royce, called for a follow-on inspection to be conducted in no more than 6,000hrs (no more than 19,371 HSN on the event engine).

Due to a number of other engines having been found with wear in the same location, a repeat TV (RTV187913) was issued in July 2018, which provided inspection requirements and pre-determined



pré-determinados para o desgaste das estrias do eixo. Esta RTV foi publicada antes de uma atualização dos procedimentos de manutenção do motor em oficina (*off-wing*) (Check & Rectify Manual, CRM) da Rolls-Royce para o Trent 1000.

Uma outra RTV187998 foi emitida para agilizar as instruções e os critérios de aceitação para inspeções a realizar em asa também antes da atualização dos manuais da Boeing (AMM 787).

Embora ambas as inspeções contivessem os mesmos critérios de aceitação para reinspeção a cada 6 000 horas, 3 000 horas ou rejeição dos componentes, o método de aferição do desgaste das estrias é distinto entre as duas RTVs.

Enquanto a RTV em *off-wing* refere a medição do desgaste das estrias (mais difícil de aferir), as instruções *on-wing* referem uma medição da parte não afetada das estrias, método mais preciso atendendo - à visualização dos pontos inicial e final para realizar a medição.

O motor foi novamente sujeito a trabalhos num centro de serviços de motores para revisão do IPC e turbina intermédia (IPT) em fevereiro de 2019, tendo, à data acumulado 15 774 HSN de funcionamento.

Mais uma vez, o *ADS Assembly* foi removido para dar acesso ao módulo. O desgaste dos componentes foi avaliado relativamente aos critérios da RTV187998 (*on-wing*) pois a inspeção subsequente seria também ela realizada com o motor em asa.

O desgaste das estrias no casquilho do ADS obrigava a uma nova inspeção após 3 000 horas de funcionamento (não mais do que 18 774 HSN no motor do evento), enquanto o desgaste das estrias no veio IP referia a necessidade de nova inspeção após 6 000 horas (não mais de 21 774 HSN no motor do evento).

Os requisitos de inspeção e os critérios de aceitação para o casquilho do ADS e o desgaste do eixo de saída IP foram, entretanto, integrados nos manuais da Boeing 787 AMM em março de 2019 (DMC-B787-A-R72-62-11-01A-280B-A).

acceptance criteria for the spline wear. This RTV was issued in advance of an update to Rolls-Royce's in-shop (*off-wing*) engine maintenance procedures for the Trent 1000 (Check & Rectify Manual, CRM).

Another RTV (RTV187998) was issued to expedite instructions and acceptance criteria for on-wing inspections in advance of the Boeing 787 AMM being updated.

While both inspections contained the same acceptance criteria for reinspection at 6,000hrs, 3,000hrs or hardware rejection, the method for measuring the wear on the splines was different between the two RTVs.

Whereas the *off-wing* RTV instructed the worn length of the spline to be measured (more difficult to achieve), the *on-wing* instructions were to measure the unworn length of spline, which is more accurate as both the start and end points of the measurement can be seen.

The engine was again inducted at an engine service centre for overhaul of the IPC and intermediate pressure turbine (IPT) in February 2019, having accrued 15,774 HSN.

Once again, the ADS assembly was removed to provide module access. Wear of the components was assessed against the RTV187998 (*on-wing*) as the follow-on inspection would be conducted *on-wing*.

The spline wear on the ADS coupling was such that a repeat inspection was required after a further 3,000hrs (no more than 18,774 HSN in the event engine), while the spline wear on the IP output shaft was such that a repeat inspection was required after a further 6,000hrs (no more than 21,774 HSN in the event engine).

The inspection requirements and acceptance criteria for the ADS coupling and IP output shaft spline wear were integrated into the Boeing 787 AMM in March 2019 (DMC-B787-A-R72-62-11-01A-280B-A).

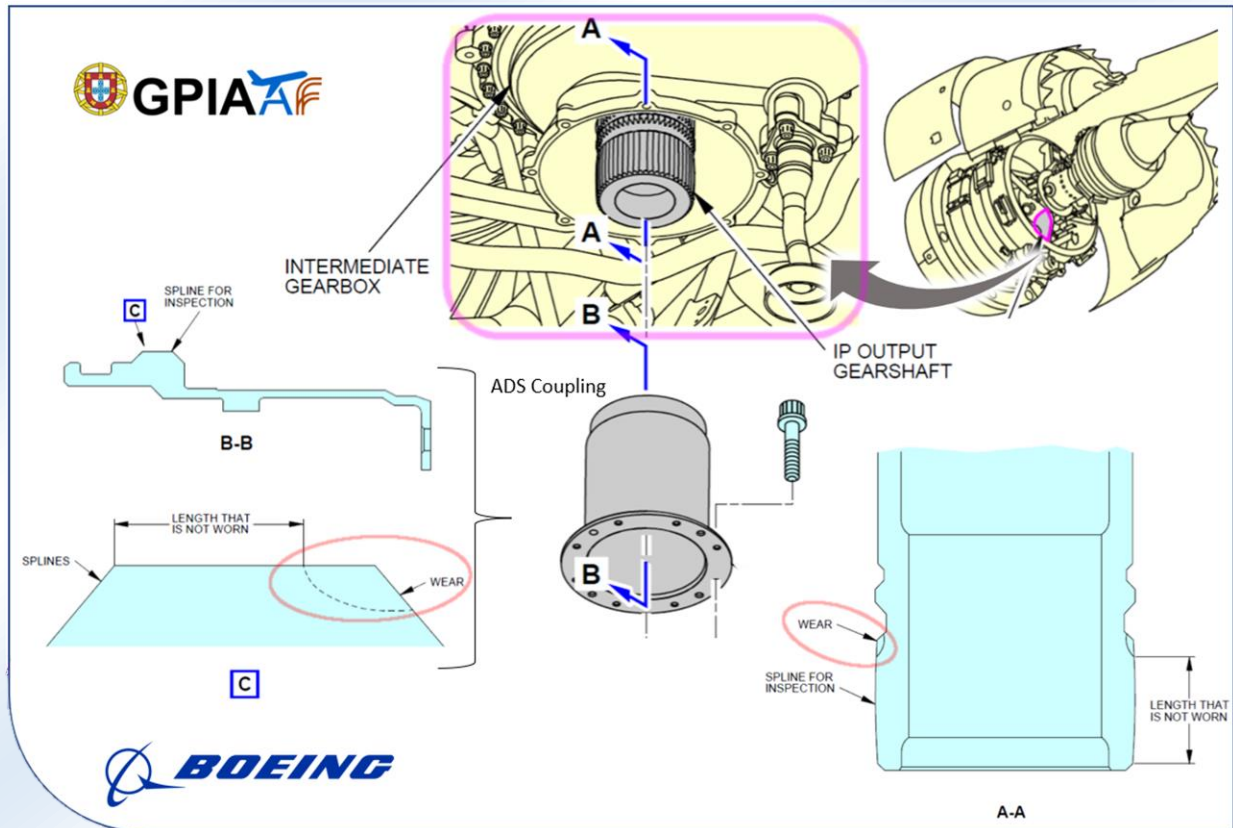


Figura 4 ||
Detalhe das áreas a inspecionar DMC-B787-A-R72-62-11-01A-280B-A

Figure 4 ||
Details of areas to be inspected DMC-B787-A-R72-62-11-01A-280B-A

Da mesma forma, o CRM foi atualizado em julho de 2019, embora substituído por um boletim de serviço sem modificação (NMSB 72-K420), com o objetivo de harmonizar os métodos de medição do desgaste das estrias e expandir pela frota com os conteúdos incluídos no AMM (medição estrias remanescentes).

Ações de manutenção ao motor pelo operador

A equipa de manutenção do operador realizou em Bogotá, no dia anterior ao voo para Londres, ações no motor n.º 1 seguindo instruções descritas no manual da Boeing (AMM). O motor acumulava à data 21 544 HSN.

Uma das tarefas de manutenção consistia em avaliar o desgaste por inspeção do conjunto de conexão superior (conjunto ADS) sendo necessário para tal obter acesso ao veio de transmissão radial.

As instruções para a remoção do veio de transmissão radial e respetiva proteção (AMM Ref. DMC-B787-A-R72-62-11-00D-520A-A) contêm uma descrição passo-a-passo das tarefas, acompanhadas por onze diagramas para a execução do procedimento.

Similarly, the CRM was updated in July 2019 although superseded by a non-modification service bulletin (NMSB 72-K420) in order to expand the applicable fleet and harmonise the method for measuring the wear on the splines to that which was included in the AMM (measurement of the unworn spline).

Engine maintenance performed by the operator

Before the flight to London, maintenance had been performed on engine no.1 in Bogota the day prior by the Operator’s maintenance personnel, with reference to the instructions published in the Boeing AMM. At this point the engine had accrued 21,544 HSN.

One of the assigned maintenance tasks consisted of gaining access to the radial drive shaft in order to inspect the assembly of the upper coupling (ADS Assembly) for wear.

The instructions for the radial drive shaft and shroud removal (AMM Ref. DMC-B787-A-R72-62-11-00D-520A-A) provide a step-by-step description of the tasks which need to be performed, accompanied by eleven diagrams to complete the procedure.



As instruções de inspeção do acoplamento ADS e estrias do eixo de saída IP (AMM Ref. DMC-B787-A-R72-62-11-01A-280B-A) requerem uma medição das estrias sem desgaste com recurso a paquímetro, avaliando segundo os critérios de aceitação para determinar a repetibilidade da inspeção de 6000hrs, 3000hrs ou rejeição do material.

A equipa de manutenção assignada ao trabalho era composta por 4 mecânicos e um inspetor, todos com experiência em tarefas de manutenção de acordo com as declarações do operador. Todos concluíram o curso de manutenção do Boeing 787 com o treino básico no tipo Rolls-Royce Trent Série 1000.

Embora o acoplamento ADS e a inspeção de desgaste do eixo de saída IP tenham sido realizados seis vezes na base do operador, esta foi a primeira vez que qualquer um dos membros da equipa de manutenção foi designado para tal tarefa. Os membros da equipa declararam que não se sentiam desconfortáveis em realizar a referida inspeção, ainda que não lhes tenha sido fornecida formação específica.

O acoplamento ADS não foi inspecionado dentro dos requisitos de inspeção repetitiva de 3 000 horas (não mais de 18 774 HSN) após avaliação em oficina em fevereiro de 2019. Não ficou claro os motivos pelos quais tal inspeção não foi seguida pelo sistema de conformidade de engenharia do operador.

Não foram registados os valores das medições obtidas das estrias, tendo a carta de trabalho indicação de 6000 horas como próximo requisito para inspeção repetitiva para o acoplamento ADS e o eixo de saída IP. Esta tarefa previa e foi executada com os requisitos de inspeção independente.

A complexidade da tarefa decorre não só do mecanismo complexo do conjunto ADS (acoplamento superior), mas também do acoplamento inferior que (embora não seja tão complexo quanto o acoplamento superior) requer uma correta instalação no eixo de entrada da TGB. Como tal, o posicionamento vertical do eixo de transmissão radial é crítico. A cobertura externa, que consiste num conjunto de duas partes ligado ao IGB (superior) e ao TGB (inferior) e que envolve todo o eixo radial, torna a tarefa complexa, podendo interferir nos procedimentos de instalação, particularmente na zona inferior do eixo radial.

The inspection instructions of the ADS coupling and IP output shaft splines (AMM Ref. DMC-B787-A-R72-62-11-01A-280B-A) requires that the length of the splines that are not worn to be measured using vernier callipers and assessed against the acceptance criteria to determine repeat inspection at 6000hrs, 3000hrs or hardware rejection.

The maintenance team assigned to carry-out the work consisted of 4 mechanics and an inspector all of which experienced in maintenance tasks in accordance with operator statements. All of them had completed the Boeing 787 maintenance course with the Rolls-Royce Trent 1000 Series basic type training.

Although the ADS coupling and IP output shaft wear inspection had been performed six times at operator's base, it was the first time that any of the members of the maintenance team were assigned with such task. While no specific training had been provided to them, the team members declared that they did not feel uncomfortable in performing the inspection at hand.

The ADS coupling was not inspected within the 3,000hrs (no more than 18,774 HSN) repetitive inspection requirement assessed during the engine's shop visit in February 2019. It is not clear how this inspection was missed by the Operator's engineering compliance system.

While the actual spline length measurements were not recorded, the job card had 6000hrs recorded as the repeat inspection for both the ADS coupling and the IP output shaft. This task required an independent inspection and was verified by the inspector.

The task complexity arises not only from the intricate mechanism of the ADS assembly (upper coupling) but also of the lower coupling which (although not as complex as the upper coupling) needs to be correctly fitted onto the TGB input shaft. As such, the vertical positioning of the radial drive shaft is critical. The external shroud, consisting of a two-part assembly attached to the IGB (top) and the TGB (bottom) which encases the entire radial drive shaft, makes the task burdensome as it can get in the way of the installation procedures, particularly at the lower end of the radial drive shaft.



A complexidade da tarefa AMM é potenciado pela ausência de imagens detalhadas bem como pela semelhança de nomenclaturas na identificação de diferentes componentes.

Considerando a complexidade e a criticidade para a correta instalação do eixo de transmissão radial, pelo AMM, são necessárias quatro verificações no final do procedimento de instalação:

1. **Examine the correlation marks.**
 - a. Make sure that the correlation marks on the shaft [*Radial Drive Shaft*], adapter [*ADS Adapter*] and coupling [*ADS Coupling*] are fully aligned.
 - b. If the correlation marks are not fully aligned, disengage the splines and align the splines again.
2. **Try to move the shaft [*Radial Drive Shaft*] up and down.**
 - a. If the shaft [*Radial Drive Shaft*] moves more than 0.367 in. (9.32 mm), then disassemble the parts and do the procedure again.
3. **Examine the external splines of the IP output gearshaft.**
 - a. Make sure that you can see approximately 1.00 in. (25.4 mm) above the coupling [*ADS Coupling*].
 - b. If you cannot see approximately 1.00 in. (25.4 mm) of the external splines, disassemble the parts and do the procedure again.
4. **Lift the driveshaft lower shroud to examine the external gearbox gearshaft.**
 - a. Make sure that the distance between the bearing retaining nut on the external gearbox gearshaft and the bottom of the shaft [8] is approximately 1.00 in. (25.4 mm).
 - b. If the distance is more than approximately 1.00 in. (25.4 mm), disassemble the parts and do the procedure again.

Estas quatro importantes verificações não estão detalhadas na carta de trabalho que direcionava a execução para os procedimentos correspondentes do AMM em uso pelos mecânicos. Embora a tarefa de instalação do eixo radial e da cobertura tenha sido assinada pelo mecânico que executou o trabalho, não houve assinatura do inspetor, uma vez que esta tarefa não foi identificada pelo operador como tarefa crítica com inspeção independente.

Avaliação de danos no motor

A avaliação de danos ao motor foi realizada em duas fases com a intervenção de equipas do OEM. A remoção de acesso e avaliação inicial da extensão de danos foi realizada em Amsterdão num centro de serviços autorizado, tendo sido concluída após trabalhos realizados no OEM, Rolls-Royce Derby.

A avaliação externa ao TGB/EGB revelou que a fratura no cárter era visível tanto do lado esquerdo como do lado direito, estendendo-se por toda a circunferência, situação semelhante relativa à cobertura do eixo.

Foi encontrada uma quantidade significativa de detritos na base da cobertura, com parafusos

The complexity of the AMM task is compounded by the lack of detailed images as well as similarity of nomenclatures used to identify different components.

Considering the complexity and criticality of the correct installation of the radial drive shaft, four checks are required in the AMM at the end of the installation procedure:

These four important checks were not highlighted on the job card specifically considering that all of the tasks referred the mechanics to the corresponding AMM procedure, which is what they were using. While the Installation of the radial drive shaft and shroud task had been signed-off by the mechanic who executed the work, there was no signature from the Inspector as this task had not been identified by the operator as a critical one which required an independent inspection.

Engine damage assessment

The engine damage assessment was carried out in two phases with the OEM teams. The access removal and the initial assessment of the damage extent were carried out in Amsterdam at an authorised service centre and were completed after the engine was inducted into the OEM, Rolls-Royce Derby.

External examination of the TGB/EGB revealed that the crack in the casing was visible on both the left and right-hand sides and extended all the way around, similar finding to the shroud that had ruptured.

There was a significant amount of debris at the base of the shroud, consisting of damaged bolt heads,

danificados, porcas, seções de O-rings, pedaços de chapa metálica fina distorcida e outras aparas metálicas (Figura 5).

O adaptador inferior aparentava estar numa posição incorreta e elevada no veio de entrada da TGB, atendendo a que este se destina a cobrir completamente as estrias do eixo de entrada da TGB.



Figura 5 || Danos e detritos na base da proteção do veio e danos nas estrias do veio da TGB

A parte superior da cobertura foi descida expondo a fixação superior do eixo radial. O conjunto composto pelo acoplamento ADS, adaptador ADS e eixo radial corresponde à configuração de projeto de entrada em serviço (EIS) do motor, com oito parafusos igualmente espaçados em torno das falanges.

As marcas de correlação do eixo radial e do adaptador ADS foram encontradas alinhadas, ao contrário da marca de correlação do acoplamento ADS que não estava alinhada e, de facto, não era visível sem desmontagem (Figura 6).

Foram encontrados danos consideráveis e descoloração na superfície externa da falange inferior devido ao contacto com a superfície interna do casquilho, iniciando uma perda de concentricidade do eixo radial e que o movimento orbital cortou o invólucro da cobertura inferior.

A instalação deste tipo de componentes sujeitos a elevadas cargas estruturais requer condições adequadas de limpeza e de iluminação por forma a evitar detritos e consequentes danos por objetos estranhos (FOD).

captive nuts, sections of O-ring, pieces of thin distorted metallic sheet debris and other metallic shavings (Figure 5).

The lower adapter appeared to be sat higher on the TGB input shaft than supposed to, as it is intended to completely cover the TGB input shaft splines.

Figure 5 || Damage and debris at the base of the shroud and TGB input shaft splines damaged

The upper portion of the shroud was lowered to expose the upper attachment of the radial drive shaft. The flanged joint consisting of the ADS coupling, ADS adapter and radial drive shaft was of an entry-into-service (EIS) standard which is configured with eight equally spaced bolts around the flanges.

While the correlation marks of the radial drive shaft and the ADS adapter were found aligned, the correlation mark of the ADS coupling was not aligned and, indeed, not visible from what could be viewed without disassembly (Figure 6).

There was considerable damage and discolouration on the outer surface of the lower flange from contact with the inner surface of the static shroud, indicating that there was a loss of concentricity of the radial drive shaft and that the orbiting motion sliced through the lower shroud casing.

The assembly of this type of components subject to high structural loads requires adequate cleaning and lighting conditions in order to avoid debris and consequent damage by foreign objects (FOD).

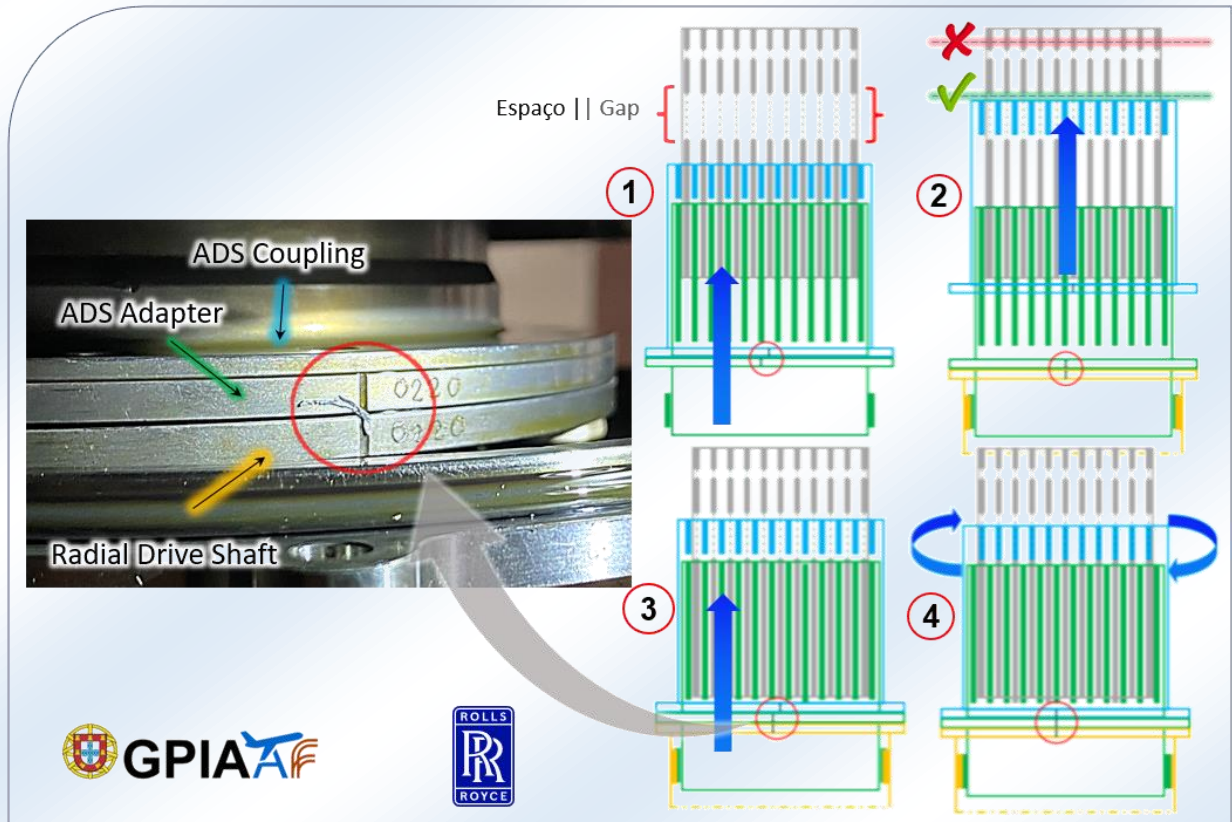


Figura 6 || Sequência de instalação e casquilho do ADS desalinhado em relação ao conjunto ADS

Figure 6 || Assembly sequence and ADS assembly showing the misalignment of the ADS coupling

Foi também detetada uma área de sobreaquecimento localizado (ponto de calor), exibindo descoloração, na superfície exterior do adaptador inferior e nas falanges radiais do veio de transmissão (Figura 7).

An area of localised overheating (heat spot), exhibiting discolouration, was also detected on the outer surface of the lower adapter and the radial drive shaft flanges (Figure 7).

Outra área de sobreaquecimento localizado era também visível no encaixe superior na face externa do eixo radial e do adaptador ADS.

Another area of localised overheating was also visible in the upper fitting on the outer face of the radial drive shaft and ADS adapter.

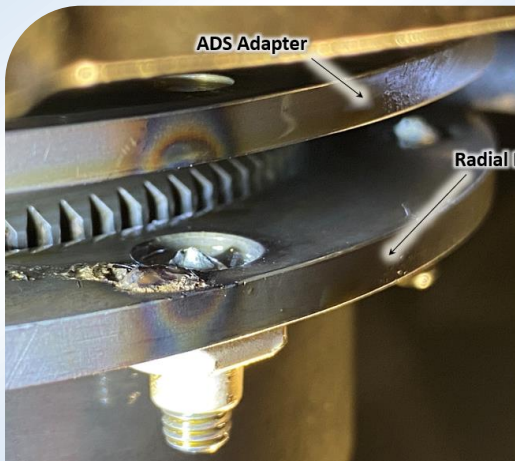


Figura 7 || Pontos quentes no conjunto ADS e casquilho inferior

Figure 7 || Heat spots detected on the ADS assembly and lower coupling

Este sobreaquecimento localizado pode ter origem em detritos metálicos retidos entre as flanges quando estes foram aparafusados ao conjunto, o que, com vibração normal e aumento das forças de atrito, gera uma área de sobreaquecimento localizado, semelhante à soldadura por atrito.

A remoção da caixa intermédia permitiu uma inspeção mais detalhada do veio de saída IP. O exame das estrias revelou desgaste na zona intermédia do eixo de saída IP, área que não é projetada para acoplamento com o conjunto ADS durante a operação do motor. Esta parte das estrias serve para permitir que os componentes ADS sejam instalados durante o procedimento de reinstalação e não para transmitir binário durante a operação do motor (Figura 8).

Such localised overheating can be provoked by trapped metallic debris between the flanges when they are bolted together which, with normal vibration and increased friction pressure, generates an area of localised overheating, resembling friction welding.

Removal of the intermediate gearbox allowed a more detailed inspection of the IP output shaft. Examination of the splines revealed wear to the mid and half-height splines of the IP output shaft, which are not designed to be engaged with the ADS assembly during engine operation. This portion of splines are there to allow the ADS components to be assembled during the reinstallation procedure and not to transmit torque while the engine is running (Figure 8).

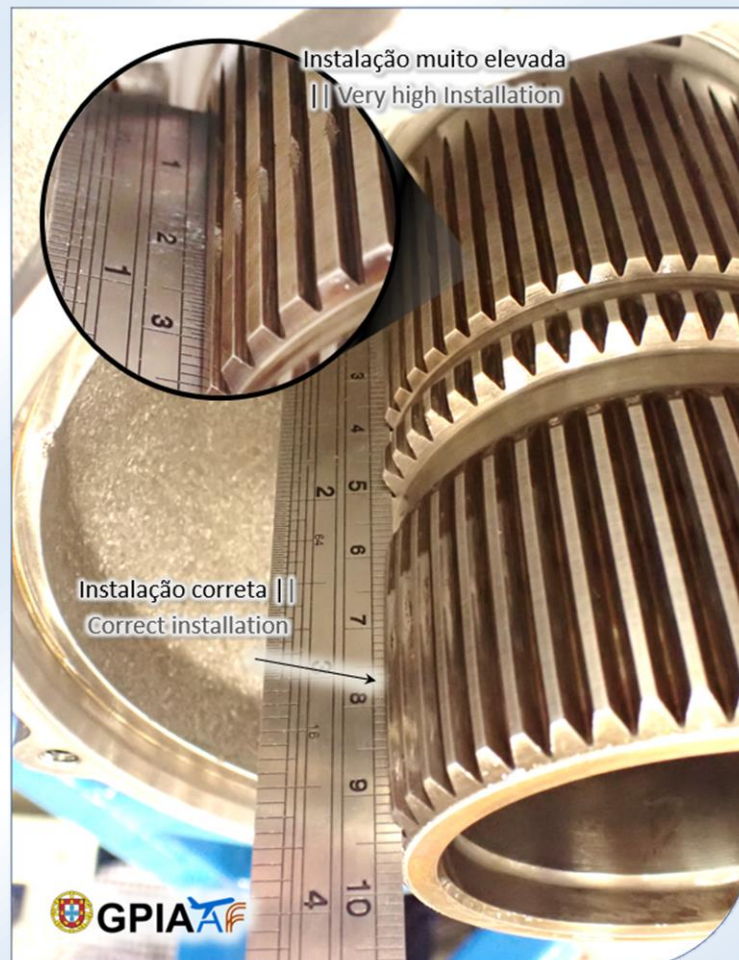


Figura 8 || Evidência de marcas nas estrias superiores (veio de saída IP)

Estas marcas de assinatura em combinação com os danos sofridos pelo adaptador inferior e pelo veio de entrada TGB sugerem que o veio de transmissão radial foi instalado incorretamente numa posição elevada.

Figure 8 || Signature marks to the upper splines of the IP output shaft

These signature marks in combination with the damage sustained by the lower adapter and the TGB input shaft suggest that the radial drive shaft was incorrectly installed in a very high installation configuration.

Ensaio de instalação do veio radial

A avaliação inicial ao motor nos Países Baixos revelou que o veio de transmissão radial teria sido instalado incorretamente, atendendo a que:

- O acoplamento ADS não estava alinhado corretamente no espaço das estrias do veio IP (marcas de correlação não alinhadas) do eixo de saída IP, proporcionando a retenção radial necessária do conjunto do eixo de transmissão,
- O eixo radial foi instalado numa posição elevada no eixo de saída IP e no eixo de entrada da TGB, resultando numa área de contacto mínima das estrias do adaptador inferior com as estrias do eixo de entrada da TGB.

Por forma a validar esta hipótese, foi realizada uma instalação experimental no Centro de Formação de Clientes da Rolls-Royce, em Derby.

O acoplamento ADS de motor Trent 1000 semelhante foi encostado acima até que o vedante assentasse nas estrias intermédias do eixo de saída IP.

As três flanges foram aparafusadas numa configuração semelhante ao motor do evento e com a marca de correlação de acoplamento ADS não alinhada com o adaptador ADS e as marcas do veio radial.

A instalação parcial (sem retenção radial pela correta instalação do acoplamento ADS na folga do eixo de saída IP) deslizou sob o seu próprio peso. A resistência do vedante entalado nas estrias intermédias do eixo de saída IP foi insuficiente para manter a sua posição relativa.

No entanto, o conjunto ADS não baixou sob o seu próprio peso quando o adaptador inferior ADS foi instalado na parte inferior do eixo de acionamento radial e posicionado de tal forma que o vedante estava assente na parte superior do eixo de entrada da TGB (instalação muito elevada).

De igual forma, o conjunto ADS permaneceu no lugar quando foi fisicamente movido ligeiramente para baixo, por forma ao vedante inferior ser posicionado sobre as estrias do eixo de entrada da TGB (instalação elevada).

O ensaio de instalação demonstrou com sucesso que, se o acoplamento ADS for instalado incorretamente, é possível que o conjunto ADS permaneça em posição no eixo de saída IP e no eixo de entrada TGB sem cair sob

Radial drive shaft trial Installation

Initial examination of the engine in the Netherlands found that the radial drive shaft had been incorrectly installed such that:

- The ADS coupling was not aligned correctly with the gap in the splines of the IP output shaft to allow rotation of the coupling (correlation marks could not be aligned) therefore the coupling did not provide required radial retention of the drive shaft assembly,
- The radial drive shaft was installed too high on the IP output shaft and the TGB input shaft resulting in minimal overlap of the lower adapter splines with the TGB input shaft splines.

A trial installation was conducted at the Rolls-Royce Customer Training Centre in Derby to validate these findings.

The ADS coupling was pushed up on a similar Trent 1000 engine until the weir seal was sitting on the half height splines of the IP output shaft.

The three flanges were bolted together in a similar configuration as the event engine; with the ADS coupling correlation mark not aligned with the ADS adapter and radial drive shaft marks.

The partially assembly (without the radial retention provided from the correct installation of the ADS coupling in the IP output shaft gap) dropped under its own weight. The resistance of the weir seal compressed on the half height splines of the IP output shaft was insufficient to hold it in place.

However, the ADS assembly did not drop under its own weight when the ADS lower adapter was installed to the bottom of the radial drive shaft and positioned in such a way that its weir seal was sat on the top of the TGB input shaft (very high installation).

Similarly, the ADS assembly remained in place when it was physically moved down slightly such that the lower weir seal was sat over the spines of the TGB input shaft (high installation).

The trial installation successfully demonstrated that if the ADS coupling is installed incorrectly, it is possible for the ADS assembly to remain in position on the IP output shaft and TGB input shaft without dropping



o seu próprio peso devido à resistência fornecida pelos vedantes do adaptador superior do ADS e do adaptador inferior.

under its own weight due to the resistance provided from the weir seals of the ADS upper adapter and lower adapter.

COMENTÁRIOS GPIAAF

Da avaliação aos danos no motor, a análise da documentação de manutenção e informações recebidas do operador sobre a atividade de manutenção realizada, a causa para a interrupção de funcionamento não comandada em voo do motor n.º 1 foi a incorreta reinstalação do eixo radial numa provável posição muito elevada após a execução de uma inspeção mandatória para avaliação de desgaste das estrias do acoplamento do ADS e do eixo de saída IP.

A incorreta instalação proporcionou um contacto mínimo entre as estrias (provavelmente apenas na zona de entrada) do adaptador inferior e o eixo de entrada da TGB. O vedante do adaptador inferior estaria assente no encaixe superior das estrias do eixo de entrada TGB, o que (em conjunto com a resistência fornecida pelo vedante superior, pressionado contra as estrias do eixo de saída IP) terá sido suficiente para evitar que o conjunto do eixo de acionamento deslizesse sob o seu próprio peso.

Após a conclusão das ações de manutenção, o motor foi submetido a uma série de ensaios no solo de baixa e alta potência antes do voo para Londres. Ao longo de seis horas de voo, o adaptador inferior acabou por se separar do veio de entrada da TGB, com danos subsequentes nos diferentes componentes do conjunto do veio de transmissão, invólucro da TGB e perda de acionamento da EGB, culminando na falha do motor.

Os seguintes fatores terão contribuído para a incorreta instalação do eixo radial:

- Complexidade da tarefa AMM, potenciado pelo recurso a imagens sem detalhe, bem como pela semelhança de nomenclaturas na identificação dos componentes com inconsistências entre os procedimentos AMM da Boeing e Rolls-Royce. Este será um fator particularmente relevante para técnicos de manutenção cuja primeira língua não é o inglês e onde tais práticas são propensas a causar confusão.
- A falta de requisitos inspeção independente após a instalação do veio radial, em particular no que diz respeito à verificação dos quatro passos

GPIAAF COMMENTS

From the engine damage assessment, analysis of maintenance documentation and information received from the operator regarding the performed maintenance activity, the cause for the uncommanded in-flight shutdown of engine no.1 was the incorrect reinstallation of the radial drive shaft following the execution of a mandatory inspection for wear on the abutting shoulders of the ADS coupling and the IP output shaft splines.

The incorrect installation was such that there was minimal engagement between the splines (most likely just the lead-in splines) of the lower adapter and the TGB input shaft. The weir seal of the lower adapter would have been sitting on the upper shoulder of the TGB input shaft splines which (together with the resistance provided from the upper weir seal, pressed against the splines of the IP output shaft) was sufficient to maintain the drive shaft assembly from dropping under its own weight.

Upon conclusion of the maintenance actions, the engine was subjected to a series of low and high-speed engine ground runs prior to its flight to London. Over six hours into the flight, the lower adapter ultimately separated from the TGB input shaft with ensuing damage to the different components of the drive shaft assembly, TGB casing and loss of drive to the EGB which culminated in the shutdown of the engine.

The following factors contributed to the incorrect installation of the Radial Drive Shaft:

- Complexity of the AMM task, which was compounded by the lack of detailed images as well as similarity of nomenclator used to identify different components and the inconsistent use thereof between Boeing AMM and Rolls-Royce procedures.
This is of particular relevance to maintenance technicians around the world whose first language is not English and where such factors are prone to causing confusion.
- The lack of requirement for an inspection (independent inspection) following the



exigidos nas instruções do AMM para garantir uma instalação adequada.

- Falta de experiência da equipa de manutenção na tarefa atribuída, atendendo a não terem recebido qualquer formação específica sobre um procedimento crítico e complexo (reinstalação do veio de transmissão radial), e,
- Possíveis fatores ambientais (como condições de iluminação) que podem explicar os detritos que provocaram as marcas de sobreaquecimento.

Ações de segurança declaradas pelas organizações envolvidas:

Pelo fabricante do motor (OEM):

- Garantiu as condições para uma inspeção inicial ao motor em Amsterdão, conduziu um teste de instalação em Derby e organizou uma avaliação completa ao motor por especialistas da Rolls-Royce que permitiu uma compreensão profunda e avaliação de danos decorrentes do evento.
- Destacou e divulgou nos fóruns de operadores (WTTs) os resultados e consequências da potencial instalação incorreta do conjunto ADS.
- Emitiu um Aviso aos Operadores (NTO n.º 329) em maio de 2023 reiterando a importância das verificações de instalação descritas no AMM.
- Implementou melhorias no procedimento de instalação do eixo radial, submetendo à Boeing para incorporação no AMM, incluindo clarificação e consistência de linguagem, bem como inclusão de diagramas de instalação.
- Emitiu em agosto de 2023 um Boletim de Serviço de modificação SB72-K667 para mitigar desgastes nas estrias do eixo de saída ADS e acoplamento IP pelo redimensionamento das estrias, criando uma área de contato superior. Adicionalmente, a modificação utiliza o mesmo sistema de fixação introduzido numa modificação opcional (SB72-H631 lançada em janeiro de 2015 para tratar problemas de vibração) recorrendo a um furo e parafuso deslocado. Garantindo desta forma que os três componentes do conjunto ADS estejam todos corretamente alinhados com todos os parafusos instalados.

O operador:

Os elementos da equipa de manutenção que trabalharam no motor receberam treino adicional de

instalação do eixo radial, em particular com regards to verification of the four checks required in the AMM instructions to ensure proper installation.

- The maintenance team's lack of experience with the assigned task, the fact that they had not received any specific training on what is considered a critical and complex procedure (re-installation of the radial drive shaft), and,
- Possible environmental factors (such as lighting conditions) which may help explain the debris which provoked the heat spots.

Safety actions declared from the involved organisations:

Engine OEM:

- Made arrangements for an initial inspection of the engine in Amsterdam, conducted the trial installations in Derby and organised the engine strip which allowed for an in-depth understanding and damage assessment of the event by Rolls-Royce experts.
- Highlighted the potential outcomes of an incorrect installation of the ADS Assembly at operator forums (WTTs).
- Issued a Notice to Operators (NTO No. 329) in May 2023 reiterating the importance of the AMM installation checks.
- Made improvements to the AMM radial drive shaft installation procedure which were submitted to Boeing and included clarity and consistency of language as well as the addition of installation diagrams.
- Issued modification Service Bulletin SB72-K667 in August 2023 to address the wear on the abutting shoulders of the ADS Coupling and IP Output Shaft splines by means of increasing the size of the splines which creates an increased abutment contact area. Additionally, this modification utilises the same baulking feature which was introduced in an earlier optional modification (SB72-H631 released in January 2015 to address vibration issues) by means of an off-set bolt hole. This ensures that the three components of the ADS Assembly are all oriented correctly if all the bolts are fitted.

Operator:

The maintenance team members which worked on the engine received situational awareness training,



conscientização, treino recorrente no produto Boeing 787 Trent 1000, com foco em fatores humanos em manutenção e treino prático.

O operador eliminou a tarefa de manutenção do seu âmbito de execução recorrendo ao OEM a execução das inspeções até todos os seus motores serem modificados por forma a eliminar a tarefa de inspeção repetitiva.

Agência Europeia para a Segurança da Aviação (EASA):

A EASA incluiu o evento nas suas reuniões regulares de gestão da Aeronavegabilidade Continuada (CAW) Trent 1000 com a Rolls-Royce e organizou algumas reuniões específicas sobre as ações de acompanhamento.

Uma área de particular interesse foi o processo de aprovação quando, por exemplo, as instruções de manutenção do titular do certificado de tipo do motor (TCH) são transferidas do manual de manutenção do motor para o manual de manutenção da aeronave. Mais especificamente, em relação a uma tarefa, inicialmente destinada a ser realizada em oficina de motores, tornando-se um procedimento em asa considerando potenciais restrições como diferentes níveis de experiência, barreiras linguísticas, condições de trabalho, ferramentas e pressões operacionais da companhia aérea.

Em detalhe, material de orientação (GM) GM4 21.A.7(b) Integração da ICA entre produtos (aeronaves, motores, hélices) publicado na Decisão 2021/007/R do Diretor Executivo de 27 de maio de 2021.

Como tal, a responsabilidade de mover uma tarefa, p. ex., do manual do motor para o AMM da aeronave está ao nível do TCH sem ser necessário o envolvimento do regulador.

No entanto, este GM servirá também de base para a supervisão regulatória da TCH *Design Organisation Approval* (DOA), algo que não existia no passado.

A este respeito, a Rolls-Royce declarou que, embora dispusesse de provas que sustentassem a realização da atividade de validação do procedimento de instalação do veio radial, no âmbito do programa de ensaios de voo do Boeing 787 na Boeing, não conseguiu encontrar provas de que tinha sido elaborado um relatório de validação para esta tarefa específica de AMM. Note-se que, no momento em que a tarefa foi transferida para

recurrent Boeing 787 Trent 1000 training, with a focus on human factors, and on-the-job training.

The operator removed the task from its maintenance scope by using the OEM to perform the inspections until all of its engines were modified to eliminate the repetitive inspection task requirements.

European Union Aviation Safety Agency (EASA):

EASA included the event in their regular Trent 1000 Continued Airworthiness (CAW) management meetings with Rolls-Royce and arranged some specific meetings regarding the follow-up actions.

A particular area of interest was the approval process when, for example, engine Type Certificate Holder (TCH) maintenance instructions are transferred from the engine maintenance manual to the aircraft maintenance manual. More specifically, in relation to a task, initially intended to be accomplished in an engine shop, becoming an on-wing procedure considering constraints such as differing levels of experience, language barriers, working conditions, tooling and airline operational pressures.

EASA referred Guidance Material (GM) GM4 21.A.7(b) *Integration of ICA between products (aircraft, engines, propellers)* published in Executive Director Decision 2021/007/R of the 27 May 2021.

As such, the responsibility of moving a task, say, from the engine manual to the AMM remains at the level of the TCH without any required involvement from the regulator.

However, this published GM will also serve as the basis for regulatory oversight of the TCH *Design Organisation Approval* (DOA), something which had not existed in the past.

In this regard, Rolls-Royce declared that while they had evidence to support that validation activity had taken place of the Radial Drive Shaft installation procedure, as part of the Boeing 787 flight test programme at Boeing, they were unable to find evidence that a validation report was produced for this particular AMM task. It should be noted that at the time this task was transferred to the AMM, there was no EASA requirement to maintain validation records.



o AMM, não existia qualquer requisito da EASA para manter registos de validação.

Os requisitos da Part 21 foram alterados em maio de 2022 no que diz respeito ao processo de verificação para publicações técnicas e ICA sob o GM.21.A265(h), exigindo que os titulares de DOA estabeleçam procedimentos mais rigorosos.

Os processos da Rolls-Royce relacionados ao desenvolvimento e revisão de publicações técnicas foram alterados em 2022 para atender aos novos requisitos.

Tendo em conta a cooperação recebida das partes envolvidas e a sua resposta proativa às medidas de mitigação, o GPIAAF decidiu não abrir uma investigação formal Anexo 13, embora, durante a sua avaliação do evento, terem sido recolhidas todos os factos e as evidências necessárias para o fazer.

Em alternativa, a investigação optou por apoiar as iniciativas e ações internas já em curso pela Rolls-Royce, Avianca e EASA, no âmbito dos seus sistemas de gestão da segurança, procurando a mitigação dos fatores identificados num curto prazo.

Todos os protocolos de comunicação entre as partes e autoridades de investigação previstas no anexo 13 e respetivo processo de consulta foram mantidos, no interesse da exatidão factual e salvaguardando a transparência.

Como tal, o processo de avaliação deste evento é considerado encerrado com a publicação deste relatório.

O operador, OEM's e as autoridades de certificação competentes devem, dentro das suas respetivas competências, adotar as medidas consideradas necessárias para evitar a recorrências dos factos reportados.

Este relatório é publicado em duas línguas, Português e Inglês. Em caso de discrepâncias entre as duas versões, o texto em português tem prevalência.

Em conformidade com o Regulamento (UE) n.º 996/2010 do Parlamento Europeu e do Conselho, e com o Decreto-lei n.º 318/99, a investigação e o relatório correspondente não têm por objetivo o apuramento de culpas ou a determinação de responsabilidades.

Este relatório foi preparado, somente, para efeitos de prevenção de acidentes. O seu uso para outro fim pode conduzir a conclusões erradas.

Part 21 requirements were changed in May 2022 in regard to the verification process for technical publications and ICA under GM.21.A265(h), requiring DOA holders to establish more stringent procedures.

Rolls-Royce processes related to the creation and revision process of technical publications were changed in 2022 to meet the new requirements.

In view of the cooperation received from the parties involved and their proactive response towards mitigation action, GPIAAF decided not to open a formal Annex 13 investigation even though, during its evaluation of the event, all the necessary facts and evidence was collected to do so.

Instead, it chose to support the initiatives and internal actions already underway at Rolls-Royce, Avianca and EASA, within the framework of their safety management systems, to seek mitigation within a shorter timeframe.

Annex 13 communication protocols with Safety Investigation Authorities (SIAs) of the involved parties and the consultation process were however maintained in the interest of factual accuracy and transparency.

As such, the evaluation process for this event is considered closed with the publication of this report.

The operator, OEM's and the competent certifying authorities should, within their respective competences, take the measures deemed necessary to prevent recurrence of the reported facts.

This report is published in two languages, Portuguese and English. In the event of any discrepancy between these versions, the Portuguese text shall prevail.

In accordance with EU Regulation No. 996/2010 from the European Parliament and Council, and Decree-Law No. 318/99, it is not the purpose of any safety investigation and associated investigation report to apportion blame or liability.

The only aim of this report is to disseminate lessons which may help to prevent future accidents. Its use for other purposes may lead to incorrect conclusions.