

COMANDO DA AERONÁUTICA
CENTRO DE INVESTIGAÇÃO E PREVENÇÃO DE
ACIDENTES AERONÁUTICOS



RELATÓRIO FINAL
A-011/CENIPA/2022

OCORRÊNCIA:	ACIDENTE
AERONAVE:	PS-RAF
MODELO:	AT-602
DATA:	20JAN2022



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 da Investigação SIPAER 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 Final foi disponibilizado à Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) para que as análises técnico-científicas desta investigação sejam utilizadas como fonte de dados e informações, objetivando a identificação de perigos e avaliação de riscos, conforme disposto no Programa Brasileiro para a Segurança Operacional da Aviação Civil (PSO-BR).

Este relatório não recorre a quaisquer procedimentos de prova para apuração de responsabilidade no âmbito administrativo, civil ou criminal; estando em conformidade com o Appendix 2 do Anexo 13 "Protection of Accident and Incident Investigation Records" 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 se resguardarem 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.

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

SINOPSE

O presente Relatório Final refere-se ao acidente com a aeronave de matrícula PS-RAF, modelo AT-602, ocorrido em 20JAN2022, classificado como “[LOC-I] Perda de controle em voo”.

Logo após a decolagem, houve a perda de controle da aeronave, que veio a impactar contra o solo.

A aeronave teve danos substanciais.

O piloto sofreu lesões fatais.

Houve a designação de Representante Acreditado do *National Transportation Safety Board* (NTSB) - Estados Unidos, Estado de projeto/fabricação da aeronave.

Houve a designação de Representante Acreditado do *Transportation Safety Board* (TSB) - Canadá, Estado de fabricação do motor 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.....	8
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.....	9
1.8. Auxílios à navegação.....	9
1.9. Comunicações.....	9
1.10. Informações acerca do aeródromo.....	9
1.11. Gravadores de voo.....	9
1.12. Informações acerca do impacto e dos destroços.....	10
1.13. Informações médicas, ergonômicas e psicológicas.....	10
1.13.1. Aspectos médicos.....	10
1.13.2. Informações ergonômicas.....	10
1.13.3. Aspectos Psicológicos.....	10
1.14. Informações acerca de fogo.....	10
1.15. Informações acerca de sobrevivência e/ou de abandono da aeronave.....	10
1.16. Exames, testes e pesquisas.....	11
1.17. Informações organizacionais e de gerenciamento.....	12
1.18. Informações operacionais.....	12
1.19. Informações adicionais.....	15
1.20. Utilização ou efetivação de outras técnicas de investigação.....	18
2. ANÁLISE.....	18
3. CONCLUSÕES.....	20
3.1. Fatos.....	20
3.2. Fatores contribuintes.....	20
4. RECOMENDAÇÕES DE SEGURANÇA.....	21
5. AÇÕES CORRETIVAS OU PREVENTIVAS ADOTADAS.....	21

GLOSSÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS E ABREVIATURAS

AFH	<i>Airplane Flying Handbook</i> - guia de pilotagem de aeronave
AFM	<i>Airplane Flight Manual</i> - manual de voo da aeronave
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
AoA	<i>Angle of Attack</i> - ângulo de ataque
CG	Centro de Gravidade
CIV	Caderneta Individual de Voo
CMA	Certificado Médico Aeronáutico
COELBA	Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia
CP	Centro de Pressão
CSN	<i>Cycles Since New</i> - ciclos desde novo
CVA	Certificado de Verificação de Aeronavegabilidade
DGPS	<i>Differential Global Positioning System</i> - sistema de posicionamento global diferencial
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
FCU	<i>Fuel Control Unit</i> - unidade de controle de combustível
IAC	Instrução de Aviação Civil
IFR	<i>Instrument Flight Rules</i> - regras de voo por instrumentos
IMC	<i>Instrument Meteorological Conditions</i> - condições de voo por instrumentos
LOC-I	<i>Loss of Control in Flight</i> - perda de controle em voo
MCA	Manual do Comando da Aeronáutica
MNTE	Habilitação de Classe Avião Monomotor Terrestre
NTSB	<i>National Transportation Safety Board</i>
OM	Organização de Manutenção
OS	Ordem de Serviço
PAGA	Habilitação de Piloto Agrícola - Avião
PCM	Licença de Piloto Comercial - Avião
PIC	<i>Pilot in Command</i> - piloto em comando
PMD	Peso Máximo de Decolagem
PPR	Licença de Piloto Privado - Avião
RBAC	Regulamento Brasileiro da Aviação Civil
RBHA	Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica
SIPAER	Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos
SN	<i>Serial Number</i> - número de série

SSQZ	Designativo de localidade - Aeródromo Mimoso do Oeste, Luís Eduardo Magalhães, BA
TPP	Categoria de Registro Privada - Serviços Aéreos Privados
TSB	<i>Transportation Safety Board</i>
TSN	<i>Time Since New</i> - tempo desde novo
UTC	<i>Universal Time Coordinated</i> - tempo universal coordenado
VFR	<i>Visual Flight Rules</i> - regras de voo visual



1. INFORMAÇÕES FACTUAIS.

Aeronave	Modelo: AT-602 Matrícula: PS-RAF Fabricante: <i>Air Tractor, Inc</i>	Operador: Particular
Ocorrência	Data/hora: 20JAN2022 - 17:32 (UTC) Local: Fazenda Serra Branca Lat. 08°00'43"S Long. 044°43'16"W Município - UF: Luís Eduardo Magalhães - BA	Tipo(s): [LOC-I] Perda de controle em voo

1.1. Histórico do voo.

A aeronave decolou do Aeródromo Mimoso do Oeste (SSQZ), Luís Eduardo Magalhães, BA, às 17h32min (UTC), com destino à área de pouso para uso aeroagrícola da Fazenda Ipiranga, São Desidério, BA, a fim de realizar um voo de translado, com um piloto a bordo.

Segundo relatos de observadores no solo, ao decolar, a aeronave permaneceu em voo rasante até o limite da cabeceira oposta.

Em seguida, foi realizada uma subida íngreme, com um ângulo significativo de arfagem. No ponto mais alto da manobra, foi executado um giro de asas para a direita, chegando à posição de dorso.

Na sequência, houve a perda de controle da aeronave, que veio a impactar contra o solo, sem deslocamento, a cerca de 390 m da cabeceira oposta.



Figura 1 - Vista do PS-RAF no local do acidente.

A aeronave teve danos substanciais. O piloto sofreu lesões fatais.

1.2. Lesões às pessoas.

Lesões	Tripulantes	Passageiros	Terceiros
Fatais	1	-	-
Graves	-	-	-
Leves	-	-	-
llesos	-	-	-

1.3. Danos à aeronave.

A aeronave teve danos substanciais em toda a sua extensão.

Houve a flexão das asas, fuselagem e estabilizadores horizontal e vertical.

O grupo motopropulsor sofreu graves avarias em decorrência do impacto da aeronave contra o solo.

1.4. Outros danos.

Antes de impactar contra o solo, a aeronave colidiu contra um cabo de uma linha de transmissão elétrica da Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (COELBA), contudo, sem rompê-lo.

1.5. Informações acerca do pessoal envolvido.

1.5.1. Experiência de voo dos tripulantes.

Horas Voadas	
Discriminação	PIC
Totais	2.493:24
Totais, nos últimos 30 dias	65:30
Totais, nas últimas 24 horas	00:00
Neste tipo de aeronave	65:30
Neste tipo, nos últimos 30 dias	65:30
Neste tipo, nas últimas 24 horas	00:00

Obs.: os dados relativos às horas voadas foram obtidos por meio dos registros da Caderneta Individual de Voo (CIV) do piloto e de declaração de terceiro.

1.5.2. Formação.

O Piloto em Comando (PIC) realizou o curso de Piloto Privado - Avião (PPR) no Aero Clube de Campo Mourão, PR, em 2008.

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

O PIC possuía a licença de Piloto Comercial - Avião (PCM) e estava com as habilitações de Avião Monomotor Terrestre (MNTE) e Piloto Agrícola - Avião (PAGA) válidas.

1.5.4. Qualificação e experiência no tipo de voo.

O piloto estava qualificado e possuía experiência no tipo de voo.

Os registros da CIV indicaram que o piloto operava a aeronave modelo AT-602 desde 30DEZ2021.

Entre os dias 30DEZ2021 e 18JAN2022, foram anotados na CIV do PIC 17 voos no modelo AT-602, todos no PS-RAF, totalizando 65 horas e 30 minutos de voo. Em sua maioria, eram voos para pulverização de defensivos agrícolas.

1.5.5. Validade da inspeção de saúde.

O PIC estava com o Certificado Médico Aeronáutico (CMA) válido.

1.6. Informações acerca da aeronave.

A aeronave, modelo AT-602, de número de série (SN) 602-1326, foi fabricada pela *Air Tractor Inc.*, em 2021, e estava inscrita na Categoria de Registro Privada - Serviços Aéreos Privados (TPP).

O Certificado de Verificação de Aeronavegabilidade (CVA) estava válido.

No diário de bordo, não foram identificadas quaisquer discrepâncias que tivessem resultado em mau funcionamento de qualquer sistema da aeronave.

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

A aeronave foi submetida a uma Vistoria Técnica Inicial (VTI), por motivo de nacionalização, que foi concluída em 18DEZ2021. A referida vistoria técnica foi realizada por técnicos da Superintendência de Aeronavegabilidade da ANAC, que atestaram a “aeronavegabilidade da aeronave de acordo com os RBHA/RBAC e IAC/IS aplicáveis”. Nessa data, a aeronave encontrava-se com 32 horas e 6 minutos totais de voo.

A última inspeção da aeronave, do tipo “100 horas”, foi concluída em 20JAN2022 pela Organização de Manutenção (OM) Oeste Manutenção e Reparação de Aeronaves Ltda., em Luís Eduardo Magalhães, BA, estando a aeronave com 10 minutos voados após a inspeção.

A Ordem de Serviço (OS) nº 0016/2022, datada de 18DEZ2022, que descreveu os serviços de manutenção realizados no grupo motopropulsor e sistemas do PS-RAF, não continha registros de reparos ou intervenções que pudessem ter impactado o desempenho do motor. Além disso, não havia qualquer registro de anormalidades que pudessem comprometer o funcionamento dos sistemas inspecionados.

Ademais, segundo o proprietário da OM Oeste Manutenção e Reparação de Aeronaves Ltda., no dia da ocorrência, anteriormente ao voo do acidente, foi realizado um voo de verificação (*maintenance check flight*), também conhecido como voo de experiência, para a verificação dos sistemas e recebimento da aeronave após o serviço.

O PIC envolvido no acidente foi o piloto que realizou o voo de verificação e nenhuma discrepância foi relatada. Não houve registro formal do voo de verificação no diário de bordo do PS-RAF.

No manual do proprietário (*Owners Manual*), para o modelo AT-602, não estava previsto a realização de voos de verificação após a realização da primeira inspeção do tipo “100 horas”.

1.7. Informações meteorológicas.

Não havia restrições à visibilidade no momento do acidente. As condições meteorológicas eram favoráveis para a realização do voo.

1.8. Auxílios à navegação.

Nada a relatar.

1.9. Comunicações.

Verificou-se que o tripulante manteve contato rádio com os órgãos de controle e que não houve anormalidade técnica de equipamentos de comunicação durante o voo.

1.10. Informações acerca do aeródromo.

O Aeródromo de SSQZ, Luiz Eduardo Magalhães, BA, era privado e operava sob Regras de Voo Visual (VFR), em período diurno.

A pista era de asfalto, com cabeceiras 10/28, dimensões 1.300 x 28 m, com elevação de 2.543 ft.

1.11. Gravadores de voo.

Não requeridos e não instalados

A aeronave estava equipada com um *Differential Global Positioning System* (DGPS), modelo AGNAV. Contudo, devido aos danos no equipamento, não foi possível extrair os dados armazenados do voo do acidente.

1.12. Informações acerca do impacto e dos destroços.

O primeiro impacto da aeronave ocorreu, com a asa direita, contra o cabo da linha de transmissão elétrica, já em atitude anormal. A aeronave colidiu contra o terreno com alta energia, às margens de uma estrada de terra, cerca de 390 m da cabeceira 10 de SSQZ.

Não houve relatos de explosões ou fogo no local.

Todas as superfícies de comando estavam presentes na aeronave. Contudo, devido à extensão dos danos, não foi possível precisar o posicionamento dos flapes.

A posição dos compensadores dos profundores, identificada nos destroços, era compatível com o que estava selecionado na alavanca de comando do compensador, entre a faixa verde de operação e a faixa de *nose up* (nariz cabrado).

Considerando a extensão dos danos, o padrão de deformação da fuselagem e das asas, assim como a concentração pontual dos destroços, a aeronave impactou contra o solo com elevada razão de afundamento, pequena inclinação de asa, atitude levemente picada e no dorso, no rumo 110°. Não houve deslocamento longitudinal após a colisão.

1.13. Informações médicas, ergonômicas e psicológicas.

1.13.1. Aspectos médicos.

Não houve evidência de que ponderações de ordem fisiológica ou de incapacitação tenham afetado o desempenho do piloto.

1.13.2. Informações ergonômicas.

Nada a relatar.

1.13.3. Aspectos Psicológicos.

O PIC foi descrito por seus colegas como uma pessoa de boa sociabilidade em seu grupo de trabalho e que não possuía perfil exibicionista. Ele estava familiarizado com o tipo de operação.

O PS-RAF, que havia sido adquirido recentemente pelo operador, estava equipado com uma motorização mais potente que a usual para o modelo, o que foi considerado uma novidade. Segundo relatos, havia muita curiosidade, de colegas do piloto acidentado, acerca do desempenho da aeronave.

No dia do acidente, observadores que estavam em uma oficina de manutenção de aeronaves situada na área patrimonial de SSQZ, e que preparavam outras aeronaves para voo, presenciaram a decolagem do PS-RAF.

Inclusive, um piloto, que decolaria logo em seguida, chegou a enviar, para o piloto envolvido na ocorrência, via aplicativo de mensagens, uma foto do PS-RAF realizando o táxi em direção à cabeceira 28.

Antes de decolar, o PIC do PS-RAF respondeu a mensagem agradecendo a foto, não se prolongando na troca de mensagens.

1.14. Informações acerca de fogo.

Não houve fogo.

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

Nada a relatar.

1.16. Exames, testes e pesquisas.

- Análise do Grupo Motopropulsor:

O motor *Pratt & Whitney*, modelo PT6A-65AG, SN PCE-PN0466, que equipava o PS-RAF, foi desmontado e inspecionado, com a finalidade de se identificar possível falha desse componente.

O *Time Since New* (TSN - tempo desde novo) era de 97 horas e 36 minutos, com 8 *Cycles Since New* (CSN - ciclos desde novo).

A caderneta do motor não possuía registros de reparos ou intervenções que pudessem ter afetado o seu desempenho.

Inicialmente, observou-se que o motor teve grandes avarias decorrentes do impacto do avião contra o solo.

A análise do motor revelou marcas de roçamento na turbina do compressor, nas turbinas de potência e nos lados anterior e posterior do defletor entre estágios da turbina (Figura 2).

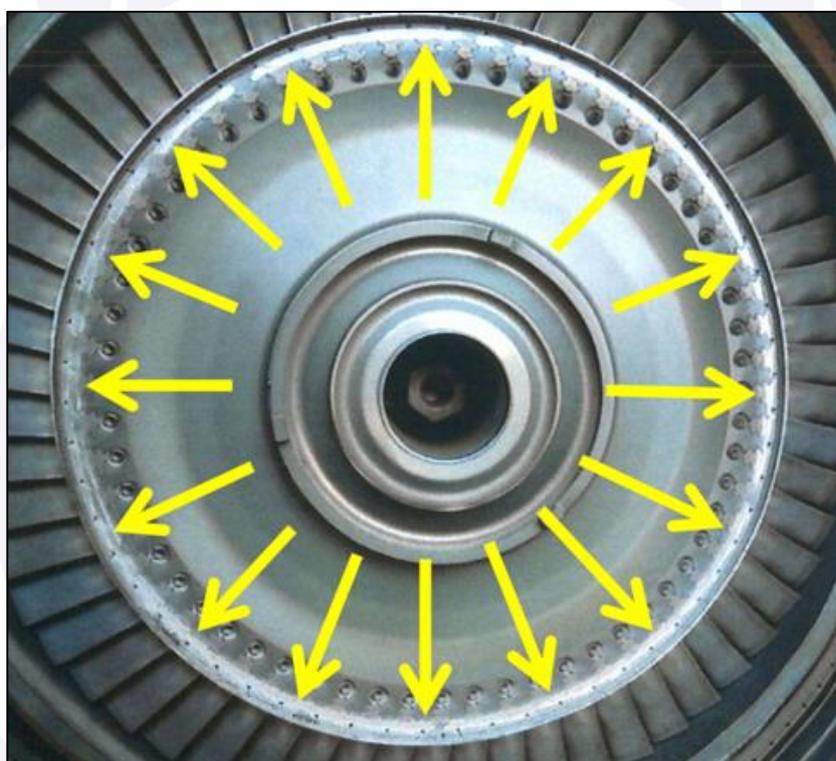


Figura 2 - Marcas de roçamento nas raízes das palhetas da turbina do compressor.

No sistema de lubrificação do motor não foi detectada qualquer anormalidade que pudesse comprometer o seu funcionamento.

O filtro de combustível de alta pressão estava limpo, bem como o combustível remanescente em seu reservatório não apresentava contaminantes.

A Figura 3 mostra uma vista do indicador de Ng do motor. Ele foi examinado, sendo constatado que o ponteiro ficou travado na posição de quase 100%, indicativa da condição de operação do componente no instante da colisão contra o terreno.



Figura 3 - Indicador de Ng do motor.

Devido à extensão dos danos, não foi possível testar, em bancada, o desempenho da Unidade de Controle de Combustível (FCU - *Fuel Control Unit*) do motor.

Assim, as análises do motor *Pratt & Whitney*, modelo PT6A-65AG, SN PCE-PN0466, que equipava a aeronave modelo AT-602, matrícula PS-RAF, apontaram que as assinaturas internas encontradas indicaram que o motor estava operacional. Evidenciaram, também, que este desenvolvia potência no instante em que a aeronave impactou contra o solo.

- Exame do sistema de comando de voo:

Os exames visuais realizados nos cabos de comando de voo primários, revelaram o espalhamento dos arames que compunham os cabos, rompimento dos arames e estrição em diversos pontos; indicativos de sobrecarga decorrente do impacto da aeronave.

Também, não foram encontrados quaisquer indícios de mau funcionamento dos demais componentes do sistema de comandos de voo da aeronave.

- Análise do Combustível:

Os tanques de combustível da aeronave se romperam com o impacto, permitindo, conseqüentemente, que todo o combustível extravasasse.

A amostra de combustível coletada do caminhão abastecedor, que realizou o último abastecimento do PS-RAF, no dia 20JAN2022, foi encaminhada à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) para exame.

O laudo da ANP apontou que a amostra estava com aspecto claro, límpido e isenta de água e material sólido, estando, portanto, dentro de sua respectiva especificação, não apresentando indícios de contaminação.

1.17. Informações organizacionais e de gerenciamento.

Nada a relatar.

1.18. Informações operacionais.

Tratava-se de um voo com o objetivo de transladar a aeronave, após a realização de inspeção programada, de SSQZ para uma área de pouso para uso aeroagrícola localizada na Fazenda Ipiranga, São Desidério, BA.

A aeronave operava dentro dos limites de peso e balanceamento. No momento da decolagem, o *hopper* da aeronave estava vazio.

O PS-RAF decolou com, aproximadamente, 3.690 kg, sendo que o Peso Máximo de Decolagem (PMD) estabelecido pelo fabricante da aeronave era de 5.670 kg.

Segundo relato de observadores no solo, na reta de decolagem, após cruzar a cabeceira oposta, a aeronave iniciou uma subida com elevado ângulo de arfagem, asas niveladas, até atingir uma altura estimada entre 300 e 500 ft. Na sequência, foi executado um giro de asas à direita até o voo de dorso. Nessa condição, de acordo com os reportes, o avião começou a perder altura, até colidir contra o solo (Figura 4).



Figura 4 - Representação da dinâmica estimada do acidente, baseada nos relatos dos observadores em solo.

Sobre os limites para a execução de manobras, a *Section 1 - Limitations* do AT-602 *Airplane Flight Manual* (AFM, manual de voo da aeronave) alertava que eram proibidas manobras acrobáticas e parafusos:

SECTION 1 - LIMITATIONS

2.4 PLACARDS AND MARKINS

The following information on placards pertaining to flight and operating limitations must be displayed:

[...]

(c) (1) THIS AIRPLANE MUST BE OPERATED IN RESTRICTED CATEGORY IN ACCORDANCE WITH THE AIRPLANE FLIGHT MANUAL. NO ACROBATIC MANEUVERS, INCLUDING SPINS. DESIGN MANEUVERING SPEED 162 MPH [141 KNOTS] CAS. MAX FLAP DOWN SPEED 130 MPH [113 KNOTS] CAS. MAX CROSSWIND VELOCITY LANDING 20 MPH [17 KNOTS]. ALT. LOSS FROM STALL 300 FT.

[...]

(20) On Instrument Panel: A STALL DURING SKIDDING TURNS WILL CAUSE THE NOSE TO PITCH DOWN SHARPLY AND RESULT IN A SIGNIFICANT LOSS OF ALTITUDE. MAINTAIN COORDINATED FLIGHT AT ALL TIMES.

Pelos relatos, o PS-RAF realizou uma decolagem do tipo “americana”. Nesse tipo de decolagem, após sair do chão, a aeronave permanece em voo rasante e, ao final da extensão da pista, devido à alta velocidade adquirida, sobe em ângulo de arfagem elevado.

Sobre isso, a *Section 2 - Normal Procedures* do AT-602 do manual de voo da aeronave descrevia a técnica para a decolagem normal para o peso de até 4.173 kg da

seguinte maneira, registrando que a velocidade a ser empregada para a melhor razão de subida seria de 89 kt:

TAKE-OFF: (Normal - Up to 4173 kg (9,200 lbs.) Gross Weight)

1. *With power still approximately 1500 lbs.-ft torque, check Np at 1700 RPM, release brakes and as aircraft moves forward, gradually advance Power Lever to provide a smooth and continuous acceleration of the engine to maximum take-off power.*
2. *As Power Lever is advanced, make sure temperature and torque limits are not exceeded.*
3. *Allow the tail to come up to the desired take-off attitude.*
4. *Best Rate of Climb speed at 4173 kg (9,200 lbs.) take-off weight is 89 kts (102 mph) CAS.*
5. *Adjust trim lever for climb and check temperature and torque limits. If desired, reduce propeller RPM to approximately 1550 RPM for climb.*

CAUTION: Reduction of prop RPM will increase Torque and can cause Torque limit to be exceeded when already operating at maximum Torque.

Com relação ao voo de operação agrícola, a *Section 2 - Normal Procedures* do AFM reforçava a necessidade da realização de curvas coordenadas, conferindo essa qualidade com o emprego do indicador de curva e derrapagem:

[...]

AGRICULTURAL FLYING:

[...]

Turns:

[...]

3. *Make coordinated turns. Use the slip indicator as a means of determining whether or not you are carrying bottom rudder. The AT-602 has excellent stall characteristics and if the aircraft is inadvertently placed in an impending stall situation, it is only necessary to relax some back pressure on the stick to make recovery, and little altitude is lost, providing the turn is coordinated. A stall from a skidding turn will result in the nose dropping sharply with a significant loss of altitude.*

[...]

Por sua vez, a *Section 3 - Emergency Procedures* alertava que as características de rotação deste modelo não foram totalmente investigadas e as técnicas de recuperação de um parafuso não foram estabelecidas, não havendo, portanto, treinamento previsto para essa condição.

No caso de um parafuso inadvertido, o documento sugeria a adoção dos seguintes procedimentos para recuperação dessa atitude anormal: reduzir a potência para mínima, colocar os ailerons na posição neutra, aplicar o pedal oposto para parar o giro, levar o manche à frente para picar a aeronave e recuperar o avião da descida:

1. *Reduce POWER to idle - The torque of an engine producing power will make spin recovery more difficult.*
2. *AILERONS neutral - Attempting to level the wings with aileron input can actually make the spin worse.*
3. *Apply FULL OPPOSITE RUDDER to stop the rotation - Apply rudder opposite the rotation of the spin. If you have trouble determining which way the airplane is spinning, look at your turn coordinator or turn needle. It will indicate the direction of rotation.*

4. Apply FORWARD ELEVATOR to break the stall - Immediately after applying opposite rudder, apply a quick forward motion on the control stick and hold anti-spin controls until the aircraft starts to recover.

5. RECOVER from the dive - Once you have completed the four previous steps, and the rotation stops, recover from the dive. The descent rate may be high and the airspeed can rapidly exceed redline. Remember to neutralize the rudder after the rotation stops.

Quanto à velocidade de estol, a *Section 4 - Performance*, além de informar que a altura máxima perdida na recuperação com as asas niveladas era de 300 ft, registrava também as seguintes velocidades de estol para um peso de 4.173 kg e com a potência reduzida (*power idle*) (Figura 5):

Angle-of-Bank-(Degrees)α	0°α	15°α	30°α	45°α	60°α
Stall-Speed-(MPH-CAS)-FLAPS-UPα	87α	89α	93α	103α	123α
Stall-Speed-(KNOTS-CAS)-FLAPS-UPα	76α	77α	81α	90α	107α
Stall-Speed-(MPH-CAS)-FLAPS-DOWNα	70α	71α	75α	83α	99α
Stall-Speed-(KNOTS-CAS)-FLAPS-DOWNα	61α	62α	65α	72α	76α

Figura 5 - Velocidades de estol do AT-602.

1.19. Informações adicionais.

O *Airplane Flying Handbook* (AFH - guia de pilotagem de aeronave) da *Federal Aviation Administration* (FAA-H-8083-3C), versão 2021, no *Chapter 5: Maintaining Aircraft Control: Upset Prevention and Recovery Training*, registrava que:

To prevent LOC-I accidents, it is important for pilots to recognize and maintain a heightened awareness of situations that increase the risk of loss of control. Those situations include: uncoordinated flight, equipment malfunctions, pilot complacency, distraction, turbulence, and poor risk management. Attempting to fly in instrument meteorological conditions (IMC) when the pilot is not qualified or proficient is a common example of poor risk management. The Emergency Procedures chapter of this handbook contains specific information regarding unintended flight into IMC. Sadly, there are also LOC-I accidents resulting from intentional disregard for safety.

Em tradução livre, o documento informava que para evitar acidentes ocasionados pela perda de controle em voo, é importante que os pilotos reconheçam e mantenham uma elevada consciência situacional acerca das situações que aumentam o risco dessa perda.

Essas situações incluem o voo descoordenado, o mau funcionamento do equipamento, a complacência do piloto, a distração, a turbulência e o gerenciamento de risco inadequado. O texto concluía afirmando que, infelizmente, também havia acidentes LOC-I resultantes de desrespeito intencional à segurança.

- Stall (Estol)

O estol é uma condição aerodinâmica que ocorre quando o fluxo de ar sobre as asas do avião é interrompido, resultando na perda de sustentação. Especificamente, um estol ocorre quando o *Angle of Attack* (AoA - ângulo de ataque) entre a linha de corda média da asa e o vento relativo excede o AoA crítico da asa (Figura 6).



Figura 6 - Representação visual das definições de AoA e ângulo de arfagem (atitude).

É possível exceder o AoA crítico em qualquer velocidade, em qualquer atitude e em qualquer configuração de potência (Figura 7).

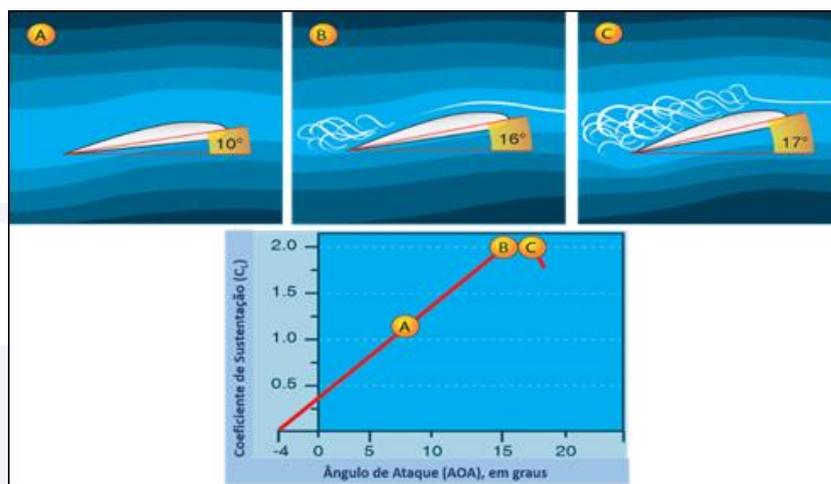


Figura 7 - Exemplo da dinâmica do estol e AoA crítico. Fonte: *Airplane Flying Handbook* - FAA-H-8083-3C, 2021.

Uma aeronave entra em uma condição de estol completa quando o AoA crítico é excedido. Indicações de um estol completo geralmente incluem um *nose down* (*pitch down*) não comandado, que não pode ser prontamente interrompido, podendo ser acompanhado, também, por um movimento de rolagem (giro de asas) não controlado.

Diferentes projetos de aeronaves podem resultar em diferentes características de estol. Fatores que podem afetar as características de estol de uma aeronave incluem sua geometria, posição do CG, *design* da asa, etc. Algumas variáveis podem influenciar na velocidade de estol de uma aeronave, cabendo pontuar, para o caso, as seguintes:

- Centro de Gravidade: visando trazer estabilidade ao voo, usualmente, as aeronaves são projetadas de maneira que o Centro de Gravidade (CG) esteja à frente do Centro de Pressão (CP). Os estabilizadores horizontais, localizados na parte traseira da aeronave (atrás do CP e CG), são superfícies aerodinâmicas projetadas com a finalidade de trazer estabilidade longitudinal (em torno do eixo lateral - arfagem) (Figura 9).

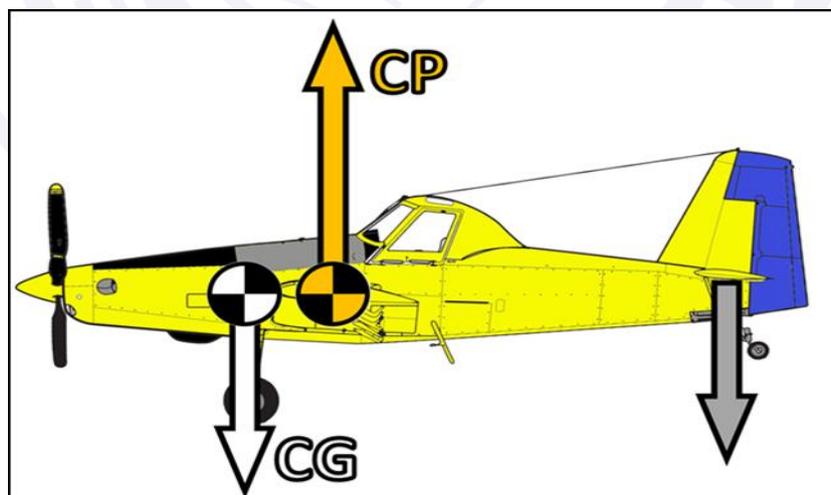


Figura 9 - Representação visual do posicionamento de CG e CP.

- Peso: de maneira geral, uma aeronave voando com peso mais elevado entra em estol com velocidades mais altas. À medida que o peso da aeronave aumenta, a carga alar (relação entre o peso e a área da asa) aumenta. Isso significa que uma

maior força de sustentação é necessária para sustentar o peso adicional. Para gerar essa sustentação maior, é necessário um ângulo de ataque maior ou uma maior velocidade.

- Coordenação: quando uma aeronave está voando de forma não coordenada, ou seja, quando não há um equilíbrio adequado entre os comandos de guinada (*yaw*), rolagem (*roll*) e arfagem (*pitch*), a distribuição de pressão ao redor da fuselagem e das asas se torna irregular, resultando em um aumento no arrasto aerodinâmico, exigindo maior potência para manter o voo.

Em subidas, com elevada potência e com baixas velocidades, os efeitos do torque do motor se tornam mais pronunciados, podendo ocorrer um desequilíbrio entre as forças aerodinâmicas atuando nas asas e no leme, levando a uma condição de voo não coordenado.

- Flat Spin (Parafuso Chato)

O parafuso chato é uma condição de voo perigosa e potencialmente fatal que ocorre quando uma aeronave entra em um movimento giratório descontrolado. A rotação plana acontece quando o centro de gravidade muda muito para trás (em direção à cauda) e a rotação da aeronave se torna mais horizontal. Nessa situação, as asas não estão produzindo sustentação suficiente. A recuperação de um *flat spin* pode ser extremamente difícil e, em alguns casos, impossível.

Entre os vários fatores que podem causar um parafuso chato, destacam-se os seguintes:

CG AFT: um fator significativo que pode levar a um parafuso plano é ter o centro de gravidade traseiro (em direção à cauda) da aeronave. Nessa posição de CG, o avião torna-se mais instável e propenso a entrar em um parafuso chato quando “estolado” e descoordenado.

Voo Descoordenado: o voo descoordenado também pode contribuir para o parafuso chato. Se os ailerons, leme e profundor estiverem descompensados durante um estol, a aeronave pode entrar em parafuso devido ao aumento da guinada e à falta de controle.

Manobra Abrupta ou Agressiva: a tentativa de execução de manobras agressivas ou abruptas, especialmente com o CG a ré, pode levar a um parafuso chato. A combinação entre um alto ângulo de ataque e de guinada pode fazer com que a aeronave entre em um movimento giratório nivelado e descontrolado.

Os parafusos chatos são particularmente perigosos porque a atitude nivelada e o reduzido fluxo de ar sobre as superfícies de comando dificultam a recuperação do controle do avião. O parafuso chato ocorre em função da má distribuição do peso na aeronave. Esse passeio do CG para trás provoca o desequilíbrio da aeronave, levando a uma condição mais favorável para a ocorrência do parafuso chato.

A posição deslocada para trás do CG impede que o nariz abaixe para permitir a recuperação do voo controlado. Dessa forma, o ar (vento relativo) passa perpendicularmente pelas superfícies de controle, impedindo qualquer comando do piloto (Figura 10).



Figura 10 - Imagem ilustrativa do fluxo de ar passando verticalmente pelas superfícies de comando. Fonte: <http://desastresaereosnews.blogspot.com/2021/12/o-que-e-um-flat-spin-e-como-recupera-lo.html>

Via de regra, o parafuso chato se constituiu em uma ocorrência provocada quando os limites da aeronave são ultrapassados no que diz respeito às velocidades mínimas, às características estruturais e de desempenho do avião.

1.20. Utilização ou efetivação de outras técnicas de investigação.

Não houve.

2. ANÁLISE.

Tratava-se de uma decolagem para um voo de traslado entre o Aeródromo de SSQZ e a área de pouso para uso aeroagrícola da Fazenda Ipiranga, São Desidério, BA.

Devido à extensão dos danos, não foi possível verificar o posicionamento dos flapes.

Não havia qualquer registro de anormalidades nos sistemas da aeronave, bem como os exames realizados no sistema dos comandos de voo e no motor não revelaram quaisquer discrepâncias que comprometessem o seu funcionamento.

O laudo da ANP apontou que a amostra de combustível estava dentro de sua respectiva especificação, não apresentando indícios de contaminação.

Assim, no que diz respeito às condições de aeronavegabilidade, não foram observados quaisquer indicativos de falha ou mau funcionamento de sistemas e/ou de componentes da aeronave que pudessem ter afetado o seu desempenho ou controle em voo. Isso posto, não foram encontradas evidências de contribuição relacionada aos sistemas do PS-RAF.

A decolagem de SSQZ foi realizada com a aeronave dentro dos limites de peso e balanceamento especificados pelo fabricante e com o *hopper* vazio.

Segundo relatos de observadores em solo, após a rotação, o avião interrompeu a subida inicial e manteve um voo rasante sobre toda a extensão da pista. Ao cruzar a cabeceira oposta, a aeronave iniciou uma subida acentuada (com elevado ângulo de arfagem), com asas niveladas, até atingir uma altura estimada entre 300 e 500 ft, quando iniciou um giro de asa para a direita, estabilizando no voo de dorso.

Na sequência, o avião perdeu altura, mantendo a atitude levemente picada, pequena inclinação com elevada razão de afundamento até impactar contra o solo, na posição de dorso e sem deslocamento à frente.

O perfil de decolagem realizado (americana) e a manobra executada na sequência não estavam documentados no manual de voo da aeronave. A propósito, a *Section 2 - Normal Procedures* do AT-602 do manual de voo informava que para uma decolagem normal para o peso de até 4.173 kg, a velocidade a ser empregada para a melhor razão de subida seria de 89 kt.

Por sua vez, a *Section 1 - Limitations* do AFM alertava que eram proibidas manobras acrobáticas e parafusos para o modelo AT-602.

Apesar de ter sido relatado por colegas que o PIC não possuía um perfil exibicionista, uma possível motivação para a escolha desse perfil de decolagem foi a presença de observadores e a curiosidade destes em relação ao desempenho da aeronave.

É provável que, durante a execução da manobra, o AoA crítico tenha sido excedido e levado ao estol da aeronave, por desconhecimento do comportamento aerodinâmico do avião naquela atitude de voo.

Por sinal, o movimento de rolagem (giro de asas) não controlado é uma característica de um estol não comandado. Nessa condição, a aeronave pode, inadvertidamente, ter entrado em parafuso chato, na posição de dorso.

Por sua vez, o parafuso chato é uma condição de voo perigosa e potencialmente fatal que ocorre quando uma aeronave entra em um movimento giratório descontrolado.

Essa rotação plana acontece quando o centro de gravidade muda muito para trás (em direção à cauda) e o giro da aeronave se torna mais horizontal. Nessa situação, as asas não estão produzindo sustentação suficiente. A condição na qual o PS-RAF colidiu contra o solo, na posição de dorso e sem deslocamento, evidenciou uma possível ocorrência de parafuso chato.

Entre os vários fatores observados durante o voo que podem ter contribuído para a entrada no parafuso chato, destacam-se o giro para o dorso e o voo descoordenado.

Da mesma forma, a combinação entre uma manobra abrupta e uma guinada (voo descoordenado) pode ter concorrido para que a aeronave entrasse em um movimento giratório descontrolado com as asas niveladas na posição de dorso.

Como esse comportamento da aeronave não era esperado, aliado ao fato de o PIC não possuir treinamento para a sua recuperação, é possível que as correções não tenham sido aplicadas adequadamente e em tempo hábil para a rápida recuperação da atitude anormal.

Ao mesmo tempo, em razão da altura na qual o avião se encontrava, a recuperação de um *flat spin*, nesse caso, tornou-se praticamente impossível.

Como bem destacou o FAA-H-8083-3C, no *Chapter 5: Maintaining Aircraft Control: Upset Prevention and Recovery Training*, para evitar acidentes ocasionados pela perda de controle em voo, é importante que os pilotos reconheçam e mantenham uma elevada consciência situacional acerca das situações que aumentam o risco dessa condição.

Ainda, segundo a publicação, a complacência do piloto, o gerenciamento de risco inadequado e o desrespeito intencional à segurança são elementos constitutivos da perda de controle em voo.

3. CONCLUSÕES.

3.1. Fatos.

- a) o piloto estava com o Certificado Médico Aeronáutico (CMA) válido;
- b) o piloto estava com as habilitações de Avião Monomotor Terrestre (MNTE) e de Piloto Agrícola - Avião (PAGA) válidas;
- c) o piloto estava qualificado e possuía experiência no tipo de voo;
- d) as condições meteorológicas eram propícias à realização do voo;
- e) a aeronave estava com o Certificado de Verificação de Aeronavegabilidade (CVA) válido;
- f) a aeronave estava dentro dos limites de peso e balanceamento;
- g) as escriturações das cadernetas de célula, motor e hélice estavam atualizadas;
- h) não se evidenciou qualquer condição de falha ou mau funcionamento de sistemas e/ou componentes da aeronave que pudesse ter afetado o desempenho ou o controle em voo;
- i) não se evidenciaram alterações de ordem médica ou psicológica, no período anterior ao acidente, que pudessem ter afetado o desempenho do piloto em voo;
- j) o piloto realizou uma decolagem “americana” em desacordo com o preconizado pelo manual de voo da aeronave;
- k) após cruzar a cabeceira, a aeronave iniciou uma subida com elevado ângulo de arfagem, asas niveladas, até atingir uma altura estimada entre 300 e 500 ft. Na sequência, foi executado um giro de asas à direita até o voo de dorso, quando houve a perda de controle em voo;
- l) a aeronave impactou contra o solo com elevada razão de afundamento, pequena inclinação de asa para a esquerda, atitude levemente picada no dorso e sem deslocamento à frente, no rumo 110°;
- m) a aeronave teve danos substanciais; e
- n) o piloto sofreu lesões fatais.

3.2. Fatores contribuintes.

- Aplicação dos comandos - contribuiu.

Foi realizada uma decolagem rasante até a cabeceira oposta. Nesse ponto, a aeronave iniciou uma subida com elevado ângulo de arfagem, asas niveladas, até atingir uma altura estimada entre 300 e 500 ft. Na sequência, foi executada uma manobra abrupta até o voo de dorso. Nessa condição, houve a perda de controle da aeronave, com o avião perdendo altura até colidir contra o solo.

- Atitude - contribuiu.

O comportamento observado no que concerne ao tipo de decolagem e a manobra executados denotou uma postura inadequada, caracterizada pela improvisação, exibicionismo, inobservância de procedimentos e excesso de confiança.

- Julgamento de pilotagem - contribuiu.

Não foram observados os parâmetros recomendados para uma decolagem normal, bem como os limites de operação estabelecidos pelo fabricante (manobras abruptas).

- Motivação - indeterminado.

Apesar de ter sido relatado por colegas que o PIC não possuía um perfil exibicionista, é possível que a presença de observadores interessados no desempenho da aeronave tenha influenciado o seu comportamento, levando-o a adotar, na decolagem, uma postura inadequada caracterizada pela improvisação, inobservância de procedimentos e excesso de confiança.

- Percepção - indeterminado.

É possível que o piloto não tenha sido capaz de reconhecer adequadamente as características do estol, resultando, assim, em ações tardias e/ou inadequadas para a recuperação da atitude anormal.

- Processo decisório - indeterminado.

A inadequada decisão de executar uma decolagem não recomendada pelo fabricante, bem como o giro de asas a baixa altura, pode ter sido decorrente de uma análise inapropriada dos riscos envolvidos nesse tipo de manobra.

4. RECOMENDAÇÕES DE SEGURANÇA

Não há.

5. AÇÕES CORRETIVAS OU PREVENTIVAS ADOTADAS.

Não há.

Em 29 de dezembro de 2023.