

Comportamento humano e os primeiros anos da automação na aviação comercial: lembrando o acidente do voo aa965

Human behavior and the early years of commercial aviation automation: remembering the accident of flight aa965

DOI:10.34117/bjdv7n2-567

Recebimento dos originais: 25/01/2021

Aceitação para publicação: 25/02/2021

Carlos André Vaz Junior

Especialista em Gerenciamento de Segurança de Processos
Engenheiro de Segurança do Trabalho, Engenheiro Químico e Doutor em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Universidade Federal do Rio de Janeiro.
Instituição: Escola de Química / Universidade Federal do Rio de Janeiro
Endereço: Sala E-209, Departamento de Engenharia Química, Bloco E, Centro de Tecnologia, UFRJ, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
E-mail: cavazjunior@eq.ufrj.br

RESUMO

Em 1995 um Boeing 757 equipado com os mais modernos recursos computacionais disponíveis na época, operado por uma grande empresa de aviação norte-americana, e pilotado por dois tripulantes altamente treinados, colidiu contra uma montanha na Colômbia nas vésperas do Natal. O relatório oficial da investigação do acidente apontou inúmeros fatores contribuintes, tais como: má gestão e distribuição de tarefas no cockpit; erros na operação dos sistemas eletrônicos de navegação da aeronave; baixa consciência situacional; falha na tomada de decisão; e dificuldades de comunicação e entendimento entre a tripulação americana e o controle de tráfego aéreo local. É importante perceber que inúmeros destes fatores continuam atuais e presentes na aviação de hoje, tornando os aprendizados deste evento algo de interesse permanente para profissionais do setor. O presente artigo tomou como base as informações contidas no relatório oficial de investigação do acidente (AERONAUTICA CIVIL of THE REPUBLIC OF COLOMBIA, 1996) e outros estudos relacionados publicados a partir de então, permitindo construir um quadro bastante completo. Ao compreender o ocorrido em dezembro de 1995 torna-se possível extrair conhecimento relevante para elevar os índices de segurança da aviação atual, evitando que fatos semelhantes voltem a ocorrer.

Palavras-Chave: Segurança na Aviação, Automação, Sistemas Automatizados, Erro Humano, Comportamento Humano, Voo Aa965.

ABSTRACT

In 1995 a Boeing 757 equipped with the most modern computer resources available at the time, operated by a major North American airline, and piloted by two highly trained crew members, crashed into a mountain in Colombia on Christmas Eve. The official report of the accident investigation pointed to numerous contributing factors, such as: poor management and distribution of tasks in the cockpit; errors in the operation of the aircraft's electronic navigation systems; poor situational awareness; failure of decision making; and difficulties in communication and understanding between the American crew and local air traffic control. It is important to realize that many of these factors

remain current and present in aviation today, making the learnings from this event something of continuing interest to professionals in the industry. This article was based on the information contained in the official accident investigation report (AERONAUTICA CIVIL OF THE REPUBLIC OF COLOMBIA, 1996) and other related studies published since then, allowing us to build a very complete picture. By understanding what happened in December 1995, it becomes possible to extract relevant knowledge to raise the current aviation safety indices, preventing similar events from happening again.

Keywords: Aviation Safety, Automation, Automated Systems, Human Error, Human Behavior, Flight Aa965.

1 INTRODUÇÃO

A aviação comercial é reconhecidamente um dos setores de transporte de passageiros mais seguros da atualidade. Contudo, algum nível de risco ainda persiste, e a meta de “zero acidentes” não foi alcançada, conforme lembrado por Robert L. Helmreich no prefácio do livro de Salas e Maurino (2010). Dentre as principais causas de acidentes fatais na aviação atual encontra-se a categoria de CFIT (*Controlled Flight Into Terrain*), ou “voo controlado contra o terreno” (IATA, 2018). Por mais estranho que possa parecer para profissionais de outras áreas, acidentes onde uma aeronave em perfeitas condições colide contra o solo em voo controlado são mais comuns do que parece, e frequentemente letais (IATA, 2018). Outros acidentes decorrem da tomada de decisões equivocadas, e/ou da incapacidade de rever uma decisão anterior. Por fim, a automação, e em especial a relação homem/máquina, também se mostra como fator contribuinte em diversos eventos. Minimizar ocorrências de CFIT, melhorar a tomada de decisões e a reflexão sobre elas, e otimizar o comportamento humano diante de sistemas altamente automatizados, evitando o cenário de “*automation surprise*” (DEHAIS, F., *et al*, 2105; WOODS, D.D., e SARTER, N.B., 2000; de BOER, R.J. e HURTS, K., 2017; VAZ JUNIOR, C.A., 2019a), seria suficiente para eliminar enorme parcela dos acidentes aéreos atuais. Mesmo tripulações altamente treinadas e capacitadas ainda sucumbem diante destes fatores, sendo deste modo um desafio a ser vencido.

Este artigo reflete sobre acidente ocorrido em 1995 na Colômbia, e revela importantes traços dos fatores contribuintes descritos acima. Embora já tenham se passado 25 anos desde então, este evento ainda representa aprendizado valioso, especialmente para novos pilotos e profissionais de aviação. Ao revisitar o relatório oficial final emitido pela autoridade colombiana (AERONAUTICA CIVIL of THE

REPUBLIC OF COLOMBIA, 1996) e o artigo de Simmon (1998), o presente texto se propõe a discutir os elementos que levaram ao acidente, e assim reforçar a necessidade de sua compreensão na busca pela maior segurança no setor.

Este texto não apresenta como objetivo realizar uma nova investigação, questionar a investigação existente ou indicar culpados. A intenção do estudo de acidentes passados deve ser única e exclusivamente de aprender com o ocorrido e evitar que novas tragédias similares ocorram.

O item seguinte apresenta uma breve descrição do evento tomando como base o relatório oficial de investigação do acidente (AERONAUTICA CIVIL of THE REPUBLIC OF COLOMBIA, 1996) e o artigo de Simmon (1998). Após, diferentes fatores contribuintes são detalhados em itens específicos. Itens como “mudança de pista”, “tomada de decisão”, “*direct to Cali*” e “*direct to Rozo*”, “consciência situacional”, entre outros, permitem construir um panorama amplo e completo do acidente.

2 VOO AA965

No dia 20 de dezembro de 1995 o voo AA965, ligando Miami (EUA) e Cali (Colômbia), era operado por aeronave modelo Boeing 757-223 (prefixo N651AA). Naquele dia, o voo pertencente a companhia americana American Airlines partiu do Miami International Airport (MIA) às 18h35, horário local, o que representava um atraso de quase duas horas em relação ao previsto (16h40). A demora teria sido motivada, em parte, por atraso envolvendo passageiros em conexão. O Boeing somente iniciou o táxi às 17h14, e com o intenso tráfego de aeronaves em MIA naquele final de tarde, a decolagem só foi possível quase 90 minutos após.

O voo transcorreu sem problemas, sendo liberado para subida até o nível FL370, ou aproximadamente 37 mil pés de altitude. Já no espaço aéreo colombiano, em contato com o controle de tráfego aéreo (ATC ou *air traffic control*) de Barranquilla, foi autorizado a seguir direto para a posição Butal. Na sequência, ao atingir esta posição, já em contato com ATC Bogotá, foi indicado para que prosseguisse com proa do VOR de Tulua (ULQ). O controle de tráfego aéreo de Bogotá também pediu que a tripulação informasse no ponto ideal para início da descida.

Menos de três horas após a decolagem, às 21h26, os tripulantes americanos solicitaram iniciar a descida, inicialmente autorizada para o nível FL240 e, após, para o nível FL200. Às 21h34 o voo AA965 foi transferido para o controle de aproximação de Cali (Cali Approach Control). O aeroporto de Cali (Alfonso Bonilla Aragon Airport -

SKCL) conta com uma única pista: 01 / 19, conforme Figura 1. A aeronave americana, procedente de Miami, ingressou pelo setor norte (Figura 2), porém a cabeceira em uso era a 01, oposta. Seria necessário cruzar na vertical do aeródromo e retornar, ingressando na final (Figura 3). Este perfil é importante pois o aeroporto localiza-se em um vale, com relevo significativo em ambos os lados.

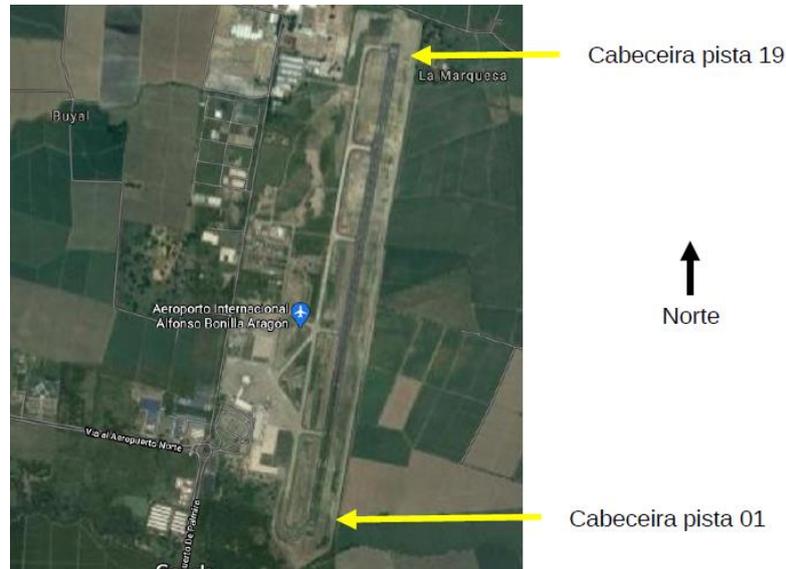


Figura 1: Imagem de satélite do aeroporto de Cali (Alfonso Bonilla Aragón Airport - SKCL), destacando as cabeceiras 01 e 19. Fonte: Adaptado de Google Maps



Figura 2: Representação da posição da aeronave em aproximação pelo setor norte do aeroporto. Fonte: Adaptado de Google Maps

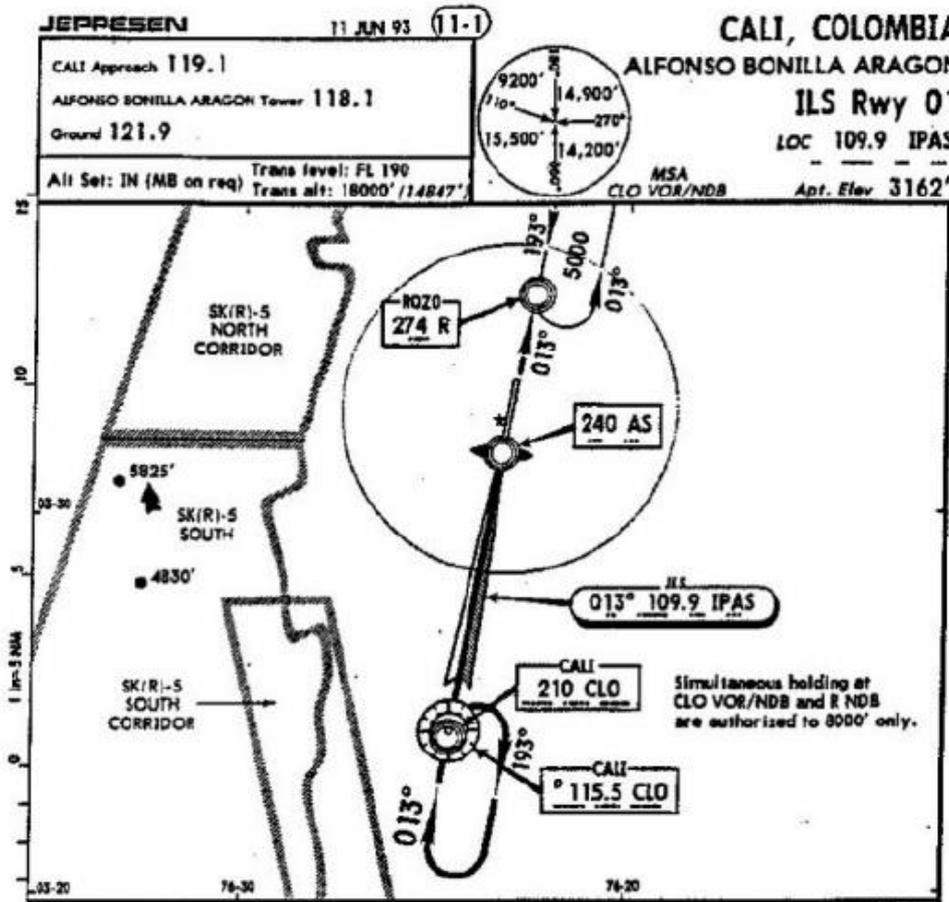


Figura 3: Reprodução parcial da carta de aproximação para a cabeceira 01
Fonte: Aeronautica Civil of the Republic of Colombia, 1996

Na época do acidente o controle de aproximação de Cali não dispunha de sistema de radar para auxiliar os controladores em sua atividade, de modo que o controlador precisava que os pilotos informassem, por rádio, suas posições no espaço aéreo. Às 21h34:40 ocorreu o seguinte diálogo entre a tripulação americana e o controle de Cali:

AA: American nine six five leaving two three zero descending to two zero zero. Go ahead sir.

ATC: The uh, distance DME from Cali?

AA: The DME is six three.

ATC: Roger, is cleared to Cali VOR, uh, descend and maintain one five thousand feet, altimeter three zero zero two... No delay expect for approach, report uh, Tulua VOR.

AA: OK, understood. cleared direct to Cali VOR. uh, report Tulua and altitude one five, that's fifteen thousand three zero ... zero ... two. is that all correct sir?

Ou seja, o controlador solicitou a tripulação da American Airlines que informasse sua distância em relação ao VOR Cali, auxílio de navegação usado durante a aproximação para aquele aeroporto. A tripulação americana informou estar a 63 nm (milhas náuticas). O controlador confirmou e autorizou seguir para o VOR Cali, e que reportasse cruzando VOR Tulua. Foi autorizada descida até a altitude de 15.000 pés.

O piloto da American Airlines confirmou a instrução “*cleared direct to Cali VOR*” e informou ao copiloto que estava ajustando proa direta de Cali no computador de bordo (21h35:28): “*I put direct Cali for you in there*”.

Um minuto após, às 21h36s31, o controlador chama o voo AA965:

ATC: Sir, the wind is calm, are you able to [execute the] approach [to] runway one niner?

AA: Uh yes sir, we'll need a lower altitude right away though.

ATC: Roger, American nine six five is cleared to VOR DME Approach runway one niner. Rozo number one arrival, report Tulua VOR.

AA: Cleared the VOR DME to one nine, Rozo one arrival, will report the VOR, thank you sir.

ATC: Report uh, Tulua VOR.

AA: Report Tulua.

Ou seja, sem outros tráfegos em aproximação e com vento calmo, o controlador ofereceu para a tripulação do voo americano a chance de pousar direto na cabeceira 19, ao invés de seguir o procedimento completo para pouso na cabeceira oposta – pista 01. Essa mudança poderia poupar tempo e trabalho para a tripulação. O piloto consulta seu colega de cabine sobre a proposta, e como este mostra-se favorável, o comandante responde de modo positivo. A partir deste ponto estão usando a carta de aproximação para a pista 19 (Figura 4)

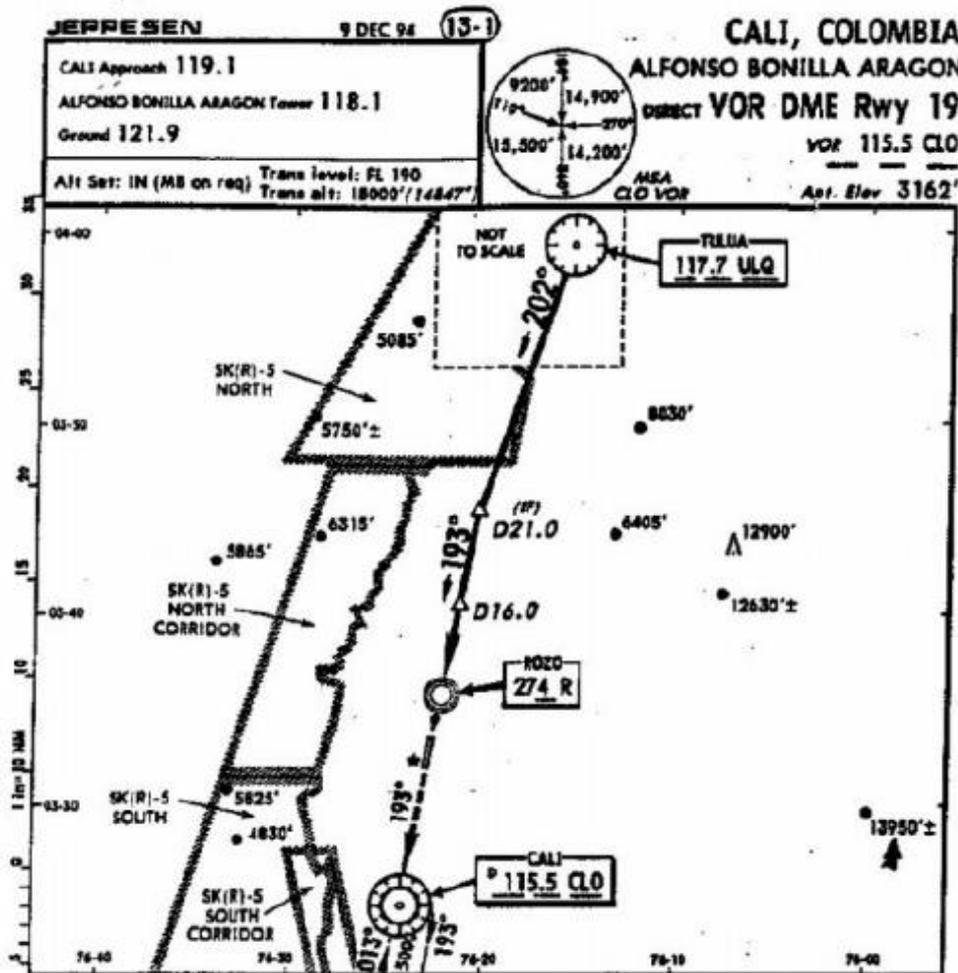


Figura 4: Reprodução parcial da carta de aproximação para a cabeceira 19
Fonte: Aeronautica Civil of the Republic of Colombia, 1996

Já com a carta de aproximação para a pista 19, um minuto após (21h37:29) a tripulação solicitou ao controlador seguir com proa direta de Rozo:

AA: Can American Airlines uh, nine six five, go direct to Rozo and then to the Rozo arrival, sir?

ATC: Affirmative, take the Rozo one and runway one niner, the wind is calm.

AA: Alright Rozo, the Rozo one to one nine, thank you, American nine six five.

ATC: (Thank you very much) ...report Tulua and e'eh twenty one miles ah, five thousand feet

AA: OK, report Tulua twenty one miles and five thousand feet, American nine uh, six five

Rozo é um auxílio de navegação presente na carta de aproximação da pista 19 (Figura 4). Assim que o controlador respondeu “*Affirmative*” a aeronave iniciou curva para a esquerda.

Às 21h39:25 o Código Morse referente as letras VC é escutado na cabine. Quatro segundos após é ouvido o Código Morse referente as letras ULQ.

Às 21h40:01 se registra novo diálogo pelo rádio:

AA: And American, uh thirty eight miles north of Cali, and you want us to go Tulua and then do the Rozo, uh, to uh, the runway, right to runway one nine?

ATC: ... You can ... landed, runway one niner, you can use runway one niner. What is (your) altitude and (the) DME from Cali?

AA: OK, we're thirty seven DME at ten thousand feet.

ATC: Roger, report (uh) five thousand and uh, final to one one, runway one niner.

Às 21h40:40, sem conseguir localizar Tulua e agora sem saber onde estão, o diálogo na cabine torna-se confuso:

Piloto: It's [expletive] Tulua I'm not getting for some reason. See I can't get. Ok now, no. Tulua's [expletive] up. ... But I can put it in the box if you want it.

Copiloto: I don't want Tulua. Let's just go to the extended centerline of uh...

Piloto: Which is Rozo. ... Why don't you just go direct to Rozo them alright?

Copiloto: OK, let's.

Piloto: I'm goin' to put that over you.

Copiloto: Get some altimeters, we're out of uh, ten now.

Percebendo que estava muito a esquerda da rota de aproximação, a tripulação inicia curva a direita, buscando reinterceptar a final da pista 19.

Às 21h41:02 o controle de tráfego aéreo pergunta a altitude que a tripulação americana se encontrava. A resposta do piloto foi: “Nine six five, nine thousand feet”. Às 21h41:10 o controlador pergunta então sobre a distância: “Roger, distance now?”. A tripulação americana não chega a responder, pois às 21h41:15 o alarme sonoro do GPWS (Ground Proximity Warning System), sistema de alerta de proximidade com o solo, dispara: “Terrain, terrain, whoop, whoop.”

Os pilotos aumentam ao máximo a potência dos dois motores do Boeing, ao mesmo tempo que elevam o nariz da aeronave, mas apesar de todos os esforços, o voo AA965 se choca contra o solo às 21h41:28. Das 163 pessoas a bordo (155 passageiros e 8 tripulantes), apenas quatro passageiros sobrevivem.

3 INVESTIGAÇÃO

A descrição do acidente gera inúmeras questões que precisam ser esclarecidas pelos investigadores. Por que houve tanta dificuldade da tripulação em aproar Tuluá, mesmo considerando que estavam pilotando uma das mais modernas aeronaves da época, com um avançado computador de bordo? Por que a aeronave se aproximou perigosamente do solo? E por que, mesmo respondendo prontamente aos alertas do GPWS, foi impossível evitar a colisão? As respostas para tais perguntas não apenas esclareceriam a dinâmica do voo AA965, como também poderiam ser a chave para detectar falhas sistêmicas na indústria da aviação civil. Para Simmon (1998), o acidente revelou falhas de todo o setor, inclusive quanto ao processo de formação e capacitação das tripulações. O que aconteceu com o Boeing 757 naquela noite poderia se repetir? A maior motivação da investigação de um acidente é prevenir novos eventos, e assim era fundamental encontrar as respostas.

3.1 AERONAVE

A aeronave Boeing 757-223, prefixo N651AA, tinha sido entregue para a American Airlines diretamente do fabricante em Agosto de 1991 – pouco mais de quatro anos antes. Era uma aeronave considerada nova, e estava com a manutenção em dia. A partir dos destroços localizados na zona do acidente os investigadores puderam afirmar que ambos os motores funcionavam até o momento do choque, e que não havia sinal de fogo ou explosão anterior a colisão contra o terreno.

3.2 COMPUTADOR DE BORDO

O FMS (*flight management system*) do Boeing 757 era considerado bastante moderno para a época, e seu FMC (*flight management computer*) incorporava uma enorme base de dados de auxílios de navegação do mundo todo, incluindo suas frequências e coordenadas geográficas. Essa base de dados digital e prontamente disponível possuía o potencial de reduzir enormemente a carga de trabalho das tripulações, permitindo localizar rapidamente qualquer auxílio. Além de consultar a base

de dados, os pilotos podem, via FMC, atuar diretamente no Piloto Automático da aeronave, comandando o seu rumo. Os tripulantes alimentam as instruções no sistema por meio de dois teclados (CDU ou *control display unit*) localizados no console central do *cockpit*. A rota é apresentada de forma visual na tela do EHSI (*electronic horizontal situation indication*)

3.3 TRIPULAÇÃO

O piloto tinha aproximadamente 13.000 horas de voo, e já havia voado treze vezes para Cali anteriormente. O copiloto possuía 5.800 horas de voo, sendo empregado da American Airlines desde 1986. Já havia voado para a América Latina anteriormente, mas nunca para Cali. Ambos ficavam baseados em Miami, Flórida, de onde a American Airlines centralizava suas operações para a América Latina, contando, inclusive, com treinamentos específicos.

3.4 AEROPORTO

Alfonso Bonilla Aragon Airport (SKCL), localizado em Cali, na Colômbia, possui uma elevação de 3162 pés msl (*mean sea level* ou acima do nível do mar), e se encontra em um vale. Suas instalações ficam entre montanhas de até 14.000 pés, localizadas tanto a leste quanto a oeste. Sua única pista, 01/19, somente permite aproximações orientadas no eixo norte/sul.

4 AUTOMAÇÃO

Para compreender algumas características do acidente do voo AA965 é importante entender o contexto da automação da aviação comercial em meados da década de 90. O Boeing 757 era um dos primeiros modelos de aeronave comercial a fazer uso do conceito de “*glass cockpit*”, iniciando a substituição dos tradicionais mostradores analógicos que ocupavam todo o *cockpit* dos grandes jatos até então fabricados.

As inovações desta época não se limitavam ao modo de exibir os parâmetros de voo, a Boeing também passou a dotar seus aviões com um grau crescente de automatismo, começando o uso de computadores de bordo – FMS. A automação permitiu, inclusive, eliminar a figura do engenheiro de voo, até então presente nas tripulações dos grandes jatos (SIMMON, D.A., 1998). A partir daí a tripulação passaria a ser composta apenas pelo piloto e copiloto.

Os pilotos entram com as informações no FMS por meio dos teclados (CDU), existindo um para cada tripulante. Os CDU estão localizados no console central (Figura 5).



Figura 5: CDU similar ao disponível para os tripulantes do Boeing 757
Fonte: PresLoiLoi / n.wikipedia

O FMS permitia:

- a) monitorar as variáveis do sistema, assim como dados de navegação.
- b) realizar quase toda a navegação por meio dele caso o plano de voo fosse inserido.
- c) visualizar, por meio da tela EHSI (Figura 6), a posição da aeronave e sua rota futura.
- d) calcular distâncias, tempo de voo e estimados, assim como auxiliar na escolha da melhor razão de subida ou descida.
- e) atuar sobre o piloto automático e o *auto-throttle* (sistema de aceleração), efetivamente comandando a aeronave.



Figura 6: Tela EHSI similar a disponível para os tripulantes do Boeing 757
Fonte: Skybrary.aero

O FMS era alimentado com dados de navegação da empresa norte-americana Jeppensen. Embora não fosse a cópia exata das cartas impressas, era considerado um recurso valioso e preciso para navegação. Assim, possuía os procedimentos de aproximação por instrumentos, que poderiam ser localizados pelos pilotos por meio de comandos no CDU. A localização de uma carta digital específica na memória do FMS demandava pressionar uma sequência de teclas no CDU.

É interessante observar que já nesta época o FMS não se tratava apenas de um recurso de visualização de informações, mas também de um meio para efetivamente conduzir a aeronave pela rota programada.

Mesmo em um momento onde a automação ainda dava seus primeiros passos, especialmente comparado com os níveis alcançados nos dias atuais, diversos autores da época já dedicavam esforços para compreender e avaliar a influência da automação no comportamento humano (WIENER, E.L., 1989; WIENER, E.L. e CURRY R.E., 1980). A confiança, por vezes excessiva, na automação; a mudança na distribuição da carga de trabalho na cabine, aumentando nos momentos em que já era elevada e diminuindo em períodos que já era reduzida; as dificuldades de usar e entender os sistemas, especialmente em cenários de maior estresse; a experiência necessária para atingir proficiência; entre outros tópicos, eram frequentemente abordados.

Estudos já ressaltavam que mesmo pilotos experientes exclamaram, em diferentes ocasiões, frases como: *“What’s it doing now?”*, referindo-se as ações dos sistemas automáticos durante o voo. O termo *“automation surprise”* passou a ser amplamente

usado mais recentemente (DEHAIS, F., et al, 2105; WOODS, D.D., e SARTER, N.B., 2000; de BOER, R.J. e HURTS, K., 2017). Exemplo de *automation surprise* pode ser encontrado na descrição de acidente envolvendo aeronave modelo Fokker 100 durante decolagem em aeroporto de São Paulo, Brasil (VAZ JUNIOR, C.A., 2019a). O capítulo 6 do livro de Salas e Maurino (2010) destaca que:

“Technological advances since early days of flight have significantly transformed the aircraft cockpit and altered the relationship among the human pilot, the aircraft and the environment”.

Para os autores, o papel dos tripulantes evoluiu de uma pilotagem baseada nos movimentos de suas mãos e pés, para uma pilotagem de maior demanda cognitiva: “the development and introduction of modern automation technology has led to new cognitive demands”. As habilidades dos pilotos deve incluir, cada vez mais, habilidades de gerenciamento (management skills) (Salas e Maurino, 2010).

5 APROXIMAÇÃO DIRETA PISTA 19

5.1 PERFIL HORIZONTAL

Uma vez que o perfil de aproximação da pista 01, para aeronaves precedentes do setor norte, ocorre alinhado com a cabeceira 19, em virtude do relevo local, considerando também que o vento estava calmo e que não existiam outros tráfegos no setor, o controlador se sentiu a vontade para oferecer uma aproximação direta para a pista 19. A proposta acabou sendo aceita pela tripulação.

Um fator crítico que precisa ser analisado é a posição da aeronave no momento no qual a proposta foi feita. O controlador não dispunha de radar, de modo que contava somente com uma ideia aproximada desta posição. Caberia aos pilotos aceitar ou não a mudança. A posição da aeronave no momento que aceitam a modificação é importante pois, dependendo desta, seria impossível realizar o pouso direto, ou seriam necessárias órbitas para redução de altitude, configuração da aeronave e interceptação da final.

O ponto inicial do procedimento de pouso na pista 19 era o auxílio a navegação VOR (Very High Frequency Omnidirectional Range) de Tulua (Figura 4). Às 21h34 a tripulação informou estar a 63 nm DME (distance measuring equipment) da VOR Cali. Observando a carta de aproximação é possível deduzir que então encontravam-se a 20 NM de VOR Tulua (Figura 7), aproximadamente. A proposta de mudança de pista foi dada às 21h36, por tanto dois minutos após. Considerando mais dois minutos até a

mudança ser aceita, as instruções passadas pelo ATC, cartas localizadas e sistemas de navegação de bordo configurados, é necessário estimar a posição às 21h38.

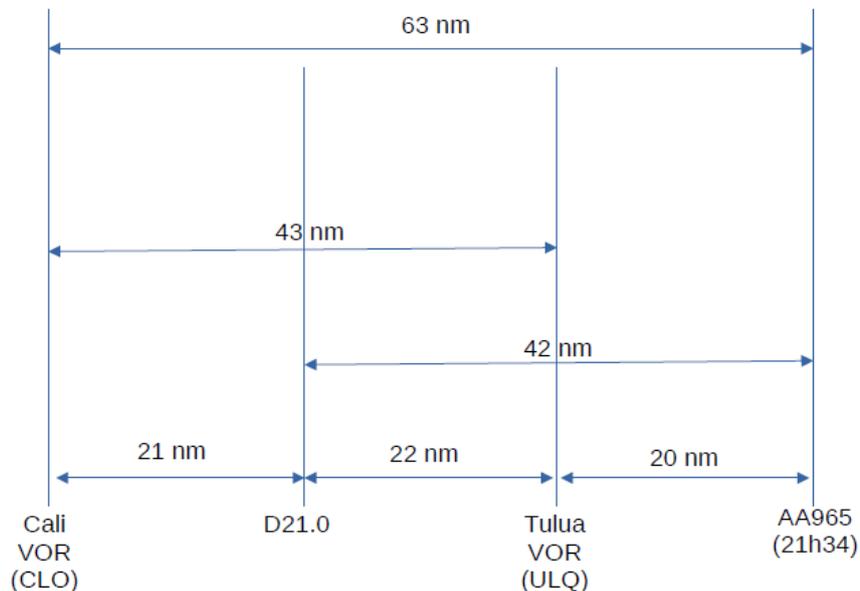


Figura 7: Perfil horizontal da aproximação no momento da mudança de pista

Supondo uma velocidade de aproximação de 250 nós naquele momento, em quatro minutos (21h34 – 21h38) o Boeing teria percorrido 17 nm. Assumindo este valor, a aeronave ficaria apenas 3 nm de distância de Tulua, uma distância que seria percorrida em menos de um minuto.

Caso a aeronave estivesse em velocidade menor quando o diálogo ocorreu, supondo 200 nós, a distância percorrida em 4 minutos se reduz para 13 NM. Isso deixa o Boeing a uma distância de 7 NM de Tulua, um afastamento de pouco mais de 2 minutos.

Considerando o atraso na decolagem e as conseqüentes expressões de pressa por parte do comandante, assim como o fato de que até 21h34 eles estavam planejando pouso na cabeceira oposta, a velocidade de 250 nós parece mais crível.

Independente da velocidade empregada, o fato é que às 21h38 restava muito pouco tempo antes da aeronave cruzar a posição do VOR Tulua, e assim iniciar o procedimento de aproximação e pouso (VOR DME Rwy 19).

5.2 PERFIL VERTICAL

Se em termos de afastamento horizontal havia pouco tempo para identificar a posição do VOR Tulua e iniciar o procedimento previsto na carta, resta saber qual o cenário encontrado em termos verticais. Às 21h34 o voo AA965 encontrava-se a 15.000

pés, porém, para seguir o procedimento previsto na carta de aproximação da pista 19 era preciso atingir a posição D21.0 a 5000 pés (Figura 8). A distância da aeronave até D21.0 às 21h34 era de 42 NM. Supondo uma velocidade de aproximação de 200 nós, esta distância seria percorrida em 12,6 minutos. Ou seja, seria necessária uma razão de descida de quase 800 pés por minuto. Este valor é coerente com os critérios de aproximação estabilizada, onde o valor máximo de descida é de 1000 pés por minuto (FLIGHT SAFETY FOUNDATION, 2000).

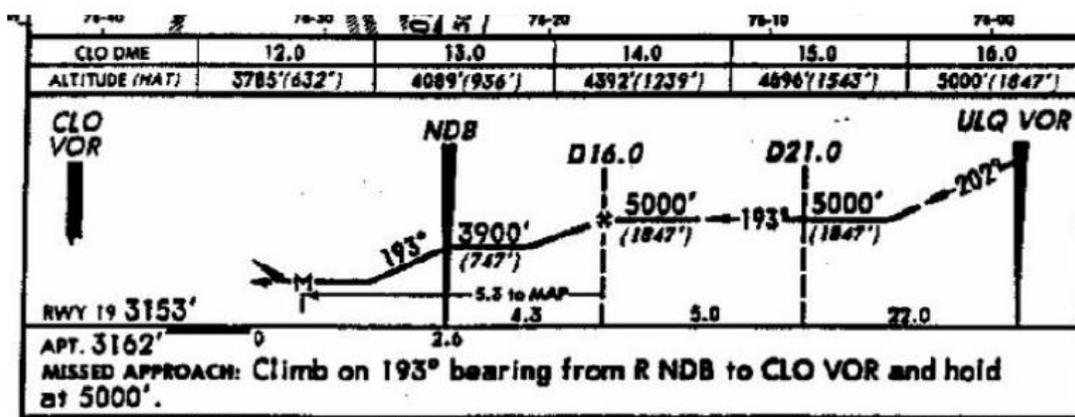


Figura 8: Reprodução parcial do perfil horizontal da aproximação previsto na carta em uso na época
Fonte: Aeronautica Civil of the Republic of Colombia, 1996

É interessante observar que a aeronave já estava em perfil de descida às 21h34, de modo que não é necessário aguardar até 21h38 para tomar alguma ação, como é o caso do perfil horizontal. Isso, de certo modo, colabora com a viabilidade em termos verticais.

Os perfis horizontal e vertical apontam o desafio da tarefa de mudar a pista em uso e realizar uma aproximação direta. As estimativas aqui apresentadas não constam do relatório oficial do acidente, tendo sido realizadas com base nos dados disponibilizados no documento gerado pelos investigadores. Embora imprecisa, tal estimativa reforça a dificuldade de implementar a decisão tomada. Conclusão semelhante foi encontrada por Simmon (1998).

5.3 TOMADA DE DECISÃO

Sobre a decisão de aceitar o pouso na pista 19 a discussão realizada pelos investigadores se mostra bastante detalhada e valiosa. Entender como profissionais experientes podem tomar decisões ruins e, principalmente, insistir em seus erros, é ponto importante na prevenção de acidentes.

Faz parte da boa gestão de operações da cabine que os tripulantes busquem sempre estar “a frente” da aeronave. Ou seja, ainda em solo a tripulação deve revisar e discutir os procedimentos de subida, conhecer as cartas meteorológicas, estimar a melhor configuração de subida em função das condições operacionais, etc. Tudo isso possibilita analisar e avaliar a situação previamente, buscar informações complementares, ajustar a frequência do rádio, configurar o computador de bordo, etc. O mesmo deve ser feito em rota, antes de iniciar a descida. A carga de trabalho cresce a medida que a altitude diminui, logo, adiantar aquilo que puder ser adiantado, parece uma boa política, embora, como Simmon (1998) destaca, isto nem sempre seja possível em função de mudanças de pista, aproximação em uso, e outras alterações ocorridas nos últimos minutos.

No caso do voo AA965 não é possível afirmar como foram realizados todos os preparativos, como foram as discussões e seu conteúdo. O gravador de voz da cabine (CVR ou *cockpit voice recorder*) somente preserva os últimos trinta minutos de voo, insuficientes para exibir um padrão de comportamento. Ou seja, os investigadores foram incapazes de avaliar se o *briefing* de antes do início da descida foi realizado de modo completo e detalhado, se a carta de área e as de aproximação foram estudadas, se os riscos foram levantados e estratégias de gerenciamento discutidas, entre outras ações. Simmon (1998) considera que o *briefing* e os *checklists* ou não foram realizados ou foram realizados de forma incompleta e inadequada. A execução detalhada dessas etapas permitiria maior alinhamento mental entre os tripulantes (SIMMON, D.A.,1998).

Em relação a opção de aceitar a mudança para a pista 19, tal decisão foi realizada conjuntamente, envolvendo piloto e copiloto. Uma vez que o controlador passou a opção pelo rádio, o comandante leva a alternativa para o copiloto: “*would you like to shoot the one nine straight in?*” Ao que o copiloto respondeu: “*Yea, we’ll have to scramble to get down. We can do it.*” Neste momento existe boa integração no *cockpit* e um bom ambiente de trabalho, fundamentos do CRM (*crew resource management*), porém, essa integração se reduz fortemente na sequência. Ressalta-se que o copiloto estava responsável por efetivamente “voar” a aeronave (*pilot flying*), enquanto o piloto cuidava do rádio, navegação e monitoramento (*pilot monitoring*).

É importante entender que a condição para a pronta aceitação, por parte da tripulação, de uma alternativa que pouparia alguns minutos de voo já havia sido criada muito antes. O atraso na decolagem de Miami parece ter gerado ou provocado algum nível de pressão mental, provavelmente autoinduzida, sobre o comandante. É possível perceber isto em uma conversa na cabine às 21h26, exatamente dez minutos antes do

controlador oferecer o pouso na cabeceira 01. Na conversa o comandante solicita que o colega: “*keep the speed up in the descent*”, o que, para a equipe de investigação, significou uma preocupação de compensar, pelo menos em parte, o atraso existente. Minutos depois, às 21h29, em comunicação para os passageiros, o comandante expressou seu profundo descontentamento com o atraso ocorrido naquela noite (SIMMON, D.A..1998). Não seria a primeira vez que a pressão em função do atraso perturba a tomada de decisão de uma tripulação e contribui para um acidente – o acidente de Tenerife, em 1977 é um exemplo clássico (VAZ JUNIOR, C.A., 2018; ALPA).

Para uma aeronave se aproximando pelo setor norte do aeródromo, a mudança da cabeceira 01 para a 19 parece simplificar bastante os procedimentos de pouso, tornando a aproximação mais direta. Mas a mudança de pista representa, de modo imediato, uma enorme sobrecarga de trabalho. Algumas tarefas que devem ser realizadas são:

- localizar e remover do fichário a nova carta de aproximação a ser usada, assim como compreender o procedimento nela apresentado (altitudes, velocidades e proas a serem empregadas, auxílios de navegação utilizados, procedimento de aproximação perdida, etc).

- caso deseje continuar usando os recursos do FMS será preciso localizar o procedimento de aproximação na base de dados digital do sistema. É sempre recomendável conferir as informações presentes no sistema, assim como envolver o colega de *cockpit* nessa tarefa, evitando enganos.

- recalcular diversos parâmetros de configuração da aeronave, tais como velocidade de aproximação, razão de descida, regulagem dos flapes, entre outros.

- enquanto as tarefas são cumpridas, obviamente que é necessário manter a aeronave voando em segurança, assim como continuar atendendo as demandas do controle de tráfego aéreo.

Note que uma vez que o procedimento de descida foi encurtado, tudo isso precisa ser feito mais rapidamente, antes que se torne impossível completar o pouso. A pequena distância que separava a posição na qual a aeronave se encontrava quando a tripulação aceitou o pouso na cabeceira 19 e o ponto de início do procedimento de aproximação (Tulua VOR), tornou, na prática, impossível que a cabine estivesse completamente pronta no tempo adequado. Ou seja, o Boeing 757 ultrapassou a posição Tulua VOR antes mesmo que seus tripulantes estivessem cientes disso. Mais do que um atraso no início do

procedimento, ou talvez a necessidade de realizar algumas órbitas para perder altitude, essa falha ocasionou uma série de problemas que não foram gerenciados corretamente, levando ao agravamento da situação e ameaçando a segurança do voo.

Além da pressão para tentar compensar um pouco o atraso na decolagem, quais outras razões podem ter levado a tripulação americana a aceitar a mudança de pista? Para os investigadores, a partir de estudos sobre como as pessoas tomam decisões em cenários dinâmicos, uma possível razão seriam as experiências anteriores de sucesso. Ou seja, em voos anteriores os pilotos já haviam aceito mudar a pista para pouso, ou tomado outras decisões que lhes permitiu ganhar tempo ou simplificar tarefas. Estas experiências anteriores foram bem-sucedidas, criando fatos mentais positivos, e passando assim a agir como influenciadoras do comportamento a partir de então. A percepção da realidade baseada em experiências anteriores possui inúmeras explicações, uma delas relacionada ao comportamento humano denominado “*recognition primed decision*” ou RPD (Salas e Maurino, 2010). Contudo, não existem duas situações exatamente iguais, e ao simplificar o cenário atual para que ele se enquadre em uma experiência anterior, fatores relevantes podem estar sendo desprezados, gerando riscos não percebidos.

Outro fator influenciador foi, possivelmente, a simples proposta do controlador. É quase certo que se o ATC não tivesse oferecido a opção de aproximação direta, a tripulação jamais cogitaria solicitá-la. Quando o controlador oferece uma opção, muitos pilotos já consideram que a oferta só existe pois é viável de ser aceita. Aqui é preciso entender alguns pontos por trás deste cenário. Primeiramente, é provável que o controlador jamais tenha pilotado uma aeronave, especialmente um Boeing, por melhor que seja sua formação. Pilotar aeronaves, especialmente grandes jatos comerciais, não faz parte da formação de um controlador de tráfego aéreo – do mesmo modo que a maioria dos pilotos jamais desempenhou o papel de controlador. O fato é que controladores podem não perceber de modo exato a extensão de tarefas que precisam ser realizadas a bordo antes de cada fase, e quantos itens devem ser seguidos apenas para mudar a aproximação para a cabeceira oposta. Controladores podem, inadvertidamente, contribuir para elevar a carga de trabalho na cabine. Outro ponto importante: em Cali o ATC não dispunha de radar, de modo que podia apenas estimar a posição atual da aeronave a partir das informações que recebia do piloto pelo rádio. Assim, é fácil imaginar que o controlador supunha que os pilotos, com todos os recursos de navegação disponíveis na cabine, estariam muito bem informados e seriam capazes de tomar a decisão correta, aceitando ou não a mudança de pista.

Finalmente, nunca é demais lembrar que a responsabilidade final é sempre do piloto, ele é quem decide e responde pelas decisões. Enquanto os fundamentos do CRM valorizam o diálogo, a troca de informações e a tomada de decisão de modo integrado, a responsabilidade e a decisão final permanecem sendo do piloto.

5.4 MUDANÇA DE DECISÃO

Assumindo que a decisão inicial foi tomada, o fato é que rapidamente a situação se degradou. A tripulação começa a demonstrar dúvidas sobre sua posição exata, assim como sobre onde está o auxílio de navegação mencionado pelo controlador. As transmissões pelo rádio tornam-se confusas. E, enquanto tentam entender o que ocorre, o Boeing 757 permanece perdendo altitude.

Mudar uma decisão já tomada, diante de um novo cenário, do agravamento da situação ou da simples constatação de que a opção anterior foi um erro, deveria ser algo normal e rotineiro. Na verdade, seria o caminho mais sensato e adequado. A tomada de decisões quase sempre é realizada com base em informações parciais, criam-se hipóteses para completar aquilo que falta, e usam-se modelos mentais para avaliar o cenário. Os modelos mentais podem ou não descrever adequadamente a situação enfrentada. É comum desenvolver modelos mentais para uma dada condição e mentalmente adaptá-los, ou extrapolá-los, para outras circunstâncias, acreditando-se que ainda são válidos (SIMMON, D.A., 1998; MORIARTY, D., 2014).

Se a tomada de decisão se baseia em hipóteses, e a realidade seguinte revela que a decisão não foi adequada, o mais correto seria mudar a decisão – mas na prática isso se mostra extremamente difícil. Por que é tão difícil rever uma decisão já tomada? Por que tantos insistem em manter uma decisão mesmo quando claramente tudo está mostrando ser o caminho errado? Moriarty (2014) levanta algumas explicações para este comportamento humano. A primeira é que, evolutivamente, os indivíduos que tomavam decisões, durante uma caça por exemplo, e eram capazes de mantê-las acabavam por ter mais sucesso: “Se perseguir dois coelhos de uma vez ficará sem nenhum”, “mais vale um pássaro na mão do que dois voando” são os ditados populares. Porém, a evolução humana nem sempre é a melhor conselheira para o avião – até porque o organismo humano não é adaptado naturalmente para o voo.

Outra razão apresentada por Moriarty (2014) é que esforço mental foi investido na tomada de uma decisão. Uma vez decidida essa questão, energia passa a ser gasta em novas decisões. Em momentos de elevada carga de trabalho não faria sentido o cérebro

revisitar constantemente as decisões já tomadas, deixando de se focar no que ainda não foi decidido. Assim, quanto maior a carga de trabalho atual de um indivíduo, menor é a sua tendência de repensar e modificar uma decisão anteriormente realizada. Contudo, é curioso diagnosticar que muitas vezes são as decisões passadas que são responsáveis pela sobrecarga de trabalho atual.

Outro fenômeno importante é que a mente humana tende a focar em informações e dados que comprovem que a escolha anterior foi correta (SIMMON, D.A., 1998; MORIARTY, 2014). Ou seja, filtrar informações novas contrárias a decisão já tomada, ao mesmo tempo que busca justificar a escolha feita. Estes filtros mentais são apontados como um dos fatores contribuintes para o acidente de Tenerife, conforme relatório emitido pela Airline Pilots Association (ALPA).

6 DIRECT TO CALI

Em alguns momentos do voo AA965 as instruções passadas pelo ATC e os comandos aplicados pelos pilotos no FMS não se mostravam alinhados. O uso do FMS acabou por se revelar desafiador, contribuindo para elevar a carga de trabalho, em vez de contribuir para a segurança do voo.

O primeiro momento no qual a incoerência se revela é na chamada inicial ao Controle de Aproximação de Cali. Após ser informado que o voo 965 estava a 63 milhas de Cali VOR, o controlador declara: “*cleared to Cali*”, para em seguida solicitar aos pilotos que reportem cruzando Tulua VOR. A compreensão dessa instrução não é trivial para pilotos habituados a voar nos Estados Unidos. O comandante responde “*OK, understood, cleared direct to Cali VOR (...)*” (21h35:14), e o controlador responde apenas “*Affirmative*”. Ou seja, o comandante inseriu a palavra *Direct* na instrução, e aparentemente recebeu a concordância do ATC.

Ao ouvir a autorização o piloto imediatamente aciona a função “*Direct to*” no FMS. Este comando muda a rota da aeronave, que a partir de agora segue com proa direta de Cali VOR, abandonando o perfil de descida que exigia cruzar antes Tulua VOR. O copiloto foi informado sobre essa mudança de rota alguns segundos após.

O comando “*direct to*” representa uma espécie de “atalho”, permitindo seguir direto para um ponto mais a frente da rota, pulando etapas intermediárias. A economia de tempo e combustível voando direto para uma determinada posição torna este recurso muito interessante, sendo amplamente usado nos EUA quando não existem outros tráfegos no setor e as demais condições de segurança são atendidas. Não faz sentido

obrigar que uma aeronave cumpra rigorosamente todo o perfil de aproximação apenas como exigência burocrática. Mas se estava aprovado para seguir direto para Cali, sem necessidade de primeiro cruzar Tulua VOR, por que o controlador pediu para reportar essa posição?

O relatório de investigação do acidente do voo AA965 explica: nos EUA as aproximações para pouso nos principais aeroportos contam com vigilância radar. Ou seja, o controlador pode acompanhar as aeronaves em tempo real, assim como garantir seu afastamento dos demais tráfegos e do relevo local. Essa supervisão permite que os “atalhos” sejam usados com segurança. Em Cali, porém, o ATC não conta com radar, de modo que não poderia garantir o afastamento seguro do tráfego em relação ao relevo bastante significativo da região. Neste caso, o termo “*cleared to Cali*” apenas significava que não existiam outros tráfegos no setor, e que a tripulação poderia seguir sem maiores restrições o perfil de descida – embora devesse manter aderência ao mesmo. Ou seja, passar por Tulua VOR antes de seguir para Cali. A inserção da palavra “*direct*” mudou o significado da instrução, embora o controlador não tenha se oposto.

A diferença, quase cultural, entre os pilotos habituados com o tráfego aéreo norte-americano, e o controlador de Cali, geraram uma falha de comunicação. O relatório do acidente do voo Avianca 52, em 1990, discute este relevante aspecto (NSTB, 1991).

O comando “*direct to*” não representava risco imediato para a aeronave, mas gerou um problema: ao declarar no FMS “*direct to Cali*”, o sistema apaga da tela todos os auxílios de navegação existentes entre a posição atual da aeronave e Cali. Assim, a VOR de Tulua, logo a frente, deixou de ser exibida. É provável que os tripulantes, pilotando por meio do FMS, nem tenham notado este desaparecimento, mas o fato é que isto tornou mais difícil atender a demanda do ATC: “*reporte cruzando Tulua*”. Além da VOR de Tulua não aparecer mais na tela, a carta de aproximação da pista 01 também não apresentava este auxílio – embora a carta de área de Cali mostre a VOR de Tulua, mas não é possível afirmar se os tripulantes chegaram a utilizar tal carta.

Não atender a demanda anterior seria um problema menor, mas desconhecer a posição de Tulua se tornou crítico para a tripulação quando aceitaram a mudança para a pista 19. Quando optaram por realizar a aproximação direta para a pista 19, o ponto inicial da aproximação era Tulua VOR, como consta na carta de aproximação para esta pista (Figura 4). Em função do comando *Direct To* aplicado momentos antes, os tripulantes agora não possuíam a noção exata de sua distância até Tulua VOR. A situação tornou-se ainda mais complexa quando, minutos depois, a aeronave cruzou a posição Tulua VOR,

fazendo com que a mesma, a partir de agora, estivesse na sua retaguarda. A visualização do FMS é projetada para “olhar para frente”, ou seja, visualizar auxílios que estão a frente. A visualização para retaguarda não é uma demanda frequente em voos comerciais. Aliando o projeto do FMS com o desconhecimento por parte dos pilotos que o auxílio estava na retaguarda, criou-se um cenário de baixa consciência situacional. Os tripulantes já não sabiam definir sua posição atual. Simultaneamente, continuavam a descida em meio a uma cadeia de montanhas enquanto permaneciam focados em achar, via FMS, o VOR desejado. Interromper a descida e usar os instrumentos de navegação tradicional talvez fosse a escolha mais segura. A simples sintonia da frequência da VOR de Tuluá, exibida na carta de aproximação da pista 19, possibilitaria que os pilotos soubessem imediatamente sua posição em relação aquele auxílio – uma abordagem muito mais rápida e simples do que continuar “lutando” com a interface do moderno FMS. Neste sentido, Salas e Maurino (2010) consideram que adicionar camadas de automação pode, em algumas situações, também elevar a carga de trabalho dos tripulantes, e, conseqüentemente, reduzir sua consciência situacional.

Mas porque a tripulação seguiu tentando usar o FMS e assim elevando demasiadamente a carga de trabalho e reduzindo cada vez mais a consciência situacional? A própria American Airlines é clara que o FMS deve ser abandonado sempre que seu uso passa a representar um problema, porém, essa recomendação não foi seguida. A tendência de seguir usando o FMS, ou qualquer outro recurso de automação, mesmo quando claramente seu emprego não está sendo adequado, é um reflexo da elevada confiança depositada nestes equipamentos. A tripulação usou com sucesso o FMS ao longo de todo o voo, e provavelmente também em voos anteriores. O FMS se mostrou altamente confiável e preciso, sendo símbolo de uma nova geração de sistemas de controle e navegação super seguros. A elevada confiança depositada em sistemas promove a complacência, comportamento humano habitual e estudado por diversos pesquisadores (MORIARTY, 2014). Este acidente mostra que o foco excessivo na automação já era fator contribuinte para acidentes na década de 90, e permanece relevante até os dias atuais, como ficou claro no recente acidente envolvendo aeronave da empresa Asiana em aproximação para aeroporto na Califórnia, nos Estados Unidos (NTSB, 2014).

7 DIRECT TO ROZO

Enquanto a opção “direct to” Cali no início da aproximação dificultou a localização de VOR Tulua e assim elevou a carga de trabalho da tripulação, potencialmente reduzindo sua consciência situacional, a segunda vez que tal função foi empregada teve resultados ainda mais catastróficos.

Logo após aceitar a mudança para a pista 19 e ter acesso a carta de aproximação, o comandante solicitou seguir direto com proa de ROZO NDB, o que permitiria, na sua forma de entender, interceptar rapidamente a final: “Can American Airlines nine six five go direct to Rozo and then do the Rozo arrival? (21h37:29). O controlador respondeu “Affirmative, take the Rozo one and runway one niner, wind is calm”. Ao ouvir a resposta afirmativa por parte do controlador o comandante entrou com a nova rota no FMS, comandando “direct Rozo”, e imediatamente fez a aeronave se desviar para a esquerda. O copiloto não foi informado ou consultado sobre este comando, e só percebeu o desvio minutos depois, mostrando clara falha de CRM, elevando ainda mais a confusão e promovendo perda de consciência situacional. Vaz Junior (2019b) discute o papel do CRM nos recentes acidentes envolvendo modelo Boeing 737 MAX. Salas e Maurino (2010) lembram que uma tripulação composta pelo piloto e copiloto em geral trabalha de modo que um membro fique atento as atividades desenvolvidas pelo colega do lado, funcionando como uma redundância e uma checagem de erros.

Embora fazer proa de Rozo levasse a aeronave para interceptar a final, este auxílio encontra-se demasiadamente próximo da cabeceira da pista. Usá-lo como ponto para interceptar a final é incompatível com a realização de uma aproximação estabilizada. A demanda não fazia sentido, e o controlador sabia disso, mas sua frase começando pela palavra “Affirmative” foi compreendida, pelo comandante, como um sinal de aprovação.

O problema encontrado pela tripulação americana foi ainda mais grave do que tentar encurtar demasiadamente a aproximação: ao entrar com o identificador R no FMS e declarar “Direct To”, o comandante achava que o sistema eletrônico iria conduzi-los até o auxílio ROZO NDB. Todavia, assim que o comando foi executado a aeronave curvou a esquerda, enquanto continuava a perder altura.

Por que o FMS colocou a aeronave em rota distinta da desejada? Os investigadores repetiram a rota voada pela tripulação e notaram que, ao inserir o identificador R no FMS, uma lista de auxílios aparece. A lógica da programação faz com que o primeiro da lista seja aquele geograficamente mais próximo – o que é útil na maior parte dos casos. Porém ROZO NDB (identificador: R, frequência: 274 kHz) não constava na lista exibida pelo

FMS, e o primeiro auxílio se referia a ROMEU NDB (identificador: R, frequência: 274 kHz), em Bogotá, também na Colômbia. Provavelmente foi esse o auxílio selecionado pela tripulação do voo AA965. Quando os investigadores fizeram isso, uma linha magenta com a nova rota surgiu na tela – direcionando a aeronave para a cidade de Bogotá (Figura 2). Escolher essa rota significa se desviar para a esquerda, um comportamento letal quando se está voando a baixa altura no interior de um vale.

Mas por que o FMS apresentou este comportamento? Na carta de aproximação para o aeroporto de Cali o identificador do NDB ROZO é uma letra “R”. Porém, o “R” também é o identificador do NDB ROMEU em Bogotá. Ou seja, a Colômbia possuía, naquela época, dois NDBs com o mesmo identificador e a mesma frequência (274 kHz).

A Jeppense, desenvolvedora da base de dados para navegação utilizada no Boeing 757, alegou, durante as investigações, que seguia as recomendações do guia ARINC-424, especificamente seu capítulo 7 (“Naming Conventions”), para estabelecimento dos códigos dos auxílios a navegação quando o país de origem não segue o padrão da ICAO (International Civil Aviation Organization). Na época a Colômbia não seguia o padrão ICAO, e apresentava dois auxílios identificados pela letra R:

Romeu NDB: N 04 deg 40.7, W 074 deg 06.3, próximo a cidade de Bogotá

Rozo NDB: N 03 deg 35.8, W 076 deg 22.5, próximo a cidade de Cali

Considerando que Romeu NDB estava próximo a uma cidade maior (Bogotá), e que apenas um auxílio de navegação poderia estar identificado pela letra R na base de dados associada a Colômbia, essa letra foi atribuída a Romeu NDB. Para identificar Rozo NDB a Jeppense usou a recomendação da ARINC-424: quando ocorrerem duplicatas, o NDB será identificado por seu nome de até 4 letras. Logo, Rozo NDB foi identificado como “ROZO” no sistema digital.

Em resumo, para acessar Romeu NDB no FMS durante um voo na Colômbia bastaria entrar com o identificador “R”. Porém, para fazer o mesmo com Rozo NDB era preciso digitar o nome completo (ROZO).

Apesar dessa justificativa, observa-se que na versão impressa da carta de aproximação emitida pela Jeppense para aeroporto de Cali, Rozo NDB aparece com seu identificador “R”. A fabricante americana de cartas de voo alega que a diferença em relação a base de dados digital ocorre pois a carta impressa deve seguir o que é definido pelo governo local, no caso, o governo colombiano.

Salas e Maurino (2010) ressaltam que a tecnologia embarcada nos modernos cockpits pode ser tanto uma facilitadora do processo cognitivo dos tripulantes, quanto um obstáculo. Para os autores, a automação deve ser centrada no ser humano, de modo a garantir que os pilotos possam estar ativamente envolvidos no processo e adequadamente informados, sendo capazes de monitorar o sistema e prever suas ações (Salas e Maurino, 2010). Deste modo, Salas e Maurino (2010) destacam:

“Understanding human information processing is vital to maximizing the effectiveness and safety of the aviation system”.

É interessante observar que possuir dois auxílios com o mesmo identificador e frequência não era um problema na época da navegação por cartas impressas e sistemas convencionais. NDB, ou non-directional beacon, é um auxílio a navegação aérea. O transmissor de rádio (NDB) localizado em uma posição pré-definida, emite ondas de rádio que são captadas pelo instrumento ADF (automatic direction finder) no painel da aeronave (FAA, 2012). A agulha do ADF aponta na direção da estação NDB sintonizada. A precisão deste sistema é menor do que aquela obtida utilizando auxílios tipo VOR, e o sistema ADF / NDB também não indica se a aeronave está se aproximando ou afastando da estação radiotransmissora, o que é possível com o VOR. Porém, o NDB é confiável e de baixo custo, podendo operar por vários anos sem exigir grandes manutenções.

Cada NDB opera em uma frequência específica. Para conferir a qualidade do sinal de rádio, assim como certificar-se que estava sintonizando a estação correta, o tripulante deveria ouvir o Código Morse emitido por ela, correspondente ao seu identificador. Assim, a sintonia do NDB de Rozo geraria o Código Morse referente a letra “r”, o mesmo obtido no caso da sintonia do NDB de Romeu.

Mas NDBs, por serem sinais de rádio, possuem alcance limitado, especialmente em regiões montanhosas. Isso explica porque era possível dispor de dois NDBs com a mesma frequência na Colômbia: Rozo, em Cali, e Romeu, em Bogotá. Devido a separação física existente entre as duas estações, seus sinais não causavam interferência. Seria impossível o ADF de uma aeronave em aproximação para Cali sintonizar o NDB Romeu, do mesmo modo que é impossível para um motorista dirigindo no Rio de Janeiro, sintonizar, no rádio, uma emissora de São Paulo.

Com o crescente uso do GPS para navegação aérea, as coordenadas dos auxílios passaram a concorrer em importância com o sinal de rádio. Dispondo das coordenadas de uma dada estação NDB é possível solicitar que o FMS conduza a aeronave em sua

direção, independente do afastamento físico, ou seja, sem depender da sintonia do sinal de rádio. O FMS trata uma estação de NDB como uma posição geográfica pré-determinada, permitindo, por GPS, indicar o rumo até ela, enquanto o ADF precisa do sinal de rádio para apontar o rumo. É similar a ideia de utilizar a internet para sintonizar uma rádio de São Paulo mesmo estando no Rio de Janeiro.

O uso do GPS aumentou enormemente a precisão da navegação aérea, deixando de estar restrita a confiabilidade e alcance das estações de rádio. Contudo, na década de 90, a aviação ainda estava vivendo essa transição, e essa fase criava novos desafios até então inexistentes. A partir daquele momento o FMS de uma aeronave sobre Cali poderia, na prática, “sintonizar” o NDB de Romeu, em Bogotá. E como ambos os NDBs empregam o identificador R e a mesma frequência, um equívoco de programação por parte dos pilotos se tornou uma possibilidade real.

O avanço tecnológico e o surgimento das bases de dados digitais criou um novo desafio. A transição de um sistema para outro levou anos, não sendo simultâneo em todos os países. O período de transição representou novos riscos, muitos dos quais difíceis de serem identificados, compreendidos e, principalmente, gerenciados. As instruções sobre “abandonar os sistemas eletrônicos e voar como antes em caso de problemas” não resolvem totalmente o problema, pois frequentemente em um cenário real as tripulações não são capazes de identificar o que estão vivenciando. Ou seja, não compreendem que o avião está causando perturbação na segurança do voo (SIMMON, D.A., 1998).

O gerenciamento de mudanças, e os riscos que elas representam, não se restringe a aviação. Os sistemas de gestão de segurança de processos da indústria química sempre focam no elemento de MOC (management of change) como um de seus fundamentos (CCPS, 2007). Mudanças mal gerenciadas foram fatores influenciadores em inúmeros acidentes em plantas químicas, tais como Bhopal, na Índia, Flixborough, no Reino Unido e, mais recentemente, no Texas, Estados Unidos (CSB, 2007).

8 CONSCIÊNCIA SITUACIONAL

Salas e Maurino (2010) destacam o papel da consciência situacional como sendo uma grande contribuinte para a ação humana em pró da segurança. A consciência situacional é a base que permite, aos tripulantes, tomar decisões corretas e efetivas. Uma consciência situacional fraca era apontada pela American Airlines como sendo a principal causa de acidentes envolvendo voos comerciais na América Latina. Essa informação, contudo, não foi suficiente para que a tripulação do voo AA965 percebesse a gravidade

da situação. Não saber a posição dos auxílios de navegação e, conseqüentemente, da própria aeronave, não ter clareza sobre o rumo assumido e aproximar-se inadvertidamente do solo são todos fatores que indicam baixa consciência situacional.

No contexto do voo AA965 a queda da consciência situacional começou a partir da decisão de aceitar a mudança para pouso na pista 19. A frase do copiloto, às 21h38 é típica deste tipo de situação: “Where are we?”.

Além da frase do copiloto questionando onde estavam, a demanda do comandante, às 21h37, é outro exemplo da forte degradação da consciência situacional que atingia aquela tripulação. O piloto requisitou ao controlador “go direct to Rozo and then do the Rozo arrival”. O controlador sabia que tal demanda não fazia qualquer sentido, já que o NDB de Rozo encontra-se nas proximidades da pista, sendo o auxílio final do procedimento de aproximação. A pouca fluência do controlador no idioma inglês teria feito com que o mesmo ficasse inibido, ou mesmo ter sido incapaz, de solicitar maiores esclarecimentos e detalhar a situação via rádio.

Apenas às 21h40 o capitão parece ter compreendido como deveria realizar a aproximação para a cabeceira 19: “You want us to go to Tuluá and then do the Rozo... To the runway?” Embora correto em sua interpretação, o que o piloto não sabia é que, naquele momento, a aeronave já havia cruzado a posição de Tuluá. Novamente, o controlador sabia que a aeronave americana já havia ultrapassado o VOR, e que não fazia sentido voar de volta para aquela posição. O inglês limitado do funcionário colombiano mais uma vez impediu que maiores esclarecimentos fossem prestados. Dificuldades com idioma inglês por parte de controladores de voo também estiveram presentes no acidente de Tenerife (ALPA; VAZ JUNIOR, 2018).

Ser incapaz de saber sua posição atual é um problema grave para qualquer tripulação, mas é especialmente crítico quando ocorre em baixa altitude e próximo a um enorme conjunto de montanhas. Neste caso, os tripulantes deixam de poder garantir um afastamento seguro em relação ao terreno, elevando enormemente a chance de ocorrência de um acidente do tipo CFIT.

Mas por que continuar descendo, em um terreno montanhoso, quando não se tem noção de onde a aeronave se encontra? O relatório da investigação apresenta algumas possíveis explicações. Primeiro, o comandante já havia voado inúmeras vezes para aquele destino, logo, o copiloto tinha motivos para se sentir seguro e confortável. Contudo, os voos anteriores provavelmente também foram noturnos e utilizando a pista 01 para pouso. É importante destacar a limitada capacidade de avistar o relevo próximo durante voos

noturnos. Montanhas desabitadas, com cobertura vegetal apenas, podem não ser claramente visíveis em voos noturnos, sendo fator contribuinte presente em outros acidentes aéreos, como aquele envolvendo aeronave prefixo PT-LSD em aproximação para Guarulhos, em São Paulo (CENIPA / SIPAER, 1996).

Enquanto a experiência do piloto em voar para Cali pode ser percebida como um fator positivo para a segurança do voo, por outro lado também pode tornar a tripulação mais complacente. Conforme mencionado, é possível que o copiloto tenha estado menos alerta em relação ao terreno pois confiava fortemente na experiência do colega para mantê-los em segurança. Aos 21h33 o copiloto perguntou ao comandante qual era o nível de transição em Cali, e, às 21h35, questionou sobre a existência de alguma restrição de velocidade na aproximação para aquele aeródromo. Ambas as informações estavam disponíveis nas cartas de aproximação, mas a confiança depositada no colega de cockpit era tão elevada que justificava o comportamento

Finalmente, a carta de aproximação para a pista 19 elaborada pela Jeppense indicava, na época do acidente da American Airlines, apenas de modo muito discreto a presença de extensas montanhas em ambos os lados da rota de aproximação do aeroporto de Cali. Tendo visto a carta pela primeira vez, com pouco tempo para analisá-la de modo mais completo em função da elevada carga de trabalho, é possível que a gravidade do cenário não estivesse totalmente óbvia para a tripulação americana até ouvir o alerta do GPWS. A American Airlines alertava sobre o relevo presente na América Latina: “Critical terrain exists during the descent – strict adherence to STAR necessary for terrain clearance”

Nas cartas usadas na época o relevo era representado por pequenos pontos e números, constando somente os dados fundamentais. Embora tecnicamente correto, tal representação gráfica não destaca a real importância de se voar em um vale, especialmente quando existe elevada carga de trabalho e pouco tempo para ler e estudar as cartas. Na carta ILS Rwy 01 não existe qualquer marcação de relevo no setor leste do campo. Considerando que a tripulação tenha discutido previamente sua aproximação e pouso em Cali, a mesma teria suposto o pouso na pista 01, e por tanto, teria consultado somente essa carta. A carta para pouso na cabeceira oposta, pista 19, detalha as montanhas também no setor leste, mas não faria sentido estudar tal documento uma vez que essa cabeceira não seria utilizada.

Os investigadores informaram que, antes do acidente com o voo AA965, a Jeppense já estava modificando a grafia de suas cartas, adotando um padrão mais

destacado para o relevo local, inclusive com o emprego de cores. Atualmente, cores são amplamente usadas em cartas de aproximação (R. MARK e J. BLAIR, 2020).

Além destes fatores, os investigadores também consideraram que a exposição constante, repetida vezes, a uma situação perigosa pode criar um sentimento de rotina, de hábito, reduzindo a preocupação, necessária, diante da situação. De certo modo, a exposição frequente ao perigo pode, mesmo que de modo não intencional, promover a complacência. Leandro, L.J. et. al. (2020) discutem a percepção de risco de diferentes funcionários do setor elétrico, considerando parâmetros como idade, tempo de empresa e funções desempenhadas. O estudo permite entender como características pessoais podem influenciar na percepção de riscos.

Nota-se que a dificuldade da tripulação em localizar o VOR de Tulua pode indicar uma falha nos preparativos para o pouso. Caso a tripulação tenha se baseado apenas na carta de aproximação da pista em uso, cabeceira 01, eles nunca teriam visto o VOR. A carta ILS Rwy 01 não apresenta tal auxílio, requerida pelo controlador e fundamental para pouso na pista 19. Contudo, se os tripulantes tivessem analisado previamente a carta de área, e não somente a carta de aproximação, teriam tomado ciência da VOR.

O uso do FMS pode ajudar a explicar as duas dificuldades da tripulação: garantir o afastamento em relação ao terreno e localizar a VOR de Tulua. Embora muitas tripulações utilizassem o FMS como dispositivo primário de navegação, as representações gráficas geradas neste equipamento na época não mostravam informações sobre o terreno. E o FMS também não exibe, em sua configuração padrão, auxílios de navegação situados na retaguarda da aeronave. Confiar integralmente no mostrador EHSI (Electronic Horizontal Situation Indicator), sem considerar as informações presentes nas cartas, poderia contribuir para a perda de consciência situacional em um período de elevada carga de trabalho.

É possível que os pilotos sequer soubessem, quando aceitaram a troca de pista, onde era o início do procedimento de aproximação. Possivelmente, acreditavam que se o controlador estava apresentando essa opção, então ela era viável. Embora essa possa ser uma boa hipótese nos EUA, onde na época os controladores de aproximação dos principais aeroportos já contavam com radares, a situação era diferente em Cali, na Colômbia. Sem um radar para informar a posição atual da aeronave, o controlador não sabia, de modo exato, qual a localização do Boeing da American Airlines no momento que ofereceu a troca – confiava, deste modo, na boa avaliação da tripulação.

8.1 ACIDENTE NO NEPAL

Os investigadores do acidente do Boeing 757 da American Airlines destacaram inúmeras semelhanças deste evento com o acidente envolvendo um Airbus A310-304 (prefixo HS-TID) nas proximidades de Katmandu, no Nepal, em julho de 1992. Neste caso, ocorrido anos antes do acidente de Cali, os tripulantes do Airbus colidiram contra a lateral de uma montanha enquanto executavam sua aproximação para pouso no aeroporto de Katmandu. A investigação revelou que os pilotos estavam confusos com as informações do FMS, e ambos se envolveram em tentar, repetidamente, compreender o sistema e se localizar por meio dele. A aeronave colidiu contra o terreno enquanto os dois pilotos programavam o sistema.

Do mesmo modo que na Colômbia, a tripulação em Nepal continuou investindo tempo e recurso mental na operação do FMS, ao invés de simplesmente abandoná-lo e seguir usando as cartas impressas.

Este acidente no Nepal ocorreu anos antes da colisão do Boeing nas montanhas da Colômbia, e o treinamento da American Airlines já, inclusive, incorporava a descrição do evento em Katmandu e as lições aprendidas. Ou seja, os pilotos americanos estavam cientes dos fatores que levaram ao acidente com o Airbus anos antes, especialmente o foco no FMS, perda de consciência situacional, presença de relevo nas proximidades do aeroporto de destino, entre outros fatores em comum. A empresa americana era clara em seu treinamento ao afirmar que, caso o uso do FMS esteja gerando dificuldade ou confusão, os tripulantes deviam optar pelas cartas impressas.

Embora treinados e conhecedores das consequências trágicas de eventos anteriores, aparentemente a tripulação do voo AA965 estava ocupada demais para reconhecer as semelhanças e/ou perceber a gravidade da situação. O simples treinamento, passagem de informações e análise de acidentes passados não teria sido suficiente para evitar um novo acidente, fortemente similar ao anterior. Simmon (1998) discute deficiências nos treinamentos voltados para mudança de comportamento humano.

9 OPERAÇÃO NA AMÉRICA LATINA

A American Airlines começou a operar voos para a América Latina em julho de 1991, centralizando essas operações no aeroporto de Miami. Quase todas as tripulações responsáveis por tais rotas eram baseadas nesta cidade.

A Divisão para a América Latina da American Airlines apresentava algumas orientações e advertências de segurança para suas tripulações. Uma destas

recomendações se referia as dificuldades na comunicação, em inglês, por rádio: “The controller may not understand any comments that are unexpected, out of sequence, or not in the ICAO format. You should use only ICAO accepted radio-telephony terminology”

No caso do voo AA965 o controlador revelou, para os investigadores, que teria pedido mais esclarecimentos e detalhes da rota pretendida, caso o diálogo estivesse ocorrendo em espanhol. Mesmo percebendo que algumas solicitações não faziam sentido, seu inglês limitado não lhe permitia se aprofundar em alguns tópicos. O controlador declara, porém, que acredita que havia correta compreensão do diálogo por todas as partes envolvidas.

Todos os pilotos da American Airlines responsáveis por voos para a América Latina eram obrigados a passar por um treinamento de dois dias elaborado pela própria companhia americana, além de receber um guia de referência. De modo complementar, havia treinamento anual de CRM. Alguns tópicos destacados pela American Airlines para tripulações voando para a América Latina eram:

- Warning! Arrivals may be hazards
- They'll [ATC] forget about you
- Know where are you
- When “knowing where you are” is critical
- How too determinis terrain

A American Airlines destacava que: “enroute and terminal radar coverage may be limited or non-existence” (...) “Mountains, larger and more extensive than anything you've probably ever seen, will loom up around you during descent and approach.” A partir da investigação deste acidente é possível observar que diversos pontos destacados nos documentos e no treinamento acabaram revelando-se fatores contribuintes para o acidente. Simmon (1998) avalia os motivos pelos quais estes treinamentos se mostravam ineficazes para modificar o comportamento humano.

10 SPEEDBRAKES

Os destroços revelaram que os speedbrakes encontravam-se acionados no momento da colisão. Provavelmente foram acionados no momento da mudança de pista, permitindo reduzir rapidamente a velocidade da aeronave e assim ganhar mais tempo para realizar a aproximação curta. Os freios aerodinâmicos prejudicam o desempenho da

aeronave e não devem ser mantidos acionados durante a manobra de evasão em resposta ao alerta do GPWS.

Ficou claro que existiam poucos sinais, para os pilotos, que o sistema estava acionado durante a resposta ao alarme do GPWS. Nenhum sinal de alarme era gerado na cabine neste tipo de situação, embora os speedbrakes acionados degradem a resposta ao sistema de alerta de proximidade com o terreno, como este acidente revelou. Destaca-se ainda que o próprio procedimento de resposta ao GPWS aprovado pela American Airlines não mencionava os speedbrakes.

O manual da Boeing para operação do modelo 757 (B-757 Flight Crew Training Manual) apresenta um método simples para monitorar o status do speedbrake quando este é acionado durante o voo: “o piloto precisa manter sua mão direita sobre a alavanca do speedbrake sempre que estes estiverem em uso durante o voo (...)”. A American Airlines não possuía procedimento similar.

Nem a Boeing e nem a American Airlines discutiam o uso dos speedbrakes durante manobras para evitar uma colisão contra o terreno. Apesar do acidente do voo AA965, é amplamente aceito na literatura que o emprego do GPWS reduziu fortemente as ocorrências de CFIT, embora seja incapaz de neutralizá-las por completo (IATA, 2018).

11 CONCLUSÕES

Acidentes aéreos são fruto de uma cadeia de eventos, de uma série de fatores contribuintes que, separadamente, não teria potencial de causar uma tragédia. Decisões são comumente tomadas em ambientes com informações parciais. Deste modo, mesmo um profissional treinado e capacitado pode, frequentemente, decidir de forma equivocada. No caso do voo AA965, uma decisão errada provocou elevada carga de trabalho para a tripulação, elevando o estresse, criando pressão e promovendo enorme pressão mental. A pressão criada poderia ter sido facilmente eliminada caso a decisão equivocada anterior fosse revista, porém, focada em resolver um problema que ela mesma criou, a tripulação se mostrou incapaz de refletir sobre a decisão. O comportamento humano de insistir até o final na manutenção da decisão conduziu a aeronave para um grave acidente. De Keyser e Woods denominam este comportamento de “*fixation error*” (DE KEYSER, V., WOODS, D.D., 1990).

Aliada a decisão ruim estava a dificuldade na relação homem/máquina criada pelas primeiras fases da automação. Telas pouco intuitivas, com ergonomia ainda falha,

as primeiras interfaces e códigos não eram pensadas para se adaptar ao ser humano, muito pelo contrário. Dificuldades na programação do FMS resultaram em erros que, em situações normais poderiam ser identificados e corrigidos por pilotos atentos. Porém, em um cenário de tripulantes estressados e sobrecarregados, a detecção de erros fica prejudicada (MORIARTY, 2014), impedindo sua correção. O erro é algo intrínseco ao ser humano, de modo que sua detecção e gerenciamento faz parte da rotina operacional de qualquer piloto. Tripulações estressadas, sobrecarregadas e apressadas são fator contribuinte em inúmeros acidentes, como era destacado no treinamento da American Airlines. Porém, os tripulantes não se percebiam deste modo, ou seja, não entendiam que as recomendações do curso deveriam ser aplicadas naquele voo. Simmon (1998) discute este afastamento entre a rotina de treinamento e a aplicação prática do ensinado.

Estes e outros fatores levaram a um quadro de baixa consciência situacional, fenômeno letal presente em inúmeros acidentes. Os pilotos, que deveriam conduzir a aeronave, agora pouca ideia faziam sobre sua localização. Apesar de todos os modernos recursos computacionais de navegação embarcados no Boeing estarem funcionando perfeitamente, a tripulação não conseguia se localizar, descendo cada vez mais em meio ao relevo presente nas proximidades de Cali.

Mais do que compreender como o acidente do voo AA965 aconteceu, o mais importante é observar que parte significativa dos fatores contribuintes existentes em dezembro de 1995 ainda permanecem ativos nos dias atuais. Reconhecer que um ou mais erros humanos agiram na cadeia de eventos deste acidente não permite evitar que novas tragédias similares aconteçam. Humanos vão continuar errando, por melhor que seja o seu treinamento e os sistemas que estão operando. A investigação moderna não deve apenas apontar as falhas cometidas, deve ir além, indicando o que levou o profissional a assumir um determinado comportamento. O fator motivador, ou fator influenciador de performance, é frequentemente uma informação mais útil na prevenção de acidentes do que conhecer o erro humano em si. Este artigo, juntamente com o relatório oficial de investigação do acidente (AERONAUTICA CIVIL of THE REPUBLIC OF COLOMBIA, 1996) e o texto de Simmon (1998), formam uma poderosa base de conhecimento e reflexão, cujo objetivo maior é evitar que tragédias semelhantes aconteçam novamente.

REFERÊNCIAS

Aeronautica Civil of the Republic of Colombia; “Aircraft Accident Report Controlled Flight Into Terrain, American Airlines Flight 965, Boeing 757-223, N651AA, Near Cali, Colombia, December 20, 1995”, 1996. Disponível em: <https://skybrary.aero/bookshelf/books/1056.pdf>

ALPA (Air Line Pilots Association); “Human Factors Report on the Tenerife Accident”. Disponível em: <http://www.project-tenerife.com/engels/PDF/alpa.pdf>

CCPS (Center for Chemical Process Safety); “Guidelines for Risk Based Process Safety”; Wiley; 2007; ISBN: 978.0.470.16569.0

CENIPA / SIPAER (Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos); “PT-LSD LR-25D, 02/03/96, Relatório Final”; 1996; Disponível em: http://sistema.cenipa.aer.mil.br/cenipa/paginas/relatorios/rf/pt/PT-LSD_02-03-1996.pdf

CSB (U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board); “Investigation Report - Refinery Explosion and Fire”. Report No. 2005-04-i-tx; 2007; Disponível em: <https://www.csb.gov/bp-america-refinery-explosion/>

de Boer, R.J., Hurts, K.; “Automation Surprise: Results of a field survey of Dutch pilots”; Aviation Psychology and Applied Human Factors. 7(1), 28–41. 2017
DOI: 10.1027/2192-0923/a000113

de Keyser, V., Woods, D.D.; “Fixation Error: Failures to Revise Situation Assessment in Dynamic and Risky Systems”; Systems Reliability Assessment; Vol 6; 1990; DOI: 10.1007/978-94-009-0649-5_11

Dehais, F., Peysakhovich, V., Scannella, S., Fongue, J.; “ ‘Automation Surprise’ in Aviation: Real-Time Solutions”. 33rd ACM Conference; 2015. DOI: 10.1145/2702123.2702521 2015.

FAA (Federal Aviation Administration); “Instrument Flying Handbook”. 2012. ISBN: 978-1-61954-233-4.

Flight Safety Foundation; “FSF ALAR Briefing Note 7.1 – Stabilized Approach”; Flight Safety Digest. Agosto / Dezembro, 2000. Disponível em: https://flightsafety.org/wp-content/uploads/2016/09/alar_bn7-1stabilizedappr.pdf

IATA (International Air Transport Association); “Controlled Flight Into Terrain Accident Analysis Report 2008-2017 Data”; 2018. ISBN: 978-92-9229-717-6 Disponível em: <https://www.iata.org/contentassets/06377898f60c46028a4dd38f13f979ad/cfit-report.pdf>

Leandro, L.J.; Canavez, L.V.; Santos Silva, U.S.A.; “Análise da percepção à exposição aos riscos: um estudo qualitativo em uma empresa do setor de geração e transmissão de energia elétrica”; Brazilian Journal of Development. Vol.6, No. 5, 2020. DOI:10.34117/bjdv6n5-528

Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/10645/8896>

Mark, R., e Blair, J., “Chart Comparison”; Flying Magazine. Ed. Dezembro de 2020.

Moriarty, D., “Practical Human Factors for Pilots”; 1ª Ed.; Academic Press; 2014. ISBN: 978.0124.202.443.

NTSB (National Transportation Safety Board); “Descent Below Visual Glidepath and Impact With Seawall Asiana Airlines Flight 214 Boeing 777-200ER, HL7742 San Francisco, California July 6, 2013”; 2014; Disponível em:
<https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/AAR1401.pdf>

NTSB (National Transportation Safety Board); “Aircraft Accident Report, Avianca, Boeing 707-321B, HK 2016, Fuel Exhaustion, New York, January 25, 1990”. 1991. Disponível em:
<http://libraryonline.erau.edu/online-full-text/ntsb/aircraft-accident-reports/AAR91-04.pdf>

Salas, E., Maurino, D.; “Human Factors in Aviation”, 2ª Ed.; AP Elsevier; 2010; ISBN: 978.012374518

Simmon, D.A.; “Boeing 757 CFIT Accident at Cali, Colombia, Becomes Focus of Lessons Learned”; Flight Safety Digest. Vol. 17, No. 5/6, Maio – Junho, 1998; Flight Safety Foundation. 1998. Disponível em: https://flightsafety.org/fsd/fsd_may-june98.pdf

Vaz Junior, C.A.; “Remembering Tenerife: 40 Years Later”; SF Journal of Aviation and Aeronautical Science; Vol. 1, Ed. 2, 2018. Disponível em:
<https://scienceforecastoa.com/Articles/SJAAS-V1-E2-1012.pdf>

Vaz Junior, C.A.; “Comportamento humano e automação como fatores contribuintes em acidentes: estudo de caso de acidente aéreo em São Paulo, Brasil”; Brazilian Journal of Development; Vol. 5; No. 9; 2019a; DOI:10.34117/bjdv5n9-103. Disponível em:
<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/3214/3099>

Vaz Junior, C.A.; “Lições Aprendidas de Incidente Envolvendo Aeronave Modelo Boeing 737-8 (MAX): Estudo de Caso do Voo LNI043”; Brazilian Journal of Development; Vol. 5; No. 12; 2019b; DOI: 10.34117/bjdv5n12-105. Disponível em:
<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/5252/4790>

Wiener, E.L.; “Human Factors of Advanced Technology (Glass Cockpit) Transport Aircraft”; NASA; 1989. Disponível em:
<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19890016609/downloads/19890016609.pdf>

Wiener, E.L., Curry, R.E.; “Flight-Deck Automation: Promises and Problems”; NASA; 1980. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19800017542>

Woods, D.D.; e Sarter, N.B.; “Learning From Automation Surprises and Going Sour Accidents in Cognitive Engineering in the Aviation Domain”, 2000. Disponível em:
<https://trid.trb.org/view/690139>