

COMANDO DA AERONÁUTICA
CENTRO DE INVESTIGAÇÃO E PREVENÇÃO DE
ACIDENTES AERONÁUTICOS



RELATÓRIO FINAL
A - 158/CENIPA/2013

OCORRÊNCIA:	ACIDENTE
AERONAVE:	PT-MVL
MODELO:	A330-203
DATA:	02SET2013



ADVERTÊNCIA

Em consonância com a Lei nº 7.565, de 19 de dezembro de 1986, Artigo 86, compete ao Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos – SIPAER – planejar, orientar, coordenar, controlar e executar as atividades de investigação e de prevenção de acidentes aeronáuticos.

A elaboração deste Relatório Final, lastreada na Convenção sobre Aviação Civil Internacional, foi conduzida com base em fatores contribuintes e hipóteses levantadas, sendo um documento técnico que reflete o resultado obtido pelo SIPAER em relação às circunstâncias que contribuíram ou que podem ter contribuído para desencadear esta ocorrência.

Não é foco do mesmo quantificar o grau de contribuição dos fatores contribuintes, incluindo as variáveis que condicionam o desempenho humano, sejam elas individuais, psicossociais ou organizacionais, e que possam ter interagido, propiciando o cenário favorável ao acidente.

O objetivo único deste trabalho é recomendar o estudo e o estabelecimento de providências de caráter preventivo, cuja decisão quanto à pertinência e ao seu acatamento será de responsabilidade exclusiva do Presidente, Diretor, Chefe ou correspondente ao nível mais alto na hierarquia da organização para a qual são dirigidos.

Este relatório não recorre a quaisquer procedimentos de prova para apuração de responsabilidade no âmbito administrativo, civil ou criminal; estando em conformidade com o item 3.1 do “attachment E” do Anexo 13 “legal guidance for the protection of information from safety data collection and processing systems” da Convenção de Chicago de 1944, recepcionada pelo ordenamento jurídico brasileiro por meio do Decreto nº 21.713, de 27 de agosto de 1946.

Outrossim, deve-se salientar a importância de resguardar as pessoas responsáveis pelo fornecimento de informações relativas à ocorrência de um acidente aeronáutico, tendo em vista que toda colaboração decorre da voluntariedade e é baseada no princípio da confiança. Por essa razão, a utilização deste Relatório para fins punitivos, em relação aos seus colaboradores, além de macular o princípio da “não autoincriminação” deduzido do “direito ao silêncio”, albergado pela Constituição Federal, pode desencadear o esvaziamento das contribuições voluntárias, fonte de informação imprescindível para o SIPAER.

Consequentemente, o seu uso para qualquer outro propósito, que não o de prevenção de futuros acidentes, poderá induzir a interpretações e a conclusões errôneas.

SINOPSE

O presente Relatório Final refere-se ao acidente aeronáutico com a aeronave PT-MVL, modelo A330-203, ocorrido em 02SET2013, classificado como “causado por fenômeno meteorológico em voo”.

Durante a fase de cruzeiro sobre o Atlântico, mantendo o FL400, a aeronave, procedente de Madrid, Espanha (LEMD) com destino a Guarulhos, São Paulo (SBGR), ingressou em uma área de turbulência severa.

Doze passageiros e três tripulantes sofreram ferimentos, sendo que um comissário de voo e dois passageiros sofreram lesões graves.

A aeronave teve danos leves.

Houve a designação de Representantes Acreditados do *National Transportation Safety Board* (NTSB), dos EUA, Estado de fabricação do radar, e do *Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la Sécurité de l'Aviation Civile* (BEA), da França, Estado de fabricação da aeronave.



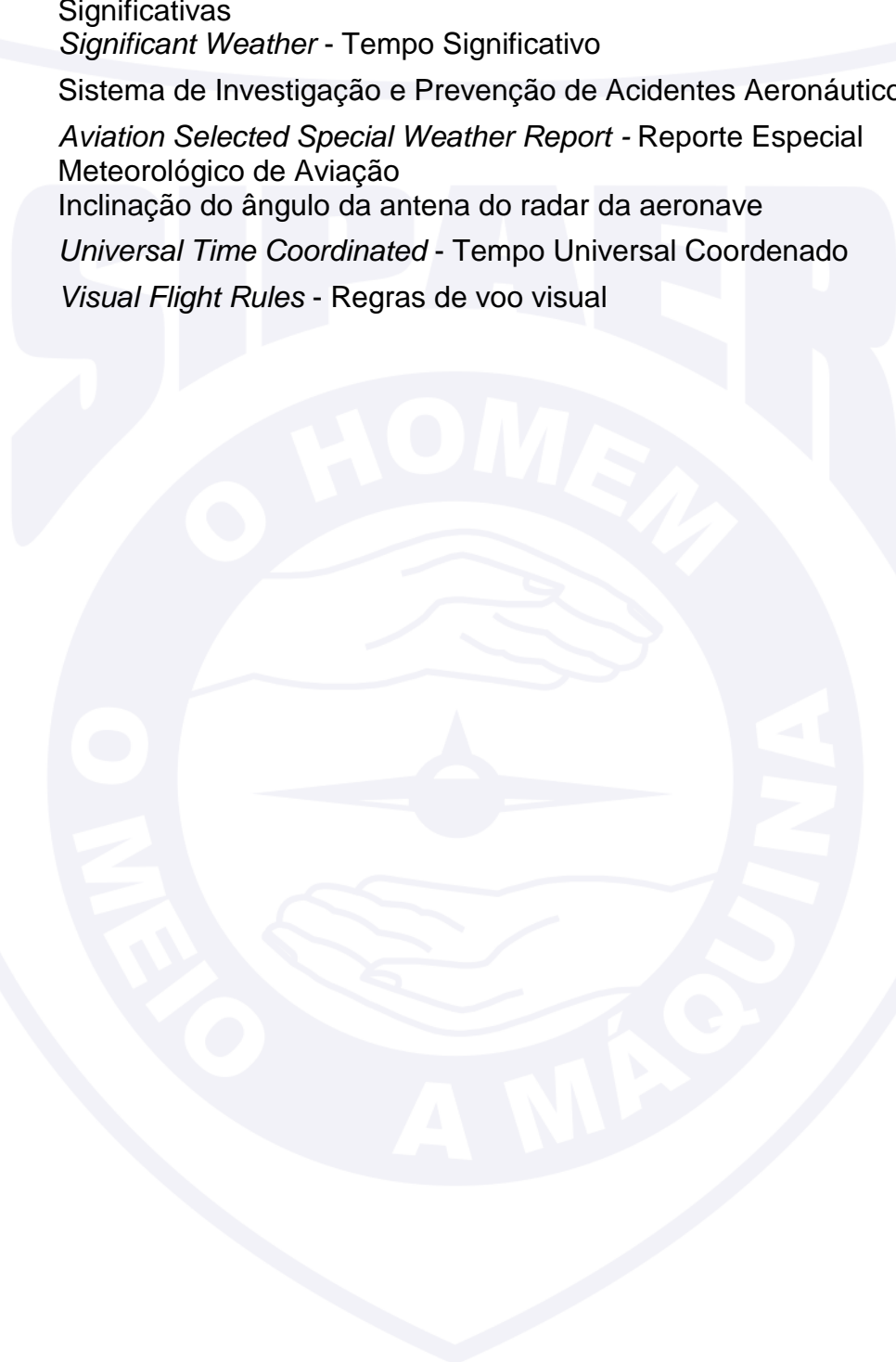
ÍNDICE

GLOSSÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS E ABREVIATURAS.....	5
1. INFORMAÇÕES FACTUAIS.....	7
1.1. Histórico do voo.....	7
1.2. Lesões às pessoas.....	7
1.3. Danos à aeronave.....	7
1.4. Outros danos.....	8
1.5. Informações acerca do pessoal envolvido.....	8
1.5.1. Experiência de voo dos tripulantes.....	8
1.5.2. Formação.....	8
1.5.3. Categorias das licenças e validade dos certificados e habilitações.....	8
1.5.4. Qualificação e experiência no tipo de voo.....	8
1.5.5. Validade da inspeção de saúde.....	8
1.6. Informações acerca da aeronave.....	8
1.7. Informações meteorológicas.....	8
1.8. Auxílios à navegação.....	12
1.9. Comunicações.....	17
1.10. Informações acerca do aeródromo.....	17
1.11. Gravadores de voo.....	17
1.12. Informações acerca do impacto e dos destroços.....	18
1.13. Informações médicas, ergonômicas e psicológicas.....	18
1.13.1. Aspectos médicos.....	18
1.13.2. Informações ergonômicas.....	18
1.13.3. Aspectos Psicológicos.....	18
1.14. Informações acerca de fogo.....	18
1.15. Informações acerca de sobrevivência e/ou de abandono da aeronave.....	19
1.16. Exames, testes e pesquisas.....	19
1.17. Informações organizacionais e de gerenciamento.....	19
1.18. Informações operacionais.....	19
1.19. Informações adicionais.....	21
1.20. Utilização ou efetivação de outras técnicas de investigação.....	21
2. ANÁLISE.....	21
3. CONCLUSÃO.....	25
3.1. Fatos.....	25
3.2. Fatores contribuintes.....	26
4. RECOMENDAÇÃO DE SEGURANÇA.....	26
5. AÇÃO CORRETIVA OU PREVENTIVA JÁ ADOTADA.....	26

GLOSSÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS E ABREVIATURAS

ACARS	<i>ARINC Communication Addressing and Reporting System</i> - Sistema de direcionamento e informe para comunicações de aeronaves
ACC	<i>Area Control Center</i> - Centro de Controle de Área
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
AP	<i>Autopilot</i> - Piloto Automático
ATS	<i>Air Traffic Services</i> - Serviços de tráfego aéreo
CA	Certificado de Aeronavegabilidade
CAT	<i>Clear Air Turbulence</i> - Turbulência em Céu Claro
CB	<i>Cumulonimbus</i>
CM	Certificado de Matrícula
CPDL-C	<i>Controller-pilot data link communications</i> - Comunicações por ligação de dados controlador-piloto
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CRM	<i>Crew Resource Management</i> - Gerenciamento de recursos de equipe (tripulação)
DFDR	<i>Digital Flight Data Recorder</i> - Gravador de dados de voo digital
DVOLMET	<i>Data link VOLMET</i> - VOLMET por data link
ETOPS	<i>Extended Twin Engine Operations</i> - Operação de Longo Alcance em Bimotores
FIR	<i>Flight Information Region</i> - Região de Informação de Voo
IFR	<i>Instrument Flight Rules</i> - Regras de voo por instrumentos
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
ITCZ	<i>Intertropical Convergence Zone</i> - Zona de Convergência Intertropical
Lat	Latitude
LEMD	Designativo de localidade – Aeródromo de Madrid, Espanha
Long	Longitude
METAR	<i>Meteorological Aerodrome Report</i> - Boletim Meteorológico de Localidade
MLTE	Habilitação de classe Avião Multimotor Terrestre
ND	<i>Navigation Display</i> - Tela de Navegação
OPMET	<i>Operational meteorological (information)</i> - Informação meteorológica relativa às operações
PCM	Licença de Piloto Comercial - Avião
PLA	Licença de Piloto de Linha Aérea - Avião
PF	<i>Pilot Flying</i> - Piloto que controla diretamente a trajetória da Aeronave
PPR	Piloto Privado - Avião
PNF	<i>Pilot Not Flying</i> - Piloto que monitora e assessora as ações do PF
RANGE	Alcance do radar da aeronave
RBHA	Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica

REDEMET	Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica
RELPREV	Relato de Prevenção
RS	Recomendação de Segurança
SBGR	Designativo de localidade - Aeródromo de Guarulhos, SP
SIGMET	<i>Significant Meteorological Information</i> - Informações Meteorológicas Significativas
SIGWX	<i>Significant Weather</i> - Tempo Significativo
SIPAER	Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos
SPECI	<i>Aviation Selected Special Weather Report</i> - Reporte Especial Meteorológico de Aviação
TILT	Inclinação do ângulo da antena do radar da aeronave
UTC	<i>Universal Time Coordinated</i> - Tempo Universal Coordenado
VFR	<i>Visual Flight Rules</i> - Regras de voo visual



1. INFORMAÇÕES FACTUAIS.

Aeronave	Modelo: A330-203 Matrícula: PT-MVL Fabricante: AIRBUS INDUSTRIE	Operador: TAM LINHAS AEREAS S.A.
Ocorrência	Data/hora: 02SET2013/02:54UTC Local: FIR ATLÂNTICO, PRÓXIMO AO FIXO NANIK Lat. 06°42'43" N Long. 032°59'31" W Município - UF: Não aplicável	Tipo(s): Causado por fenômeno meteorológico em voo Subtipo(s):

1.1. Histórico do voo.

A aeronave decolou do Aeroporto Adolfo Suárez, Madrid-Barajas, Espanha (LEMD), com destino ao Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos - Governador André Franco Montoro, SP (SBGR), a fim de realizar um voo comercial de transporte de passageiros, com 16 tripulantes e 168 passageiros a bordo.

Durante a fase de cruzeiro sobre o Atlântico, às 02h54min (UTC), mantendo o FL400, na aerovia UN741, próximo à posição NANIK a aeronave, subitamente, ingressou em uma área de turbulência severa, com presença de fogo de santelmo e ruídos de granizo.

A tripulação alternou o pouso para o Aeroporto Internacional Pinto Martins, Fortaleza, CE (SBFZ), onde pousou às 04h33min (UTC), para atendimento médico aos feridos.

A aeronave teve danos leves. Doze passageiros e três tripulantes sofreram ferimentos, sendo que um comissário de voo e dois passageiros sofreram lesões graves.

1.2. Lesões às pessoas.

Lesões	Tripulantes	Passageiros	Terceiros
Fatais	-	-	-
Graves	1	2	-
Leves	2	10	-
Ilesos	13	156	-

1.3. Danos à aeronave.

Houve danos leves no interior da aeronave, em virtude do impacto de passageiros contra a parte superior da cabine de passageiros (Figura 1).

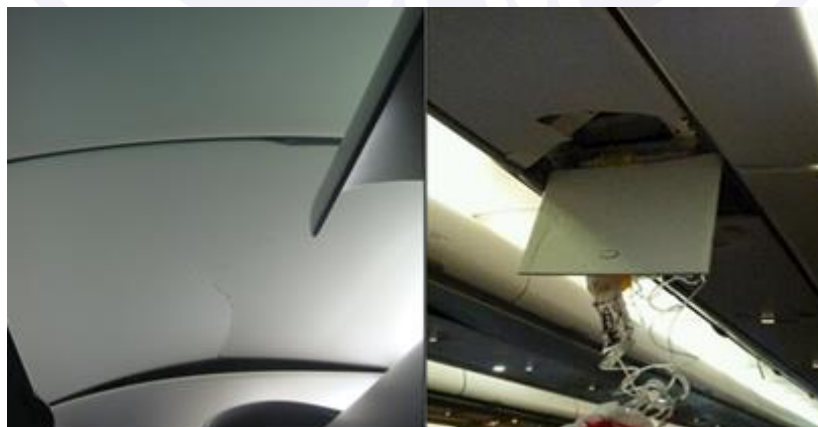


Figura 1- Danos no interior da aeronave.

1.4. Outros danos.

Não houve.

1.5. Informações acerca do pessoal envolvido.

1.5.1. Experiência de voo dos tripulantes.

Horas Voadas		
Discriminação	Piloto	Copiloto
Totais	11.861:55	4.039:03
Totais, nos últimos 30 dias	61:00	64:30
Totais, nas últimas 24 horas	14:05	14:05
Neste tipo de aeronave	1.712:20	1.757:03
Neste tipo, nos últimos 30 dias	61:00	64:30
Neste tipo, nas últimas 24 horas	14:05	14:05

Obs.: Os dados relativos às horas voadas foram informados pelo operador.

1.5.2. Formação.

O comandante e o copiloto foram formados na aeronave pelo operador.

1.5.3. Categorias das licenças e validade dos certificados e habilitações.

O comandante possuía a licença de Piloto de Linha Aérea - Avião (PLA) e estava com as habilitações técnicas de aeronave e voo por instrumentos (IFR) válidas.

O copiloto possuía a licença de Piloto Comercial - Avião (PCM) e estava com as habilitações técnicas de aeronave e voo por instrumentos (IFR) válidas.

1.5.4. Qualificação e experiência no tipo de voo.

Os pilotos estavam qualificados e possuíam experiência no tipo de voo.

1.5.5. Validade da inspeção de saúde.

Os pilotos estavam com os Certificados Médicos Aeronáuticos (CMA) válidos.

1.6. Informações acerca da aeronave.

A aeronave, de número de série 0700, foi fabricada pela *Airbus Industrie*, em 2005, e estava registrada na categoria de Transporte Aéreo Público Regular (TPR).

O Certificado de Aeronavegabilidade (CA) estava válido.

As cadernetas de célula, motor estavam com as escriturações atualizadas.

Os registros de manutenção estavam atualizados.

1.7. Informações meteorológicas.

Dadas as características do acidente, observou-se as condições meteorológicas reinantes na região, mais especificamente do ponto de início (P1: 06°42'43"N - 032°59'31" W) e término (P2: 06°31'50"N - 033°05'22"W), posições precisamente apresentadas nos gravadores de voo da aeronave, abrangendo o período entre 02h54min (UTC) e 02h56min (UTC), do dia 02SET2013 (Figura 2).

Conforme a Carta de Previsão de Tempo Significativo (SIGWX) das 00h00min (UTC) do dia 02SET2013, com validade das 21h00min (UTC) do 01SET2013 às 03h00min (UTC) do dia 02SET2013, com abrangência do FL250 (25.000 pés) ao FL630 (63.000 pés), foi prevista para a região uma condição anormal com nuvens *cumulonimbus* (CB) embutidas com topo no FL520 (52.000 pés). Esse produto foi atualizado para acesso no site da Rede de Dados Meteorológicos (REDEMET), às 23h47min (UTC) do dia 01SET2013 (Figura 2).

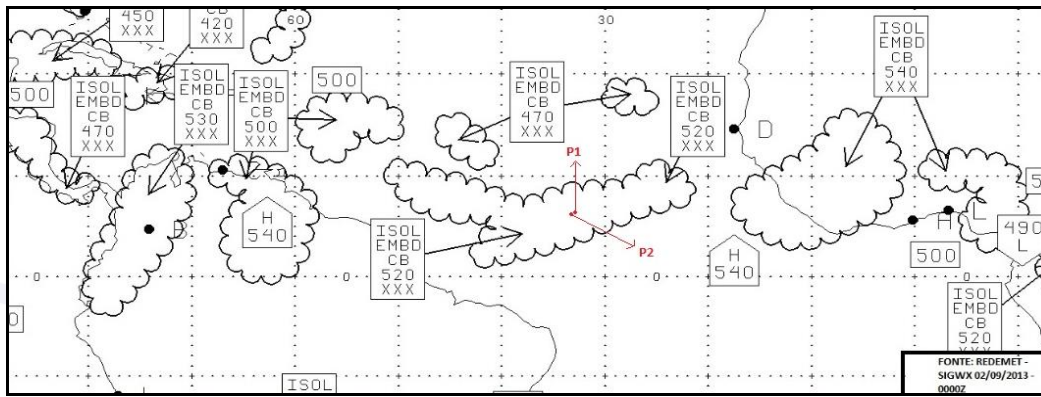


Figura 2 - Carta SIGWX de 02SET2013, às 00h00min (UTC), onde a posições P1 e P2 definem os trechos de início e de término da turbulência.

A imagem de satélite do dia 02SET2013, às 03h00min (UTC), disponibilizadas pelo site do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) mostrava que na rota da aeronave havia aglomerados e células isoladas de CB, figurando na circunvizinhança da região da condição anormal (Figura 3).

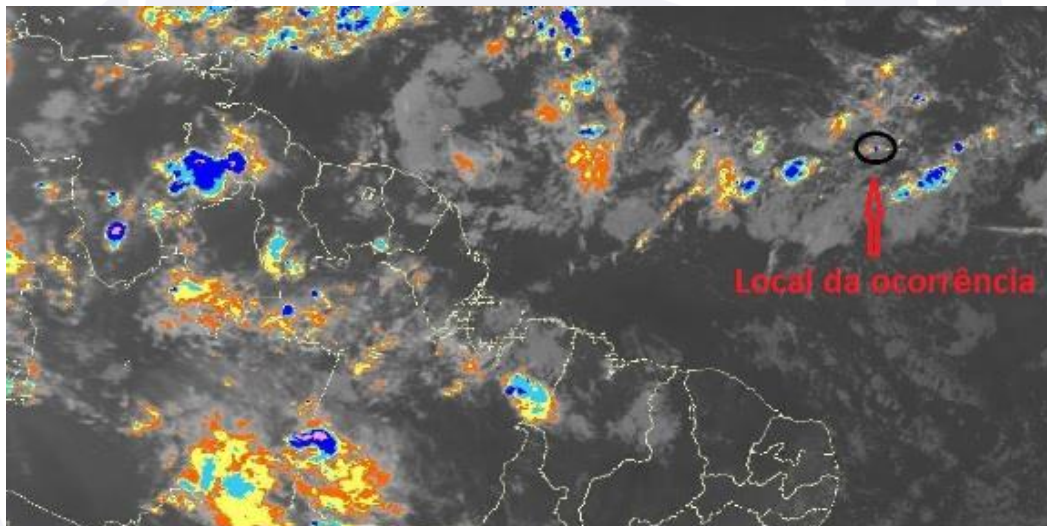


Figura 3 - Imagem satélite de 02SET13, às 03h00min (UTC), com destaque no local da ocorrência.

O Centro Meteorológico responsável pela confecção de mensagens SIGMET, para a Região de Informação de Voo (FIR) DAKAR, expediu alerta de trovoadas embutidas observadas, com topo no FL450, válida para o período das 00h00min (UTC) às 04h00min (UTC) do dia 02SET2013. Essa mensagem de alerta foi inserida no Banco Internacional de Dados Meteorológicos (OPMET) às 23h56min (UTC) do dia 01SET2013 (Figura 4).

Departamento de Controle do Espaço Aéreo Subdepartamento de Operações Divisão de Coordenação e Controle Controle Operacional		
CONSULTA MENSAGENS POR LOCALIDADE SIGMET		
FIR: GOOO - Início: 01/09/2013 23:00 - Fim: 03/09/2013 00:00 - Tipo Meteorológico: WS		11/09/2013 18:20
Subdestinação: SENEGAL		
SIGMET WS - GOOO		
Data Recebimento	Remetente	Canal
02/09/2013 00:00	INTEWAFS	WAFS
WSSG31 GOOY 020000		
GOOO SIGMET A1 VALID 020000/020400 GOOY-		
GOOO DAKAR OCEANIC FIR/UIR EMBD TS OBS AT 2350Z		
WI N1520 W03100 - N1420 W02950 - N1450 W02850		
WI N0750 W03500 - N1040 W03150 - N0830 W01810 - N0550 W01340 - N0450		
W03100		
TOP FL450 MOV W 10KT NC=		
01/09/2013 23:57	GOOYYMY? AMHS	
WSSG31 GOOY 020000		
GOOO SIGMET A1 VALID 020000/020400 GOOY-		
GOOO DAKAR OCEANIC FIR/UIR EMBD TS OBS AT 2350Z		
WI N1520 W03100 - N1420 W02950 - N1450 W02850		
WI N0750 W03500 - N1040 W03150 - N0830 W01810 - N0550 W01340 - N0450		
W03100		
TOP FL450 MOV W 10KT NC=		
01/09/2013 23:57	GOOYPRVI AMHS	
WSSG31 GOOY 020000		
GOOO SIGMET A1 VALID 020000/020400 GOOY-		
GOOO DAKAR OCEANIC FIR/UIR EMBD TS OBS AT 2350Z		
WI N1520 W03100 - N1420 W02950 - N1450 W02850		
WI N0750 W03500 - N1040 W03150 - N0830 W01810 - N0550 W01340 - N0450		
W03100		
TOP FL450 MOV W 10KT NC=		
01/09/2013 23:56	GOOYPRVI AMHS	
WSSG31 GOOY 020000		
GOOO SIGMET A1 VALID 020000/020400 GOOY-		
GOOO DAKAR OCEANIC FIR/UIR EMBD TS OBS AT 2350Z		
WI N1520 W03100 - N1420 W02950 - N1450 W02850		
WI N0750 W03500 - N1040 W03150 - N0830 W01810 - N0550 W01340 - N0450		
W03100		
TOP FL450 MOV W 10KT NC=		
02/09/2013 00:00	GOOYYMY? AMHS	
WSSG31 GOOY 020000		
GOOO SIGMET B1 VALID 020005/020405 GOOY-		
GOOO DAKAR TERRESTRE FIR/UIR EMBD TS OBS AT 2355Z		
WI N1430 W00720 - N1710 W00840 - N1810 W00500 - N1440 W00420		
WI N0940 W00800 - N0800 W00700 - N0850 W00810		
TOP FL450 MOV W 15KT NC=		

Figura 4 - Extrato da inclusão no Banco OPMET do SIGMET da FIR GOOO (DAKAR OCEANIC) com validade entre 00h00min (UTC) e 04h00min (UTC) do dia 02SET13. Destaque para informação associada à área de turbulência.

A Carta de Vento do FL390 (39.000 pés) das 00h00min (UTC) do dia 02SET2013, com validade das 18h00min (UTC) do dia 01SET2013 até as 06h00min (UTC) do dia 02SET2013, previu ventos com predominância de nordeste com 15 a 20kt de intensidade, descartando a possibilidade da ocorrência de turbulência severa em céu claro (CAT). Esse produto foi disponibilizado para acesso no site da REDEMET às 17h04min (UTC) do dia 01SET2013 (Figura 5).

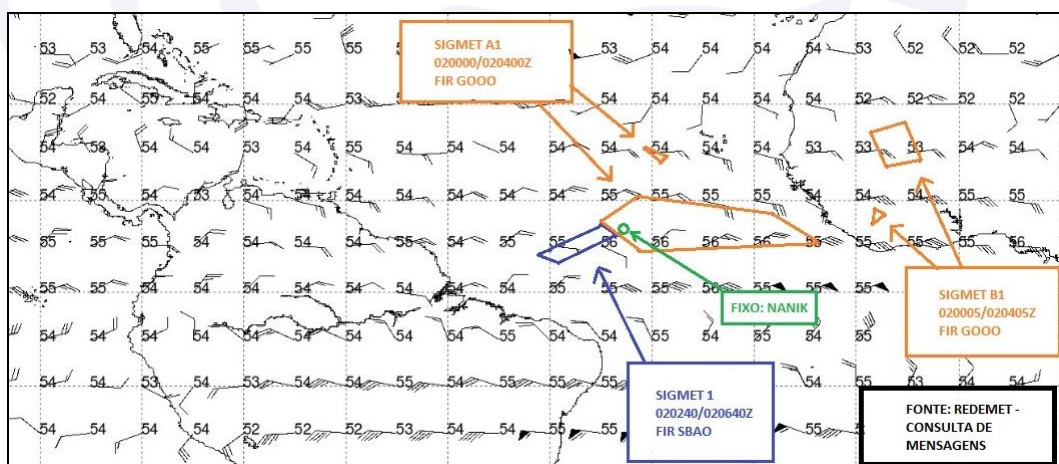


Figura 5 - Carta de Vento, às 00h00min (UTC), do FL390.

No dia 02SET2013, entre 02h30min (UTC) e 03h00min (UTC), a ITCZ (Zona de Convergência Intertropical) oscilava, no Atlântico, entre as coordenadas 5°N e 12°N, com atividade convectiva moderada. A região da condição anormal se encontrava cercada por células de cumulonimbos (CB), predominantemente em fase de desenvolvimento/maturidade (Figura 6).

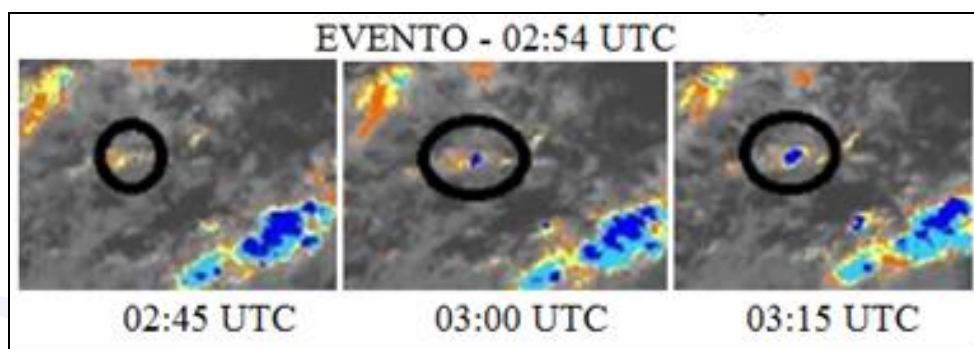


Figura 6 - Imagens satélite do CPTEC registrando o desenvolvimento das células de cumulonimbos (CB), na região da ocorrência.

A imagem mais próxima do horário de início e término da ocorrência, às 03h00min (UTC) do dia 02SET2013, evidenciava três áreas principais que caracterizavam o contexto do voo (Figura 7):

- área plotada S1 - uma célula de CB isolada em pleno desenvolvimento abaixo da rota traçada pela aeronave com topo, às 02h45min (UTC), em torno do FL370, sendo esta a que provavelmente mais contribuiu para a ocorrência da turbulência severa por meio de intensas correntes ascendentes;
- área plotada S2 - células de CB isolados em desenvolvimento e em dissipação na circunvizinhança da área da condição anormal; e
- área plotada S3 - aglomerados de CB bem desenvolvidos com topos em torno do FL450 - 45.000 pés (se apresentavam a oeste da rota, porém não contíguos aos pontos P1 e P2).

A área "S1" apresentou considerável desenvolvimento entre 02h45min (UTC) e 03h00min (UTC), ou seja, estava em estágio de pleno desenvolvimento, o que indicava uma área de intensa confluência de ventos.

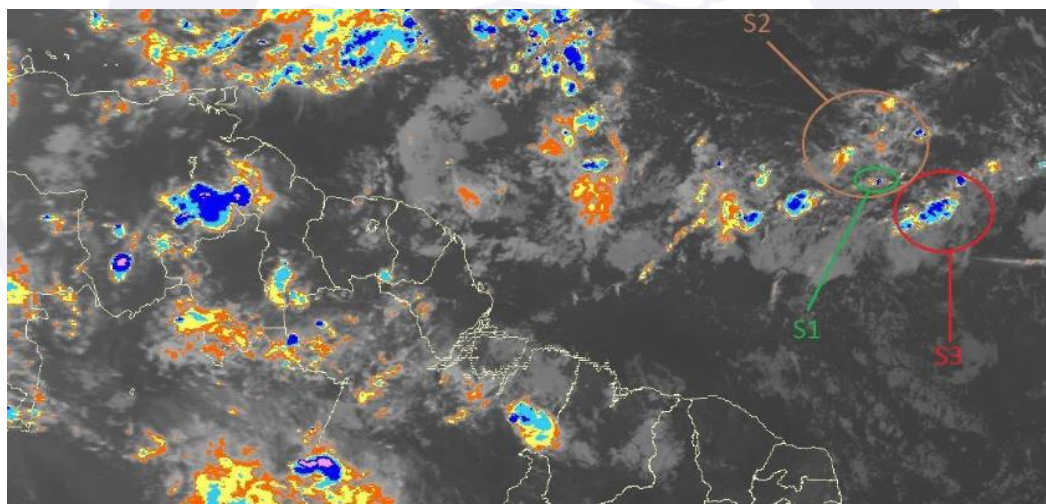


Figura 7 - Carta Imagem satélite de 02SET2013, às 03h00min (UTC), com destaque nas posições do reporte (S1) e setores adjacentes com formações de CB (S2 e S3).

Com relação à umidade presente em níveis médios e altos da atmosfera, na imagem de vapor d'água das 03h00min (UTC), pode-se observar que o conteúdo de umidade significativa na região da condição anormal restringia-se apenas às áreas de CB, sugerindo que a aeronave não estava inserida em extensas áreas de nebulosidade significativa no momento do reporte de turbulência severa. Este fato esclarece o motivo pelo qual a tripulação não visualizou qualquer formação na rota, quando próximo ao local do evento (Figura 8).

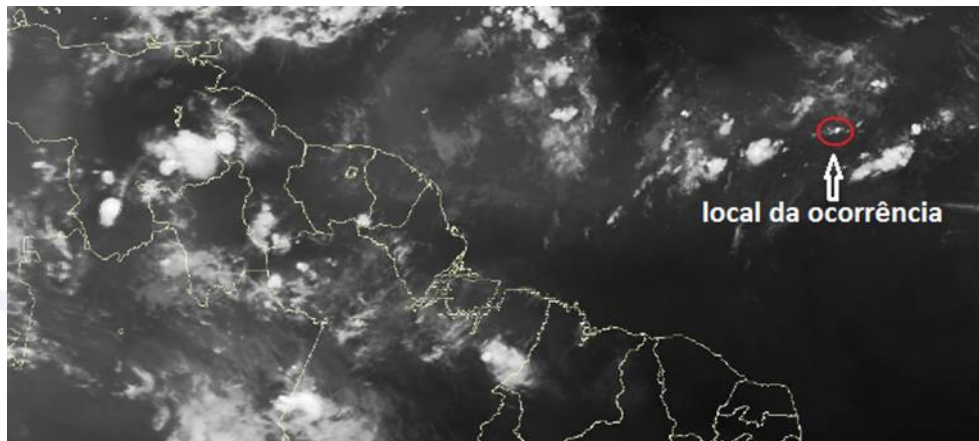


Figura 8 - Imagem satélite de 02SET2013, às 0300Z, na imagem de vapor d'água.

Com o auxílio da imagem realçada do CPTEC e com a radiossondagem de Fernando de Noronha (localidade mais representativa da região da condição anormal), foi possível inferir que seu topo, às 02h45min (UTC), estava em torno do FL370, ou seja, abaixo do nível de voo traçado pela aeronave (FL 400), evoluindo rapidamente, chegando às 03h00min (UTC), conforme realce das imagens ilustradas na Figura 6, próximo ao nível de voo da aeronave.

Os dados obtidos pelo gravador da aeronave corroboram com o fato de a aeronave ter sido submetida a uma corrente de ar em ascensão, proveniente de movimentos convectivos de um CB em formação logo abaixo dela. Conforme pode ser visto Figura 9, a temperatura externa registrada pela aeronave que era de -59°C , subiu subitamente para uma média de -52°C .

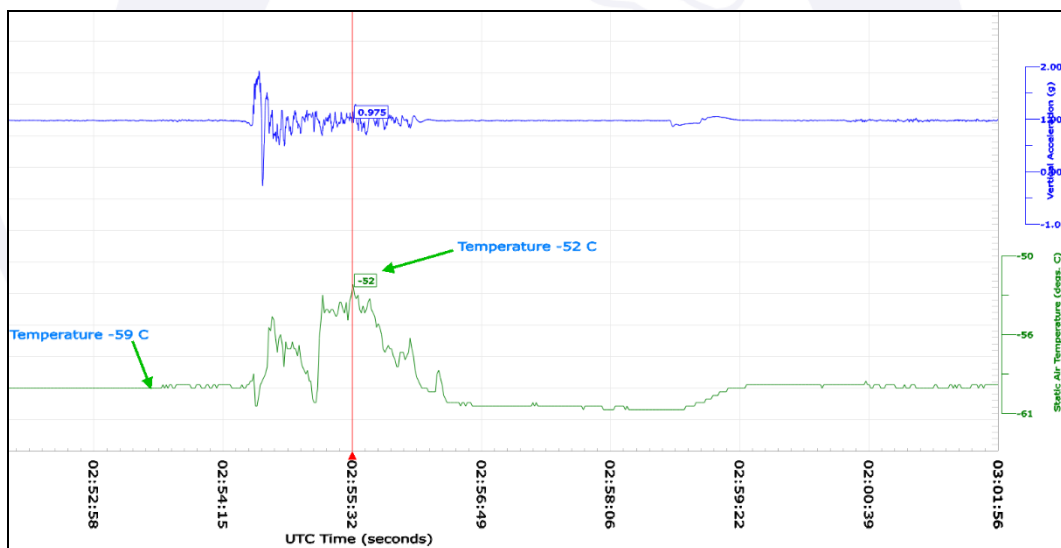


Figura 9 - Gráfico do FDR da variação de temperatura no decorrer da turbulência.

Nesse sentido, pode-se concluir, com base em todas as evidências acima descritas, que a aeronave, no momento do início da ocorrência, encontrava-se em uma região sujeita, desde às 00h00min (UTC) do dia 02SET2013, a condições de trovadas embutidas, formação de gelo e de turbulência severa, porém não estava inserida em extensas áreas de nebulosidade significativa.

1.8. Auxílios à navegação.

No dia posterior ao evento, a antena e o sistema de radar meteorológico da aeronave foram submetidos a testes de bancada, não sendo observada nenhuma discrepância (Figura10).



Figura 10 - Teste operacional de varredura da antena do radar meteorológico.

A aeronave estava equipada com radar meteorológico *Honeywell RDR-4B* (Figura 11).

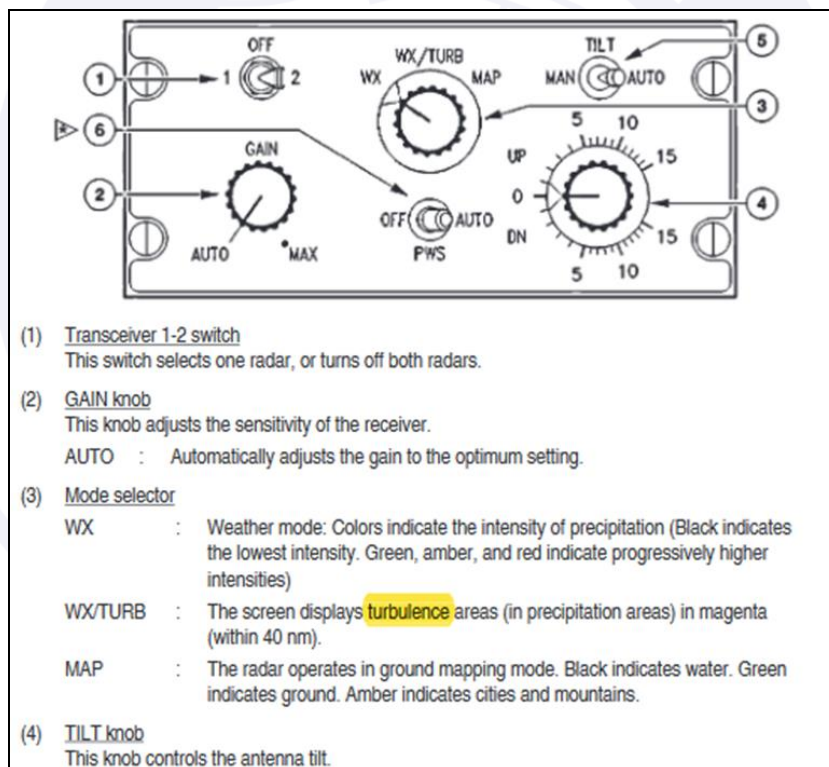


Figura 11 - Painel de controle do radar Honeywell instalado na aeronave.

De acordo com as informações fornecidas pelos pilotos, o painel de controle do radar, no momento do acidente estava com os seguintes ajustes:

- GAIN: AUTO
- TILT: -1° (manual)
- Mode Selector: WX

- *Range*: 80NM (*Pilot Flying* - PF) / 160NM (*Pilot Not Flying* - PNF).

No entanto, de acordo com o FDR, o *range* dos dois pilotos estavam ajustados para 80NM.

Visando fornecer informações adicionais sobre o radar meteorológico da aeronave, bem como descrever suas capacidades e limitações a fim de prover uma compreensão geral do sistema e, conseqüentemente, ajudar na prevenção da ocorrência de incidentes, a *Airbus*, no ano de 2007, expediu o *Flight Operations Briefing Notes - (Adverse Weather Operations - Optimum use of the Weather Radar)*.

Dentre os aspectos abordados, a publicação enumerou um conjunto de fatores operacionais e humanos, que afetavam a otimização do uso do radar.

O documento ressaltou ainda que se o radar meteorológico não fosse bem utilizado ou interpretado, ele poderia induzir a tripulação ao erro quando:

- uma área de forte atividade meteorológica está escondida atrás de chuva pesada;
- o *TILT* da antena não está ajustado corretamente;
- o *GAIN* é deixado na posição manual;
- o alcance selecionado pela tripulação no *Navigation Display* (ND) é pequeno de tal forma que não é suficiente para determinar se, à frente da trajetória voada entre as nuvens há formações adversas; e
- o granizo seco proporciona um retorno do eco-radar mais fraco que gotículas de água.

Para ajudar na otimização do uso do radar, a *Airbus* recomendou os seguintes ajustes em função de cada fase de voo (Figura 12):

Phase	Recommendations	Remarks
Taxi	Set ND to 10 NM range Tilt down, then up: Check appearance / disappearance of ground returns	Radar check must be performed away from people
Takeoff	Scan up to 15° UP for weather return, if significant weather is suspected Select tilt at 4° UP for takeoff	Scan along the departure path
Climb	Select negative tilt, maintain ground returns on top of ND as the aircraft climbs	Change tilt according to altitude and ND range.
Cruise	Select negative tilt and maintain ground returns on top of ND. As a rule of thumb: Range 320: tilt 1 DN Range 160: tilt 1.5 DN Range 80: tilt 3.5 DN Range 40: tilt 6 DN When approaching weather: - Decrease ND range - Tilt down - Use TURB to isolate turbulence - GAIN to AUTO	No ground returns beyond line of sight FL370 => 240 NM FL250 => 200 NM

Figura 12 - *Flight Operations Briefing Notes - Recomendações do ajuste do radar para cada fase do voo.*

Paralelamente, a companhia aérea disponibilizou um *Supplementary Information – Use of Radar - A330 Flight Crew Training Manual*, contendo recomendações para emprego do radar.

Nesse contexto, o documento afirmava que, para garantir um monitoramento eficiente do radar meteorológico, a tripulação deveria utilizar o *TILT* do radar de forma efetiva, levando-se em conta a fase do voo e o alcance do ND e que, geralmente, o *TILT*

apropriado proveria um retorno do solo no topo do ND. Diferentemente da fabricante, a companhia aérea não recomendava qual seria o *TILT* ideal a ser utilizado em nível de cruzeiro (Figura 14).

Para auxiliar na seleção de um *TILT* ideal, a *Airbus* apresentou, no Capítulo IV do *Flight Operations Briefing Notes - (Adverse Weather Operations - Optimum use of the Weather Radar)*, uma fórmula com a qual a tripulação de voo, voando em direção a uma formação, poderia obter uma estimativa da expansão vertical da nuvem acima/abaixo da altitude da aeronave.

O *TILT* representava a inclinação selecionada de modo que a imagem das células desapareceria do visor do radar.

Para exemplificar, foi apresentada a simulação abaixo, indicando que o eco-radar desapareceria a 40NM de distância, com um *TILT* de -1° , estando o topo localizado a 4.000ft abaixo do nível de voo da aeronave (Figura 13).

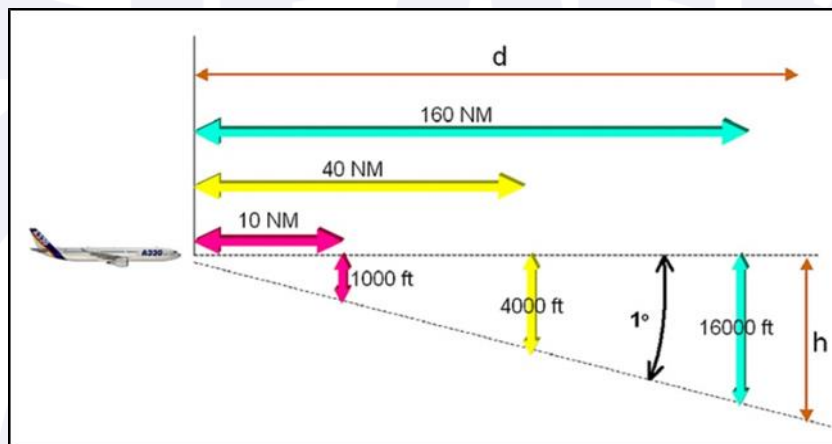


Figura 13 - Relação entre distância, *TILT* e altura.

Por sua vez, a companhia aérea indicava que, para um eficiente acompanhamento, os pilotos poderiam selecionar os alcances de 160NM para o PNF e 80NM para o PF (Figura 14), a fim de permitir desvios mais precisos e minimizar as chances de entrarem em setores sem saída de área com turbulência (*Blind Alley Effect*).

OPERATIONAL RECOMMENDATIONS FOR WEATHER DETECTION		
Flight Phase	Detection and Monitoring	Comments
TAXI	Clear on parking area, set ND to lowest range. Tilt down then up. Check appearance/disappearance of ground returns.	Antenna tilt check (away from people)
TAKEOFF	If weather activity is suspected: slowly scan up to detect weather (Max 15° up), otherwise: set tilt to 4° up	Enables to scan along the departure path
CLIMB	Adjust the ND range as required and decrease the tilt angle as the aircraft climbs	Avoids over scanning of weather
LEVEL FLIGHT/CRUISE	Depending on FL and detection requirement, adjust ND range. Maintain the ground return on the top of the ND Regularly scan the weather vertically by modifying the tilt Once the scan is done, adjust the ground return back on the top of the ND.	In cruise, for efficient weather awareness, the following ranges can be selected: - 160 nm on the PNF ND - 80 nm on the PF ND Shorter ranges can be used to track/avoid closing weather.
DESCENT	During descent, tilt upward to maintain the ground return on the top of the ND.	-
APPROACH	Tilt 4° up	Avoids ground return

Figura 14 - *Supplementary Information - Use of Radar do A330 Flight Crew Training Manual* da companhia aérea.

O documento em tela trazia ainda, dentre outras, algumas recomendações para evitar formações adversas, tais como: alertas quanto à altura da tempestade, a separação vertical de 5.000ft das formações e as considerações a respeito das células que excedessem 35.000ft. (Figura 15)

WEATHER AVOIDANCE RECOMMENDATIONS

In the case of a detection of a significant cell or storm, the flight crew should follow the below recommendations:

- To avoid a large storm, the flight crew must make decisions while still 40 nm from it.
- The flight crew should deviate upwind instead of downwind of a cell (less probability of turbulence or hail).
- For storm avoidance planning, the flight crew should consider the height of the storm:
 - Avoid all yellow, red, or magenta areas by at least 20 nm
 - Avoid all green, yellow, red, and magenta areas of cells taller than 28 000 ft by at least 20 nm.
 - Cells exceeding 35 000 ft should be considered extremely hazardous and additional separation (in addition to the 20 nm) should be used.
- If the top of cell is at or above 25 000 ft, overflying should be avoided due to the possibility of encountering turbulence stronger than expected.
- The flight crew should not attempt to penetrate a cell or clear its top by less than 5 000 ft vertically, because otherwise the aircraft may encounter severe turbulence.
- In the same way, the flight crew should avoid flying under a thunderstorm because of possible windshear, microbursts, severe turbulence, or hail.

Figura 15 - *Supplementary Information - Use of Radar do A330 Flight Crew Training Manual da TAM - Weather Avoidance Recommendations.*

Da mesma forma, a publicação da *Airbus - Flight Operations Support & Services - Getting to grips with Surveillance*, no item 6.1.1.2, que tratava da reflexibilidade das tempestades, enfatizava que uma tempestade poderia ser dividida em quatro áreas, a seguir, de acordo com o grau de reflexibilidade de cada uma (Figura 16):

- **The turbulence dome** defines an area of very severe turbulence. It can reach several thousand feet above the visible top, when the thunderstorm is growing
- **The upper part above the altitude of -40°C** (if applicable) contains ice crystals only. It reflects a very small portion of the radar pulse. This part may be invisible on the weather radar image whereas it is clearly visible through the windshield
- **The intermediate part from the freezing level up to the altitude of -40°C** contains ice crystals and super-cooled water. The super-cooled water reflects a portion of the radar pulse. Ice crystals absorb the remainder of the radar pulse
- **The lower part up to the freezing level** is the most reflective part of the thunderstorm due to the heavy rain.

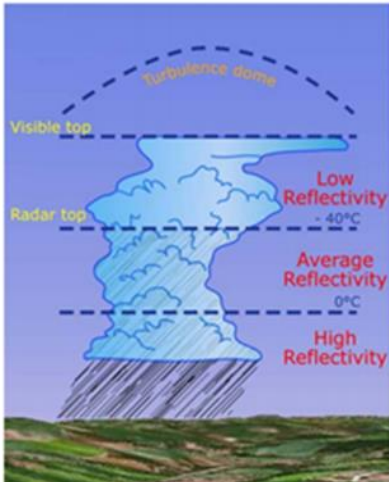


Figure 6-2: Thunderstorm

Figura 16 - Grau de reflexibilidade da tempestade.

A parte chamada de *turbulence dome*, definia uma área de turbulência muito severa. Ela poderia alcançar milhares de pés acima do topo da parte menos reflexiva de tempestade, na fase de desenvolvimento. É relevante salientar que quando a tempestade estivesse em fase de maturação, a aeronave ainda sofreria os efeitos da turbulência, mesmo voando milhares de pés acima da nuvem.

A empresa *Honeywell* foi questionada quanto à simulação de possíveis apresentações na tela do radar diante das características das nebulosidades associadas ao evento, em função dos ajustes inseridos no equipamento. Neste contexto, o fabricante

do radar não pôde dispor de resultados, uma vez que as informações de dimensões e posição relativa da aeronave não eram suficientemente precisas e detalhadas.

1.9. Comunicações.

Não houve qualquer problema técnico de comunicação entre a aeronave e os órgãos de controle, por parte da comunicação verbal, que tenham relação com a ocorrência.

Dentre os meios de comunicação disponíveis para a tripulação, destacava-se o ACARS (*ARINC Communication Addressing and Reporting System*), que consistia em um sistema digital de envio de informações entre uma aeronave e as estações terrestres, via rádio ou satélite (data link).

O sistema possibilitava a comunicação tanto com o Controle de Tráfego Aéreo, via *Controller Pilot Data Link Communications* (CPDL-C), quanto com o Despachante Operacional de Voo (DOV), por meio do serviço *Flight Watch* (envio e recebimento de mensagens relacionadas a meteorologia em rota, aeroportos de alternativa e de destino, pontos de *reclearance*, etc.).

O acesso ao referido sistema era ilimitado e, neste escopo, era possível que o mesmo ocorresse em várias etapas do voo, principalmente nas etapas transoceânicas em operações *Extended Twin Engine Operations* (ETOPS), onde os pilotos poderiam receber as confirmações da meteorologia para toda a rota.

Conforme descrito no item 1.7 - Informações meteorológicas, o Centro Meteorológico responsável pela confecção de mensagens na forma SIGMET para a Região de Informação de Voo (FIR) DAKAR expediu alerta de trovoadas embutidas observadas, com topo no FL450, válida para o período das 00h00min (UTC) às 04h00min (UTC) do dia 02SET2013. Essa mensagem de alerta foi inserida no Banco Internacional de Dados Meteorológicos (OPMET) às 23h56min (UTC) do dia 01SET2013 (Figura 4).

1.10. Informações acerca do aeródromo.

A ocorrência se deu fora de aeródromo.

1.11. Gravadores de voo.

Foram extraídos do FDR os seguintes parâmetros relativos aos momentos que antecederam ao evento:

Parâmetros	Inicial	Início da turbulência	Momento do desengajamento do AP	Sumário
Nível de voo	FL 400	FL 400	FL 402 subindo	FL 409
Velocidade vertical	- 400 ft/min	-500 ft/min	+4.600 ft	-500 ft/min até 4.601 ft/min
"G" Vertical	+0,9/+1,2	+1,5 aumentando	Descendo bruscamente	-0,27/+1,92
<i>Pitch/Roll</i>	+3,5°/0°	+4,5°/4° (asa direita baixa)	Descendo bruscamente/ -4° (asa esquerda baixa)	-3,5°/+9°
PF/PNF Alcance radar	80NM/ARC	80NM/ARC	80NM/ARC	80NM/ARC
<i>Weather Radar Mode</i>	WX	WX	WX	WX

Tabela 1 - Dados extraídos do FDR

Na análise dos dados de voo do FDR, foi possível constatar que a aeronave enfrentou uma região de turbulência, ficando registrado que, em determinado momento, ela foi submetida a um fator de carga que variou entre +1.9 G e -0.3 G, correspondendo a uma variação de 2,2 G em dois segundos. Nesse mesmo intervalo de tempo, pôde-se

observar uma intensa variação na razão de subida de até +4.601 ft/min, levando a aeronave a livrar o FL 400 e atingir o FL 409 (Tabela 1).

Essa substancial variação na *Vertical Acceleration*, constatada a bordo pela projeção dos passageiros e comissário contra a parte superior do interior da aeronave, foi a causadora das graves lesões sofridas por alguns dos ocupantes da aeronave, uma vez que eles não estavam com cintos afivelados.

O FDR revelou que a turbulência teve a duração aproximada de 1 minuto e 37 segundos, com uma intensidade máxima de 15 segundos (Figura 17).

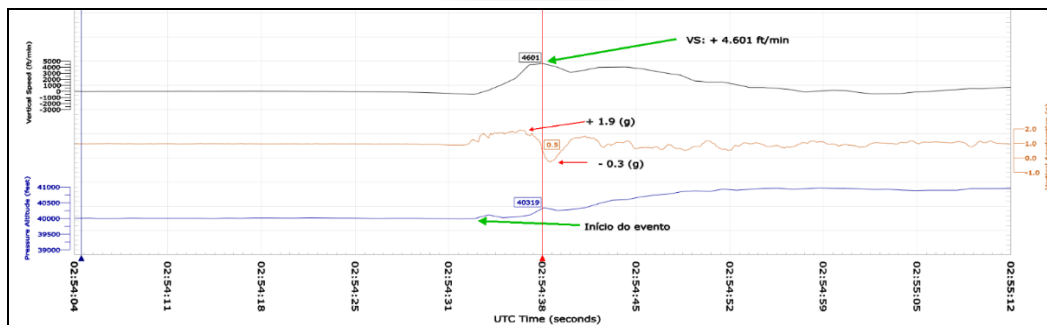


Figura 17 - Variação da *vertical acceleration*, *load limit*, and *speed* durante o evento.

Dados retirados do FDR demonstram que a aeronave foi submetida, por cerca de 5 segundos, a uma forte corrente de ar vertical que variou entre +2.000ft/min (*down-wind*) e -9.300ft/min (*up-wind*).

1.12. Informações acerca do impacto e dos destroços.

Ocorreram danos leves na aeronave em virtude do impacto de passageiros contra a parte superior do interior da cabine (Figura 1).

A análise do FDR mostrou que os limites estruturais da aeronave não foram excedidos, não requerendo qualquer ação de manutenção.

1.13. Informações médicas, ergonômicas e psicológicas.

1.13.1. Aspectos médicos.

Um único tripulante (comissário) sofreu lesões graves (fratura no úmero). Ao longo da turbulência, este estava fixando o carro de transporte de alimentos na *galley* traseira, o que o impediu de ter tempo hábil de se amarrar durante o evento.

Com relação aos passageiros, dois sofreram lesões graves. Foram duas mulheres, as quais se encontravam sentadas, mas não estavam utilizando cinto de segurança. Uma teve fratura na coluna vertical, além de uma luxação no cotovelo. A segunda teve fratura na clavícula e trauma na coluna, crânio e tórax. A fratura observada na clavícula indicou osteossíntese com necessidade de colocação de placa de reconstrução bloqueada e 10 (dez) parafusos.

1.13.2. Informações ergonômicas.

Nada a relatar.

1.13.3. Aspectos Psicológicos.

Não pesquisado.

1.14. Informações acerca de fogo.

Não havia nenhuma evidência de fogo.

1.15. Informações acerca de sobrevivência e/ou de abandono da aeronave.

Nada a relatar.

1.16. Exames, testes e pesquisas.

Nada a relatar.

1.17. Informações organizacionais e de gerenciamento.

Nada a relatar.

1.18. Informações operacionais.

A aeronave estava dentro dos limites de peso e balanceamento especificados pelo fabricante.

De acordo com o FDR, houve um desengajamento do piloto automático durante a ocorrência. Este desengajamento, considerado como involuntário, foi confirmado pela mensagem "AP OFF". Um desengajamento involuntário significa que não houve uma desconexão por meio do *institive disconnect push button*.

Neste contexto, ocorreram duas possibilidades que explicariam o desengajamento:

- *Angle of Attack Protection*: no momento do desengajamento o AoA1 estava com cerca de +8° e o AoA2 com +10°; e
- *Sidestick input*: no momento do desengajamento o *sidestick input* do Comandante estava com um ângulo de *pitch* (eixo longitudinal) de 5.1°.

Os limites do *Sidestick input* e do *Angle of Attack Protection* foram sobrepujados, provocando o desengajamento do piloto automático. Como as possibilidades de desengajamento enquadravam-se no mesmo lapso temporal de atualizações de dados do FDR, não foi possível definir qual parâmetro foi primeiramente estabelecido. Destaca-se que, após 6 segundos, o PF engajou novamente o piloto automático.

De acordo com a tripulação, o radar meteorológico embarcado na aeronave operava normalmente, de maneira que as apresentações de nebulosidades circunvizinhas do equipamento eram fidedignas em condições de voo visual, bem como os resultados de testes do equipamento. Ainda, de acordo com o relato do comandante e do copiloto, segundos antes da turbulência, não havia nenhuma indicação de mau tempo à frente, baseando-se tanto nas apresentações da tela do radar, bem como pelo contato visual mantido com as estrelas.

Os pilotos reportaram que a aeronave, subitamente, foi submetida a uma severa turbulência, com presença de fogo de santelmo e ruídos de granizo. Durante a ocorrência, a aeronave ascendeu com uma grande razão (4.601 ft/min), tendo o piloto tentado controlá-la por meio de movimentos no *sidestick* (Figuras 18 e 19), com aplicações de comando opostas às mudanças de atitudes refletidas na aeronave.

O copiloto por sua vez, tentou acionar imediatamente o interruptor de "use cintos", o que só foi possível após alguns segundos dada a amplitude e frequência dos fortes movimentos da aeronave.

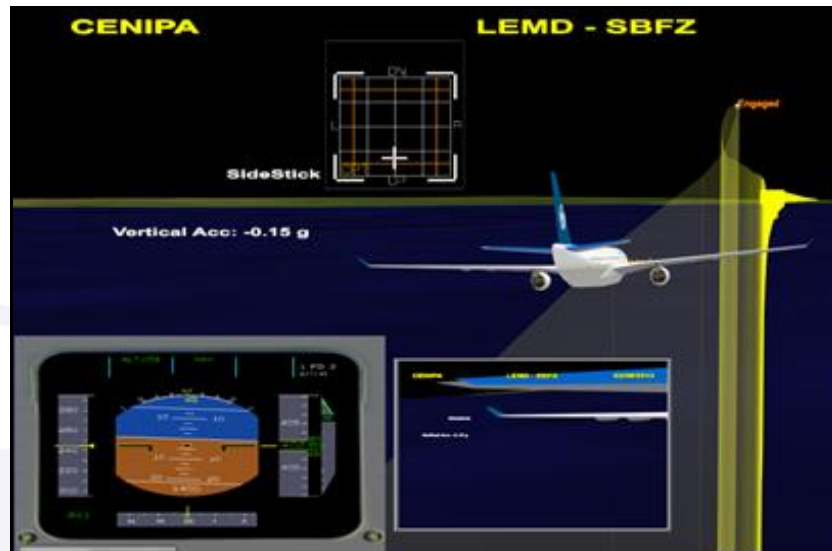


Figura 18 - Sidestick cabrado com *pitch down* da aeronave.

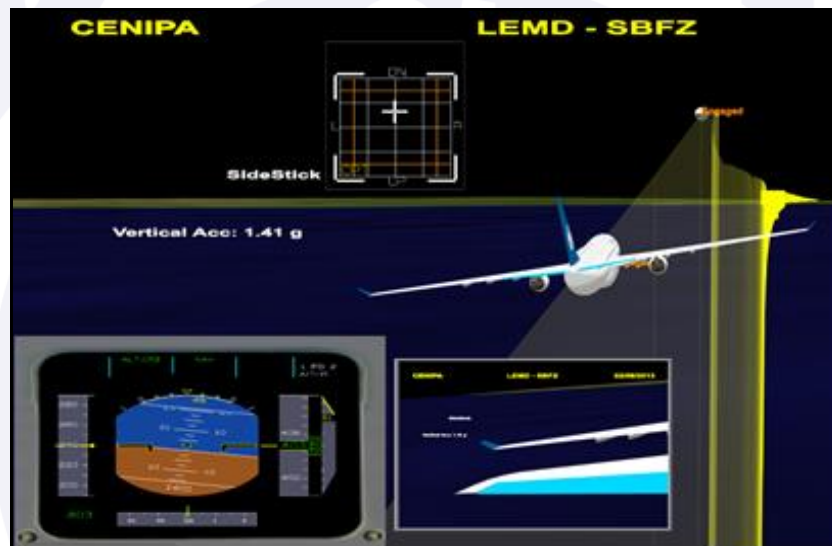


Figura 19 - Sidestick picado com *pitch up* da aeronave.

Segundo o *Flight Crew Operating Manual - Supplementary Procedures - ADVERSE WEATHER - SEVERE TURBULENCE* (Pro_Sup 91-10 e FCTM SI-010), durante uma turbulência severa, o *autopilot* deveria permanecer engajado (Figura 20).


 A330/A340 FLIGHT CREW OPERATING MANUAL	PROCEDURES SUPPLEMENTARY PROCEDURES ADVERSE WEATHER - SEVERE TURBULENCE
	AUTOPILOT/AUTOTHURST
Applicable to: ALL Keep the autopilot ON. When thrust changes are excessive : Disconnect autothrust. For approach : Use autothrust for managed speed.	

Figura 20 - Orientação de manutenção do acoplamento do piloto automático durante uma turbulência severa (Pro-Sup-91-10 P 1/6).

No entanto, em caso de voo manual, o piloto ao enfrentar amplas variações de altitude, não deveria "perseguir" a altitude, buscando manter somente a atitude da aeronave, permitindo que altitude variasse (Figura 21).

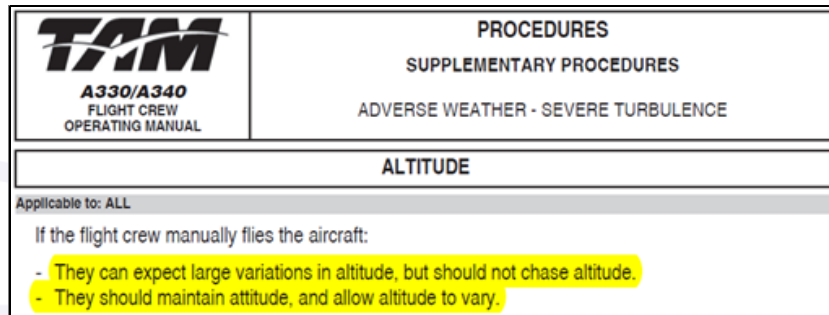


Figura 21 - Procedimentos relacionados à manutenção de atitude e altitude em caso de voo manual durante uma turbulência severa (Pro-Sup-91-10 P 1/6).

Orientava-se, ainda, no *Supplementary Information* que a lógica de funcionamentos dos sistemas de controle da aeronave (*Control Laws*) foram desenvolvidas para atuar adequadamente em uma área de turbulência quando a aeronave fosse pilotada manualmente, de maneira o piloto deveria evitar a tentação de "brigar" com a turbulência e não controlar excessivamente o *sidestick*.

Os limite de carga do avião não foram ultrapassados, não sendo, portanto, necessárias recomendações específicas de manutenção.

1.19. Informações adicionais.

Nada a relatar.

1.20. Utilização ou efetivação de outras técnicas de investigação.

Não houve.

2. ANÁLISE.

A aeronave decolou do Aeroporto Adolfo Suárez, Madrid-Barajas, Espanha (LEMD), com destino ao Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos - Governador André Franco Montoro, SP (SBGR), a fim de realizar um voo de transporte comercial de passageiros, com 16 tripulantes e 168 passageiros a bordo.

Durante a fase de cruzeiro sobre o Atlântico, às 02h54min (UTC), mantendo o FL400, na aerovia UN741, próximo à posição NANIK, subitamente, a aeronave foi submetida a uma severa turbulência, com presença de fogo de santelmo e ruídos de granizo, sem que tenha havido a indicação de qualquer formação adversa na tela do radar.

Doze passageiros e três tripulantes sofreram ferimentos, sendo que um comissário de voo e dois passageiros sofreram lesões graves.

Tanto o tripulante, quanto os passageiros que sofreram lesões graves não estavam utilizando cintos de segurança. O tripulante lesionado estava de pé, trabalhando na área da *galley* durante a ocorrência.

A luz "use cintos" não estava acesa durante a turbulência, uma vez que, segundo a tripulação, no momento do evento, não havia indicação de mau tempo, seja na tela do *Navigation Display* do radar ou na observação visual da rota.

Não obstante, tanto no *speech* inicial dos comissários, como nos demais avisos postados durante o voo, os tripulantes alertavam que os cintos deveriam estar afivelados enquanto os passageiros estivessem sentados.

Na análise dos dados de voo do FDR, foi possível constatar que a aeronave enfrentou uma região de turbulência, ficando registrado que, em determinado momento, ela foi submetida a um fator de carga vertical que variou entre +1.9 G e -0.3 G, correspondendo a uma variação de 2,2 G em dois segundos.

Nesse mesmo intervalo de tempo, pôde-se observar uma intensa variação na razão de subida de até +4.601 ft/min, levando a aeronave a livrar o FL 400 e atingir o FL 409. A aeronave também foi submetida, por cerca de 5 segundos, a uma forte corrente de ar vertical que variou entre +2.000 ft/min (*down-wind*) e - 9.300 ft/min (*up-wind*).

Essa substancial variação na *Vertical Acceleration*, constatada a bordo pela projeção dos passageiros e comissário contra a parte superior do interior da aeronave, foi a causadora das graves lesões sofridas pelos alguns dos ocupantes da aeronave, uma vez que eles não estavam com cintos afivelados.

Ainda, de acordo com o FDR, houve um desengajamento do piloto automático durante a ocorrência. Este desengajamento, considerado como involuntário, ocorreu em razão do sobrepujamento dos limites estabelecidos para o *Sidestick input* e por fatores relacionados ao *Angle of Attack Protection*. Após 6 segundos, o PF engajou novamente o piloto automático.

O FDR revelou que a turbulência teve a duração aproximada de 1 minuto e 37 segundos, com uma intensidade máxima em um espaço de tempo de 15 segundos.

Nesse sentido, reveste-se de fundamental importância a abordagem de dois aspectos fundamentais para a análise da ocorrência. O primeiro está relacionado com os aspectos meteorológicos e o segundo com a operação do equipamento radar a bordo da aeronave.

Em relação aos aspectos meteorológicos, havia um SIGMET, para a Região de Informação de Voo (FIR) DAKAR, alertando para a existência de trovoadas embutidas com topo no FL450, válida para o período das 00h00min (UTC) às 04h00min (UTC) do dia 02SET2013. Essa mensagem de alerta foi inserida no Banco Internacional de Dados Meteorológicos (OPMET) às 23h56min (UTC) do dia 01SET2013 (Figura 4).

O SIGMET alertava para a presença de fenômenos meteorológicos em rota que poderiam afetar a segurança operacional das aeronaves. O acesso às atualizações das informações relativas às condições meteorológicas estava disponível e poderia ser realizado por meio do *Flight Watch*.

De fato, no dia 02SET2013, entre 02h30min (UTC) e 03h00min (UTC), a ITCZ oscilava, no Atlântico, entre as coordenadas 5°N e 12°N, com atividade convectiva moderada. A região da condição anormal encontrava-se cercada por células convectivas profundas (CB), predominantemente em fase de desenvolvimento/maturidade, conforme observado na Figura 6. De acordo com Riehl (1954, p.183)¹ “correntes ascendentes e descendentes são inerentes a esse estágio do ciclo de vida de uma célula de trovoadas, e no estágio de dissipação”. Ainda segundo Riehl (1954, p.159)², “um avião deverá se deparar com um cenário de turbulência fora da nuvem ao aproximar-se dela”.

Gavin (2008, p.51)³ ressaltava que “quando várias nuvens CB se encontram agrupadas, ou seja, próximas umas das outras, elas ressoam um enorme sistema de condições climáticas extremas, que se autoalimenta, podendo elevar o potencial de destruição de uma aeronave”. Essa autoalimentação ficou evidente nas proximidades da região da condição anormal. Na análise das imagens de satélite, observou-se que as

¹ RIEHL, Herbert; Meteorologia Tropical. Rio de Janeiro: Aliança para o Progresso, 1954, p.183

² Idem - p.159

³ GAVIN, Pretor-Pinney; Guia do Observador de Nuvens. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2008, p.51.

células de CB se desenvolveram, dissiparam-se e tornaram a se desenvolver e a se dissipar, configurando um cenário altamente instável e hostil ao voo.

Nesse contexto, as características reinantes e visíveis no sequenciamento de imagens do satélite METEOSAT (disponibilizadas pelo CPTEC) entre 01h00min (UTC) e 03h00min (UTC), do dia 02SET2013, indicavam que a aeronave passava por um “corredor” de células convectivas profundas, o que denota ser bastante plausível ter sido submetida a condições de ar turbulento, fora da nuvem, causadas pelos movimentos convectivos inerentes a áreas de instabilidade.

Riehl (1954, p.128)⁴ dizia que “o período de crescimento é rápido, de 10 a 15 minutos e a dissipação dura mais tempo, às vezes superior a 20 minutos”. O autor concluiu afirmando que “é por essa razão que é mais difícil identificar uma célula em desenvolvimento do que uma célula em seu estado maduro ou em dissipação”.

Dessa forma, provavelmente no momento do reporte, a aeronave estava sob influência indireta dos sistemas demarcados pelas áreas “S2” e “S3” da Figura 7 e sob influência direta da célula de CB em desenvolvimento abaixo da região da condição anormal, o que evidenciava a presença de correntes ascendentes predominantes na rota da aeronave. Infere-se, também, que o topo do CB poderia estar bem próximo do nível de voo da aeronave, quando esta sofreu a turbulência.

É importante destacar que a Airbus alertava, na publicação *Flight Operations Briefing Notes (FLT OPS - ADV WX - SEQ 07 - REV 02 - FEB. 2007)*, que uma turbulência não está associada somente ao voo no interior de uma nuvem tipo CB, sendo, portanto necessário tomar medidas preventivas para evitá-la, tais como: manter uma separação vertical de no mínimo 5.000ft e lateral de 20 NM da formação.

Turbulence associated with a Cb is not limited to inside the cloud. Weather radars cannot detect turbulence in clear air, so it is therefore necessary to take precautionary measures. A Cb should be cleared by a minimum of 5.000ft vertically and 20 NM laterally, to minimize the risk of encountering severe turbulence.

De acordo com os relatos do comandante e do copiloto, segundos antes da turbulência, não havia nenhuma indicação de mau tempo à frente, baseando-se tanto nas apresentações da tela do radar, bem como pelo contato visual mantido com as estrelas, que indicava a ausência de nuvens. Dessa forma, é importante que seja esclarecido os motivos pelos quais a tripulação não detectou a presença de uma formação tão significativa.

Esse fato está provavelmente relacionado com o emprego do radar meteorológico a bordo da aeronave. Nesse sentido, deve-se salientar que tanto a Airbus, quanto a TAM ressaltavam que, para monitoramento eficiente do radar meteorológico, a tripulação deveria utilizar o *TILT* do radar de forma correta e efetiva.

A Airbus indicava que a manutenção de um adequado ajuste do radar estava associado a um *TILT* negativo e a um retorno de terreno no topo do ND. Para tanto, recomendava um *TILT* de -3,5° para um *range* de 80NM e um *TILT* de -1,5° para *range* de 160NM (Figura 12).

A companhia aérea, por sua vez, apesar de não recomendar qual seria o *TILT* ideal para o *range* selecionado, indicava que, a manutenção de um adequado ajuste do radar estava associado, além do retorno de terreno no topo do ND, a um permanente escaneamento das condições meteorológicas por meio de uma alteração do *TILT* (Figura 14).

⁴ RIEHL, Herbert; Meteorologia Tropical. Rio de Janeiro: Aliança para o Progresso, 1954, p.128.

Considerando que, de acordo com o FDR, o *range* dos dois pilotos (PF e PNF) estava ajustado para 80NM e que o *TILT* selecionado era de -1° , pôde-se inferir que essa configuração do radar de bordo não permitiu a detecção da nuvem de CB que se formava nos níveis inferiores (FL 370) da aeronave (Figura 13).

Para que a nuvem fosse percebida a uma distância que permitisse efetuar o desvio, o *TILT* ideal, para um *range* de 80NM, de acordo com o *Flight Operations Briefing Notes da Airbus*, seria de $-3,5^{\circ}$ (Figura 12).

Em grandes altitudes, as células da nuvem podem apresentar cristais de gelo, os quais proporcionam baixa reflexividade ao radar (maiores refletividades estão presentes nos níveis médios e inferiores, onde se faz presente água no estado líquido).

Neste contexto, um *TILT* inadequado do radar poderia conduzir a uma varredura somente na posição superior da nuvem (onde se concentram predominantemente cristais de gelo), o que poderia levar a um escaneamento da parte menos reflexiva da célula de mau tempo, ocasionado com que ela fosse subestimada ou não detectada.

Nesse sentido, e considerando que não foram detectadas ou visualizadas quaisquer formações meteorológicas adversas na tela do radar no momento do acidente, pode-se deduzir que a aeronave estaria sobrevoando, no FL 400, uma nuvem *cumulonimbus* com o topo estimado no FL 370, em fase de desenvolvimento/maturidade, conforme foi destacado nas imagens satélite do CPTEC (Figura 6).

Isto posto, pode-se depreender que os seguintes fatores podem ter contribuído para que a aeronave adentrasse em uma área de forte turbulência, sem que houvesse qualquer indicação no ND do radar meteorológico:

- o *TILT* (1° DN) não estava com angulação ideal para o alcance selecionado (80NM);
- a aeronave sobrevoou uma região sujeita a turbulência severa, conhecida como *turbulence dome*, situada acima do topo visível de uma tempestade em formação, de baixa reflexibilidade radar e sem nebulosidade;
- a aeronave não manteve uma separação vertical de 5.000ft e lateral de 20NM de uma nuvem CB em formação, com topo acima de 35.000ft;
- a nebulosidade com umidade mais significativa (com razoável reflexividade) estava a aproximadamente 3.000ft abaixo da aeronave;
- a aeronave estaria sobrevoando, no FL 400, uma nuvem *cumulonimbus* com o topo estimado no FL 370, em fase de desenvolvimento/maturidade;
- não houve uma adequada utilização dos serviços prestados pelo *Flight Watch*, para permitir o conhecimento da mensagem SIGMET, que alertava para a existência de trovoadas embutidas com topo no FL450.

A meteorologia reinante constituiu-se em um fator crítico para o evento, com características de intensas correntes verticais de ar, de grande variação de intensidade e direção, provocadas diretamente pelo intenso e rápido processo convectivo de desenvolvimento da célula de CB, situada a uma distância horizontal inferior a 20 NM e com topo das nuvens a aproximadamente 3.000ft abaixo da rota voada.

Assim sendo, a ausência da reflexibilidade na seção superior da tempestade (*turbulence dome*), aliada às configurações selecionadas no painel de controle do radar, podem ter corroborado para o ingresso da aeronave em uma região de severa turbulência.

3. CONCLUSÃO.

3.1. Fatos.

- a) os pilotos estavam com os Certificados Médicos Aeronáuticos (CMA) válidos;
- b) os pilotos estavam com os Certificados de Habilitação Técnica (CHT) válidos;
- c) os pilotos estavam qualificados e possuíam experiência no tipo de voo;
- d) a aeronave estava com o Certificado de Aeronavegabilidade (CA) válido;
- e) a aeronave estava dentro dos limites de peso e balanceamento;
- f) a escrituração das cadernetas de célula e motores estavam atualizadas;
- g) próximo ao fixo NANIK, a aeronave entrou em um setor de turbulência severa;
- h) de acordo com os relatos do comandante e do copiloto, segundos antes da turbulência, não havia nenhuma indicação de mau tempo à frente, baseando-se tanto nas apresentações da tela do radar, bem como pelo contato visual mantido com as estrelas, que indicava a ausência de nuvens;
- i) havia um alerta de trovoadas embutidas observadas, com topo no FL450, válida para o período das 00h00min (UTC) às 04h00min (UTC) do dia 02SET2013;
- j) a região da condição anormal se encontrava cercada por células convectivas profundas (CB), predominantemente em fase de desenvolvimento/maturidade;
- k) a aeronave encontrava-se em uma região sujeita, desde às 00h00min (UTC) do dia 02SET2013, a condições de trovoadas embutidas, formação de gelo e de turbulência severa, porém não estava inserida em extensas áreas de nebulosidade significativa;
- l) a luz de "Use Cintos" não estava ligada no início da turbulência;
- m) no início da turbulência severa, vários passageiros e comissários lesionados não estavam com seus cintos de segurança afivelados;
- n) tanto no *speech* inicial dos comissários, como em outros avisos postados durante o voo, os tripulantes informaram que os cintos deveriam estar afivelados enquanto os passageiros estivessem sentados;
- o) houve a tentativa de controlar a aeronave por meio do *Sidestick*;
- p) houve desacoplamento involuntário do *autopilot*;
- q) o período de instabilidade durou cerca de 1 minuto e 37 segundos, com uma intensidade máxima de 15 segundos;
- r) o painel de controle do radar, no momento do acidente, estava ajustado para um range de 80 NM (PF/PNF), com um *TILT* de -1° ;
- s) não houve qualquer indício de mau funcionamento do radar meteorológico;
- t) a aeronave teve danos leves em seu interior; e
- u) um comissário e dois passageiros sofreram lesões graves, bem como dois comissários e dez passageiros sofreram lesões leves.

3.2. Fatores contribuintes.

- Aplicação dos comandos – indeterminado.

Os limites do *Sidestick input* e do *Angle of Attack Protection* foram sobrepajados, provocando o desengajamento do piloto automático. Segundo dados do FDR, o piloto tentou contrariar os efeitos da turbulência, com aplicações sidestick opostas às mudanças de atitude da aeronave, o que pode ter contribuído para ampliar os efeitos causados pela turbulência.

- Condições meteorológicas adversas – contribuiu.

A meteorologia reinante constituiu-se em um fator crítico para o evento, com características de intensas correntes verticais de ar, de grande variação de intensidade e direção, provocadas diretamente pelo intenso e rápido processo convectivo de desenvolvimento da célula de CB, situada a uma distância horizontal inferior a 20 NM e com topo das nuvens a aproximadamente 3.000ft abaixo da rota voada.

- Outros – indeterminado.

Ajuste do “TILT” do radar – Indeterminado.

O ajuste do painel de controle do radar, no momento do acidente, para um *range* de 80 NM (PF/PNF), com um *TILT* de -1° e a ausência da reflexibilidade na seção superior da tempestade (*turbulence dome*), podem ter corroborado para o ingresso da aeronave em uma região de severa turbulência.

4. RECOMENDAÇÃO DE SEGURANÇA

Medida de caráter preventivo ou corretivo emitida pelo CENIPA ou por um Elo-SIPAER para o seu respectivo âmbito de atuação, visando eliminar um perigo ou mitigar o risco decorrente de condição latente, ou de falha ativa, resultado da investigação de uma ocorrência aeronáutica, ou de uma ação de prevenção e que, em nenhum caso, dará lugar a uma presunção de culpa ou responsabilidade civil, penal ou administrativa.

Em consonância com a Lei nº 7.565/1986, as recomendações são emitidas unicamente em proveito da segurança de voo. Estas devem ser tratadas conforme estabelecido na NSCA 3-13 “Protocolos de Investigação de Ocorrências Aeronáuticas da Aviação Civil conduzidas pelo Estado Brasileiro”.

Recomendações emitidas no ato da publicação deste relatório.

À Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), recomenda-se:

A-158/CENIPA/2013 – 01

Emitida em: 10/05/2018

Divulgar os ensinamentos contidos no presente relatório, a fim elevar a consciência situacional dos pilotos, notadamente, no que se refere à identificação de áreas que apresentam condições meteorológicas adversas, bem como os procedimentos a serem adotados para mitigar os riscos provocados por fenômenos meteorológicos.

A-158/CENIPA/2013 – 02

Emitida em: 10/05/2018

Atuar junto ao operador a fim de que sejam reforçados aos pilotos, no Programa de Treinamento da empresa, os procedimentos e técnicas adequados de uso do radar e controle da aeronave, visando evitar áreas de turbulência severa.

5. AÇÃO CORRETIVA OU PREVENTIVA JÁ ADOTADA.

Não houve.

Em, 10 de maio de 2018.

