

TESOURAS DE VENTO E A SEGURANÇA DE VOO

Alexander Coelho Simão – M.Sc.¹

Artigo submetido em 10/02/2013

Aceito para publicação em 25/04/2013

RESUMO: Variações de vento à baixa altura sempre representaram sério risco para as operações de pouso e decolagem. Dados da Flight Safety Foundation revelam que no período entre 1943 e 2009 as tesouras de vento estiveram associadas a pelo menos 70 acidentes aeronáuticos na aviação mundial, causando um total de 1.573 fatalidades. Apesar de haver no campo da Meteorologia uma grande variedade de pesquisas sobre o tema, poucos são os trabalhos direcionados àqueles que diuturnamente travam batalhas de vida ou morte contra as forças do tempo. Este artigo oferece ao leitor-piloto, em linguagem simples, clara e objetiva, uma fonte confiável de informações para entender melhor o que é tesoura de vento e - o que é mais importante - fazer frente com êxito aos riscos oferecidos por esse fenômeno. Neste trabalho buscou-se compilar o que há de mais relevante nos diversos estudos realizados por pesquisadores, órgãos governamentais, indústria aeronáutica, empresas de transporte aéreo e associações de pilotos, trazendo, num único trabalho, conhecimentos técnico-científicos que poderão auxiliar na prevenção de acidentes causados por *windshear*.

PALAVRAS-CHAVE: Acidente Aeronáutico. Tesoura de Vento. Segurança de Voo.

1 INTRODUÇÃO

Fazia uma abafada tarde de verão, naquele 2 de agosto de 1985, quando o telefone tocou no Centro de Operações da Delta Air Lines em Atlanta, Geórgia, EUA. A notícia era terrível. Um jato da empresa havia caído segundos antes do pouso em Dallas. Ainda não havia confirmação da aeronave nem do número do voo, mas, aparentemente, tratava-se de um L-1011 Tristar.

O operador que atendeu a ligação comunicou imediatamente o fato ao Chefe de Operações da empresa, que recebeu a notícia com incredulidade: *Não pode ser! Os Tristar não caem!*

¹ Major Aviador da Força Aérea Brasileira. Mestre em Segurança de Voo e Aeronavegabilidade Continuada pelo ITA. Realizou os cursos *Human Factors in Aviation Safety* na USC e *Aircraft Accident Investigation* no NTSB, nos EUA. Instrutor da matéria "*Windshear*" nos cursos ministrados pelo CENIPA. Atualmente é Chefe da Seção de Investigação do Sexto Serviço Regional de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. alexandersimao@gmail.com.

Essa era a medida exata do grau de confiança e de respeito que praticamente todos na comunidade aeronáutica mundial nutriam pelo jato da Lockheed. O grande trijato L-1011 com capacidade para mais de 300 passageiros e peso estimado em torno das 350 mil libras até então sofrera apenas dois acidentes fatais em quase 14 anos de carreira. Em nenhum deles foram identificadas falhas na aeronave.

De fato, naquela tarde, o Delta Airlines 191 não caiu. Ele foi derrubado, varrido dos céus por uma força descomunal ainda pouco conhecida e compreendida: a temível e potencialmente fatal “tesoura de vento”.

Esse trágico acidente, que vitimou 137 das 163 pessoas que estavam a bordo da aeronave (NTSB, 1986), foi o principal responsável por tornar o *windshear* o fenômeno meteorológico mais conhecido da aviação mundial.

Naquele fatídico dia, pancadas de chuva e trovoadas podiam ser observadas no eixo de aproximação da pista 17L do Aeroporto Internacional de Dallas/Fort Worth (DFW). No entanto, mesmo estando ciente dessas condições meteorológicas, a tripulação decidiu prosseguir em meio às formações pesadas, o que se revelou um erro fatal (NTSB, 1986).

Logo após adentrar na tempestade, a turbulência aumentou abruptamente, e o Lockheed recebeu um vento de proa de 26 nós. Correções foram feitas, mas, repentinamente, o vento mudou para 46 nós de cauda, resultando numa diminuição drástica de 72 nós na velocidade aerodinâmica (NTSB, 1986).

Essa perda súbita de *airspeed* na aproximação final, quando o Delta Airlines estava a apenas 800 pés de altura, mostrou-se irrecuperável e, tragicamente, a aeronave veio a colidir contra o solo nas proximidades da rodovia estadual que circundava o aeródromo (NTSB, 1986).

À brusca e repentina mudança na direção e na intensidade do vento experimentada pelo Delta Airlines 191 convencionou-se chamar internacionalmente de *windshear*, também conhecido, no cenário nacional, como tesoura de vento, cisalhamento de vento, gradiente de vento ou cortante de vento.

Pesquisas conduzidas pela Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO, 2005) demonstraram que entre 1964 e 1983, tesouras de vento à baixa altura causaram pelo menos 28 desastres aéreos em todo o mundo, resultando

na morte de mais de 500 pessoas. Segundo dados do *Aviation Safety Network Database* da Flight Safety Foundation (2013), no período entre 1943 e 2009, o *windshear* foi responsável por pelo menos 70 acidentes aeronáuticos na aviação mundial, causando um total de 1.573 fatalidades.

Apesar de concorrer para acidentes desde os primórdios da aviação, foi somente a partir do exame detalhado dos gravadores do Eastern Airlines 66, um 737 que caiu a poucos metros da cabeceira 22L do Aeroporto Internacional JFK, em junho de 1975, que se verificou pela primeira vez a presença das cortantes de vento como fator determinante para um acidente aeronáutico.

Desde então, a comunidade aeronáutica internacional tem desenvolvido pesquisas e programas de treinamento objetivando proporcionar melhor compreensão sobre esse fenômeno meteorológico e alertar pilotos e controladores quanto aos seus riscos associados.

Dentro desse contexto, esta pesquisa buscou compilar o que há de mais relevante nos diversos estudos realizados por pesquisadores, órgãos governamentais, indústria aeronáutica, empresas de transporte aéreo e associações de pilotos, trazendo, num único trabalho, conhecimentos técnico-científicos que poderão auxiliar na prevenção de acidentes causados por *windshear*.

2 CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS FAVORÁVEIS AO WINDSHEAR

O *windshear* é um fenômeno meteorológico que pode ser definido como a variação local do vetor vento, ou das suas componentes, numa dada direção e distância. Embora possa ocorrer em qualquer porção da atmosfera, o *windshear* é particularmente perigoso para a aviação na camada mais baixa da troposfera, desde a superfície do solo ou da água até aproximadamente os 2.000 pés de altura. Nessa camada, o fenômeno pode acarretar considerável perda de sustentação às aeronaves, sendo o tempo para identificação e recuperação muito curto; algumas vezes, da ordem de poucos segundos (ICAO, 1987).

Estudos realizados por cientistas e autoridades de aviação em todo o mundo (JAY, 2013; SCHÄNZER, 1992; FAA, 1990; ICAO, 2005) identificaram uma grande variedade de condições geográficas e fenômenos meteorológicas associados às cortantes de vento, tais como: topografia, ondas de montanha,

trovoadas ou Cbs, sistemas frontais, pancadas de chuva, correntes de jato à baixa altura, ventos fortes de superfície, brisa marítima e terrestre, linhas de instabilidade e inversões de temperatura acentuadas.

O Guia do Piloto para *Windshear* (FAA, 1988) traz um exame dos acidentes e incidentes reportados mundialmente entre 1959 e 1983 no qual foram identificados 51 eventos meteorológicos relacionados às tesouras de vento. Esses fatos são resumidos na Tabela 1.

TABELA 1 - Eventos de *windshear* subdivididos por condição meteorológica.

Condição meteorológica	Número de eventos
Formações convectivas (tempestades, chuvas, virgas*)	33
Sistemas frontais	7
Ventos fortes de superfície	2
Ar turbulento	2
Ventos fortes associados à inversão térmica	1
Não conhecidas	6
TOTAL	51

* Precipitações que evaporam antes de atingir o solo.

Fonte: Guia do Piloto para *Windshear* (FAA, 1988).

No cenário nacional, o estudo intitulado “Análise das Ocorrências de *Windshear* na Área do Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos” (CABRAL; FARIAS, 1991) - que investigou 29 ocorrências de cortante de vento no triênio 1988-1990 com o objetivo de identificar condições meteorológicas associadas e padrões de comportamento recorrentes - trouxe os seguintes resultados de maior relevância:

- Todos os eventos ocorreram durante a fase de aproximação para pouso; principalmente, entre as alturas de 150 e 750 pés acima do nível da pista (2.450 pés);
- Nos meses de janeiro, outubro e dezembro houve maior incidência do fenômeno, com 8, 6 e 4 casos, respectivamente; coincidindo com o período em que é mais intensa a atividade convectiva sobre a região;

- Quase 60% dos eventos situaram-se entre as 1500 e 2000 UTC, horários de maior aquecimento da superfície e de instabilidades meteorológicas. Além disso, das 29 ocorrências de *windshear*, 5 delas estiveram associadas à turbulência forte, 9 à turbulência moderada e duas à turbulência leve;
- A maior parte dos episódios ocorridos esteve associada diretamente à influência orográfica e à presença de nuvens de caráter convectivo (Cu e Cb), sendo alguns desses casos com a ocorrência de trovoadas e chuva;
- Em termos sinóticos, foram identificados episódios associados à entrada de sistemas frontais (pré-frontal) no Estado de São Paulo, particularmente no período de verão, gerando circulação de ventos no quadrante norte que, conjugada com a presença de elevações montanhosas próximas à área do aeroporto (cerca de 4,6 km ao norte), originava efeito típico de onda de montanha, ocasionando turbilhonamento do vento que ia de encontro às aeronaves em fase de aproximação e de subida inicial.

No mesmo sentido, Fogaccia e Filho (2002) observaram, no período de janeiro de 1994 a dezembro de 1999, que o cisalhamento do vento em SBGR foi mais frequente nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, com picos secundários nos meses de junho, setembro e outubro. Tais eventos estiveram, em geral, associados a células convectivas ordinárias. Segundo o estudo, nesse período de maior incidência, as tesouras de vento foram responsáveis, em média, por 5 arremetidas mensais, o que confirma que esses fenômenos são mais significativos no verão.

A exemplo do que ocorre em São Paulo, as diversas publicações compiladas (AIRBUS, 2007; BOEING, 1987; FAA, 1990; FSF, 2009; KÖNIG *et al*, 1992) mostram maior susceptibilidade de aparecimento do fenômeno *windshear* quando associado a formações convectivas (tempestade, chuva e virga) e sistemas frontais, os quais, segundo Fujita (1980), respondem estatisticamente por mais de 80% dos eventos relatados. Por esse motivo, este trabalho buscou direcionar seu foco para essas condições específicas mais frequentes.

2.1 Tempestades

Existem dois tipos básicos de tempestades: as convectivas e as frontais (FAA, 1990).

As do tipo convectivo aparecem distribuídas aleatoriamente em zonas de ar turbulento e se desenvolvem a partir de áreas da superfície da Terra que recebem maior aquecimento solar (vide Figura 1). Na fase inicial, o ar aquecido sobe e resfria, formando nuvens do tipo *cumulus*. Na fase seguinte, uma precipitação ocorre na parte superior dessas nuvens. Essa precipitação indica ao piloto o início da fase madura do *cumulus* e a presença de correntes descendentes de ar. Aproximadamente uma hora após o início da precipitação, a corrente quente ascendente é interrompida pela chuva. A fonte de calor é removida pelo resfriamento da Terra e a tempestade se dissipa (FAA, 1990).

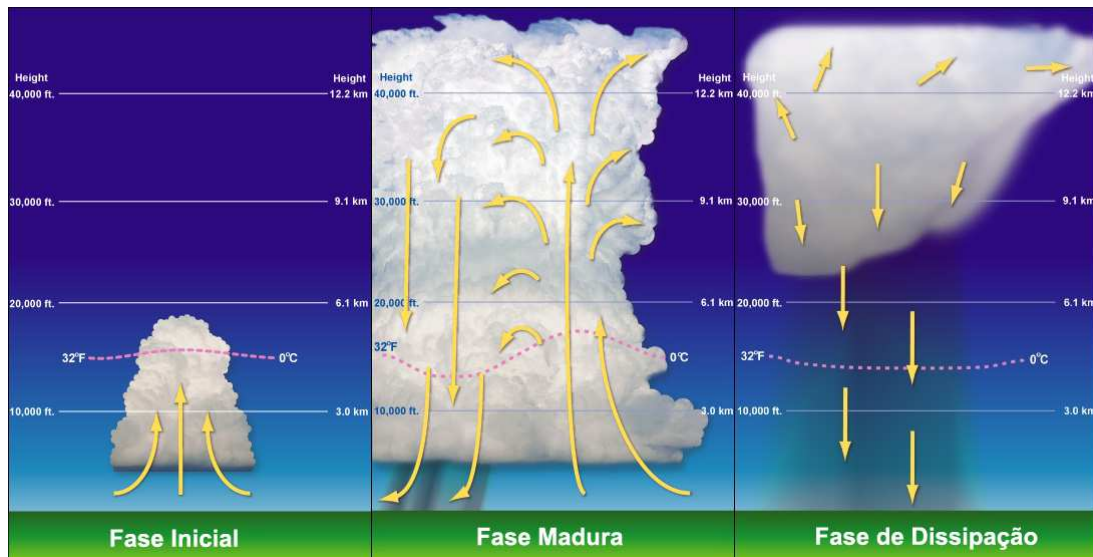


FIGURA 1 - Ciclo de vida das tempestades convectivas. Fonte: Adaptado de *Windshear Training Aid* (FAA, 1990).

Muitas tempestades desse tipo produzem uma rajada frontal como resultado da corrente descendente e do espalhamento do ar resfriado pela chuva. Essas rajadas são usualmente muito turbulentas e podem criar sérios riscos às aeronaves durante decolagens e aproximações (FAA, 1990).

As tempestades frontais estão normalmente associadas a sistemas meteorológicos específicos, tais como frentes e ventos convergentes. Elas formam linhas de instabilidade, duram várias horas, produzem chuva forte (eventualmente granizo) e fortes rajadas (FAA, 1988).

Um fato interessante, associado à entrada de sistemas frontais, é que os

ventos em altitude possuem, comumente, direção inversa aos ventos em superfície. Por isso, é comum encontrar ventos de cauda na aproximação e ventos de proa na superfície. Apesar de recorrentes alertas, muitos acidentes causados por *windshear* não ocorreriam se os pilotos esperassem alguns minutos até que as tempestades enfraquecessem, diminuindo assim a intensidade dos ventos na superfície (FAA, 1988).

A principal distinção entre esse tipo mais severo de tempestade e a anteriormente descrita (tempestade convectiva) é a presença de grandes variações de velocidade e direção do vento, no plano horizontal, em diferentes altitudes dentro da formação. Isso faz com que esse tipo de formação seja verticalmente inclinada (vide Figura 2). Desse modo, a precipitação ocorre em lugar diferente daquele da corrente quente ascendente, permitindo que o fenômeno dure mais tempo. O fluxo de ar dentro da formação é acelerado e as velocidades verticais são muito maiores, o que resulta em uma maior velocidade horizontal do vento na superfície (FAA, 1988).

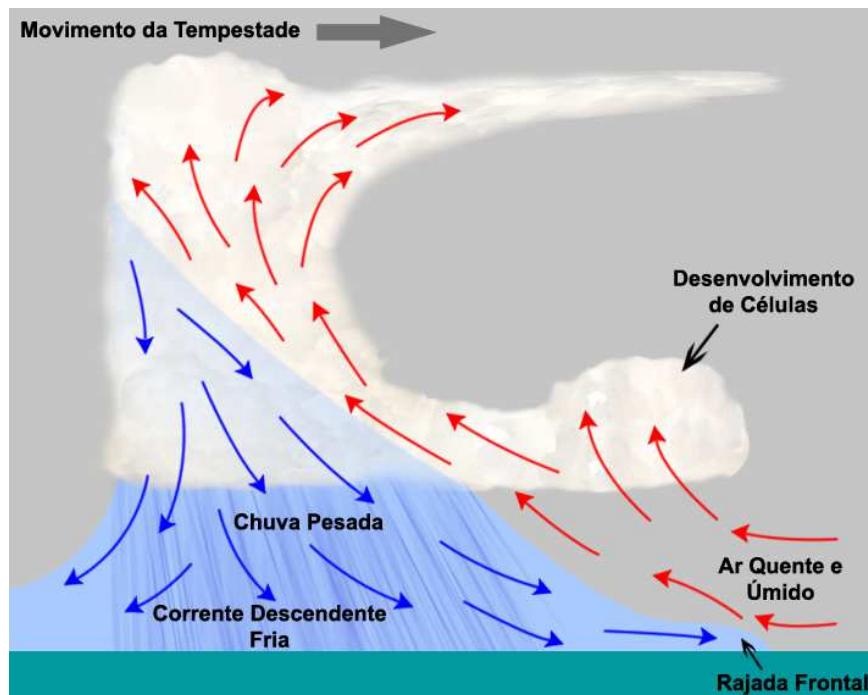


FIGURA 2 – Anatomia de uma tempestade frontal. Fonte: Adaptado de *Pilot Windshear Guide* (FAA, 1988).

A Figura 3 mostra a média anual de dias em que ocorrem tempestades no mundo.

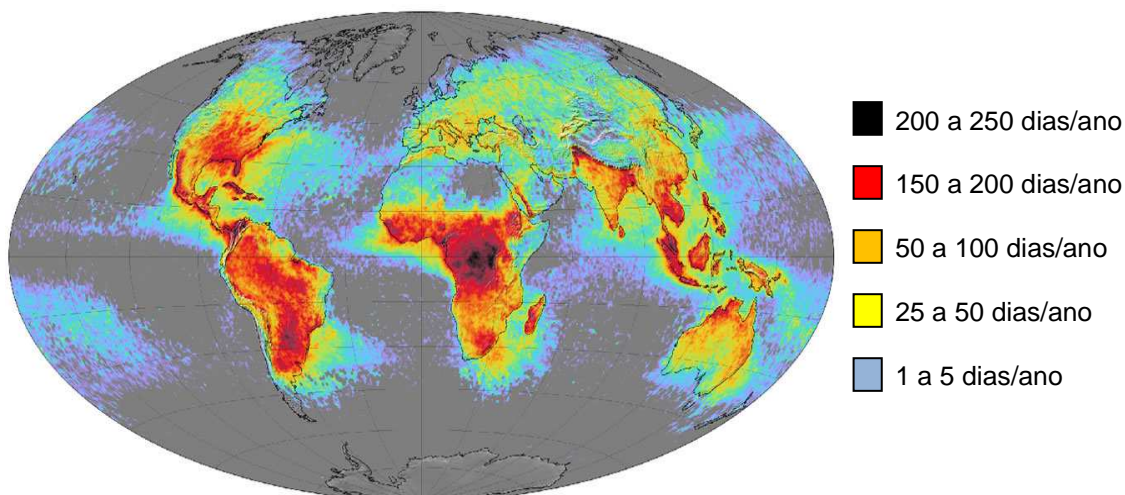


FIGURA 3 – Número médio de dias de *thunderstorms* por ano. Fonte: Adaptado de ICAO Circular 186 – AN/122: *Windshear* (ICAO, 1987).

Note que o Brasil se encontra em uma das regiões de maior ocorrência desse tipo de formação, variando da Amazônia, com 200 dias/ano, até a Região Sul, com 90 dias/ano. A média nos EUA é de 45 dias/ano.

Da análise da Figura 3 pode-se concluir que os trópicos são as regiões de maior potencial de risco para a ocorrência de *windshear*. Todavia, devido à baixa frequência de tráfego aéreo nessas regiões e à atribuição de acidentes e incidentes causados por cortantes de vento a outros fatores, um menor número de eventos tem sido reportado nessas regiões (FAA, 1988).

Uma análise detalhada dos casos reportados nos EUA, entretanto, permite constatar com clareza a relação entre a ocorrência de tempestades e o número de acidentes causados por *windshear* (FAA, 1988).

2.2 *Microbursts*

Da investigação de diversos acidentes e incidentes aeronáuticos resultantes de *windshear* ocorridos na década de 1980 nos EUA, foram identificadas correntes descendentes possantes e concentradas, denominadas *microbursts*.

O *microburst*, segundo König e Krause (1992), é uma coluna de ar descendente de pequeno diâmetro e de grande velocidade vertical, a qual, ao aproximar-se do solo, se dispersa radialmente na horizontal, provocando ventos fortes e rajadas em todas as direções (Figura 4). Para fins ilustrativos,

um *microburst* pode ser comparado a um jato de ar dirigido por uma mangueira em direção ao solo.



FIGURA 4 – *Microburst* na região nordeste do Estado do Alabama, EUA. Fonte: Wikipédia (2012).

O Projeto JAWS (Joint Airport Weather Studies) (UNITED STATES, 1983) - concebido pelo National Center for Atmospheric Research (NCAR), na década de 1980, com o objetivo de estudar *microbursts* - define esse fenômeno como fluxos de ar divergente, junto à superfície, induzidos por uma corrente descendente (originada dos Cbs), cujo diâmetro inicial tem menos de 4 quilômetros e cuja velocidade diferencial é maior que 10 metros por segundo (36 km/h).

O Civil Aviation Authority (CAA, 2010) caracteriza o *microburst* como um evento de curta duração, o qual, via de regra, aparece, atinge a maturidade e se desfaz em menos de 20 minutos. Na maioria das vezes em que foi detectado, não se apresentou de forma simétrica, mas inclinado verticalmente. São eventos de escala reduzida, raramente ultrapassando 1,5 km de diâmetro na fase inicial, crescendo para cerca de 3 km após um intervalo de 6 a 7 minutos.

Imprevisíveis, surgem abruptamente sem nenhum aviso prévio. São de difícil detecção, a não ser por meio de radares meteorológicos do tipo *Doppler*. Sua duração é curta, de 5 a 20 minutos no máximo, o que vem a dificultar seu estudo. Ocorrem nas áreas de trovoadas convectivas, tanto na zona chuvosa como na zona seca. Eventualmente, poderão estar associados a áreas de

pancadas de chuva isoladas ou à virga (WOLFSON, 1990).

Observações demonstraram que aproximadamente 5% das formações convectivas produzem *microbursts*. Quando a descendente atinge o solo, ela se espalha horizontalmente e pode formar um ou mais anéis horizontais de vórtice (vide Figura 5). A região do espalhamento tem, tipicamente, diâmetros que vão de 1 a 2 milhas e os vórtices podem atingir até 2.000 pés de altura. Uma aeronave atravessando esse tipo de *microburst* experimentará ventos de proa e de cauda de igual intensidade (CENIPA, 2011).

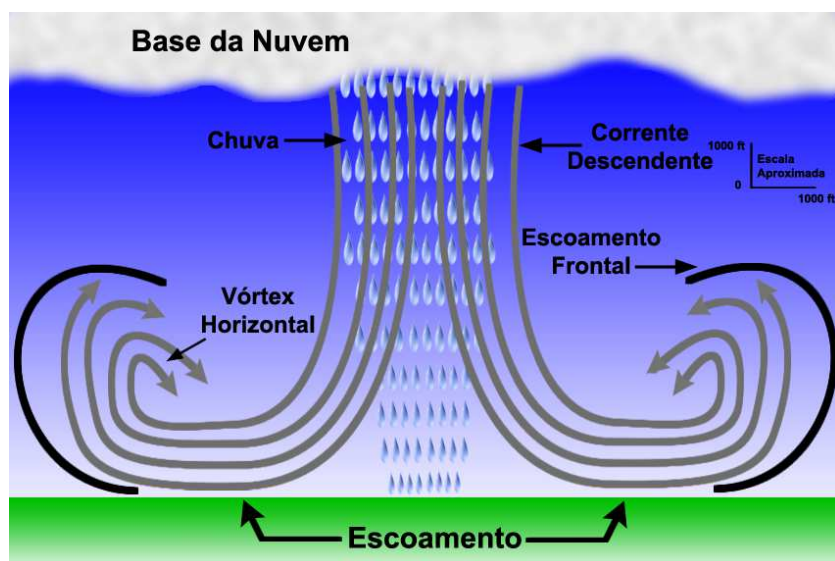


FIGURA 5 – Microburst simétrico. Fonte: Adaptado de *Pilot Windshear Guide* (FAA, 1985).

Anderson e Clark (1981) ilustram com clareza de detalhes as condições enfrentadas por uma aeronave que tenha contato com esse fenômeno meteorológico na fase de aproximação para o pouso.

Inicialmente a aeronave encontra correntes ascendentes. Para manter a razão de descida ou simplesmente a mesma altitude, os pilotos naturalmente têm de reduzir a potência dos motores, pois as correntes ascendentes tendem a fazer com que a aeronave fique acima da trajetória pretendida. O problema é que, instantes depois, as aeronaves encontram a coluna de vento central, que sopra de cima para baixo com intensidade muito maior que as correntes ascendentes. Como os motores a reação demoram alguns segundos para efetivamente responder a um comando de aceleração, normalmente as aeronaves que penetram em cheio num *microburst* têm pouca chance de reagir a tempo e escapar.

Os *microbursts*, devido às tesouras de vento severas associadas à

descendente, podem criar condições que facilmente excederão a capacidade aerodinâmica de qualquer tipo de avião, seja militar ou civil. Ao entrar no *microburst*, inicialmente ocorrerá um aumento da velocidade indicada (IAS) e uma melhoria da performance. Alguns segundos mais tarde, quando o avião for submetido aos efeitos do vento de cauda e da descendente, ocorrerão uma rápida diminuição da IAS e uma acentuada deterioração do desempenho. Quanto menor o diâmetro de um *microburst*, mais prejudicial será seus efeitos sobre a trajetória do avião (ANDERSON; CLARKE, 1981).

De acordo com teorias descritas no *Aerodynamics for Naval Aviators* (UNITED STATES, 1992), em determinadas condições de *microbursts* severos, a mudança do vento relativo por efeito da descendente poderá resultar numa área de alta pressão no extradorso da asa e de baixa pressão no intradorso, produzindo sustentação zero - ou até negativa - e fazendo com que o avião seja literalmente "sugado" em direção ao solo.

Uma aeronave atravessando um *microburst* em voo nivelado ou durante uma aproximação ILS, normalmente estará com velocidade e atitude estabilizadas. Assim, são mais facilmente perceptíveis pelo piloto eventuais mudanças de desempenho, o que permitirá correções mais rápidas. Na decolagem, quando o avião está sendo acelerado para a V_2 ou $V_2 + 10$, com potência máxima ou quase máxima, o piloto não tem meios de perceber que um aumento da IAS pode ser o resultado do aumento do vento de proa, somado à aceleração inercial do avião. Para evitar ou minimizar uma perda de altura alguns segundos mais tarde, o piloto deveria reconhecer imediatamente a situação, levantar o nariz da aeronave para uma atitude além da usual e aplicar potência máxima, de acordo com as técnicas recomendadas para tesouras de vento (FUJITA, 1985).

Conforme pode ser observado na Figura 6, nem sempre o ar descendente espalha-se simetricamente, podendo gerar um *microburst* assimétrico. Nessa situação, uma aeronave atravessando da esquerda para a direita experimentará vento de proa de pequena intensidade e vento de cauda de grande intensidade (FUJITA, 1985).

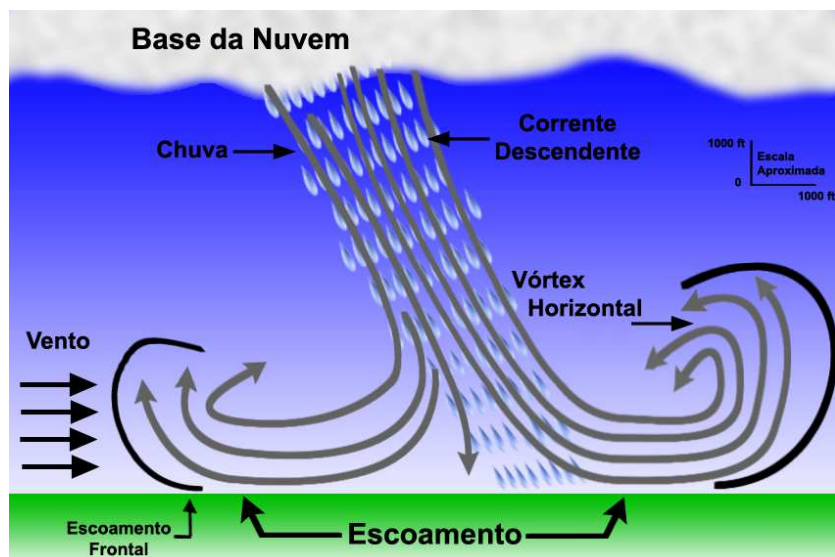


FIGURA 6 – Microburst assimétrico. Fonte: Adaptado de *Pilot Windshear Guide* (FAA, 1985).

Segundo Fujita (1985), pode ocorrer mais do que um *microburst* na mesma formação. Os pilotos devem estar atentos para ocorrência de outros *microbursts*, mesmo que um deles já tenha sido ultrapassado ou reportado. Se vários *microbursts* estão presentes, uma série de vórtices podem se formar perto do solo. Condições associadas a esses vórtices tendem a produzir poderosas ascendentes e espirais em adição às descendentes.

A velocidade do vento aumenta por aproximadamente 5 minutos depois que um *microburst* atinge o solo (Figura 7). O encontro de um *microburst* no estágio inicial de sua formação pode não ser significativo para a aeronave, entretanto, a mesma situação, alguns minutos depois, pode produzir variações de velocidade duas ou três vezes maiores. Normalmente, a dissipação de um *microburst* ocorre de 10 a 20 minutos após o contato inicial da descendente com o solo (FUJITA, 1985).

Medições efetuadas indicam que as variações de velocidade do vento em regiões de *microburst*, em seu estágio de maior intensidade, são da ordem de 45 nós. Entretanto, diferenças de velocidade de quase 100 nós foram detectadas em acidentes e incidentes aeronáuticos nos Aeroportos de Dallas e Denver, nos EUA. Deve-se notar que até mesmo *windshears* que estavam dentro da capacidade de desempenho das aeronaves têm causado acidentes (CENIPA, 2011).

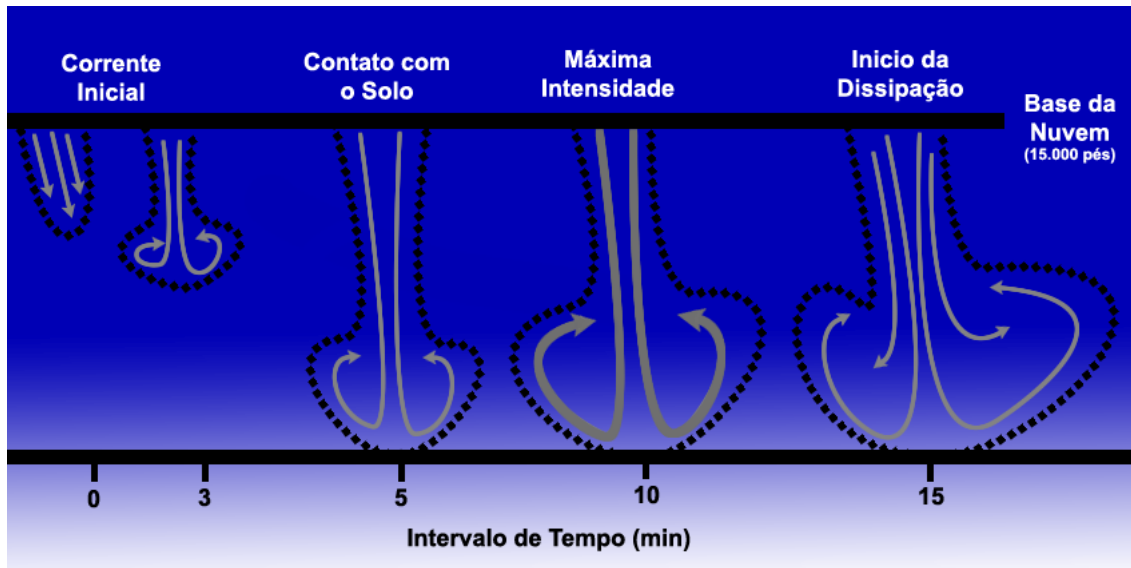


FIGURA 7 – Evolução de um *microburst*. Fonte: Adaptado de *Pilot Windshear Guide* (FAA, 1985).

Microbursts podem ser associados tanto a chuvas pesadas, como nas tempestades, quanto a precipitações leves associadas a nuvens convectivas. Além disso, *microbursts* têm ocorrido em condições de relativa baixa umidade como chuva leve ou virga. Nesse caso, o ar abaixo da base da nuvem é muito seco e a precipitação gerada evapora-se. Essa evaporação produz resfriamento do ar que, por diferença de densidade, desce. Com a continuação do processo de evaporação, a descendente se acelera, gerando um *microburst* (CENIPA, 2011).

3 COMPORTAMENTOS DA AERONAVE SOB *WINDSHEAR*

3.1 Ocorrência de *Windshear* durante a Corrida de Decolagem – Antes da Vr

A análise de um acidente típico, no qual ocorreu aumento do vento de cauda durante a corrida de decolagem, mostrou que inicialmente as indicações eram normais. Todavia, devido ao vento de cauda crescente, a aeronave somente atingiu a VR nas proximidades do final da pista. Enquanto o avião deixava o solo, a componente de vento de cauda continuou a aumentar, impedindo qualquer incremento de velocidade. Na sequência, a aeronave acabou colidindo com um obstáculo localizado após o final da pista (Figura 8) (FAA, 1990).

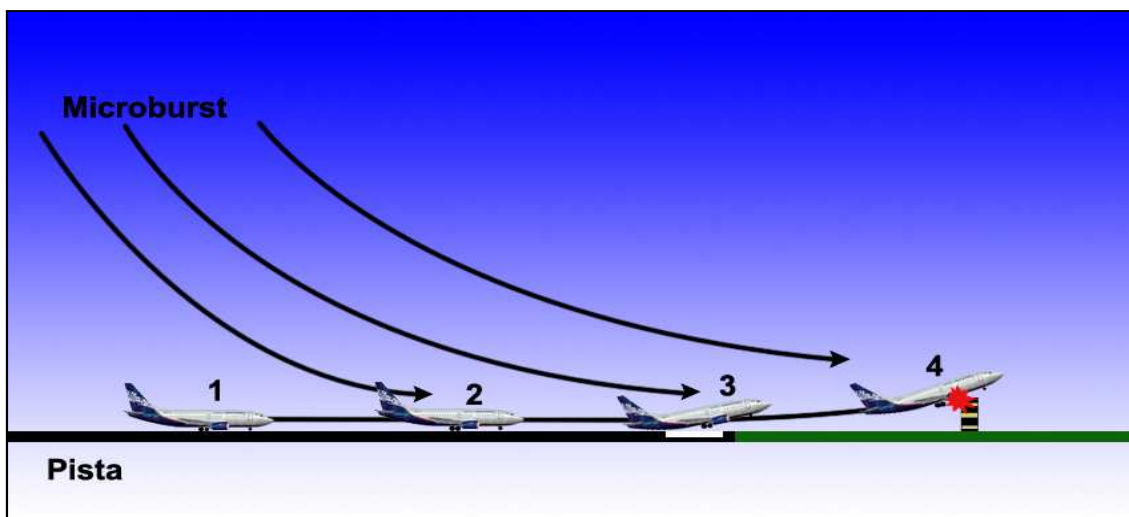


FIGURA 8 - Windshear durante a corrida de decolagem – antes da VR. Fonte: Adaptado de *Windshear Training Aid* (FAA, 1990).

Uma velocidade menor do que a normal, devido à ocorrência de *windshear*, proporcionou sustentação insuficiente - mesmo estando a aeronave com atitude apropriada - o que resultou numa incapacidade de deixar o solo em tempo hábil para livrar os obstáculos à frente (FAA, 1990).

Um fator adicional adverso é a dificuldade de se identificar rapidamente a deterioração da performance da aeronave. O pronto reconhecimento de uma ocorrência de *windshear* na pista pode ser difícil, uma vez que a única indicação para o piloto é o ganho de velocidade mais lento que o normal (FAA, 1990).

É importante notar que a presença de rajadas pode mascarar o aumento anormal da velocidade e que o tempo disponível para responder efetivamente à ocorrência de *windshear* pode ser menor que 5 segundos, em casos extremos (FAA, 1990).

Em operações de rotina, a coordenação entre os tripulantes - particularmente os *standard callouts* - é essencial para assegurar o pronto reconhecimento da deterioração do desempenho. Uma potência máxima pode ser requerida para melhorar a performance, especialmente se foi utilizado *reduced thrust* (FAA, 1990).

Caso não haja pista suficiente para acelerar até a velocidade normal de decolagem ou para abortar, pode ser necessário rodar a aeronave em velocidades menores do que a VR padrão. Nesse caso, um ângulo de ataque (*pitch*) adicional pode ser requerido para que se consiga suficiente sustentação

(FAA, 1990).

Nos treinamentos tradicionais, os tripulantes são frequentemente instruídos a não rodar a aeronave em velocidades menores que a VR, de modo a prevenir um *pitch* excessivo que poderia resultar em contato da cauda da aeronave com a pista (FAA, 1990).

Na ocorrência de um *windshear* durante a corrida de decolagem, rodar para um *pitch* maior a uma velocidade menor do que a normal pode ser requerido para que se consiga deixar o solo no comprimento de pista remanescente (FAA, 1990).

Como nos mostra o *Windshear Training Aid* (FAA, 1990), para superar situações em que cortantes de vento ocorram inesperadamente, o piloto deve estar preparado para aplicar técnicas diferentes das comumente utilizadas.

3.2 Ocorrência de *Windshear* durante a Decolagem - Após a Vr

Em um acidente típico estudado, a aeronave encontrou um *windshear* que provocou crescente aumento do vento de cauda logo após a saída do solo (Figura 9 – Ponto 3). Durante os primeiros 5 segundos após o *liftoff*, a decolagem parecia normal, no entanto, a aeronave espatifou-se no solo após o final da pista, aproximadamente 20 segundos após ter decolado (FAA, 1985).

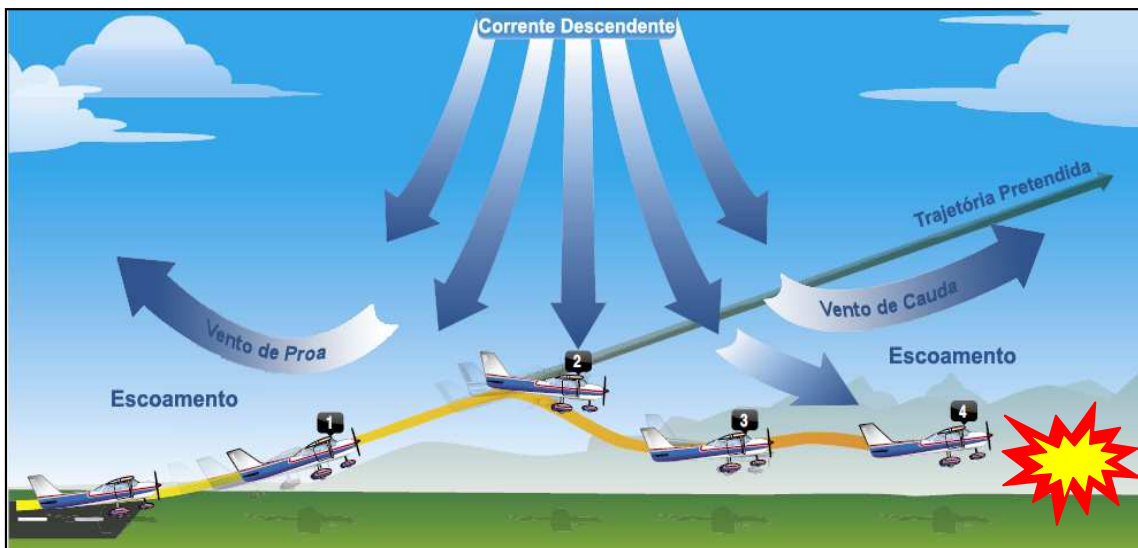


FIGURA 9 - Ocorrência de *windshear* durante a decolagem - após a VR. Fonte: Adaptado de *Pilot Windshear Guide* (FAA, 1985).

Nesse exemplo, a aeronave encontrou a cortante de vento antes de iniciar uma subida estabilizada, o que dificultou o reconhecimento da situação.

A diminuição de IAS acarretada pelo forte vento de cauda, fez com que os pilotos reduzissem o ângulo de ataque. Com *pitch* menor, a capacidade de performance disponível não foi totalmente utilizada e a aeronave perdeu altitude. Quando o piloto apercebeu-se do risco de choque com o solo, tentou uma recuperação para o *pitch* inicial. Isso exigiu aplicação de grande força sobre a coluna de comando. A ação corretiva, porém, foi tomada muito tarde (FAA, 1985).

Reduzir o *pitch* para compensar a diminuição de IAS é resultado da ênfase dada no passado à manutenção de velocidade. Conforme nos mostra a Airbus (2007), a ação mais adequada à perda de velocidade e sustentação proveniente de tesouras de vento é controlar o ângulo de ataque, não permitindo que ele fique abaixo do normal. Somente com controle apropriado do *pitch* - aceitando-se uma redução na velocidade - é que se pode evitar a degradação da trajetória do voo.

A partir do momento em que a aeronave começa a se desviar da trajetória ideal e é induzida a elevadas razões de descida, tornam-se necessárias margens extras de tempo e altitude para mudar a direção da trajetória. No exemplo comentado (Figura 9), a performance da aeronave não foi utilizada adequadamente por dois motivos: não reconhecimento da situação e resposta inadequada (FAA, 1985).

Uma deterioração rápida do desempenho de subida pode não ser aparente para a tripulação, a menos que os instrumentos que indicam a trajetória vertical sejam cuidadosamente monitorados (FAA, 1985).

3.3 Ocorrência de *Windshear* durante a Aproximação para Pouso

Ao analisarmos uma ocorrência típica de *windshear* na aproximação, podemos notar a existência de vento de cauda e corrente descendente crescente ao longo da trajetória de voo (vide Figura 10). A aeronave perde velocidade, fica abaixo da rampa e toca o solo antes da cabeceira da pista (CENIPA, 2011).

A redução da velocidade da aeronave ao encontrar o *windshear* resultou em diminuição da sustentação. Essa perda de sustentação aumentou a razão de descida. A tendência natural de abaixar o nariz em resposta à baixa velocidade causou uma perda adicional de altitude. O aumento do ângulo de

ataque e a recuperação não foram iniciados em tempo hábil para evitar o contato com o solo (CENIPA, 2011).

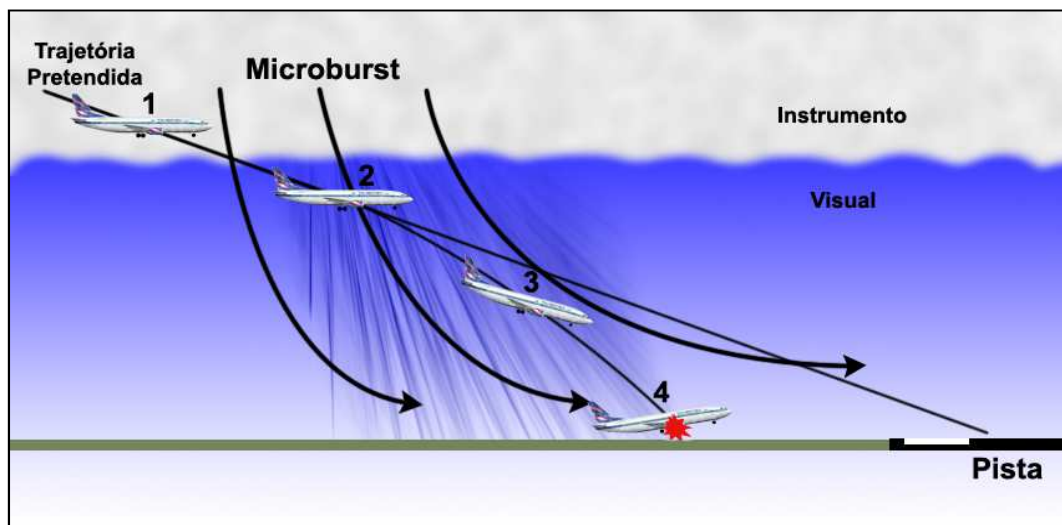


FIGURA 10 - Ocorrência de *windshear* durante a aproximação. Fonte: Adaptado de *Pilot Windshear Guide* (FAA, 1985).

Nesse caso, a aplicação gradativa de potência durante a aproximação pode ter encoberto a tendência inicial de diminuição da velocidade. As condições meteorológicas precárias ocasionaram elevação na carga de trabalho e complicaram a aproximação (CENIPA, 2011).

A transição do voo por instrumentos para o voo visual pode ter prejudicado a observação adequada dos instrumentos, e a coordenação inadequada entre os tripulantes pode ter resultado na falha de acompanhamento da trajetória do voo, impossibilitando o reconhecimento de sua degradação (CENIPA, 2011).

Uma aproximação estabilizada com *callouts* claramente definidos é essencial para ajudar no reconhecimento de tendências inaceitáveis na trajetória do voo assim como para detectar a necessidade de iniciar uma arremetida (CENIPA, 2011).

Outra situação crítica causada por cortantes de vento durante procedimentos de pouso ocorreu com o Voo 202 da Transbrasil, no dia 27 de fevereiro de 2000 (CENIPA, 2004).

Segundo o Relatório Final emitido pelo CENIPA (2004), muito embora o Boeing 747-400 tivesse arredondado no primeiro terço da pista, devido ao deslocamento do vento de cauda, houve uma flutuação da aeronave durante

um período de sete segundos, resultando no toque com o solo cerca de 1.000 metros após a cabeceira (CENIPA, 2002).

Em seguida, a aeronave ultrapassou os limites da pista e quebrou o trem de pouso do nariz quando se encontrava com velocidade indicada de 48 kt e motores a 92% (esquerdo) e 90% (direito), com os reversores acionados. O vento era de cauda, de 42 kt (Figura 12) (CENIPA, 2004).



FIGURA 11 – Transbrasil 202 após acidente no Aeroporto Salgado Filho. Fonte: Airlines.net.

4 EFEITOS DO *WINDSHEAR* NOS SISTEMAS DAS AERONAVES

O Guia do *Windshear* para o Piloto (FAA, 1985) traz informações importantes sobre o comportamento dos instrumentos e sistemas da aeronave em condições de *windshear* que poderão auxiliar na correta identificação desse fenômeno e na tomada de ações subsequentes.

a) Altímetros

O uso de rádioaltímetro e de altímetro barométrico durante os *callouts* e a observação dos instrumentos em uma situação de *windshear* devem ser adequados às características de cada instrumento. Como o rádioaltímetro se refere ao relevo do solo, o indicador pode mostrar subidas ou descidas devido a depressões ou elevações do terreno. O altímetro barométrico também pode fornecer indicações distorcidas devido às variações de pressão provocadas pelo *microburst*.

b) Indicador de velocidade vertical (VSI)

O indicador de velocidade vertical (VSI) não deve ser utilizado

isoladamente para fornecer informação precisa da velocidade vertical. Devido ao retardo do instrumento, as indicações podem ser correspondentes a alguns segundos anteriores à real razão de subida/descida da aeronave e, em algumas situações, podem indicar uma subida após a aeronave ter iniciado uma descida, e vice-versa.

Os indicadores de velocidade vertical acionados por *Inertial Reference Unit* (IRU) mostram melhorias significativas quando comparados a outros tipos de instrumentos, mas ainda assim têm algum retardo. Em adição, as variações de pressão induzidas por rajadas no *pitot*, quando em presença de *microburst*, podem introduzir imprecisão adicional no VSI. Em função desses retardos e erros, todos os instrumentos para monitoramento da trajetória vertical de voo devem ser comparados de modo a confirmar as tendências de subida/descida.

c) *Stick shaker*

O *stick shaker* é ativado pelo ângulo de ataque. Conseqüentemente, mudanças rápidas nos ventos verticais ou manobras irão variar a atitude e a velocidade na qual o *stick shaker* atua. Tal fato pode ocasionar atuações imprevistas desse sistema.

d) Indicador de ângulo de ataque

Os indicadores de ângulo de ataque fornecem informações úteis relativas à margem para atuação do *stick shaker*. Entretanto, podem não fornecer referências efetivas em condições de *windshear*, uma vez que o ângulo de ataque é controlado indiretamente por ajustes de *pitch*. Numa situação real de *windshear*, ocorrem mudanças bruscas dos ventos verticais, causando rápidas flutuações do ângulo de ataque independentemente da ação do piloto. Essa perda direta do controle sobre o ângulo de ataque limita o uso desses indicadores como parâmetro de referência.

5 LIÇÕES APRENDIDAS A PARTIR DE CASOS DE WINDSHEAR

A análise de acidentes e incidentes causados por *windshear* tem proporcionado valiosas lições sobre como reconhecer esse fenômeno meteorológico e quais técnicas de pilotagem devem ser adotadas. **A primeira e mais importante lição aprendida é que a melhor defesa contra um *windshear* é evitá-lo** (BOEING, 1987; FSF, 2009; KERMODE, 1976; SCHÄNZER, 1992; grifo do autor)

Na maior parte dos acidentes e incidentes aeronáuticos pesquisados, diversas evidências - tais como boletins meteorológicos e observações visuais - indicavam aos pilotos a possibilidade de ocorrência de *windshear*. Em todos os casos, no entanto, essas evidências não foram reconhecidas ou não foram tomadas ações adequadas pelas tripulações.

Segundo Matschinske *et al* (2009), cortantes de vento poderão surgir como consequência de diversos fenômenos meteorológicos, a saber: trovoadas, cumulonimbus, virgas, sistemas frontais, correntes de jato de baixos níveis, ventos fortes de superfície, brisas marítimas e terrestres, ondas de montanha, linhas de instabilidade e fortes inversões de temperatura.

A presença de cumulonimbus é bom indicativo de que poderá haver cortantes do vento, mas não necessariamente *microbursts*, pois somente 5% dos Cbs produzem tal fenômeno. A existência de virgas - tipo de precipitação que ocorre na base de certas nuvens e que não chega ao solo - pode estar conjugada com cortantes de vento, com o agravante de, abaixo dela, formar-se um *microburst* seco, invisível, que pode ser denunciado apenas por poeira soprada logo abaixo da nuvem. Inversões de temperatura entre 2.000 e 4.000 pés com ventos acima de 25 nós de intensidade também podem indicar a formação de tesouras de vento (MATSCHEINSKE *et al*, 2009).

Entrada de frentes frias também podem causar *windshear*, embora com menor intensidade. Há casos em que os ventos em altitude sopram de NW (típico de sistemas pré-frontais), embora sua direção possa ser totalmente oposta na superfície, onde podem ser gerados por uma brisa, por exemplo. Os pilotos não devem se espantar, caso o controle de tráfego coloque-os em uma aproximação final com vento de cauda, pois, nesses casos, um vento de proa estará ocorrendo na superfície (MATSCHEINSKE *et al*, 2009).

Consultar as informações meteorológicas antes do voo, junto aos centros meteorológicos, é o primeiro passo para não ter surpresas desagradáveis. Cabe ao piloto verificar criteriosamente todos os fatores meteorológicos relacionados antes dos pousos e decolagens. Em termos práticos, as informações mais atualizadas sobre o *windshear* são provenientes de outros pilotos que, rotineiramente, reportam tais ocorrências aos controladores de tráfego aéreo (MATSCHEINSKE *et al*, 2009).

Alguns documentos técnicos, como o *Flight Operations Briefing Notes* –

Windshear da Airbus (2009), o *Pilot Windshear Guide* do FAA (1988) e o DOC 9817 - *Manual on Low-Level Wind Shear* da ICAO (2005), trazem orientações simples e diretas para um correto diagnóstico de *windshear* à baixa altura. Conforme apontam os estudos compilados, especial atenção deverá ser tomada pelos pilotos quando:

1. São previstas ou observadas trovoadas a 10 NM do aeródromo;
2. Há ocorrências de correntes de jato com ventos acima de 50 nós em altitudes inferiores a 2.000 pés do solo;
3. Há, na superfície, ventos iguais ou superiores a 10 nós associados a rajadas;
4. A diferença entre o gradiente de vento na superfície e acima dela é de 20 nós ou mais;
5. O valor absoluto da diferença entre o gradiente do vento e o vento de superfície é de 30 nós ou mais;
6. Há inversão térmica ou isoterma abaixo de 2.000 pés de altura;
7. Há ou está prevista a entrada de frente fria na região;
8. A diferença entre o vetor vento no cruzamento da frente é igual ou superior a 20 nós em um espaço de até 50 NM;
9. O gradiente de temperatura no cruzamento da frente é de 5°C ou mais em um espaço menor que 50 NM;
10. A velocidade do sistema frontal é de 30 nós ou mais.

Além disso, é recomendável observar sempre as informações dos AIREP (turbulência moderada a forte), dos controladores de tráfego aéreo, das observações METAR/SPECI, dos radares *Doppler* e dos avisos de gradiente de vento (WS WRNG), dentre outras.

O Relatório Final AA2013-4, emitido pelo Japan Transport Safety Board (JTSA, 2013), mostra que algumas das orientações supramencionadas foram negligenciadas pelos pilotos do Voo 80 do Fedex Express, um MD-11 que se acidentou logo após o pouso, em 23 de março de 2009, no Aeroporto de Tokyo-Narita, Japão, levando a óbito os dois tripulantes que estavam a bordo (Figura 12).



FIGURA 12 – Voo 80 da Fedex após pouso no Aeroporto de Tokyo-Narita. Fonte: Airvoila.com (2012).

Os METAR dos horários próximos ao acidente dão uma ideia das condições encontradas pela aeronave naquela manhã:

TABELA 2. METARES do Aeroporto de Tokyo das 2000 às 2300 UTC de 23/03/2009.

RJAA 2000 33012KT 9999 FEW020 11/05 Q0997 NOSIG=
RJAA 2100 30013G28KT 260V330 9999 FEW020 13/M01 Q0998NOSIG=
RJAA 2200 31026G40KT 9999 FEW020 12/M02 Q1001 NOSIG=
RJAA 2300 30018G29KT 9999 FEW030 13/M04 Q1002 WS R34RNOSIG=

Fonte: REDEMET.

Às 2100 UTC (em azul), o vento médio dos últimos 10 minutos era de 13 nós, porém foram registradas rajadas de 28 nós. Às 2200 UTC (em vermelho), horário próximo ao acidente, o vento médio dos últimos 10 minutos foi de 26 nós com picos de 40 nós. Esse vento estava praticamente alinhado com a pista. Em nenhum momento foram verificadas restrições de visibilidade e teto.

Em análise mais abrangente das condições meteorológicas reinantes, ficou evidente a variação da pressão ao longo do tempo. No gráfico a seguir, constata-se que ocorreu uma variação total de 32 hPa nas 24 horas que precederam o acidente (destacado em vermelho), ocasionada pela passagem de um sistema frontal. Essa informação é um dos preditores utilizados pelos meteorologistas para emissão de avisos de *windshear*.

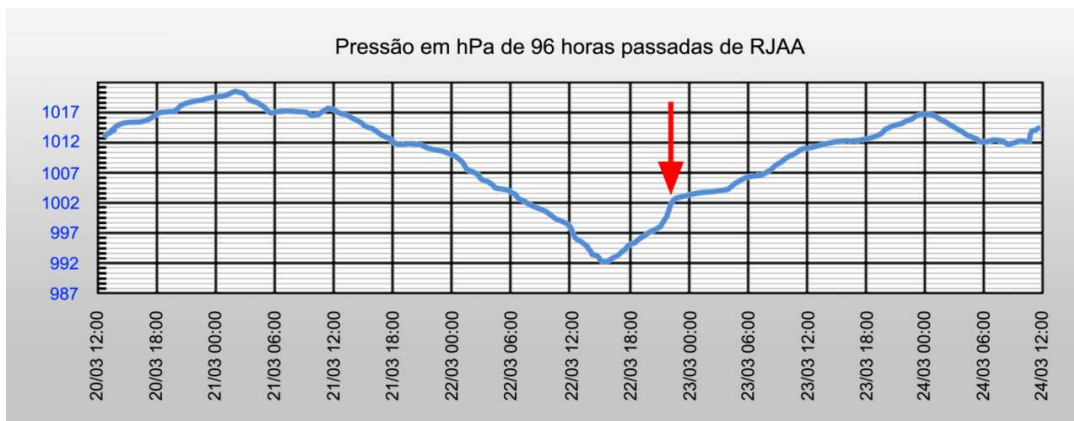


FIGURA 13 – Pressão em RJAA nas 96 horas anteriores ao acidente. Fonte: REDEMET (2009).

6 WINDSHEAR NO BRASIL

6.1 Um Caso Típico

No Brasil, um caso típico de acidente causado por tesoura de vento ocorreu em 12 de dezembro de 2010, durante a aproximação final do King Air PT-WUG para pouso no Aeródromo de Londrina-PR. O bimotor, que pertencia a empresários ligados ao Programa Leilões, do Canal Rural, decolou de Uberaba-MG com sete pessoas a bordo e caiu numa plantação de soja.

As informações a seguir foram baseadas no Relatório Final A-071/CENIPA/2012 (CENIPA, 2012), emitido pelo Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos.

6.1.1 Histórico da ocorrência

A aeronave decolou do Aeródromo de Uberaba (SBUR) às 18h00min (HBV), com destino ao Aeródromo de Londrina (SBLO), com dois pilotos e cinco passageiros a bordo.

Por volta das 21h33min (HBV), a aeronave estava nivelada a 4.500 pés de altitude e a tripulação autorizada a realizar a aproximação final do procedimento IFR RNAV (GPS) da pista 13 em SBLO.

A 5 NM da posição BOLO, o copiloto reportou ao Controle Londrina (APP-LO) ter encontrado turbulência pesada e em seguida perdeu o contato com o controle.

A aeronave foi encontrada em um campo de plantação de soja, localizado no Distrito de Warta, distante 14 km do Aeródromo de Londrina.

Os dois tripulantes e os cinco passageiros sofreram lesões leves. A aeronave ficou completamente destruída.

6.1.2 Informações meteorológicas

Entre 22h45min e 00h10min (UTC), foram emitidos sete Boletins Meteorológicos Regulares (METAR), evidenciando que as condições de tempo presentes em SBLO sofreram seguidas variações em curto intervalo de tempo.

Nesse período, a operação alternou entre VFR e IFR, chegando a ficar abaixo dos mínimos para execução do procedimento IAC RNAV (GPS) RWY 13.

Segundo os boletins meteorológicos, havia chuva com trovoadas e vento de rajada nas proximidades de Londrina em razão de um sistema frontal de intensidade moderada.

TABELA 3 - Metares de SBLO próximo ao horário do acidente.

22300Z 5000 -TSRA BKN030 FEW040 Cb 24/19Q1004
2335Z 09006KT 2000 TSRA BKN030 FEW040Cb 22/20 Q1007
2340Z 35006KT 2000 +TSRA SCT005 BKN030 FEW040Cb 22/21 Q1007
0000Z 28015G34KT 1000 +TSRA SCT005 BKN030 FEW040Cb BKN100 23/21 Q1005

Fonte: REDEMET

Com base nos registros do gravador de voz de cabine (CVR), foi possível verificar que, durante a rota e a descida para pouso, a tripulação obteve todas as informações meteorológicas necessárias para realizar a aproximação em SBLO.

Conforme declaração dos pilotos, a aeronave enfrentou turbulência severa associada com fortes descendentes a 5 NM da posição BOLO.

6.1.3 Comunicações

As comunicações bilaterais entre a aeronave e os órgãos de controle do espaço aéreo foram realizadas normalmente em todas as fases do voo.

Às 23h18min42s (UTC), o APP-LO informou à aeronave a ocorrência de chuva moderada na vertical de Londrina, porém a operação ainda permanecia visual.

Às 23h21min44s (UTC), o APP-LO informou à aeronave que, em razão das camadas procedentes do setor noroeste de Londrina, a operação havia passado para IFR, teto estimado de 1.000 pés e Cbs na aproximação final.

Às 23h24min08s (UTC), o APP-LO autorizou a aeronave a descer para 4.500 pés (Altitude Mínima de Segurança – MSA da IAC RNAV GPS RWY 13).

Às 23h28min32s (UTC), a aeronave confirmou ter atingido 4.500 pés. Havia uma restrição de 4.000 pés na posição BOLO e outra de 2.700 pés a 2.5 NM da cabeceira 13. A elevação do aeroporto era de 1.867 pés.

Às 23h33min36s (UTC), a aeronave informou ao APP-LO que encontrou turbulência pesada a 5 NM da posição BOLO (foi registrado como ruído de fundo o alarme do EGPWS – TERRAIN! TERRAIN!).

Esse foi o último contato entre a aeronave e o APP-LO. Após isso, o APP-LO efetuou diversas chamadas para a aeronave e questionou se outra aeronave – o GOL 1288 - recebia indicação do tráfego no TCAS, não obtendo sucesso nas tentativas.

A aeronave GOL 1288, que também estava se aproximando para pouso em SBLO, preferiu efetuar uma espera, mantendo-se a 25 NM do VOR de Londrina, aguardando melhoria das condições meteorológicas.

6.1.4 Informações acerca do impacto e dos destroços

A aeronave chocou-se contra o solo em atitude de voo nivelada, com o trem de pouso e os flapes recolhidos, indicando que a aeronave tinha intenção de voo e ainda não havia sido preparada para o pouso.

A aeronave tocou o solo em um aclive e manteve o voo por inércia. Ultrapassou uma cerca e foi se fragmentando ao longo de 212 metros (Figura 15). Os motores desenvolviam potência normal.



FIGURA 15 – Situação dos destroços do PT-WUG. Fonte: CENIPA (2012).

6.1.5 Aspectos operacionais

A duração prevista do voo era de 1 hora e 30 minutos, a alternativa era o Aeródromo de Presidente Prudente-SP (SBDN) e a autonomia de voo informada no plano de voo foi de quatro horas.

A 150 NM de SBLO, o copiloto ouviu o ATIS de Londrina e informou que não havia nada que restringisse o pouso.

A 70 NM de SBLO, o copiloto ouviu novamente o ATIS e verificou que em Londrina havia chuva, trovoadas leves e o teto estava a 3.000 pés.

O copiloto relatou início de descida e a 56 NM de SBLO, chamou o Controle de Aproximação de Londrina (APP-LO). O copiloto passou a informação de posição e solicitou autorização para realizar o procedimento RNAV (GPS) da pista 13 em SBLO.

O APP-LO autorizou a aeronave a voar daquela posição direto na proa de BOLO, que era o fixo de aproximação final do procedimento RNAV da pista 13 em SBLO, e solicitou à aeronave que reportasse quando a 25 NM da posição BOLO.

A tripulação informou que nesse momento voavam em condições visuais e, no setor em que estavam se aproximando, não havia turbulência. Todavia, os pilotos reportaram que, de acordo com o radar meteorológico da aeronave, existiam formações pesadas ao norte do aeródromo.

O APP-LO autorizou a descida até 4.500 pés e solicitou que o PT-WUG reportasse nivelado a 4.500 pés ou a 25 NM da posição BOLO.

O copiloto reportou a 25 NM de BOLO e o APP-LO autorizou a aproximação final do procedimento RNAV da pista 13.

O copiloto lembrou que houve uma leve turbulência quando estavam a 5 NM de BOLO; porém, logo em seguida, reportou turbulência pesada ao APP-LO.

A tripulação relatou que nesse momento a aeronave recebeu uma rajada de vento ascendente e depois uma forte rajada descendente, mesmo estando com o motor a pleno e com *pitch up*.

Os pilotos informaram que o *climb* ficou no batente de razão de descida, com aproximadamente 4.000 pés/min.

O piloto disse que curvou a aeronave para a esquerda da rota com a intenção de livrar a colisão com a cidade e percebeu que estava aplicando muita carga “G” na aeronave.

Assim que a aeronave estava nivelando as asas, o alarme sonoro do EGPWS “TERRAIN! TERRAIN! TERRAIN!” alertou a tripulação da colisão contra o solo.

Após a parada da aeronave, o copiloto soltou o cinto e saiu da cabine de comando para abrir a porta de desembarque. Em seguida, ajudou os passageiros a saírem da aeronave, solicitando a todos para se afastarem, pois a aeronave já estava pegando fogo.

O último a sair da aeronave foi o piloto em comando. Ele reportou que, provavelmente, em razão dos fortes impactos da aeronave, tenha ficado desacordado por alguns minutos.

O piloto desembarcou sozinho e percebeu que todos os passageiros e o copiloto já haviam desembarcado da aeronave e estavam bem.

6.1.6 Análise

Nos últimos 30 minutos de voo que antecederam o acidente – período em que comunicações ficaram gravadas no gravador de voz de cabine (CVR) - não houve o registro de qualquer problema técnico com a aeronave.

O voo em rota, a partir de SBUR, foi realizado sob as regras de voo por instrumentos (IFR) no nível 180 e permaneceu sob a coordenação do Centro de Controle Curitiba (ACC-CW) até o ingresso da Terminal Londrina (TMA-LO), quando a aeronave passou à escuta do Controle Londrina (APP-LO).

Com base nos dados meteorológicos apresentados, pode-se afirmar que todas as informações relacionadas à degradação dos mínimos meteorológicos, referentes ao Aeródromo de Londrina (SBLO), foram disponibilizadas à tripulação através da escuta do ATIS de SBLO e pelo APP-LO antes e durante o ingresso da aeronave na TMA-LO.

Pelos diálogos dos tripulantes registrados no CVR, foi possível observar que não houve *briefing* de descida e de aproximação para pouso em Londrina. Em consequência, deixou-se de comentar as condições da aeronave, as características operacionais da pista, as informações meteorológicas, as restrições de altitude e de velocidade relativas à carta IAC RNAV (GPS) RWY

13 - SBLO e os procedimentos alternativos, tais como: espera (órbita) aguardando melhoria das condições meteorológicas e, principalmente, o procedimento de aproximação perdida, pois havia grande probabilidade de não ser possível pousar em SBLO em razão da restrição de visibilidade e de teto.

A comunicação entre os tripulantes foi prejudicada, principalmente pela atitude compulsiva do piloto em querer pousar e pela falta de assertividade do copiloto.

Observa-se que os cheques eram realizados pelo copiloto sem, contudo, utilizar *callouts*. O tipo de verificação não era anunciado no seu início e nem informado quando da sua conclusão.

O estado emocional de apreensão e de ansiedade do piloto e o prejuízo do foco da atenção aos procedimentos de pouso também afetaram a percepção e a atenção da tripulação durante a aproximação.

Ao se aproximar da posição BOLO, é provável que a aeronave tenha adentrado em uma região de *windshear*.

Os pilotos informaram que a aeronave foi atingida por duas rajadas de vento com intervalo de aproximadamente quinze segundos entre elas. Após a segunda variação brusca de vento, o piloto disse que perdeu o controle total da aeronave, vindo a colidir contra o solo.

Provavelmente, a aeronave sofreu a influência de um *downburst* (forte corrente de ar descendente), associado à proximidade de um Cb que estava em crescimento na área.

A detecção de *windshear* próximo à pista é possível em 70% dos casos. Para essa detecção, são empregados sensores devidamente posicionados e, por meio de um sistema de processamento, são integrados e avaliados com base em um algoritmo de análise dos dados, visando à emissão de alertas.

Como o fenômeno é rápido, o que se faz é alertar as tripulações sobre a tendência favorável para sua ocorrência. Entretanto, neste caso, o fenômeno foi encontrado a 12 km da pista de SBLO e este tipo de sistema não conseguiria captá-lo.

Com relação às imagens de satélite, em razão de seu processamento, somente estão disponíveis com meia hora de atraso. Portanto, são importantes para análise e monitoramento meteorológico, mas não para este tipo de fenômeno.

O Aeródromo de Londrina não possuía radares meteorológicos capazes de identificar a presença das tesouras de vento.

O radar meteorológico seria uma ferramenta mais apropriada para monitorar as formações de Cb. Contudo, não é um sistema que possibilita detectar objetivamente a presença de *windshear*. Somente radares de Banda X ou C, com menor alcance, teriam maiores condições de gerar esses alertas.

Embora não houvesse radares meteorológicos no solo em Londrina, a aeronave estava equipada com radar meteorológico, o qual forneceu indicações aos pilotos referentes às formações existentes, conforme relatado por eles. Tais indicações não foram adequadamente consideradas, pois eles adentraram em região de turbulência severa.

A aeronave possuía o equipamento EGPWS (*Enhanced Ground Proximity Warning System*), que é um sistema aperfeiçoado de alarme de proximidade com o solo.

Esse sistema tem como objetivo alertar os pilotos sobre a proximidade da aeronave em relação ao solo por meio de alertas visuais e auditivos, tais como: TERRAIN, PULL UP, CAUTION, etc. Após esses alertas, o piloto em comando deve realizar imediatamente o procedimento de arremetida.

De acordo com o manual da *Beechcraft King Air Series – Safety Information*, a tripulação deve monitorar a velocidade cuidadosamente quando em tempestades, particularmente na aproximação, ficando mentalmente preparada para aplicar potência no motor e arremeter na primeira indicação de cortante de vento.

Nos últimos dois minutos de gravação registrados no CVR, foi possível perceber que, em nenhum momento, a tripulação relatou ter encontrado o fenômeno *Windshear*. Mesmo após o primeiro alerta sonoro do EGPWS, os pilotos não tomaram ação imediata de arremeter a aeronave com o intuito de sair dessa situação, demonstrando provavelmente que a instrução realizada no simulador tenha sido insuficiente ou inadequada para perceber e reagir na velocidade necessária.

É provável também que os tripulantes do PT-WUG tenham subestimado as condições meteorológicas, visto que deveriam ter passado outras vezes próximo a Cbs e nunca encontraram maiores problemas, a não ser turbulência.

6.2 Aeródromos com Maior Incidência de *Windshear*

No Anexo A, estão os aeródromos brasileiros com maior número de reportes de cortante do vento no período compreendido entre os anos de 1999 e 2012.

Como podemos constatar, Guarulhos é o aeroporto com maior número de ocorrências reportadas por aeronaves em procedimento de pouso e decolagem, com 1.857 casos. O segundo é o de Florianópolis, totalizando 751 reportes. Em ambos, a principal causa é a onda de montanha que se forma sobre o alinhamento das serras existentes ao norte/noroeste do Aeroporto de Guarulhos e a oeste de Florianópolis. Aqui, deve-se levar em consideração que, por ser um fenômeno meteorológico comunicado por aeronaves, os aeródromos com maior movimento passam a ter, teoricamente, maior possibilidade de reportes.

Na Figura 15, observa-se a distribuição mensal de *windshear* nos três aeródromos com maior número de reportes no Brasil. Guarulhos apresenta maior variação ao longo do ano, com picos em janeiro e novembro; já em Florianópolis, a maior incidência está nos meses de inverno, enquanto que em Porto Alegre o fenômeno encontra-se bem distribuído ao longo do ano.

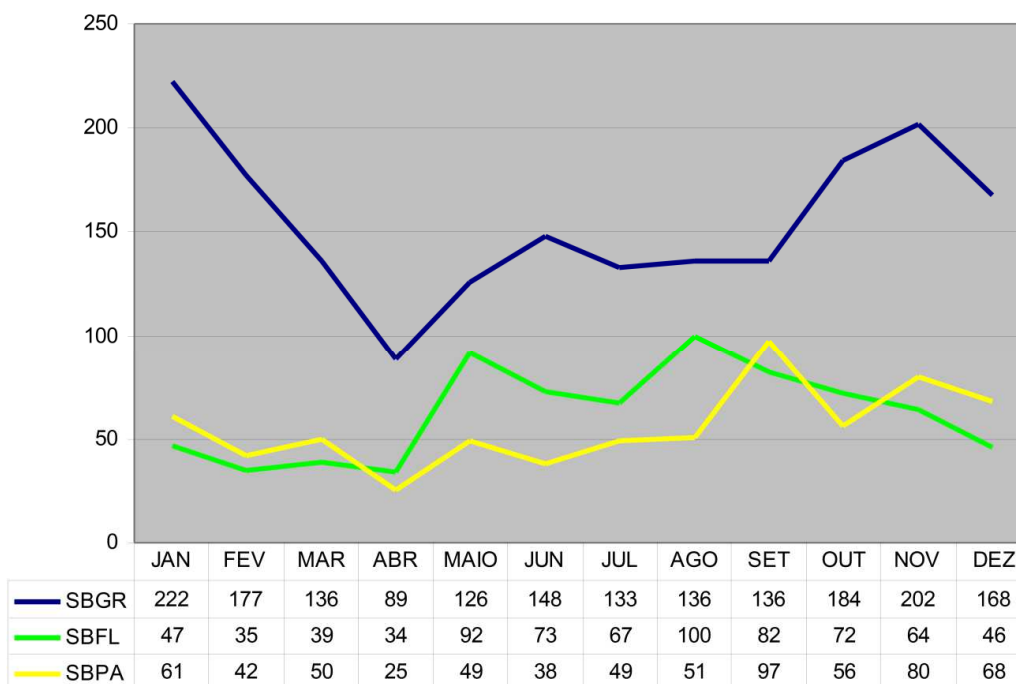


FIGURA 15 - Distribuição mensal de *windshear* nos três aeródromos com maior número de reportes no Brasil. Fonte: (MATSCHINSKE *et al*, 2013).

7 MEDIDAS PREVENTIVAS

Foi a partir da investigação da queda do Eastern Airlines 66, em 25 de junho de 1975, que se verificou pela primeira vez a presença das tesouras de vento como fator determinante para um acidente aeronáutico. A esse fato seguiram-se várias reaberturas de investigações de antigas ocorrências, inicialmente atribuídas a erros dos pilotos, mas que, na realidade, tiveram esse desconhecido fenômeno meteorológico como principal fator contribuinte.

Desde então, buscando reduzir os riscos associados ao *windshear*, a comunidade aeronáutica internacional vem apresentando medidas que visam principalmente à melhoria da capacidade dos órgãos de controle para a previsão e detecção de condições de *windshear*; ao avanço dos sistemas de bordo das aeronaves e ao aperfeiçoamento do treinamento de pilotos (Figura 16).

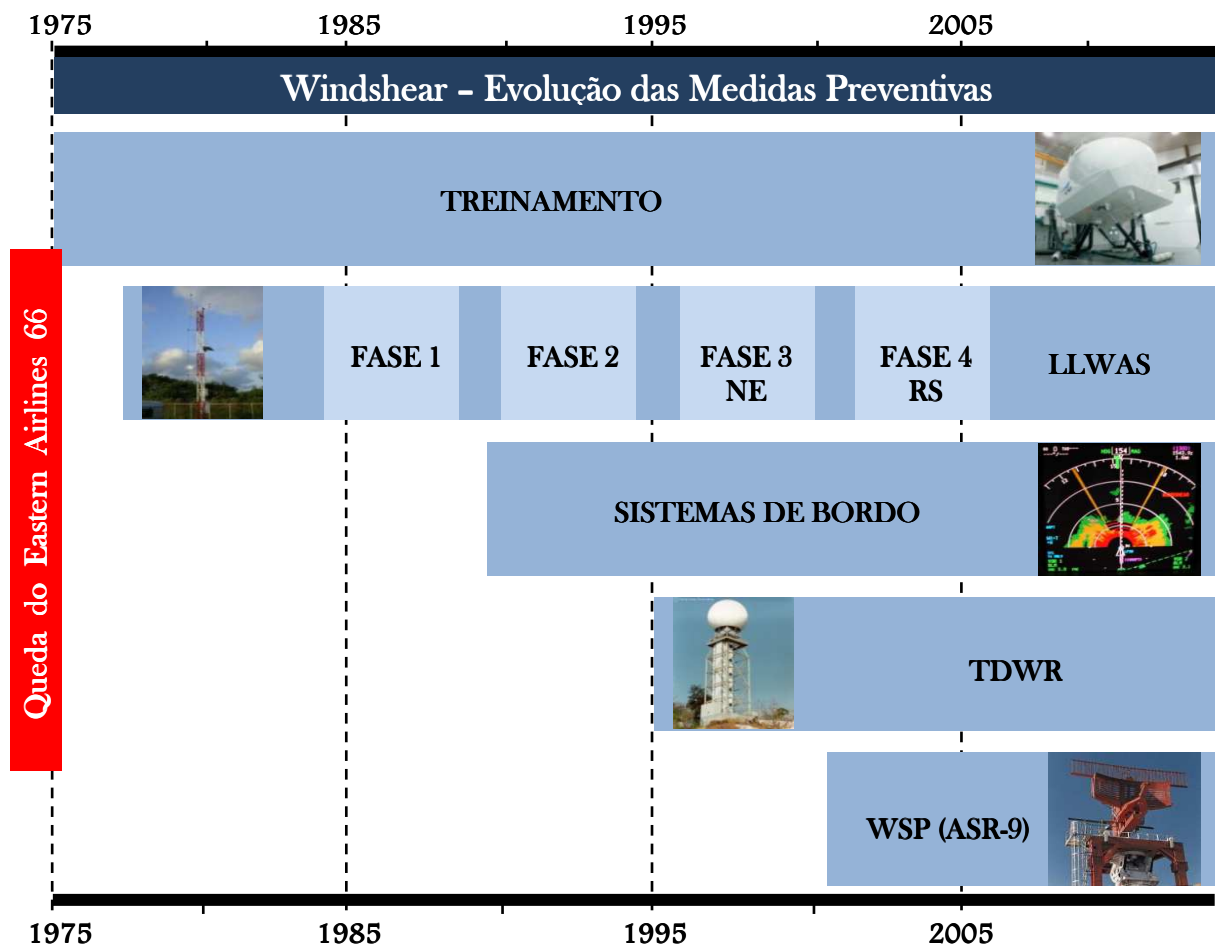


FIGURA 16 – Evolução das medidas voltadas à prevenção de acidentes causados por *windshear*. Fonte: autor.

Com relação a esse último aspecto, o Anexo B apresenta o programa de treinamento recomendado pelo Federal Aviation Administration no *Windshear Training Aid* (FAA, 1990), composto por exercícios básicos e opcionais que têm por objetivo dar aos pilotos noções práticas sobre as características de voo das aeronaves sob condições de cortante de vento e medidas preventivas e técnicas de recuperação mais adequadas a cada fase de operação. Além disso, o DOC 9817 – *Manual on Low-level Wind Shear* (ICAO, 2005) apresenta um fluxograma para tomada de decisões e ações que pode ser utilizado tanto nos treinamentos de simulador como em situações reais de *windshear* (ver Anexo C). Apesar de serem autoelucidativas, algumas etapas desse fluxograma merecem ser comentadas:

Suspeita de *Windshear*. Além das condições meteorológicas descritas no item 5 – Lições aprendidas a partir de casos de *windshear* -, alguns documentos pesquisados, tais como o *Wind Shear Guide* (FAA, 1988) e o *Airbus Pilot Windshear Guide* (AIRBUS, 2007) alertam de modo mais objetivo que as tripulações devem estar preparadas para tomar medidas preventivas quando as seguintes condições se apresentarem em voo:

- Variações de velocidade indicada superiores a 15 nós;
- Variações de velocidade vertical superiores a 500 pés/min;
- Variações de *pitch* superiores a 5 graus;
- Variações de indicação do *glide slope* superiores a 1 ponto;
- Necessidade de posicionamento dos manetes de potência em regime não usual por um longo período de tempo.

Medidas preventivas: Desde que não contrariem o que prevê o manual de voo do fabricante e o manual de procedimentos da companhia aérea, o DOC 9817 – *Manual on Low-level Wind Shear* (ICAO, 2005) recomenda que sejam tomadas as seguintes ações mitigadoras:

Na decolagem

- Use potência máxima de decolagem em vez de potência reduzida (*reduced thrust*);
- Se possível, utilize a maior pista do aeródromo ou o trecho de pista com maior comprimento disponível;
- Não use o diretor de voo para a decolagem;

- Esteja alerta para eventuais flutuações de velocidade durante a decolagem e a subida inicial. Elas podem ser a primeira indicação de cisalhamento do vento;
- Evite a redução da atitude inicial de subida até que os obstáculos existentes no solo sejam ultrapassados;
- Coordenação de cabine e alerta situacional são essenciais. Esteja atento à velocidade indicada, à atitude e à velocidade vertical. Monitore atentamente o *climb* e o altímetro;
- Se a cortante de vento for encontrada próximo à VR e a IAS diminuir subitamente, pode não haver pista suficiente para voltar à VR normal. Caso isso aconteça, inicie a rotação a, pelo menos, 600 metros do fim da pista, mesmo que a velocidade esteja abaixo do normal.

Na aproximação e aterragem

- Selecione a menor amplitude de flape para um pouso seguro no comprimento de pista disponível;
- Adicione uma correção de velocidade apropriada às condições que serão encontradas mais à frente. A velocidade máxima não deve exceder a $V_{ref} + 20$ kt ou a máxima para uso do flape menos 5 kt;
- Evite utilizar reduções excessivas de potência. Aumentos repentinos de velocidade podem ser seguidos por diminuição drástica de *airspeed*;
- Coordenação de cabine e alerta situacional são essenciais, especialmente à noite ou em condições climáticas marginais. Esteja atento à velocidade indicada, à atitude e à velocidade vertical. Monitore atentamente o *climb* e o altímetro. O uso do piloto automático e do *auto throttle* diminuirá a carga de trabalho na cabine, permitindo monitoramento mais eficiente dos instrumentos e reconhecimento mais rápido de condições de cortante de vento.

Técnicas de recuperação: A coordenação entre os pilotos é fundamental, pois muitas vezes a comunicação poderá ser prejudicada por eventuais ruídos - como chuva intensa e impacto de granizo - e alarmes

diversos - como *stick shaker*, GPWS e PWS. Apesar de cada aeronave possuir procedimentos específicos, uma série de ações é comum à maioria dos equipamentos e estão exemplificadas abaixo a título de ilustração:

- Desacople o piloto automático;
- Pressione o TO/GA interruptor;
- Aplique imediatamente potência máxima;
- Desligue o *auto throttle*;
- Recolha o *speed brake*;
- Nivele as asas e aplique 15° de *pitch*;
- Mantenha a configuração de trem de pouso e flape até a saída completa da condição de *windshear*;
- Monitore atentamente a velocidade vertical e a altitude;
- Não tente recuperar a velocidade perdida até atingir 2.000 pés de altura. Dê prioridade à manutenção do ângulo de ataque.

8 CONCLUSÃO

O homem fez importantes progressos nos últimos anos no campo da Meteorologia. Muitos desses novos conhecimentos dizem respeito diretamente aos voos e às práticas da aviação moderna.

Há algumas décadas, o termo “turbulência de céu claro” era quase desconhecido. A “corrente de jato”, uma estreita faixa de ventos de alta velocidade, perto da tropopausa, que oferece surpreendentes ventos de cauda – e conseqüentemente grande economia de combustível -, tinha sido escassamente utilizada. Os últimos anos proporcionaram novos conhecimentos sobre a formação de gelo em aviões. Estudos que incluem a penetração de aeronaves em tornados trouxeram ensinamentos sobre a estrutura e os perigos oferecidos por esse fenômeno meteorológico que antes escassamente existiam somente como teorias e especulações.

Dado que pilotos devem lutar contra o tempo em muito maior grau que as pessoas que se dedicam a outros afazeres, é lógico que aprendam e saibam muito mais sobre ele. Os diversos estudos aqui compilados dão ao piloto uma fonte confiável de informações para entender melhor o que é tesoura de vento e - o que é mais importante - fazer frente com êxito aos riscos

oferecidos por esse fenômeno. Nesta pesquisa tentou-se manter as explicações técnicas tão longe da Matemática quanto possível e relacionar os conceitos físicos com a experiência do piloto.

Este artigo foi escrito em linguagem simples, sem complicações, para que o piloto entenda o fenômeno *windshear* e suas implicações para o voo. Ao lê-lo, ele não se tornará um previsor do tempo, mas aumentará seus conhecimentos práticos, o que permitirá conduzir seu avião com maior segurança.

Este trabalho terá cumprido uma útil missão se serviu para provocar no piloto um respeito salutar pelas forças do tempo, fazendo com que não se repita o que muitas vezes constitui erro fatal: enfrentar condições meteorológicas que estão muito além das margens de segurança recomendadas.

TERMOS TÉCNICOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

CB - Cumulonimbus

CU - Cumulus

UTC - Tempo Universal Coordenado

V2 - Velocidade a ser voada no caso de falha de um dos motores na decolagem ou na subida inicial.

IAS – Velocidade indicada

VR – Velocidade de rotação

V_{ref} – Velocidade de referência de aproximação

Callouts - Chamadas padronizadas, em voz alta, proferidas pela tripulação técnica durante determinadas fases do voo.

Reduced thrust – Potência reduzida

Pitch – Ângulo entre o eixo longitudinal da aeronave e o horizonte

Liftoff – Momento em que os pneus da aeronave deixam o solo.

NM – Milhas náuticas

TO/GA – *Takeoff/Go-around* (Decolagem/Arremetida)

REFERÊNCIAS

- AIRBUS. **Flight Operations Briefing Notes**. Adverse Weather Operations - Windshear Awareness. 2007. Disponível em: <http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/safety_library_items/AirbusSafetyLib_-FLT_OPS-ADV_WX-SEQ02.pdf>. Acesso em: 1 out 2012.
- ANDERSON, K. W.; CLARK, B. A. J. A Study of Wind Shear Effects on Aircraft Operations and Safety in Australia. Aeronautical Research Labs Melbourne (Australia), 1981.
- BOEING. **Aerospace Technology**-Windshear FAA-Boeing Windshear Training Aid Program. Technical paper 872441. 1987. Disponível em:< <http://papers.sae.org/872441/>>. Acesso em: 21 out. 2012.
- BYERS, H. R.; BRAHAN, R. R. **The Thunderstorm**. U. S. Government Printing Office. Washington, DC, 1949.
- CABRAL, E.; FARIAS, S. J. S. **Análise das Ocorrências de Windshear na Área do Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos**. 1991. Disponível em:<<http://www.cbmet.com/cbm-files/19-42a24459f537ce69c68e70ae1a26c2dd.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2013.
- CENTRO DE INVESTIGAÇÃO E PREVENÇÃO DE ACIDENTES AERONÁUTICOS. **Apostila Windshear** - Guia para o piloto. CENIPA, Brasília: 2011.
- CENTRO DE INVESTIGAÇÃO E PREVENÇÃO DE ACIDENTES AERONÁUTICOS. Relatório Final A-012/CENIPA/2004. CENIPA, Brasília: 2004.
- CENTRO DE INVESTIGAÇÃO E PREVENÇÃO DE ACIDENTES AERONÁUTICOS. Relatório Final A-071/CENIPA/2012. Disponível em: < http://www.cenipa.aer.mil.br/cenipa/paginas/relatorios/pdf/pt_wug_12_12_10. Acesso em: 1 fev. 2013.
- CIVIL AVIATION AUTHORITY. **The Effect of Thunderstorms and Associated Turbulence on Aircraft Operations**. UK Aeronautical Information Service, 2010. Disponível em: <<http://www.skybrary.aero/bookshelf/books/621.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2013.
- DIRETORIA DE ELETRÔNICA E PROTEÇÃO AO VOO. **Meteorologia**. FCA 105-1 - Cortante do Vento. DEPV, Rio de Janeiro: 2000.
- FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **Pilot Windshear Guide (1988)**. FAA, Advisory Circular No. 00-54. Disponível em: < [http://rgl.faa.gov/Regulatory_and_Guidance_Library/rgAdvisoryCircular.nsf/list/AC%2000-54/\\$FILE/AC00-54.pdf](http://rgl.faa.gov/Regulatory_and_Guidance_Library/rgAdvisoryCircular.nsf/list/AC%2000-54/$FILE/AC00-54.pdf)>. Acesso em: 11 jan. 2013.
- FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **Windshear Training Aid**. 1990. Disponível em: <<http://www.martinaircrew.nl/Video/video/videobestanden/windshear/windshear%20vol2.pdf>>. Acesso em: 23 fev.2013.
- FLIGHT SAFETY FOUNDATION. **ALAR FSF Alar Briefing Note 5.4 – Wind Shear**. Flight Safety Foundation. EUA. 2009.
- FLIGHT SAFETY FOUNDATION. **Levantamento realizado no Aviation Safety Network Database**. Disponível em: <aviation.safety.net>. Acesso em: 1 out. 2012.

FOGACCIA, C. V. C.; FILHO, A. J. P. **Turbulência e Cisalhamento do Vento na Área do Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos**. Disponível em: <seila.do.sapo.pt/invest/mr00009.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2013.

FUJITA, T. T. **The downburst**: Microburst and macroburst. Satellite and mesometeorology research project, University of Chicago, Chicago, IL, 1985.

FUJITA, T. T. **Microburst as an Aviation Wind Shear Hazard**. AIAA 19th Aerospace Sciences Meeting, St. Louis, Missouri, USA, 1981.

INTERNATIONAL FEDERATION OF AIR LINE PILOTS' ASSOCIATIONS. **Windshear and Turbulence in Hong Kong**. Hong Kong Observatory, 2010. Disponível em: <www.weather.gov.hk/aviat/articles/WS-turb-booklet-web-ver.PDF>. Acesso em: 8 jan. 2012.

JAY, S. **Wind shear - Poses Challenges and Dangers at the Most Critical Stages of Flight**. Disponível em: <http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/White%20Papers/Windshear-white-paper-300609-Lowres.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2013.

JAPAN TRANSPORT SAFETY BOARD. **Aircraft Accident Investigation Report AA2013-4**. Federal Express Corporation N526FE. Disponível em: <http://www.mlit.go.jp/jtsb/eng-air_report/N526FE.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2013.

KERMODE, D. J. **Mechanics of Flight**. Pitman Publishing. 1976 Edition. ISBN 0 273 31623 0.

KÖNIG, R.; KRAUSPE, P. **The Influence of Wind Shear and Vertical Winds on Take-offs and Go-Around**. Proceedings of the Symposium on Psychology in the Department OD Defense (13th) Held in Colorado Springs, Colorado on 15-17 April 1992.

LI, P. W. **Windshear – Its Detection and Altering**. Disponível em: <http://www.science.gov.hk/paper/HKO_PWL.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2013.

MATSCHINSKE, M. R. **O “Invisível” Vento e os Procedimentos de Pouso e Decolagem**. Disponível em: <www.redemet.aer.mil.br/Artigos/vento.pdf>. Acesso em 12 dez.2012.

MATSCHINSKE, M. R.; FREITAS, J. C. **Windshear – Versão 2013**. Disponível em: <http://www.redemet.aer.mil.br/Artigos/windshear.pdf>. Acesso em 21 abr. 2013.

MOREIRA, M. H. **Meteorologia Aeronáutica 2**. SIPAER. Plano de Voo. Aeroportos e Proteção ao Voo. São Paulo, 1996.

ORGANIZAÇÃO DE AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL. **ICAO Circular 186 - AN/122 Wind Shear**. Montreal, 1987.

ORGANIZAÇÃO DE AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL. **Manual on Low-level Wind Shear**. Montreal, 2005.

ROMÃO, M.; SETZER, A.; AQUINO, F. E. **Ondas de Montanha e a Segurança nas Operações Aéreas na Antártica**. SBMET, 2005.

SCHÄNZER, G. **Influence of Windshear on Flight Safety**. Proceedings of the Symposium on Psychology in the Department OD Defense (13th) Held in Colorado

Springs, Colorado on 15-17 April 1992. Disponível em: <www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADP002706>. Acesso em: 17 dez. 2012.

STRATTON, A. **Real-Time Decision Aiding**: Aircraft Guidance for Wind Shear Avoidance. Based on a presentation at the AIAA Aerospace Sciences Meeting, Jan. 1992. Disponível em: <<http://www.martinaircrew.nl/Video/video/videobestanden/windshear/windshear%20vol2.pdf>>. Acesso em: 12 fev.2013.

NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD. **Aircraft Accident Report** – Delta Airlines, Lockheed L-1011-385, N726DA, Dallas/Fort Worth International Airport, Texas, August 2, 1985. Washington, DC, 1986.

UNITED STATES. **Aerodynamics for Naval Aviators**. Published by Direction of Commander. Naval Air Systems Command Press, Washington, DC, 1965.

UNITED STATES. Joint Airport Weather Studies. **The JAWS Project Operations Summary**. JAWS Project Office, NCAR, Boulder, CO, 1983.

UNITED STATES. **Low-altitude Wind Shear and its Hazard to Aviation** – National Academy Press. Washington, DC, 1983.

WEISMAN, M. L.; KLEMP, J. B. **The Dependence of Numerically Simulated Convective Storms on Vertical Wind Shear and Buoyancy**. Monthly Weather Review. London : v. 110. jun. 1982.

WOLFSON, M. M. **Understanding and Predicting Microbursts**. Ph.D. Thesis, .I.T., Cambridge, MA, Feb. 1990.

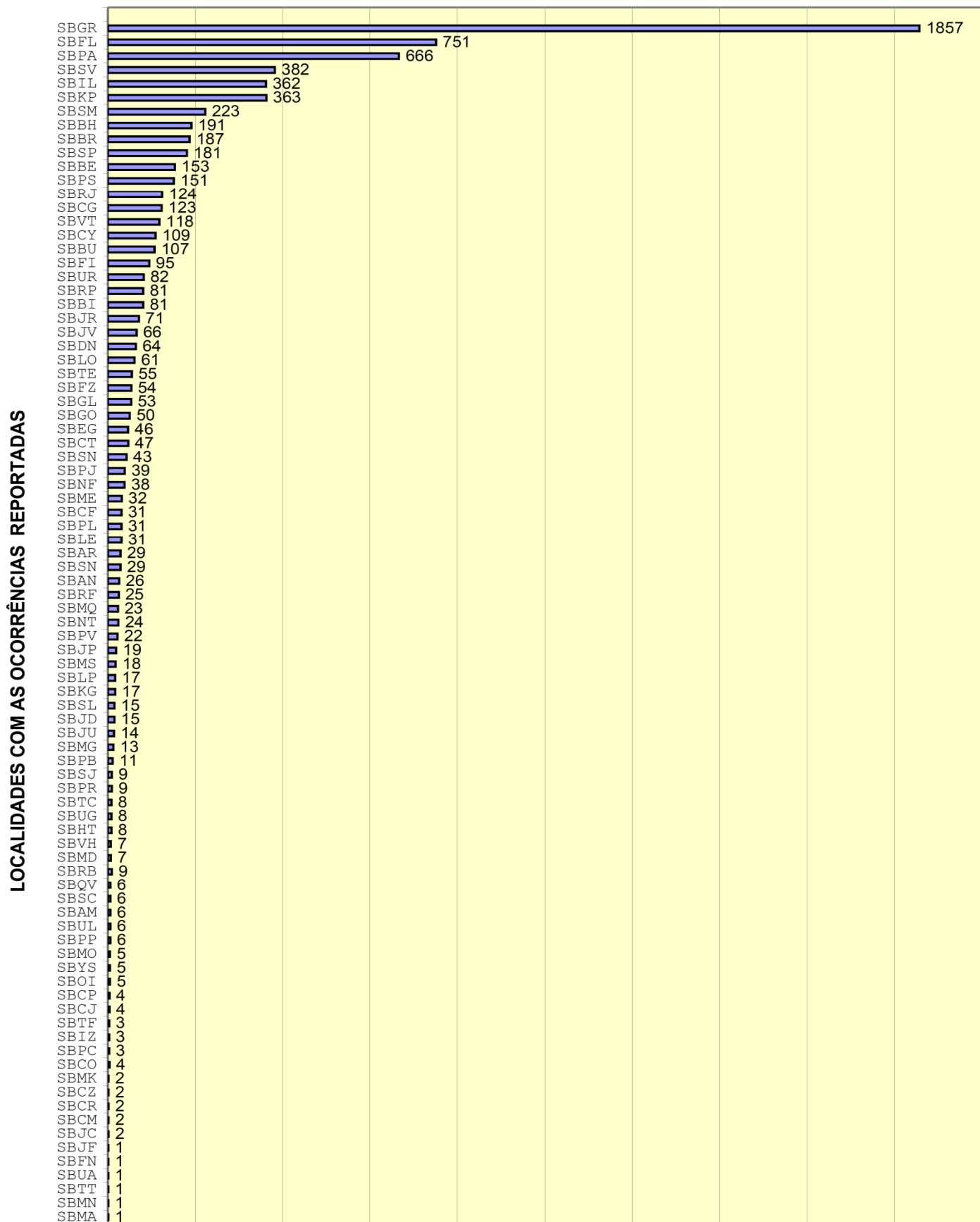
WIND SHEAR AND FLIGHT SAFETY

ABSTRACT: Variations of wind at low altitude have always represented a serious risk to both landing and takeoff operations. Data from the Flight Safety Foundation show that in the period between 1943 and 2009 wind shear was associated with at least 70 aircraft accidents in the world aviation, causing a total of 1,573 fatalities. Although there is a wide variety of research on the topic in Meteorology, few studies are directed to those who wage daily battles against the forces of weather elements. This article provides the pilot-reader, in simple, with clear and objective language, a reliable source of information to better understand what wind shear is and - most importantly – how to successfully confront the risks posed by this phenomenon. In this paper, we sought to compile what is most relevant in many studies conducted by researchers, government agencies, the aviation industry, airlines and pilot associations, bringing to light technical and scientific knowledge that may help prevent accidents caused by wind shear.

KEYWORDS: Aeronautical Accident. Wind Shear. Flight Safety.

ANEXO A
Windshear – Versão 2013 (MATSCHINSKE et al, 2013)

CORTANTE DO VENTO NO PERÍODO 1999-2012



1. Exercícios básicos

1.	Decolagem – após o <i>liftoff</i>	Durante a subida inicial ou durante a rotação*
2.	Decolagem – antes do <i>liftoff</i>	Antes da VR
3.	Aproximação	Durante a aproximação ILS

* Assim que a aeronave deixar o solo.

1. Exercícios opcionais

1.	Decolagem	Demonstração de técnicas de recuperação de <i>windshear</i> durante o procedimento de decolagem.
2.	Aproximação	Demonstração de técnicas de recuperação de <i>windshear</i> na aproximação final.
3.	Atuação do <i>Stick Shaker</i>	Demonstração da atuação do <i>stick shaker</i> (quando próximo à velocidade de estol) após encontro com <i>windshear</i> e uso de técnicas de recuperação.
4.	Aumento da VR	Demonstração da utilização do aumento da VR durante a corrida de decolagem como medida preventiva.

ANEXO C
Fluxograma de Tomadas de Decisões
DOC 9817 – Manual on Low-level Wind Shear (ICAO, 2005)

