

ANAC publica Boletim Especial de Aeronavegabilidade (BEA) para EMBRAER Phenom 100 para operação de voo em condições de gelo com correto uso e atendimento dos procedimentos operativos padronizados previstos em Manual de Voo, em 10.03.23

A Gerência Técnica de Aeronavegabilidade Continuada (GTAC) da ANAC publicou Boletim Especial de Aeronavegabilidade (BEA) nº 2023-03, com data de 12/05/2023, no tema ATA 30 – Proteção contra chuva e gelo (*Ice and rain protection*), com assunto de título “Operação em condições de gelo – correto atendimento aos procedimentos”, relativamente ao modelo de jato executivo EMB-500 (*Phenom 100*).

BEA nº 2023-03, com data de 12/05/2023 – “Operação em condições de gelo – correto atendimento aos procedimentos” – versão português

https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/regulados/aeronaves/arquivos/BEA202303_portugues.pdf

BEA nº 2023-03 – versão inglês - “*Operation in icing conditions – adherence to standard operating procedures*”:

https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/regulados/aeronaves/arquivos/BEANo202303_ingles.pdf

A publicação da ANAC tem o objetivo orientações aos operadores e proprietários da aeronave EMBRAER EMB-500 (*Phenom 100*) a respeito do sistema de proteção contra gelo e um alerta para a importância da adoção correta dos procedimentos estabelecidos pela fabricante. O documento possui recomendações de caráter informativo e não-mandatárias, desta forma, até o presente momento não se justifica a emissão de uma Diretriz de Aeronavegabilidade (DA) de acordo com os requisitos do RBAC nº 39 – de “Diretrizes de Aeronavegabilidade”.

A elaboração e publicação do documento foi motivada por um histórico de três acidentes com aparelhos do modelo – dois na Europa (em pouso, no arredondamento e iminência do toque) e um no EUA (durante aproximação), este sendo fatal, com seis mortes.

Em comum, nos três acidentes, houve a operação em fase de aproximação e pouso em condições de formação de gelo, a não-utilização ou uso insuficiente dos sistemas de degelo da aeronave e a preparação da aeronave para operação com velocidades para pouso, consistente com o manual de referência de consulta rápida (QRH – *Quick Reference Handbook*), sem condições de gelo, em que o sistema de degelo das asas e estabilizador está desligado.

A ANAC alerta quanto ao risco associado para os pilotos que desligam os sistemas de proteção contra gelo, em desacordo com os procedimentos estabelecidos pela fabricante. A ANAC ressalta que acidentes já ocorreram em decorrência da falta de aderência aos procedimentos estabelecidos pela fabricante, nesse sentido o Boletim comentando três acidentes.

O documento aborda alguns conceitos básicos envolvendo formação de gelo em voo:

1 - a formação de gelo diminui tanto o ângulo de ataque (AoA) para ocorrência de estol quanto a sustentação máxima (Coeficiente de sustentação) que o aerofólio é capaz de causar. Por isso, a velocidade de estol aumenta com a formação de gelo na aeronave.

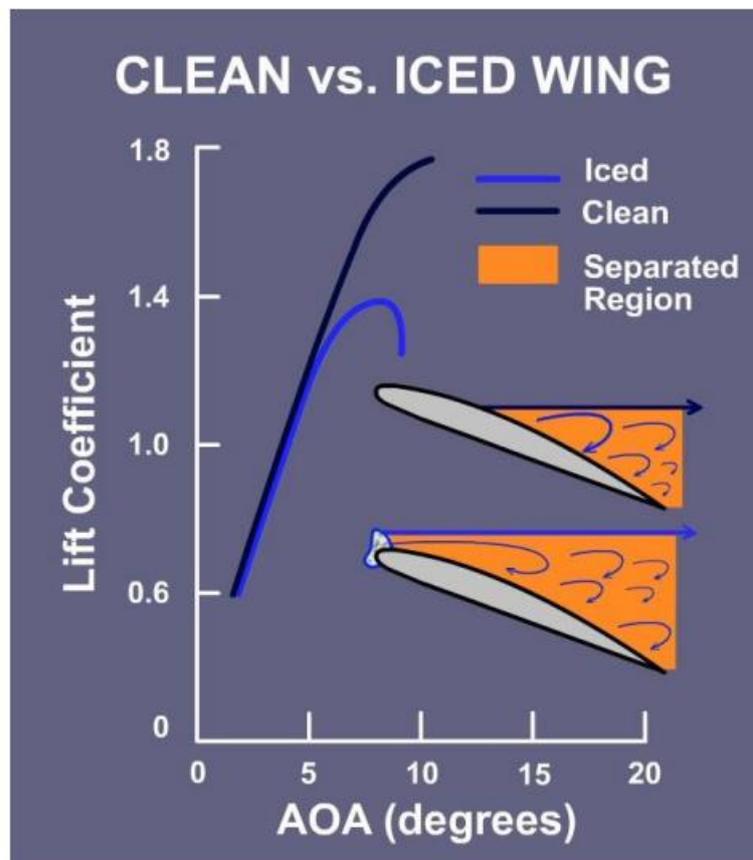


Figura 1: Efeito da formação de gelo no aerofólio. Fonte: <https://aircrafticing.grc.nasa.gov/>

2 - com o sistema de degelo de asas e estabilizador ativado, os limites de ângulo de ataque (AoA) para ativação do sistema de alerta e proteção contra estol são menores (pois o AoA em condição de gelo diminui) e as velocidades correspondentes são maiores (pois o estol ocorre a uma maior velocidade). Consequentemente, as velocidades para aproximação e pouso são maiores, afetando a distância de pista requerida (demandando maior pista – corrida de pista).

Essa perda de desempenho é usualmente maior em aeronaves equipadas com *boots* pois é natural a maior formação de gelo residual no bordo de ataque mesmo com o sistema funcionando adequadamente. No caso de sistemas de proteção térmicos, em geral o bordo de ataque se mantém mais limpo, apesar de haver a possibilidade de formação de gelo após a área protegida (por exemplo, o chamado *runback ice*).

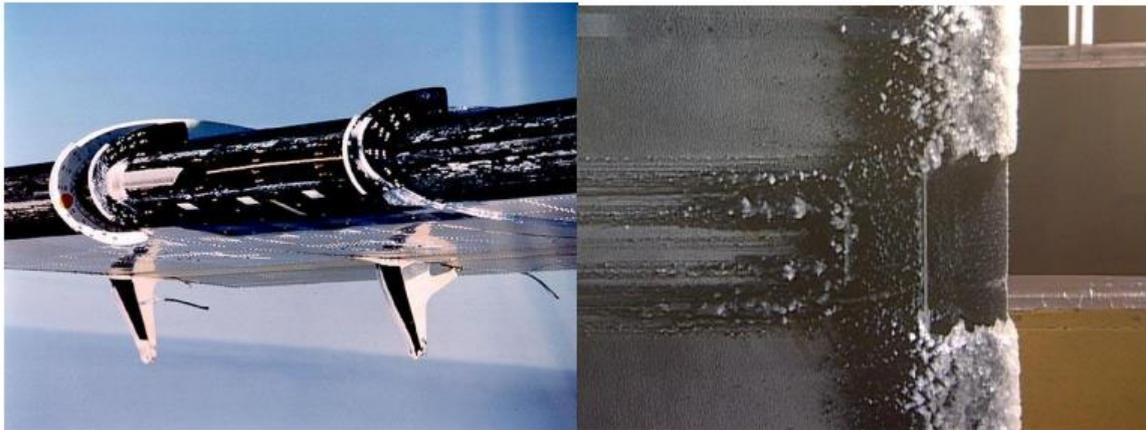


Figura 5: Gelo residual em sistema de boots (esquerda) e gelo de runback no caso de sistema de proteção térmica (direita). Fonte: <https://aircrafticing.grc.nasa.gov/>

Sendo assim, os requisitos de certificação para aeronaves equipadas com *boots* exigem a avaliação do controle do avião com uma contaminação por gelo em geral mais severa, o que leva o limite do ângulo de ataque a valores menores, resultando assim em velocidades mais altas para aproximação e pouso.

O Boletim destaca que havia um entendimento antigo que, em aeronaves com sistema de *boots*, seria necessário aguardar uma formação de gelo mínima antes de acionar o sistema. Estudos confirmam que esse problema não existe em sistema com *boots* modernos, como é destacado pela NASA.

3 - a extração de ar de sangria dos motores para o sistema de degelo das asas e estabilizador horizontal resulta em uma perda de desempenho para a arremetida com falha de motor, o que também pode impossibilitar o pouso no aeroporto de destino inicial.

A ANAC alerta quanto ao risco associado para os pilotos que desligam os sistemas de proteção contra gelo, em desacordo com os procedimentos estabelecidos pela fabricante. A ANAC registra que o não-atendimento aos procedimentos operacionais em condição de gelo, visando uma compatibilização entre demanda da performance de pouso requerida e disponibilidade de pista, numa tentativa de evitar um desvio de voo para aeródromo alternativo, compromete diretamente a segurança da operação, por implicar em margens de segurança não-adequadas e uma condição de estol sem nenhum alerta.

Para material de consulta – orientação conceitual da formação de gelo em voo:

Vídeo da EMBRAER (no canal do YouTube – *Phenom Pilots* - <https://www.youtube.com/@phenompilots7264>) de orientação de pilotos sobre o voo em condições de gelo – “*Phenom 100/300 - Icing Adverse Weather Operations/ Phenom 100/300 – Operações em meteorologia adversa de formação de gelo*” – de junho de 2021, de 33m54s, com a seguinte itemização:

- 00:00 - *Intro* (introdução)
- 01:55 - *The Icing Phenomena* (Fenômeno de formação de gelo)
- 02:38 - *Ground Contamination* (Contaminação no solo)
- 04:16 - *Inflight Icing* (Formação de gelo em voo)
- 14:15 - *Ground & Flight Operations* (Operações no solo e em voo)

<https://www.youtube.com/watch?v=1EftwCgj3VM>

Curso *online* com diversas orientações para pilotos sobre formação de gelo, da NASA:

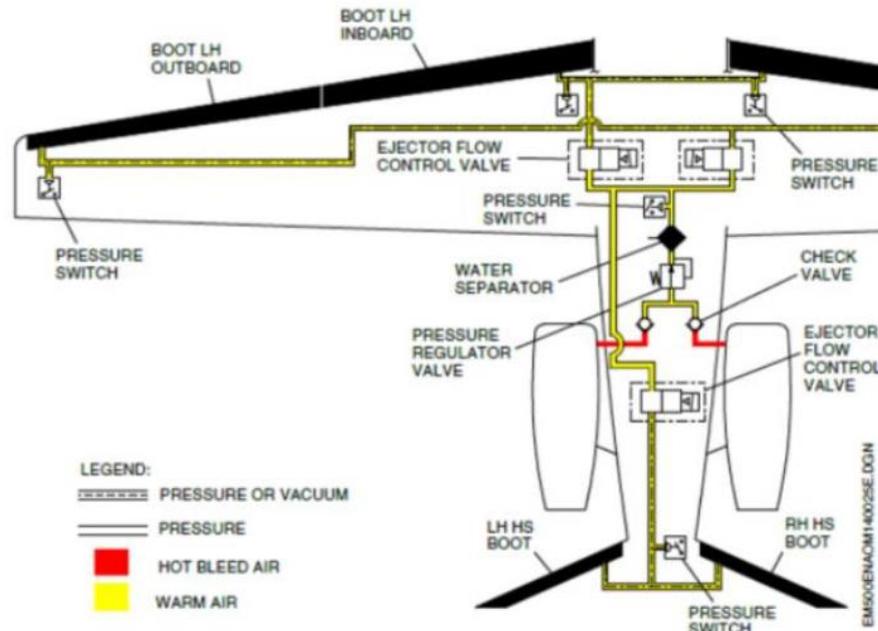
<https://aircrafticing.grc.nasa.gov/index.html>

O documento aborda algumas características dos sistemas de proteção contra gelo (em voo) e de alerta à formação de gelo do EMB-500 (*Phenom 100*):

O sistema de proteção contra gelo do avião EMB-500 (*Phenom 100*) consiste em:

- sistema térmico para a entrada de ar dos motores;
- sistema de aquecimento elétrico para o pára-brisa (*WSHLD - Wind Shield*); e,
- sistema pneumático para as asas e estabilizador horizontal (*WingStab*), consistindo de *boots* infláveis para quebra do gelo que pode se formar no bordo de ataque das asas e estabilizador horizontal. Quando o sistema está ativado, os *boots* para degelo são inflados por 5 segundos a cada minuto (5 seg @ min), utilizando ar de sangria dos motores e são então desinflados para quebra do gelo formado no bordo de ataque das asas e estabilizador horizontal.

Figura 2 – Diagrama do sistema de degelo das asas e estabilizador horizontal



Hot Bleed Air - ar por sangria quente

Warm Air - ar aquecido

Water Separator – Separador de água

Check Valve – Válvula de cheque/verificação

Pressure Regulator Valve – Válvula reguladora de pressão

Ejector Flow Control Valve – Válvula controladora Fluxo ejetor

Pressure Switch – Chave de pressão

O sistema de alerta à formação de gelo do avião EMB-500 (*Phenom 100*) consiste em:

- alerta à tripulação de um estol iminente através da ativação do alerta aural - “*STALL, STALL*” - e a indicação Na tela de informação de vôo primária (PFD – *Primary Flight Display*) através das faixas amarela e vermelha nas indicações de velocidade; e,
- ativação do *stick pusher* quando o avião está em condição de vôo próxima do estol.

O sistema de alerta e proteção contra estol é baseado no ângulo de ataque (AoA). A ativação do *stick pusher* e as faixas vermelha e amarela nas indicações de velocidade, assim como o alerta aural - “*STALL, STALL*” -, ocorrem quando os correspondentes limites de ângulo de ataque são atingidos, considerando a configuração específica do avião.

Para a mesma configuração de aeronave, mas com o sistema de degelo das asas e estabilizador ativado, os limites de ângulo de ataque para ativação do sistema de alerta e proteção contra estol são menores e, portanto, as velocidades correspondentes são maiores. Esta característica de projeto protege a aeronave do efeito da formação de gelo já visto na fig. 1. Este ajuste é apresentado à tripulação através da mensagem “*CAS advisory SWPS ICE SPEED*” [Alerta Velocidade calibrada – *Stall Warning and Protection System/Sistema de Proteção e Alerta de Estol – Velocidade em condição de gelo*].

O Boletim destaca procedimentos estabelecidos pela fabricante (EMBRAER) no Manual de Vôo (AFM) e sua relação com a Certificação (Tipo) do modelo EMB-500 (Phenom 100), entre a ativação e desativação dos sistemas de proteção contra formação de gelo pela tripulação.

A seção de limitações do Manual de Vôo estabelece que condições de gelo podem existir quando TAT (*Total Air Temperature*, ou temperatura externa do ar total) estiver a 10° C ou abaixo ($TAT \leq 10^{\circ}\text{C}$) e umidade visível (condição de umidade elevada, como nuvens, névoa úmida e nevoeiro – resultando visibilidade de 1 milha ou menos, chuva, neve, granizo ou cristais de gelo). O Manual de Vôo determina que os sistemas devem ser ativados quando o avião estiver nas condições em que pode haver a formação de gelo

Na ativação do sistema de proteção/alerta contra formação de gelo, a seção de limitações e procedimentos normais do Manual de Vôo do EMB-500 (*Phenom 100*) indica que, durante descida e aproximação, piloto(s) deve(m) verificar quando condições de gelo podem existir.

Se a TAT (*Total Air Temperature*, ou temperatura externa do ar total) estiver abaixo de 10°C ($TAT < 10^{\circ}\text{C}$) e com umidade visível, o sistema de proteção contra gelo do motor deve ser ativado. E, ao primeiro sinal de formação de gelo em qualquer parte do avião ou quando TAT estiver abaixo de 5°C ($TAT < 5^{\circ}\text{C}$) e com umidade visível, devem ser ativados os sistemas de proteção do motor, de para-brisa e das asas e estabilizador.

AFTER TAKEOFF/CLIMB, CRUISE, DESCENT OR APPROACH

The crew must activate the ice protection system when flying in icing conditions or if icing conditions are forecasted as follows:

If TAT is between 5°C and 10°C with visible moisture:

ENG 1 & 2 Switches ON

WINGSTAB Switch OFF

WSHLD 1 & 2 Switches OFF

The CAS messages A-I E1 (2) ON must be displayed after a delay of approximately 10 seconds.

If TAT is below 5°C with visible moisture, or at the first sign of ice accretion anywhere on the airplane, or ICE CONDITION message (if applicable) is displayed, whichever occurs first:

ENG 1 & 2 Switches ON

WINGSTAB Switch ON

WSHLD 1 & 2 Switches ON

The CAS messages A-I E1 (2) ON, D-I WINGSTB ON and SWPS ICE SPEED must be displayed after few seconds.

Figura 3 – Extrato do manual de voo na seção “Procedimentos normais”

O Boletim destaca que houve um entendimento antigo que, em aeronaves com sistema de *boots*, seria necessário aguardar uma formação de gelo mínima antes de acionar o sistema. Estudos confirmam que esse problema não existe em sistema com *boots* modernos, como é destacado pela NASA. Desta forma, é muito importante que não haja qualquer atraso na ativação do sistema. A ativação do sistema de degelo das asas e estabilizador, conforme os procedimentos estabelecidos pelo fabricante da aeronave, é fundamental para que o sistema de alerta e proteção contra estol previna contra uma condição perigosa de estol.

Na desativação do sistema de proteção/alerta contra formação de gelo (para motores/asa/estabilizador e pára-brisa), a seção de limitações e procedimentos normais do Manual de Vôo do EMB-500 (*Phenom 100*) especifica que após deixar-se a condição de gelo ou da saída da condição de umidade visível ou da faixa de temperatura externa (TAT), os sistemas de

proteção podem ser desligados, contanto que a tripulação tenha certeza de que não existe nenhuma formação de gelo (*ice accretion*) pelas asas, conforme é indicado na seção de Procedimentos Normais no AFM.

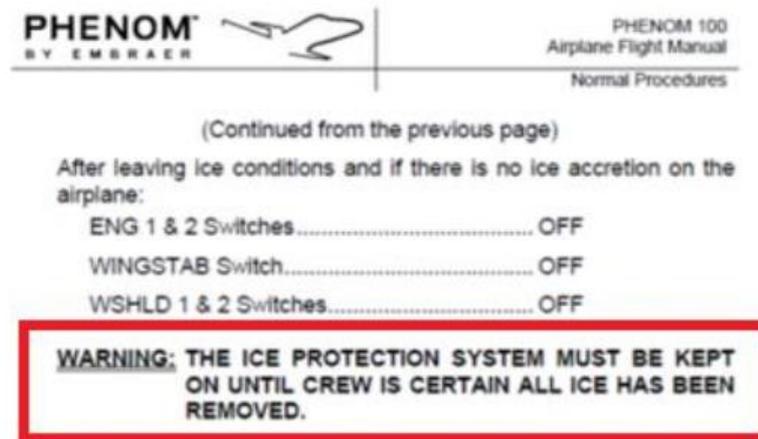


Figura 4 – Extrato do manual de voo na seção “Procedimentos normais”

A parte destacada acima é fundamental – da advertência que “O sistema de proteção de gelo deve ser mantido ativado até que a tripulação tenha certeza que todo o gelo tenha sido removido”. Enquanto a aeronave está em condições de formação de gelo, o sistema de proteção irá minimizar o acúmulo de gelo nas áreas protegidas. Minimizar o acúmulo de gelo, entretanto, não significa eliminar completamente. Além disso, existem muitas partes da aeronave que não são protegidas, como as raízes e pontas de asa. Assim, ao sair de uma condição de gelo, é possível que ainda exista gelo na aeronave. Por isso, o sistema de proteção de estol ainda deve ser mantido na configuração de gelo – de “*SWPS ICE SPEED*” [*Stall Warning and Protection System/Sistema de Proteção e Alerta de Segurança – Velocidade em condição de gelo*] -, o que, no projeto do *Phenom 100*, significa manter o sistema de degelo ligado.

Existem algumas condições em que se há uma confiança grande que o gelo foi removido da aeronave. O exemplo mais comum é o caso em que a aeronave decola de um local frio e se dirige até um aeroporto em que a temperatura é positiva, em camadas ainda altas da atmosfera – um caso típico seria um voo no EUA entre Nova York e Miami em determinadas épocas do ano. Nestes casos, não faz sentido ter a penalização de desempenho associada ao ajuste de gelo do sistema de proteção contra estol e, por isso, o Manual de Voo permite que o sistema de proteção contra o gelo seja desligado e, conseqüentemente, a proteção contra estol reajustada para a configuração de condição sem gelo.

Assim, o sistema de proteção contra o gelo não deve ser desligado em pousos em condições em que se há dúvidas da formação de gelo, como os casos dos três acidentes citados.

O Boletim ressalta que algumas aeronaves, como o EMB-505 (*Phenom 300*), permitem que o sistema de proteção contra gelo seja desligado sem que o sistema de proteção contra estol seja reconfigurado para a condição de aeronave sem gelo. Isso não é possível EMB-500 (*Phenom 100*) e, por isso, o sistema de proteção contra gelo deve ser mantido ligado, com a mensagem “*SWPS ICE SPEED*” à vista, até que se haja confiança que não há gelo acumulado na aeronave.

O sistema de detecção de gelo facilita a identificação de condições de gelo, mas é responsabilidade primária da tripulação determinar a ativação e desativação do sistema de proteção contra gelo.

A ANAC ressalta que todos os aviões EMB-500 (*Phenom 100*) com suíte aviônica Garmin G3000 instalada possuem um detector de gelo instalado como equipamento padrão. Aviões EMB-500 (*Phenom 100*) com a suíte Garmin G1000 instalada possuem o detector de gelo como item opcional.

Nas recomendações, a ANAC alerta quanto à necessidade de se adotar os procedimentos estabelecidos pela fabricante (EMBRAER) do avião, no caso do *Phenom 100*, a fim de evitar formações de gelo não detectáveis, que podem levar a um estol sem alerta. As recomendações são:

- 1 - os sistemas de proteção contra gelo devem ser sempre ativados de acordo com as condições de temperatura (TAT) e na presença de umidade visível, conforme definido no Manual de Voo do avião;
- 2 - os sistemas de proteção contra gelo podem ser desativados apenas após a aeronave estar fora da condição em que pode existir gelo (de temperatura externa/TAT e umidade visível) e se o piloto estiver seguro de que não há nenhuma formação de gelo no avião;
- 3 - sempre que houver encontro com condições de gelo, as velocidades de pouso devem ser correspondentes à configuração com sistema de proteção contra gelo ligado, exceto se, após a saída da condição de gelo, o piloto puder se certificar que não há nenhuma formação de gelo no avião; e,
- 4 - os sistemas não podem ser desligados para evitar uma penalização de desempenho do avião.

A ANAC ainda recomenda que proprietários ou operadores fiquem cientes do vídeo informativo produzido pela EMBRAER.

O Boletim sintetiza os três acidentes que são referência, que podem ser listados e resumidos (com informações adicionais às do Boletim da ANAC):

- em Gaithersburg, no Maryland (EUA), em 08/12/2014: jato (matrícula N100EQ, registro de produção sn 50000082, fabricação 2009) do transporte privado, em operação de único piloto (o proprietário), com três ocupantes (dois passageiros), caiu durante aproximação final no aeroporto de Gaithersburg/Condado de Montgomery (KGAI – em el. de 538 pés), colidindo com três imóveis (casas – residenciais), resultando explosão da aeronave e incêndio de um dos imóveis. O avião procedia de Chapel Hill, na Carolina do Norte.

O jato foi destruído, os três ocupantes faleceram; três pessoas em solo (em um dos imóveis) também foram mortas.

Com 16 minutos de voo, os sistemas antigelo e degelo de asa/estabilizador horizontal foram ativados, quando a TAT era de -11°C, por breve tempo, apenas cerca de 2,5 minutos, com os sistemas sendo desativados quando o jato voava à altitude de 23.000 pés (nível de cruzeiro) e a TAT era de -10°C. os sistemas de proteção contra gelo não foram mais ativados no voo.

Antes de iniciar a descida, o piloto definiu a velocidade de referência de pouso (V_{ref}) em 92 KT, indicando que utilizou os dados de desempenho para operar com o sistema de gelo da asa e do estabilizador horizontal desligados, além de peso do avião no pouso menor que o peso real do avião. Adicionalmente, o piloto definiu a velocidade de referência do segmento de aproximação final (V_{fs}) em 99 KT.

A investigação do NTSB determinou que o piloto falhou ao usar o sistema de gelo da asa e do estabilizador horizontal durante a aproximação, mesmo após reconhecer a observação do passageiro do assento direito de que estava nevando quando o avião, no curso da aproximação da pista 14, estava chegando à distância de 2,8 MN (5,2 km) do destino Gaithersburg, cruzando 1.450 pés (MSL) – ie, cerca de 915 pés AAL.

Reportes de pilotos (em PIREP) indicaram que havia presença de nuvens de uma atmosfera úmida, de baixa temperatura.

Na aproximação final, a velocidade começou a reduzir e o ângulo de ataque aumentar. Aproximadamente 300 pés AGL, o alarme de estol soou pela primeira vez quando o ângulo de ataque chegou a 21° e permaneceu sendo anunciado por diversas vezes. Nessa configuração do avião, caso o sistema de degelo das asas e estabilizador estivesse ativado, o alarme soaria com um ângulo de ataque de 9,5°. Na sequência, houve oscilação do ângulo de rolagem (rolamento) até que atingiu 100° à direita e continuou até um valor aproximado de 154,5° (jato invertido), antes da colisão com imóveis. Depois que o avião estolou, a altitude era muito baixa para uma recuperação.

O jato estolou e veio colidir com três imóveis (casas) e o solo à distância de 0,75 (3/4 de) milha (1,219 km, ou 0,65 MN) da cabeceira, em ponto a cerca de 274 m. à esquerda do eixo estendido da pista (14/32), atingindo os imóveis em atitude de asa esquerda para baixo com inclinação de 110,5°.

Na investigação do NTSB, dados de gravação do avião mostraram que a temperatura total de ar (TAT) ficou abaixo de 10°C quando o avião estava em 6.000 pés e abaixo de 5°C quando estava em 5.000 pés.

A investigação concluiu que o avião operou por diversos minutos em temperaturas baixas e com presença de umidade visível (condição em que a formação de gelo é prevista), em condição favorável de formação de gelo estrutural, quando o piloto não ativou qualquer sistema de proteção contra gelo.

- Berlim/Schonefeld, na Alemanha, em 15/02/2021: acidente em pouso no Aeroporto Schonefeld (EDDB - em el. de 156 pés), em Berlim, na Alemanha, em vôo procedente de Welvelgem, na Bélgica, com três ocupantes (dois pilotos e um passageiro). O avião teve danos substanciais.

Quando o avião cruzou 9.700 pés durante descida, os pilotos verificaram o *checklist* e concluíram que as velocidades de pouso deveriam ser consistentes com a condição sem gelo porque não havia sinais de umidade.

Os dados meteorológicos mostram que havia uma condição de gelo moderada abaixo de 3.000 pés, com nuvens entre 1.400 pés e 3.000 pés. A tripulação ativou apenas os sistemas de proteção contra gelo dos motores e para-brisa.

Os dados de gravação do avião indicam uma temperatura aproximada de -1,5°C quando a aeronave cruzava o topo de nuvem (a 3.000 pés). Nesta condição, o avião executou descida (abaixo de 3.000 pés) ingressando na nuvem com apenas os sistemas de proteção contra gelo do motor e do para-brisa ativados - o sistema de degelo das asas e estabilizador não sendo ativado, mesmo com temperatura baixa e umidade visível, pois os pilotos se basearam apenas na identificação visual de gelo na asa.

Na aproximação final a velocidade começou a reduzir e o ângulo de ataque aumentar, atingindo 17,2°. A aeronave começou a rolar para esquerda atingindo um ângulo de rolamento de 30°. No pouso, a asa esquerda tocou a pista, levando a aeronave rolar para a direita e houve o pouso "duro" com o trem de pouso principal direito. O trem de pouso fraturou e a aeronave deslizou ao longo da pista.

A investigação constatou a presença de gelo nas asas e no estabilizador horizontal após o acidente.

- acidente em Paris/Le Bourget, na França, em 08/02/2021: acidente em pouso em vôo procedente de Veneza, na Itália. O avião teve danos substanciais.

Antes de iniciar a descida para o aeroporto de destino (Paris/Le Bourget – LFPB, em el. de 220 pés), a tripulação recebeu informações sobre as condições meteorológicas, tendo ciência de condições severas de gelo entre 3.000 e 5.000 pés.

A 3.000 pés, a tripulação ativou o sistema de degelo das asas e estabilizador horizontal (*WINGSTAB de-ice*) por um período de 21 segundos, que corresponde a um ciclo de degelo. A tripulação indicou que observou através da janela da cabine que o gelo havia se partido e desativaram o sistema sem voltar a ligá-lo novamente para o restante do voo.

Na condição de aproximação sem condições de gelo, planejada pela tripulação do jato, a velocidade de aproximação selecionada foi 22 KT inferior à velocidade de aproximação em condição de formação de gelo, e de acordo com a fabricante muito próxima da velocidade de estol quando existe contaminação por gelo.

Na aproximação final, a velocidade do jato reduziu, o ângulo de ataque aumentou de 10 para 28° e o alarme de estol soou.

Nessa configuração do avião, caso o sistema de degelo das asas e estabilizador estivesse ativado, o alarme soaria com um ângulo de ataque de 9,5°.

Houve estol do avião com um ângulo de rolamento de aproximadamente 10°, seguido de um pouso “duro” na pista e subsequente quebra do trem de pouso principal direito e do trem de pouso dianteiro.

A investigação identificou a presença de gelo nas asas e no estabilizador horizontal após o acidente, indicando que a desativação do sistema de degelo das asas e estabilizador horizontal pode ter levado à nova formação de gelo no final da aproximação ou que o sistema não ficou ativado pelo tempo suficiente para que toda a formação de gelo nas asas e estabilizador horizontal quebrasse completamente.

Entre as hipóteses para que o sistema de degelo não tenha sido novamente ligado estão: [i] possível dificuldade da tripulação em se identificar a contaminação por gelo em uma condição de baixa luminosidade e nuvens, [ii] possibilidade da tripulação não ter permanecido monitorando a condição da asa quanto a gelo ou [iii] a tripulação ter identificado a formação de gelo mas subestimado sua consequência.