



CÓPIA Nº

MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES E COMUNICAÇÕES  
GABINETE DE PREVENÇÃO E INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTES COM AERONAVES  
**GPIAA**

## RELATÓRIO FINAL DE INCIDENTE

**AGROAR / FLYANT**

**Boeing B-737/300F**

**EC-KDJ**

**Aeroporto da Madeira**

**27 de Maio de 2008**

ESTÁ CONFORME O ORIGINAL

**GPIAA**

Homologo nos termos do nº  
3 do artº 26º do D.L. 318/99,  
de 11/03/1999

**2009-04-13**

O Director-Adjunto,  
Em substituição do Director

*Fernando Ferreira dos Reis*

RELATÓRIO FINAL Nº 07/INCID/2008

### NOTA

O presente relatório exprime as conclusões técnicas apuradas pelo Investigador Responsável às circunstâncias e às causas desta ocorrência.

Em conformidade com o Anexo 13 à Convenção sobre Aviação Civil Internacional, Chicago 1944, com a Directiva da C.E. nº 94/56/CE, de 21/11/94, e com o nº 3 do art.º 11º do Decreto Lei Nº 318/99, de 11 de Agosto, a investigação, análise, conclusões e recomendações deste relatório não têm por objectivo o apuramento de culpas ou a determinação de responsabilidades mas, e apenas, a determinação de causas e a formulação de recomendações que evitem a sua repetição.

O único objectivo deste relatório técnico é retirar ensinamentos susceptíveis de prevenir futuros acidentes.

	ÍNDICE	
TÍTULO		PÁGINA
	Sinopse .....	04
<b>1.</b>	<b>INFORMAÇÃO FACTUAL</b>	
1.1	História do Voo .....	05
1.2	Lesões .....	06
1.3	Danos na Aeronave .....	06
1.4	Outros Danos .....	06
1.5	Pessoas a Bordo .....	06
1.6	Aeronave .....	07
1.7	Meteorologia .....	07
1.8	Ajudas à Navegação .....	08
1.9	Comunicações .....	08
1.10	Aeródromo .....	08
1.11	Registadores de Voo .....	09
1.12	Destroços e Impactos .....	09
1.13	Médica e Patológica .....	09
1.14	Fogo .....	09
1.15	Sobrevivência .....	09
1.16	Ensaios e Pesquisas	
	1.16.1 Marcas na Pista .....	09
	1.16.2 Gravador de Parâmetros de Voo (FDR)	
	1.16.2.1 Generalidades .....	10
	1.16.2.2 Potência dos Motores .....	11
	1.16.2.3 Leme de Direcção e Rumo do Avião .....	11
	1.16.3 Sistema de Potência Automática (Autothrottle) .....	12
1.17	Organização e Gestão .....	13
1.18	Informação Adicional .....	13
1.19	Técnicas de Investigação Utilizadas .....	13
<b>2.</b>	<b>ANÁLISE</b>	
2.1	Sequência da Descolagem .....	14
2.2	Sistema de Controlo Automático de Potência	
	2.2.1 Manete Automática (Autothrottle) .....	15
	2.2.2 Controlo da Gestão de Potência (PMC) .....	16
	2.2.3 Resumo .....	17
2.3	Hidroplanagem	
	2.3.1 Generalidades .....	17
	2.3.2 Hidroplanagem Dinâmica .....	17
	2.3.3 Hidroplanagem de Reversão de Borracha .....	18
	2.3.4 Hidroplanagem Viscosa .....	19
<b>3.</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	
3.1	Factos Estabelecidos .....	20
3.2	Causas do Acidente	
	3.2.1 Causa Primária .....	21
	3.2.2 Factores Contributivos .....	21
<b>4.</b>	<b>RECOMENDAÇÕES DE SEGURANÇA</b> .....	22

## SINOPSE

No dia 27 de Maio de 2008, pelas 12:20 UTC<sup>1</sup>, a aeronave Boeing, modelo B-737/300F, matrícula EC-KDJ, efectuava um voo de transporte de carga, do aeroporto da Madeira (LPMA) para o aeroporto de Lisboa (LPPT).

Quando o piloto ajustou a potência dos motores e activou a Auto-throttle (A/T) para a descolagem, o avião começou a fugir para a direita sem que pudesse ser controlado com “steering” da roda de nariz e travagem diferencial. O piloto reduziu a potência, de imediato, mas mesmo assim a aeronave foi parar à berma direita da pista, onde finalmente foi possível recuperar o controlo e trazer o avião de volta ao eixo central da pista.

Durante esta derrapagem, a roda exterior do trem principal esquerdo embateu numa das luzes do lado direito da pista, a qual foi destruída, ao mesmo tempo que provocava um golpe profundo no pneu.

A tripulação saiu ilesa do incidente e não se registaram outros danos, na aeronave ou a terceiros.

O GPIAA foi informado da ocorrência, já a aeronave voava para Lisboa, tendo sido iniciado o processo de investigação, notificando as entidades competentes e solicitando a intervenção do CIAIAC, no sentido de obter a transcrição do FDR e outra informação relevante.

*Desta investigação foram elaborados dois relatórios, um em língua portuguesa e outro em língua inglesa. Em caso de discrepância ou conflito, a versão portuguesa terá precedência.*

<sup>1</sup> - Todas horas referidas neste relatório, salvo indicação em contrário, são horas UTC (Tempo Universal Coordenado). Nesta época do ano, em Portugal continental e Madeira, a hora local era igual à hora UTC + 1.

## 1. INFORMAÇÃO FACTUAL

### 1.1 História do Voo

A aeronave de marca Boeing, modelo B-737/300F, s/n 23743, matrícula espanhola EC-KDJ, propriedade da empresa espanhola *Flyant cargo*, encontrava-se ao serviço da operadora portuguesa *Agroar* e efectuava um voo de transporte de carga entre a Madeira (LPMA) e Lisboa (LPPT).

Depois de um forte aguaceiro ter caído sobre o aeroporto da Madeira, com a pista ainda molhada, a aeronave iniciou a rolagem para a posição de descolagem da pista 05. Depois de ter feito “*backtrack*” na pista e uma volta de 180°, na raqueta, a aeronave foi alinhada na cabeceira da pista e, depois de ter obtido a autorização de descolagem, o piloto avançou as alavancas de controlo da potência dos motores para 55% de N1 e activou a “*Autothrottle*”, pressionando “TO/GA”.

O avião começou a movimentar-se para a frente mas os motores não reagiram simetricamente (o motor esquerdo acelerou mais que o direito), tendo a aeronave iniciado uma derrapagem para o lado direito, a qual não foi possível controlar através da utilização dos meios normais de controlo e da redução da potência dos motores, indo parar na berm de segurança do lado direito da pista (*figura nº 1*).



Figura Nº 1

Ao sair da faixa de descolagem, a roda exterior do trem principal esquerdo partiu uma das luzes laterais da pista.

Tendo recuperado o controlo da aeronave, o piloto regressou ao eixo da pista, rolou e saiu pelo *taxiway* “C”, em direcção à placa de estacionamento.

Assumindo que tudo estava a funcionar normalmente, inverteu o sentido de marcha e rolou para o início da pista para nova tentativa de descolagem.

Já depois de ter alinhado no início da pista, a tripulação reparou que uma das luzes laterais da pista, na zona onde a aeronave entrou na berma, se encontrava partida, pelo que resolveu regressar ao estacionamento para investigar possíveis estragos na aeronave.

Na inspecção ao avião, foi então detectado o pneu principal exterior da perna esquerda do trem de aterragem com um golpe profundo, que exigia a sua substituição.

A roda foi substituída, conforme Manual de Manutenção da Aeronave (AMM) 32.45.11, tendo a aeronave prosseguido o seu serviço de voo programado.

## 1.2 Lesões

Nenhum dos dois tripulantes a bordo sofreu qualquer lesão.

## 1.3 Danos na Aeronave

A aeronave não sofreu danos, mas o pneu da roda exterior principal esquerda sofreu um golpe profundo e a roda teve que ser substituída antes da saída (figura nº 2).



Figura Nº 2

## 1.4 Outros Danos

Uma das luzes laterais da pista foi destruída.

## 1.5 Pessoas a Bordo

A bordo, seguiam apenas dois pilotos, Comandante e Copiloto.

Dos seus documentos pessoais foram retiradas as seguintes referências:

Referências	Comandante	Copiloto
<b>Pessoais:</b>		
Sexo:	M	M
Idade:	46	41
Nacionalidade:	Portuguesa	Espanhola
Licença de Voo:	ATPL(A)	CPL(A)
Validade:	22-09-2008	25-01-2012
Qualificações:	B-737; IR	B-737; IR
Último Exame Médico:	11-03-2008	20-02-2008
Restrições / Limitações:	Nil	Nil
<b>Horas de Voo:</b>		
Total:	9 911:00	370:00
Nos últimos 90 dias:	111:00	18:00
Nos últimos 30 dias:	44:45	18:00
Na última semana:	06:45	07:00
Nas últimas 24 horas:	03:50	03:30

## 1.6 Aeronave

O avião, com a matrícula espanhola EC-KDJ, havia sido convertido para transporte de carga, tinha um Certificado de Navegabilidade válido, emitido pela DGAC Espanhola, com capacidade para quatro pessoas, uma Massa Máxima à Descolagem (MTOM) de 139500lbs (63276kgs) e as seguintes referências:

REFERÊNCIA	CÉLULA	# 1 MOTORES	#2
<b>Marca:</b>	Boeing Aircraft Comp.	CFM International	
<b>Modelo:</b>	B-737/300F	CFM56-3B2	
<b>Nº de Série:</b>	23743	723102	724511
<b>Ano de fabrico:</b>	1988	N/D	N/D
<b>Horas de Voo:</b>	53 935	47 920	40 126

## 1.7 Meteorologia



Figura Nº 3

Era dia e o céu apresentava-se muito nublado, com tecto alto, começando a aparecer algumas abertas. O vento soprava moderado de NE (12kts) e tinha chovido recentemente. No momento da descolagem, a pista encontrava-se molhada (*figura nº 3*).

Não se registava turbulência, “*wind shear*” ou “*micro bursts*” e a direcção e intensidade do vento não punha qualquer restrição para a descolagem.

## 1.8 Ajudas à Navegação

Não aplicável.

## 1.9 Comunicações

Não aplicável.

## 1.10 Aeródromo

Situado no lado oriental da ilha, a cerca de 13km da cidade do Funchal, o aeroporto da Madeira está certificado para operação de todo o tipo de aeronaves, até “*wide body*”, sendo servido por uma pista com 2781m, orientada na direcção 050°/230° a 192' de altitude (*figura nº 4*).



Figura Nº 4

Para ocidente (lado terra) o terreno sobe muito rapidamente e muito próximo da pista. Este facto provoca frequentes variações do vento, associadas a formação de turbulência, cizalhamento do vento (*wind shear*) e “*micro bursts*”, o que obrigou ao estabelecimento de procedimentos específicos e à obrigatoriedade de uma qualificação especial das tripulações (veja-se AIP Portugal 2.20.2).

Com um gradiente médio de 0.55%, e com “*grooving*” na zona central da faixa de aterragem, entre as cabeceiras, o escoamento das águas pluviais era eficiente. Só as zonas de cabeceira foram deixadas lisas e com o pavimento de cimento.

### **1.11 Registadores de Voo**

A aeronave estava equipada com um gravador de voz (CVR) e um gravador de parâmetros de voo (FDR).

O primeiro, com limitada capacidade de gravação, não foi desligado depois da ocorrência, a aeronave voou a seguir para Lisboa e os registos relevantes foram apagados por sobreposição de gravações posteriores.

O segundo (FDR s/n FRE3014) tinha uma maior autonomia de gravação e, uma vez que a aeronave regressou à base do operador, foi possível recuperar a gravação e descodificá-la, obtendo um registo dos diferentes parâmetros, durante o início da descolagem.

### **1.12 Destroços e Impactos**

Não aplicável.

### **1.13 Médica e Patológica**

Não aplicável.

### **1.14 Fogo**

Não houve fogo.

### **1.15 Sobrevivência**

Não aplicável.

### **1.16 Ensaios e Pesquisas**

#### **1.16.1 Marcas na Pista**

A trajectória da aeronave ficou bem sinalizada na pista e as marcas eram bem visíveis, depois da ocorrência (*figura nº 5*).

Verificou-se que os rastros começavam sobre as marcas do início da pista (*teclas do piano*) e só acabavam na berma de segurança, cerca de 80m adiante. O contraste entre as marcas e a superfície da pista era significativo. Mais claro nas zonas pintadas de branco e mais

escuro nas zonas de asfalto, como se tivesse havido uma acção de “lavagem” onde os pneus actuaram como “vassoura”.



Figura Nº 5

A inspecção aos pneus não revelou sinais de desgaste anormal nem alteração significativa da superfície.

## 1.16.2 Gravador de Parâmetros de Voo (FDR)

### 1.16.2.1 Generalidades

O FDR foi removido no dia 13 de Junho de 2008 e foi recuperada e decodificada a informação, por parte do operador. A informação relevante para a investigação encontrava-se entre as estações (*frames*) 2790 e 2850, correspondentes às horas 12:25:10 e 12:29:10 do dia 27 de Maio de 2008, respectivamente.

Os registos anteriores e posteriores confirmavam a operação normal do FDR, dando assim credibilidade à informação.

A análise desta informação permitiu a reconstituição da manobra de descolagem rejeitada, com indicação da variação dos principais parâmetros. A actuação dos travões e do controlo da roda de nariz (*steering*) não foram gravadas e, como tal, não puderam ser consideradas para este estudo. Somente as variações da potência dos motores, do aproamento da aeronave e do leme vertical puderam ser analisadas.

Os flaps permaneceram na posição normal de descolagem, a aceleração lateral não foi gravada e a velocidade não teve variação porque não chegou a atingir o valor mínimo para indicação.

De modo a melhorar a legibilidade dos gráficos, alguns parâmetros foram apagados das imagens que se apresentam neste relatório.

### 1.16.2.2 Potência dos Motores

Foi utilizado o controlo automático de potência para a descolagem, tendo sido a “Auto-Throttle” (A/T) ligada depois de o avião estar alinhado com a pista, às 12:21:35 (*frame* 2735), tendo permanecido ligada até às 12:26:40 (2812). Quando autorizado para a descolagem (12:26), o piloto avançou as “*manetes*” para cerca de 55%N1 e premiu o interruptor “TO/GA”, activando assim o sistema para a introdução da potência de descolagem seleccionada no “FMC”. A actuação da A/T não foi simétrica para ambos os motores, tendo o motor esquerdo (#1) acelerado para cerca de 88%N1, enquanto que o motor direito não ultrapassava os 67%N1 (*figura nº 6*).

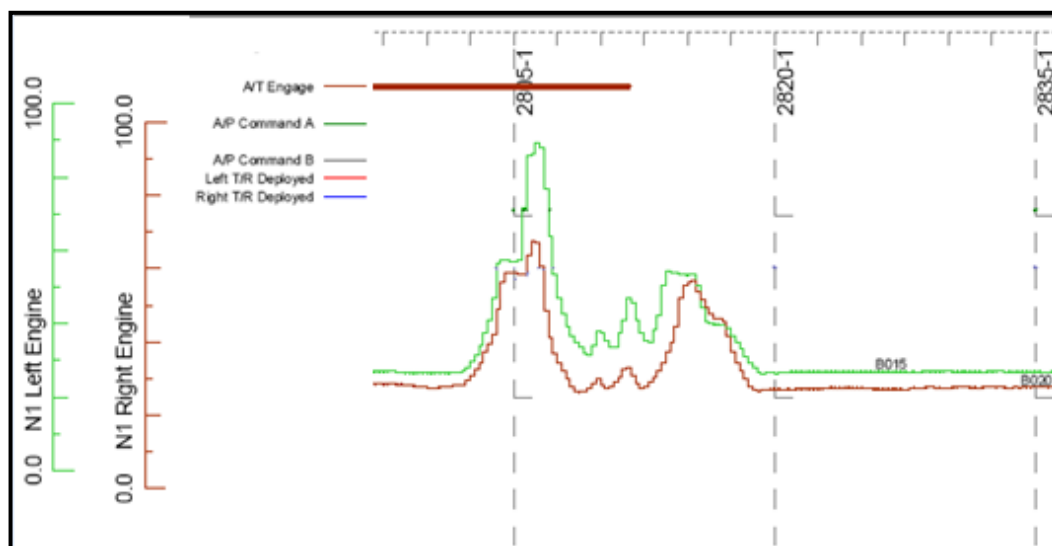


Figura Nº 6

Houve uma redução imediata para “Idle”, logo seguida de aceleração intermitente (A/T ainda ligada), só estabilizando às 12:27:10 (*frame* 2820), depois de a A/T ter sido desligada (*frame* 2812) e as “*manetes*” reduzidas.

Durante toda a manobra, os inversores de potência dos motores (Thrust Reversers) não foram actuados.

### 1.16.2.3 Leme de Direcção e Rumo do Avião

Não existindo registos da posição da roda de nariz, é impossível fazer uma associação directa da posição do leme de direcção com a variação do aproamento do avião, não só por o leme não ser efectivo a estas velocidades como por a acção da roda do steering ter precedência sobre a actuação dos pedais na roda de nariz.

Logo no início da decolagem (12:26:00) verificou-se um deslocamento do leme de direcção para a direita (17°), corrigido para neutral, mas imediatamente levado ao máximo da sua deflexão para a direita (>20°). Entretanto o rumo aumentava de 048° para 090° (*figura nº 7*). Cerca de vinte segundos depois o leme regressou e manteve-se aproximadamente na posição neutral, mas o rumo do avião variou de 090° para 030°, voltou ao rumo da pista (045°) e novamente para a direita (110°), antes de estabilizar no rumo da pista (12:28:00 / *frame 2832*).

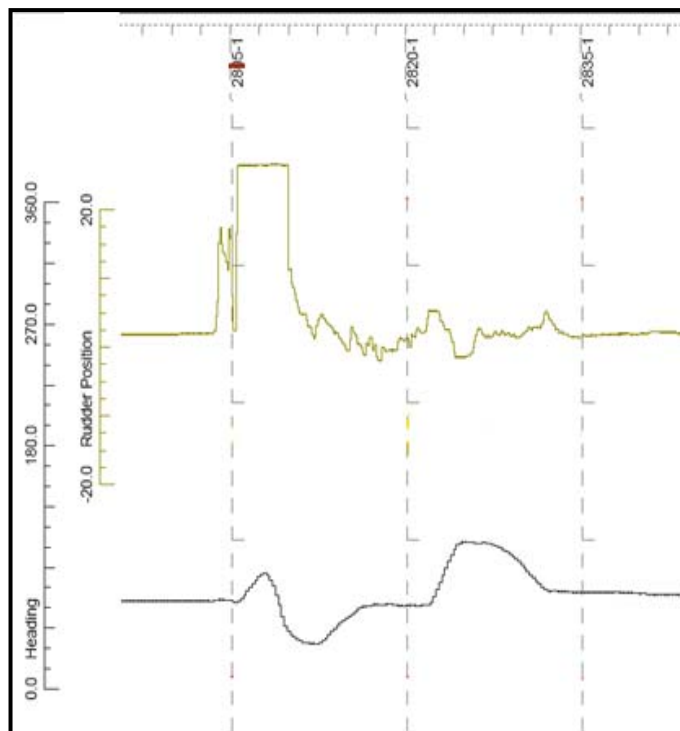


Figura Nº 7

Apesar de todas estas variações do aproamento da aeronave, a sua trajectória, na pista, manteve-se sensivelmente constante, em direcção, até ao limite da berma de segurança do lado direito.

### 1.16.3 Sistema de Potência Automática (Autothrottle)

A aeronave estava equipada com um sistema de controlo automático da potência dos motores (A/T), operando em associação com o sistema automático de controlo de voo (AFCS), permitindo o controlo de potência ao longo de todo o perfil do voo, desde a decolagem até à aterragem, actuando as manetes dos motores através de motores independentes.

Depois do incidente, os técnicos da manutenção inspeccionaram o sistema, efectuaram alguns ensaios, mas não detectaram nenhuma falha que pudesse ter provocado a assimetria de potência. Para evitar surpresas, a A/T foi desactivada, aguardando testes suplementares na base da companhia, onde o computador da A/T foi removido e enviado ao fornecedor (*Futura Airways*) para investigação.

Entretanto o fornecedor entrou em processo de falência bloqueando todo o acesso ao equipamento e impossibilitando a obtenção de informação complementar sobre as condições e desempenho do computador.

### **1.17 Organização e Gestão**

O operador – AGROAR – não tinha capacidade para operação directa de aeronaves deste tipo, pelo que celebrou um contrato com o operador FLYANT para a realização dos voos.

A tripulação pertencia à “*Flyant cargo*” e operava de acordo com as suas normas e procedimentos, em face das certificações de que era titular, conforme definido no Manual de Operações de Voo e AOC.

### **1.18 Informação Adicional**

Não foi encontrado nenhum registo de mau funcionamento ou outra informação sobre a operação dos motores. Não foi possível precisar se havia alguma discrepância na posição dos interruptores dos “PMC”, de ambos os motores. O FDR também não registou estes parâmetros, por não estar preparado para tal.

### **1.19 Técnicas de Investigação Utilizadas**

Não foram utilizadas quaisquer técnicas especiais de investigação.

## 2. ANÁLISE

### 2.1 Sequência de Descolagem

Uma vez a aeronave pronta para o voo, a tripulação obteve a respectiva autorização dos órgãos ATM do aeroporto da Madeira, rolou para a posição de descolagem da pista 05, efectuando as respectivas verificações de comandos e instrumentos, fez inversão de marcha na raqueta do início da pista, ligou a A/T, completou o checklist de antes da descolagem, alinhou no eixo central, sobre as marcas de cabeceira e aguardou a autorização para descolar.

Obtida esta, o piloto largou os travões, avançou as “manetes” para a posição central (55%N1) e carregou nos interruptores de “TO/GA”. A aceleração dos motores não foi simétrica, o motor esquerdo acelerou para 88%N1 enquanto o direito estabilizava a 67%N1.

Simultaneamente verificou-se uma deflexão do leme de direcção para a direita (17°) e o rumo do avião começou a aumentar até atingir 090°. O piloto reduziu a potência dos motores (20%N1) mas a A/T permanecia engatada e a potência aumentou novamente (40%N1) até que a A/T foi desligada e as manetes reduzidas para “idle” (figura nº 8).

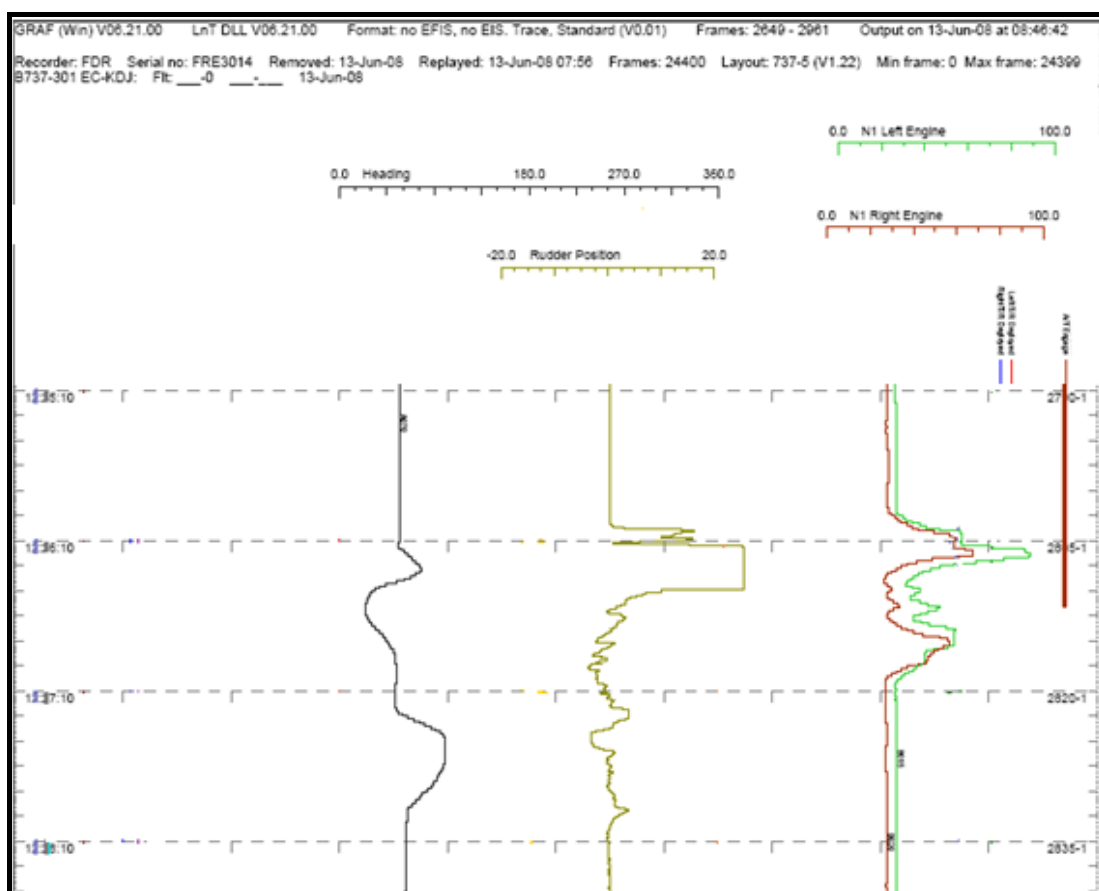


Figura Nº 8

A partir do momento em que foi seleccionada “TO/GA” e a aeronave começou a mover-se verificou-se um aumento de rumo e começou a deslizar, seguindo uma trajectória com cerca de 30° para a direita, em relação ao eixo da pista, até parar na berma de segurança, próximo da relva. Enquanto o avião seguia uma trajectória sensivelmente rectilínea, verificaram-se variações significativas de rumo, da potência dos motores e da deflexão do leme de direcção. Apesar de não haver registos da posição da roda de nariz e dos travões, é de supor que o piloto tentou controlar a aeronave através do “steering” e com travagem diferencial, só que estas acções não tiveram qualquer efeito porque a aeronave estava em derapagem.

## 2.2 Sistema de Controlo Automático de Potência

### 2.2.1 Manete Automática (Autothrottle)

No cap. 4.20 do Manual de Operação da Aeronave (AOM) do B-737/300 pode ler-se:

#### *Sistema de Autothrottle*

*O sistema de A/T permite o controlo automático da potência dos motores desde o início da decolagem e durante a subida, cruzeiro, descida, aproximação e borrego ou aterragem. Em operação normal o FMC fornece ao sistema de A/T os valores limite de NI.*

*A A/T movimenta as manetes através de servo motores independentes, um para cada manete. Posicionando manualmente as manetes não desliga a A/T, a não ser que seja ultrapassada a diferença de 10° entre as manetes, durante uma aproximação com ambos os Pilotos Automáticos ligados e depois de ser anunciado o modo “FLARE ARMED”. Depois de um posicionamento manual das manetes, a A/T pode reposicioná-las, de modo a cumprir com as potências exigidas pelo computador, excepto quando estiverem anunciados os modos “THR HLD” ou “ARM”.*

*O sistema de A/T opera convenientemente com os PMC ON ou OFF. Em qualquer caso a A/T respeita os limites de NI do FMC. Durante a operação normal recomenda-se que ambos os PMC estejam em ON ou OFF, para garantir um mínimo de separação entre as manetes. A decolagem com A/T pode ser efectuada com ambos os PMC em ON ou OFF.*

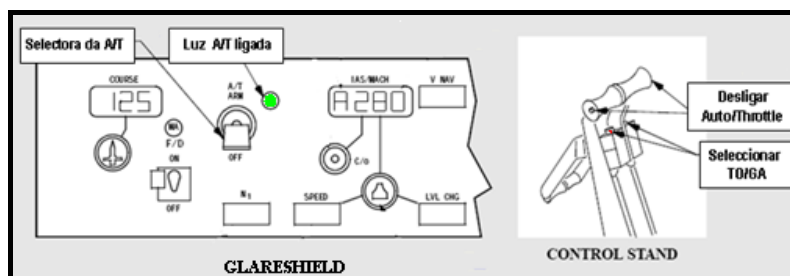


Figura Nº 9

A interligação do piloto com o sistema de A/T é conseguida através do selector de “A/T”, no *glareshield* e dos interruptores “TO/GA” e “Disconnect”, nas manetes (figura nº 9).

O estado e modo de operação da A/T são indicados no topo do Indicador Electrónico de Atitude (EADI), coluna da esquerda (*figura nº 10*), em ambos os painéis de instrumentos (Comandante e Copiloto).

Durante a corrida de descolagem, depois de engatar “TO/GA”, as manetes não podem ser reposicionadas manualmente antes dos 84kts (64kts para versões mais antigas) e aparecer a indicação “THR HLD”, ou depois de ter passado os 400’ (rádio altímetro) e engatar o modo “ARM”, a não ser que a A/T seja desligada.

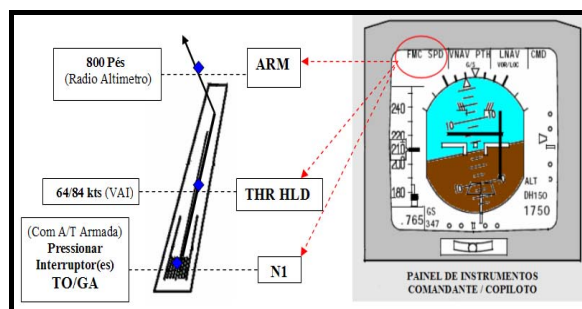


Figura Nº 10

### 2.2.2 Controlo da Gestão de Potência (PMC)

O PMC é assim referenciado no cap. 7.20 (*Power Plant*) do Manual de Operação do B-737:

**Controlo da Gestão de Potência (PMC)**

*O sistema de controlo de potência é constituído por uma unidade hidromecânica (MEC) e uma unidade PMC, montadas em cada motor. O PMC é um sistema electrónico com autoridade limitada sobre o MEC.*

*O PMC usa a indicação do MEC sobre o ângulo da manete, a velocidade do NI, a temperatura e pressão de entrada do ar, para ajustar o MEC, de modo a obter a velocidade desejada do NI. O PMC ajusta o combustível em função do ângulo da manete.*

*O PMC garante uma potência constante durante a subida uma vez a manete posicionada no início da subida. Por conseguinte, quando é seleccionada a potência para a subida, o PMC mantém automaticamente aquela potência, durante o perfil de subida, sem que seja necessário fazer ajustamentos. Se a manete for reposicionada, o PMC mantém a potência equivalente ao novo ângulo da manete.*

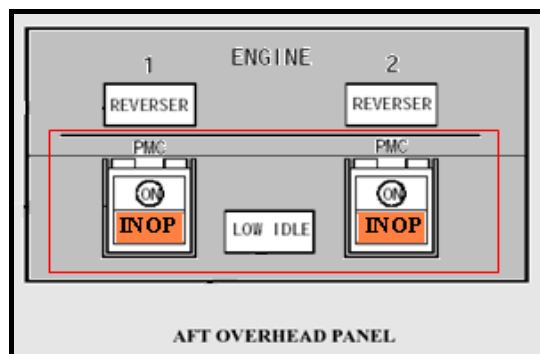


Figura Nº 11

Em caso de mau funcionamento de qualquer PMC, acima de 46% N2, ou em caso de ser desligado, acende uma luz âmbar “INOP” no painel superior posterior (*figura nº 11*).

Um interruptor protegido permite ao piloto desligar o PMC afectado. Em caso de avaria de um deles, a Boeing recomenda que se desliguem ambos os PMC, quando usar a A/T ligada.

### 2.2.3 Resumo

Antes da descolagem, o piloto do EC-KDJ armou a A/T e, depois de alinhado e autorizado a descolar, avançou as manetes e accionou "TO/GA", quando os motores estabilizaram a 55% N1.

Não foram recolhidas evidências que possam confirmar se algum dos interruptores dos PMC se encontrava em "OFF", o que poderia contribuir para a selecção assimétrica de potência, nem houve qualquer referência a alguma luz de aviso acesa. Considerando que o aviso de mau funcionamento do PMC só aparece 30" depois de haver um desvio de N1 (para menos), o facto de o piloto ter reduzido as manetes ao fim de 15" não deu tempo para que esse aviso fosse activado. Uma vez que a actuação do PMC não é registada pelo FDR, torna-se impossível tirar conclusões sobre a actuação dos PMC.

As variações das manetes, depois da primeira redução efectuada pelo piloto, vieram confirmar que a aeronave nunca acelerou o suficiente para a A/T ter mudado para o modo "THR HLD", sendo impossível reposicionar manualmente as manetes, sem desligar a A/T.

A causa mais provável para a assimetria de potência parece, pois, ser uma avaria do computador que comanda os servomotores do sistema, o que não foi possível provar por se ter perdido o rasto do mesmo.

## 2.3 Hidroplanagem

### 2.3.1 Generalidades

Quando uma roda rola sobre uma pista molhada está constantemente a *espremer* a água com o rasto do pneu. Esta acção cria uma pressão, da parte da água, que tende a levantar parte do rasto da pista, diminuindo a fricção gerada pelo pneu, no asfalto, e permitindo a sua derrapagem. Esta acção é chamada de hidroplanagem.

### 2.3.2 Hidroplanagem Dinâmica

A altas velocidades, o movimento do pneu para a frente tende a deslocar uma grande quantidade de água. Esta acção de deslocamento gera uma pressão de água suficiente para levantar o pneu e separar grande parte da superfície de contacto da superfície da pista. Este fenómeno é conhecido como hidroplanagem dinâmica (*figura nº 12*).

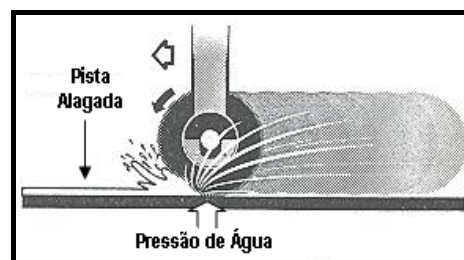


Figura Nº 12

Em situações extremas, o pneu pode descolar completamente da pista e deslizar à tona da água, como um “ski” aquático. Nestas condições deixa de haver efeito de travagem e coordenação de volta (*cornering*).

Para que possa manifestar-se este tipo de hidroplanagem são necessárias três condições:

- ▶ Velocidade elevada da aeronave;
- ▶ Pista alagada (*standing water*);
- ▶ Pista lisa (*não rugosa*).

Se faltar qualquer uma destas condições, a hidroplanagem dinâmica não se manifestará, ou afectará apenas uma pequena área do pneu, com consequências mínimas.

***O EC-KDJ nunca atingiu, durante a tentativa de descolagem, uma velocidade suficiente, nem a quantidade de água era bastante para que este fenómeno se manifestasse. Faltaram o primeiro e segundo elementos.***

### 2.3.3 Hidroplanagem de Reversão de Borracha

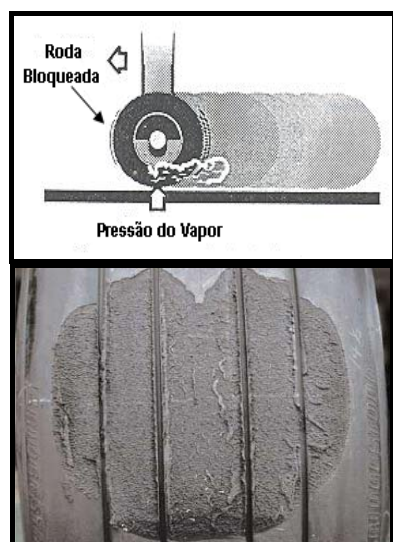


Figura Nº 13

Há outro tipo de hidroplanagem que pode acontecer quando o pneu, mesmo em contacto com a superfície da pista, se encontra bloqueado ou com baixa rotação e a aeronave se desloca com velocidade acima de 20kts.

A fricção desenvolvida pela derrapagem do pneu provoca um grande aquecimento do piso de borracha. O calor resultante provoca a evaporação da água, gerando vapor, o qual cria um aumento da pressão sobre a superfície de contacto. O vapor a alta temperatura provoca o derreter da borracha, invertendo o processo de vulcanização e alterando as características da borracha, que fica com um aspecto irregular (*figura nº 13*).

Esta característica está na base do nome atribuído a este tipo de hidroplanagem – ***reversão de borracha*** (*reverted rubber hydroplaning*).

Este tipo de hidroplanagem acontece quando, por qualquer motivo, a roda fica bloqueada e a aeronave desliza sobre uma pista muito molhada, ou gelada, por um período de tempo suficiente para que possa desenvolver-se uma temperatura bastante elevada, que possa provocar a formação de vapor.

***O EC-KDJ não atingiu velocidade nem teve tempo suficiente para poder desenvolver este tipo de hidroplanagem, nem a superfície dos pneus evidenciava a reversão de borracha.***

### 2.3.4 Hidroplanagem Viscosa

Apesar de serem as formas mais vulgares de hidroplanagem, aquelas que foram referidas acima, existe ainda uma outra categoria, muitas vezes confundida com a hidroplanagem dinâmica. Trata-se da hidroplanagem viscosa e ocorre sempre que exista uma superfície lisa molhada (*uma ligeira película com 0,025mm de espessura é suficiente*) e se faça sentir uma acção lubrificante, ou derrapante, da água ou outro fluido.

O pneu não consegue penetrar no fluído e rola ao de cima dessa película (*figura nº 14*).

Esta hidroplanagem viscosa pode ocorrer a velocidades muito inferiores à hidroplanagem dinâmica mas precisa que haja uma superfície lisa ou escorregadia, tal como uma pista contaminada com óleo, poeira ou resíduos de borracha, coberta por uma fina película de água. Os topos das pistas, quando molhados, geralmente, satisfazem esta condição.



Figura Nº 14

**O EC-KDJ não atingiu o mínimo de velocidade para entrar num processo de hidroplanagem dinâmica ou de reversão de borracha, no entanto eram bem visíveis as marcas de derrapagem na pista, o que confirmava a ocorrência de hidroplanagem viscosa. Esta foi provocada pela presença de poeira sobre uma superfície lisa e contaminada, coberta por uma ligeira película de água.**

### 3. CONCLUSÕES

#### 3.1 Factos Estabelecidos

Face ao que ficou referido nos capítulos anteriores, conclui-se que:

- 1º - O voo foi realizado de acordo com as normas e procedimentos do operador;
- 2º - A tripulação estava devidamente habilitada e qualificada para operar a aeronave naquele aeroporto;
- 3º - A aeronave tinha todos os seus certificados e demais documentação válidos, tinha cumprido com o programa de manutenção estabelecido e aprovado, não havendo registos de qualquer deficiência ou limitação operacional;
- 4º - No momento da decolagem, a pista encontrava-se molhada e com vestígios de uma finíssima camada de lama;
- 5º - Quando foram avançadas manualmente as “*manetes*” de controlo da potência dos motores, para dar início à decolagem, o aumento de potência foi simétrico em ambos os motores (55%N1);
- 6º - Depois de ter seleccionado “TO/GA” o sistema de “Auto-Throttle” não actuou simetricamente em ambos os motores, tendo acelerado o motor esquerdo para cerca de 88%N1, enquanto o motor direito apenas atingia cerca de 67%N1;
- 7º - Logo que se verificou a actuação da A/T, a aeronave iniciou um movimento de fuga para a direita;
- 8º - O piloto reduziu a potência dos motores e tentou trazer a aeronave de volta à linha central, mas não foi efectiva a acção dos comandos de voo, steering e travões;
- 9º - A aeronave entrou em hidroplanagem viscosa e acabou por sair da pista, para a margem de segurança do lado direito, onde se imobilizou;
- 10º - As marcas deixadas na pista confirmavam uma micro-textura muito fina e a existência de pó sobre a superfície da pista;
- 11º - Uma inspecção técnica, levada a cabo pelos técnicos de manutenção, não conseguiu determinar as razões para o funcionamento deficiente da A/T;
- 12º - O sistema de A/T foi desactivado e a aeronave continuou com o seu programa de voos, até à base, onde o computador da A/T foi substituído;
- 13º - O computador da A/T foi enviado para testes, mas a empresa entrou em processo de falência e perdeu-se o rasto da unidade;

- 14º - A aeronave não sofreu outros danos para além do rasgão no pneu exterior da perna esquerda do trem de aterragem;
- 15º - Não houve registo de danos a terceiros, com excepção da destruição de uma das luzes laterais de pista;
- 16º - Ambos os pilotos saíram ilesos do incidente.

## **3.2 Causas do Incidente**

### **3.2.1 Causa Primária**

A ocorrência foi determinada pela actuação assimétrica do sistema de controlo automático de potência dos motores (Autothrottle), o qual comandou uma aceleração para 88%N1 para o motor esquerdo, enquanto comandava uma aceleração para 67%N1 para o motor direito, o que determinou a fuga da aeronave para a direita da linha central da pista.

### **3.2.2 Factores Contributivos**

Consideram-se como factores contributivos:

- 1º - O ter chovido recentemente e a pista se encontrar coberta por um fino lençol de água;
- 2º - A presença de pó sobre a superfície da pista;
- 3º - O facto de a aeronave se encontrar sobre as marcas de tinta da cabeceira da pista;
- 4º - O facto de a superfície da pista ser muito lisa (micro textura muito fina).

A mistura da água da chuva com o pó existente na pista, formou uma finíssima película de lama, em cima de uma superfície muito lisa, criando uma área muito escorregadia. Quando a acção assimétrica da potência dos motores provocou a fuga da aeronave para a direita, esta começou a derrapar, entrando em hidroplanagem viscosa. Sem rugosidades para interromper este fenómeno, a aeronave continuou a deslizar até à berma de segurança da pista, onde a micro textura era mais granulosa e os pneus voltaram a ter aderência com o solo, sendo possível retomar o controlo da aeronave.

## 4 RECOMENDAÇÕES DE SEGURANÇA

Considerando que a causa primária deste incidente foi a aceleração assimétrica dos motores, sob influência do controlo automático da “autothrottle”;

Tornando-se impossível promover os testes necessários para avaliação da causa desta actuação irregular do sistema de “autothrottle”;

Não é pertinente emitir qualquer recomendação relativamente a este sistema e à sua operação.

Tendo em vista que, só por si, esta anomalia não seria suficiente para provocar a saída de pista da aeronave, a qual se deveu à ocorrência de hidroplanagem viscosa;

Considerando que este fenómeno só teve continuidade por efeito da presença de uma finíssima camada de lama sobre a superfície extremamente lisa da cabeceira da pista;

Reconhecendo que a existência de qualquer irregularidade da superfície, nessa área, teria interrompido o fenómeno de hidroplanagem viscosa e permitido a recuperação do controlo da aeronave, evitando a sua saída da faixa de descolagem;

Atendendo a que as áreas seguintes da faixa apresentam uma superfície anti-derrapante (grooving) e permitem um melhor controlo direccional da aeronave;

Sendo garantido que a Autoridade Nacional dos Aeroportos da Madeira (ANAM) promove ensaios regulares de determinação dos coeficientes de travagem e acções de descontaminação da superfície da pista;

Dado não ser viável alterar a textura da superfície da pista nas áreas das cabeceiras;

Recomenda-se:

**À Autoridade Nacional dos Aeroportos da Madeira (ANAM):**

***“Que seja introduzida uma nota no Manual do Piloto Civil (AGA-2-17A, 15) e no AIP Portugal (LPMA AD 2.20.2), chamando a atenção dos pilotos para a possibilidade de desenvolvimento de hidroplanagem viscosa nas áreas sem “grooving”, quando da ocorrência de precipitação no aeroporto da Madeira ”.***

**(RS 03/2009)**

Lisboa, 09 de Abril de 2009

O Investigador Responsável,

António A. Alves