

Técnicas de identificação forense para colisão com aves utilizadas na investigação do acidente no Aeroporto de Wiley Post, Oklahoma, 2008¹

Carla Dove^{2,3}, Nor Faridah Dahlan², Marcy Heacker²

¹ Traduzido e adaptado para o português por Henrique Rubens Balta de Oliveira

² Smithsonian Institution, Feather Identification Lab, National Museum of Natural History, P.O. Box 37012, Washington, DC 20013-7012, USA

³ dovec@si.edu

⁴ Artigo originalmente publicado no *Human-Wildlife Conflicts Journal*, v.3, n.2, pp.179-185, Fall 2009

RESUMO: Em 4 de março de 2008, um Cessna Citation 1 (Modelo 500) caiu em área de bosque próxima ao Aeroporto de Wiley Post, Oklahoma, vitimando todas as cinco pessoas a bordo da aeronave. Este artigo descreve detalhadamente os métodos e os conhecimentos forenses utilizados pelo Laboratório de Identificação de Penas do Smithsonian Institution para identificar a ave envolvida nesse acidente por colisão com fauna. Nós utilizamos métodos padronizados de análise de penas inteiras, análise microscópica e análise de DNA (*barcoding*) neste evento para identificar o pelicano-branco-americano (*Pelecanus erythrorhynchos*), como a espécie de ave que causou este acidente fatal. Nós também ressaltamos a importância da investigação de campo e da coleta de evidências serem feitas apropriadamente para que resultados mais precisos sejam obtidos, em especial neste evento, mas, de maneira geral, em todas as colisões com espécimes da fauna.

Palavras chave: Colisão de Aeronaves. Colisão com Ave. Acidente. DNA. Pena. Conflitos Homem-Fauna. Identificação. *Pelecanus erythrorhynchos*. Pelicano-Branco. Aeroporto de Wiley Post.

Forensic bird-strike identification techniques used in an accident investigation at Wiley Post Airport, Oklahoma, 2008⁴

ABSTRACT: On March 4, 2008, a Cessna Citation 1 (Model 500) crashed in a wooded area near Wiley Post Airport, Oklahoma, killing all 5 people on board. This paper describes the detailed forensic methods and expertise used by the Smithsonian Institution's Feather Identification Lab to identify the bird that caused this bird-strike incident. We used standard methods of whole-feather analysis, microscopic examination, and DNA barcoding in this case to identify American white pelican (*Pelecanus erythrorhynchos*) as the bird species involved in this fatal crash. We also report the importance of proper field investigation and evidence collection for accurate results, particularly for this case, and generally for all bird-strike identifications.

Key words: Aircraft Collision. Bird Strike. Crash. DNA. Feather. Human-Wildlife Conflicts. Identification. *Pelecanus erythrorhynchos*. White Pelican. Wiley Post Airport.

Citation: Dove, C. J., N. F. Dahlan, and M. Heacker. 2009. Forensic bird-strike identification techniques used in an accident investigation at Wiley Post Airport, Oklahoma, 2008. *Human-Wildlife Conflicts* 3:179-185.

1 INTRODUÇÃO

Colisões de aeronaves com aves (*bird strikes*) são preocupações para a segurança de voo e para a viabilidade econômica do setor aeronáutico (Dolbeer & Wright, 2008, 2009; Dale, 2009). O *Smithsonian Institution* tem feito a identificação de espécies de aves por meio de fragmentos de penas desde o início da década de 60. Nós identificamos aves em vários níveis de taxonomia utilizando as características morfológicas de penas como: tamanho, forma, cor e textura; características microscópicas da forma dos nódulos, comprimento de bárbulas, distribuição e padrões de pigmentação (Chandler, 1916; Brom, 1991; Dove, 1997, 2000; Rajaram, 2002; Dove & Agreda, 2007); e, mais recentemente, para análise de colisão com aves utilizando análise genética (*barcoding*) (Dove et al., 2008). Para colisões com aves, tais técnicas podem ser usadas independentemente ou combinadamente, caso os vestígios sejam diminutos ou insuficientes para usar somente uma das técnicas. As identificações são também ratificadas por evidências circunstanciais relacionadas ao evento (ex.: data, localização geográfica, relatos de testemunhas oculares) para ajudar na identificação final de es-

AIRCRAFT COLLISIONS with birds (bird strikes) are a safety and economic concern for the aviation industry (Dolbeer and Wright 2008, 2009; Dale 2009). The Smithsonian Institution has been providing bird identifications from fragmentary feather evidence of bird strikes since the early 1960s. We identify birds to various taxonomic levels using morphological feather characters of size, shape, color, and texture; microscopic characters of node shape, barbule length, distribution, and pigmentation patterns (Chandler 1916; Brom 1991; Dove 1997, 2000; Rajaram 2002; Dove and Agreda 2007); and, more recently, for bird-strike analysis by using DNA barcoding (Dove et al. 2008). For bird-strike cases, these techniques can be used independently or in combination, if the evidence from the bird-strike mishap is minute or insufficient for any single technique. Identifications also are corroborated with circumstantial evidence from the bird-strike event (e.g., date, geographic location, eye witness reports) to help validate the final species identifications.

On March 4, 2008, at approximately 1515 hours Central Time, a Cessna Citation 1 (Model 500) crashed in a wooded

pécies.

Em 4 de março de 2008, por volta das 15h15 (hora central americana), um Cessna Citation 1 (Modelo 500) caiu em uma área arborizada, cerca de 7km do Aeroporto de Wiley Post, Oklahoma, vitimando os cinco ocupantes a bordo. Uma testemunha ocular informou ter visto um bando de aves na área em torno do horário em que o acidente ocorreu (*Professional Pilot News*, 2008). Dois dias após o acidente, o Laboratório de Identificação de Penas do Smithsonian Institution (Museu Nacional de História Natural) foi contactado pelo *National Transportation Safety Board* (NTSB) para auxiliar na análise das evidências coletadas deste acidente. O Citation estava indo para Mankato, Minnesota, e o acidente ocorreu pouco depois da decolagem. O gravador de voz da cabine não estava em funcionamento, dificultando ainda mais a investigação.

Este artigo descreve as técnicas empregadas pelo Laboratório de Identificação de Penas para todas as colisões com aves, e, especificamente, detalha os métodos utilizados na investigação do acidente em Wiley Post. A informação acumulada a partir da investigação e da identificação de espécies de aves envolvidas em acidentes e incidentes graves são fundamentais para a implantação de programas de gerenciamento para reduzir o risco de colisões com aves, para melhorar o projeto de motores e de aeronaves, para apoiar a investigação de acidentes; além de contribuir de maneira significativa para conhecermos os problemas que podem ser causados pela colisão com aves e outros animais em termos de segurança operacional na aviação.

2 MÉTODOS

2.1 REPORTE DE EVENTOS DE INTERESSE

As colisões com aves são reportadas “online” de acordo com procedimentos estabelecidos pela United States Air Force (USAF) e pela Federal Aviation Administration (FAA). Normalmente, as evidências de aves (material orgânico) são coletadas pelo pessoal de campo (ex.: pilotos, equipes de manutenção, biólogos de aeródromos) em conformidade com procedimentos estabelecidos por meio de cada agência (FAA, 2009). Uma cópia impressa do reporte de colisão com fauna, incluindo o número identificador único do evento, e todos os demais detalhes pertinentes à colisão devem ser anexados ao pacote de amostras, encaminhando-o para fins de identificação. Para casos internacionais, as autorizações e certificados necessários, relativos às exigências de exportação, são também anexadas às evidências coletadas.

No caso do Aeroporto de Wiley Post, a equipe de fauna do *U.S. Department of Agriculture* (USDA) / *Animal and Plant Health Inspections Service* (APHIS), em Oklahoma, tomou conhecimento das circunstâncias do acidente, e imediatamente ofereceu ajuda para a FAA e para o NTSB na coleta de vestígios desse acidente. O NTSB conduziu a investigação e passou a ser o ponto de contato, assumindo responsabilidade por todas as informações, incluindo a divulgação da identificação de aves, reportes, contatos com a mídia e questionamentos públicos, até a conclusão da investigação e a determinação da causa do acidente.

area about 7 km from Wiley Post Airport, Oklahoma, killing all 5 people on board. An eyewitness reported seeing a flock of birds in the area about the time of the crash (Professional Pilot News 2008). Two days after the crash, the Feather Identification Lab at the Smithsonian Institution (National Museum of Natural History) was contacted by the National Transportation Safety Board (NTSB) to assist with the analysis of evidence recovered from this accident. The Cessna Citation was bound for Mankato, Minnesota, and crashed shortly after takeoff. The cockpit voice recorder was not operating during the flight, adding to the difficulty of this investigation.

This paper describes the techniques used by the Feather Identification Lab for all bird-strike identification cases, and it specifically details the methods applied to the accident investigation at Wiley Post. The cumulative information obtained from identification of bird species from bird-strike mishaps is vital to proper implementation of management plans to reduce the risk of bird strikes, improve engine and aircraft design, assist with accident investigations; and it significantly contributes to our knowledge of the damage that birds and wildlife can cause to aviation safety.

Methods

Reporting

Bird strikes are reported online according to procedures established by the U.S. Air Force (USAF) and the Federal Aviation Administration (FAA). Bird evidence (bird remains) typically is collected by field personnel (e.g., pilots, maintenance crew, airport biologists) according to procedures established by each agency (FAA 2009). A copy of the wildlife strike report, including the unique case number and all details pertaining to the mishap is attached to the packaged bird remains and submitted to us for identification. For international cases, the proper permits and certificates for international export requirements also are included with the bird remains.

In the Wiley Post Airport case, the staff wildlife biologist for the U.S. Department of Agriculture (USDA)/Animal and Plant Health Inspections Service (APHIS) program in Oklahoma became aware of the reported circumstances surrounding the crash and immediately offered to assist the FAA and National Transportation Safety Board (NTSB) with the evidence-collecting for this event. The NTSB, took the lead in this investigation and was the designated point of contact. All information, including dissemination of the bird identification, was the responsibility of the NTSB and all reports, media contact, and public inquiries went through the NTSB until the investigation was closed. NTSB cases are open until the cause of the accident is determined.

2.2 COLETA DE AMOSTRAS

Restos de aves, tais como penas inteiras e grandes amostras de material orgânico, rotineiramente são coletadas ou raspadas do material que aderiu à aeronave. Se aves inteiras ou carcaças quase completas forem encontradas, penas devem ser arrancadas (nunca cortadas) do peito, das asas, da cauda e do dorso. As penas devem ser então colocadas em sacos plásticos hermeticamente fechados e identificados, com fecho que impeça a perda do material. Caso as amostras estejam ressecadas demais para serem removidas por raspagem, álcool 70% deve ser pulverizado sobre a área da amostra para amolecer o material, antes de coletar a amostra. O álcool previne a formação de mofo na amostra, além de ser especialmente importante para o sucesso da extração do ácido desoxirribonucleico (DNA). Quando somente sangue ou tecidos estão disponíveis, amostras de DNA podem ser coletadas utilizando cartões *Whatman® FTA* (Whatman International Ltd., Kent, U.K.).

A identificação morfológica tradicional de fragmentos de penas tem maior probabilidade de sucesso se realizada por pessoal especializado que trabalhe junto a coleções de museus, onde os fragmentos podem ser limpos de forma adequada (Laybourne & Dove, 1994) para serem então, microscopicamente, examinados para a obtenção de amostras para análise de DNA. Frequentemente, a identificação por penas depende do exame de semiplumas e de partes plumáceas (penugens) (Figura 1).

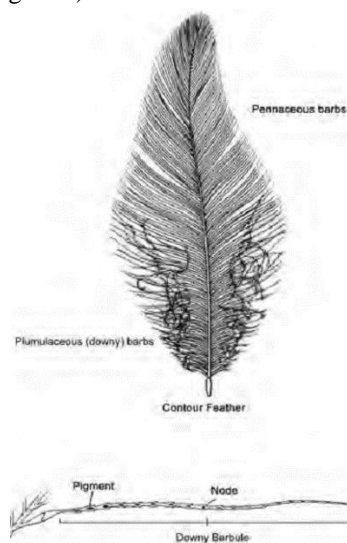


Figura 1: Topografia de uma pena de contorno (tetrizes) mostrando semiplumas e partes plumáceas (macias), bem como características microscópicas típicas (p.ex.: pigmento, nódulo) de bárbulas menores.

Figure 1: Topography of a contour feather showing the pennaceous and plumaceous (downy) parts of a feather and some typical microscopic characters (e.g., pigment, node) of the downy barbules.

No acidente de Wiley Post, o biólogo do USDA que veri-

Sampling

Bird remains, such as whole feathers and large biological samples, usually are collected simply by picking or scraping the material off the aircraft. If whole birds or nearly complete carcasses are encountered, feathers are plucked (not cut) from the breast, wings, tail, and back of the bird. The feathers are then placed in marked zip-lock plastic bags. If the sample is too dry to be removed by scraping, 70% alcohol is sprayed on the area to loosen the materials before sampling or wiping. The alcohol helps prevent the growth of mold on the sample and is especially important to the success of DNA extraction. In cases where only blood or tissue is present, DNA samples can be collected using Whatman® FTA cards (Whatman International Ltd., Kent, U.K.).

Traditional morphological identifications of fragmented feathers are best done in a museum research collection where the remains of whole feathers or feather fragments can be properly cleaned (Laybourne and Dove 1994) and examined microscopically or sampled for DNA analysis. Feather identification often relies on examination of both the pennaceous and plumaceous (downy) feather barbs (Figure 1).



Figura 2: Biólogos do USDA (Phil Robinson, à esquerda, e Karen Duncan, à direita) coletando indícios no local do acidente da aeronave perto do Aeroporto de Wiley Post, Oklahoma. A cauda da aeronave (ao fundo) continha restos de aves (DNA e filamentos de plumagem) que foram importantíssimos para a identificação da espécie neste caso. (Foto, cortesia de Phil Robinson).

Figure 2: USDA wildlife biologists (Phil Robinson, left, and Karen Duncan, right) collecting evidence at the scene of the airplane crash near Wiley Post Airport, Oklahoma. The tail section (background) of the aircraft contained bird remains (DNA and feather barbs) that were vital to the species identification in this case. (Photo courtesy Phil Robinson).

In the Wiley Post Airport case, the USDA wildlife biol-

ficou o local do acidente em 6 de março (dois dias após o evento) reconheceu um padrão de “manchas de impacto” na cauda da aeronave (Figura 2) e, imediatamente, retirou amostras desta parte da aeronave utilizando cartões Whatman® FTA e seus coletores “tipo esponja”. As amostras iniciais foram retiradas, ainda no local do acidente, das partes inferior e superior do estabilizador horizontal direito, do lado direito do estabilizador vertical e do interior da carenagem direita.

Vinte e quatro lâminas microscópicas foram preparadas, de acordo com os métodos descritos por Dove (2000), e, aproximadamente, 100 amostras de DNA foram obtidas do total de amostras recolhidas em campo. Nas semanas seguintes, partes da cabine, do para-brisas e do motor foram encaminhadas ao Laboratório de Identificação de Penas do Smithsonian Institution, onde cada conjunto e cada peça foram examinados em busca de vestígios de aves. A última amostra foi coletada dos destroços em 1º de julho de 2008, nas instalações do NTSB em Washington, DC, em busca de vestígios de aves num pedaço do duto de entrada do motor direito.

Para a análise do DNA, foram feitas duas perfurações em cada cartão Whatman® FTA, que foram processados de acordo com as instruções de seu fabricante; foram processadas outras amostras diminutas de tecido que estavam presentes nos coletores “tipo esponja”, de acordo com os procedimentos de extração de tecido DNA usando o kit de extração de tecidos Qiagen DNeasy® para sangue e tecido (Qiagen Inc., Valencia, Calif.). Nós comparamos as sequências de DNA com o banco de dados do Barcode of Life Database (BoLD) conforme descrito por Dove et al. (2008).

3 RESULTADOS

3.1 IDENTIFICAÇÃO DE PENAS

Encontramos um pedaço de uma pena pequena de cor branca e sete filamentos de pena (três plumáceos e quatro semiplumas) associados às evidências do acidente de Wiley Post. O pedaço de pena branca foi recuperado por um investigador do NTSB a partir de material orgânico impregnado ao redor de um parafuso (rebite) de parte do material desintegrado do duto da entrada de ar do motor direito que sofreu a ação de fogo. Os biólogos do USDA coletaram no local do acidente diminutos filamentos de pena que foram grudados nos cartões Whatman® FTA e nos cotonetes utilizados para coletar material da aeronave. Os três filamentos plumáceos associados com os cotonetes continham caracteres microscópicos suficientes para uma possível identificação. Estas amostras foram coletadas na parte superior e inferior do estabilizador horizontal direito e lado direito do estabilizador vertical. As características microscópicas das três amostras de filamentos eram semelhantes entre si e incluíam filamentos não pigmentados com longas pontas e pequenas bárbulas na parte distal (Figura 3). Estes caracteres microscópicos são típicos de diversas espécies de aves que podem ocorrer em Oklahoma durante o mês deste acidente (abril), incluindo as seguintes ordens de aves: Gaviiformes (mabelhas), Podicipediformes

ogist who inspected the crash site on March 6 (2 days after the event) recognized a splatter pattern on the tail section of the aircraft (Figure 2) and immediately sampled the area using Whatman® FTA cards and associated sponge applicators. Initial field samples were obtained from the top right horizontal stabilizer, bottom right horizontal stabilizer, right side of the vertical stabilizer, and the interior right cowling.

Twenty-four microscopic slides were made according to methods described in Dove (2000), and nearly 100 DNA samples were submitted from the total field samples. In subsequent weeks, items from the cockpit, windshield, and various areas of the engine were transferred to the Smithsonian's Feather Identification Lab where each package and part was examined for bird evidence. A final sampling event occurred on July 1, 2008, at the NTSB office in Washington, D.C., to search for bird material on a piece of the right engine's inlet duct.

For DNA analysis, we took 2 hole-punches from each Whatman® FTA card and processed them according to the manufacturer's instructions; we processed additional minute tissue samples from the sponge applicators according to DNA tissue extraction procedures using Qiagen DNeasy® Blood and Tissue Kit (Qiagen Inc., Valencia, Calif.). We compared the DNA sequences to the Barcode of Life Database (BoLD) as described in Dove et al. (2008).

Results

Feather identification

We found a single portion of a small white feather and 7 feather barbs (3 downy barbs and 4 pennaceous barbs) associated with evidence in the Wiley Post Airport accident. The white, partial feather was retrieved by an NTSB investigator from material wrapped around a riveted bolt that was part of the disintegrated material from the burned right engine's inlet duct. The USDA wildlife biologists in the field at the time of the accident collected the minute feather barbs attached to the Whatman® FTA cards or included with the sponge applicators that were used to swab the aircraft. The 3 downy feather barbs associated with the sponge applicators contained microscopic characters sufficient for possible identification. These samples were collected from the aircraft's top right horizontal stabilizer, bottom right horizontal stabilizer, and right side of the vertical stabilizer. The microscopic characters of the 3 samples of downy barbs were similar to each other and included unpigmented barbs and short barbules with long prongs on the distal portion of the barbules (Figure 3) These microscopic characters are typical of several birds that could occur in Oklahoma during the month of this accident (April) and includes the avian Orders: Gaviiformes (loons), Podicipediformes (grebes), and Pelecaniformes

(mergulhões), e Pelecaniformes (pelicanos, cormorões, etc.). Os suspeitos de terem colidido com a aeronave incluíam mobilhas-grandes (*Gavia immer*), mergulhões-de-pescoço-castanho (*Podiceps auritus*), mergulhões-de-pescoço-preto (*Podiceps nigricollis*), mergulhões-caçadores (*Podilymbus podiceps*), mergulhões-ocidentais (*Aechmophorus occidentalis*), corvos-marinhos-de-orelhas (*Phalacrocorax auritus*) e pelicanos-brancos-americanos (*Pelecanus erythrorhynchos*).

Devido ao fato de que os vestígios de plumagem eram muito pequenos, e os caracteres microscópicos eram semelhantes em muitas espécies, nós dependíamos da análise do DNA para orientar a identificação inicial. Os resultados da análise do DNA para identificação em colisões com aeronaves são normalmente obtidos em cerca de seis dias (Dove et al., 2008), mas neste caso prioritário obtivemos os resultados em quatro dias.

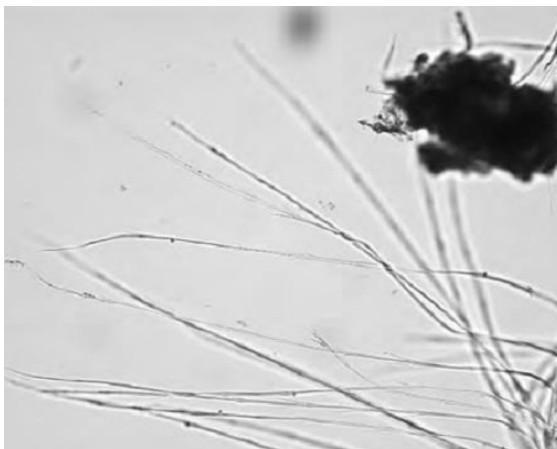


Figura 3: Fotomicrografia de uma amostra de pena (plumácea) coletada da cauda do Cessna Citation acidentado próximo ao Aeroporto de Wiley Post, Oklahoma. As características microscópicas diagnosticadas nesta amostra de filamentos de penas incluem bárbulas curtas com longas pontas distais.

Figure 3: Photomicrograph of a downy feather sample collected from the tail section of the Cessna Citation that crashed near Wiley Post Airport, Oklahoma. The diagnostic microscopic characters of the downy barbs in this sample include short barbules with long, distal prongs.

Em 11 de março de 2008, obtivemos > 620 porções de pares de bases do gene citocromo oxidase 1 (CO1) do DNA mitocondrial de três das amostras iniciais de cartão do Whatman® FTA e de amostras de tecidos. Todas as três sequências combinaram com o banco de dados BoLD em >99% das sequências de biblioteca para o pelicano-branco-americano. As amostras de pelicano-branco-americano foram coletadas das partes superior e inferior direitas do estabilizador horizontal e do lado direito do estabilizador vertical. Não encontramos vestígios de penas ou DNA no interior da carenagem do motor.

O pedaço de pena branca e os filamentos de semiplumas coletados após o evento no Aeroporto de Wiley Post não serviram para a identificação microscópica de estruturas. Mas, o pedaço de pena confirmou que se tratava de ave desconhecida de cor branca, o que corrobora com o relato de uma testemunha ocular do acidente (Fros, 2008).

(pelicans, cormorants, etc.). From these Orders of birds, possible suspects included common loons (*Gavia immer*), horned grebes (*Podiceps auritus*), eared grebes (*P. nigricollis*), pied-billed grebes (*Podilymbus podiceps*), western grebes (*Aechmophorus occidentalis*), double-crested cormorants (*Phalacrocorax auritus*), and American white pelicans (*Pelecanus erythrorhynchos*).

Because the feather evidence was minute, and the microscopic characters were similar to multiple species, we relied on the DNA analysis for initial identification guidance. DNA results usually can be obtained for bird-strike identifications in about 6 days (Dove et al. 2008), but in this priority case we obtained results in 4 days.

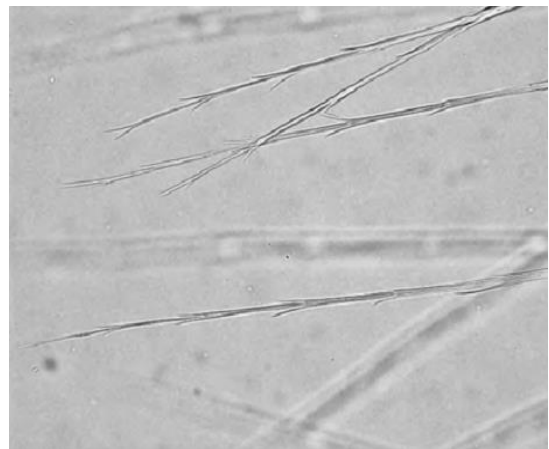


Figura 4: Fotomicrografia dos filamentos de penas do pelicano-branco-americano (*Pelecanus erythrorhynchos*) mostrando a semelhança microscópica com a amostra desconhecida (Figura 3) do acidente de Wiley Post.

*Figure 4: Photomicrograph of downy barbs of American white pelican (*Pelecanus erythrorhynchos*) showing the microscopic similarity to the unknown sample (Figure 3) from the Wiley Post accident.*

On March 11, 2008, we obtained >620 base-pair portions of mitochondrial DNA cytochrome oxidase 1 (CO1) from 3 of the initial Whatman® FTA card or tissue samples. All three of the sequences matched the BoLD database at >99% to the library sequences for American white pelican. Samples testing positive for American white pelican were taken from the aircraft's top right horizontal stabilizer, the bottom right horizontal stabilizer, and the right side of vertical stabilizer. We did not find feather or DNA evidence from the interior engine cowling.

The white, partial feather and the pennaceous feather barbs from the Wiley Post Airport event were not useful for microscopic identification. The white, partial feather confirmed that the unknown bird had white feathers, which supported 1 eyewitness account of the incident (Fros 2008).

Depois que as amostras de DNA forneceram uma associação confiável com uma espécie, nós reexaminamos as estruturas microscópicas das bárbulas de penas deste acidente e confirmamos que as características existentes nas amostras de penas eram consistentes com o pelicano-branco-americano (Figura 4). A mobilha-grande e as várias espécies de mergulhões foram descartadas como prováveis envolvidos no acidente, pois estas espécies têm penas com pigmentos pontilhados nos internódulos das bárbulas. Nós descartamos os corvos-marinhos-de-orelhas porque as pontas distais de suas penas são, tipicamente, mais curtas e em menor número do que aquelas existentes na amostra do *Cessna*. Esta espécie também não possui penas brancas em sua plumagem nesta época do ano, o que não era consistente com o pedaço de pena branca de nossa amostra.

Não encontramos qualquer material de plumagem ou DNA de ave em nenhuma das amostras de materiais da cabine, do motor esquerdo, ou do para-brisas. Nós recolhemos fibras sintéticas, cabelo humano e fibras variadas de algumas das amostras. Não foi possível determinar se >1 indivíduo (ave) se envolveu no acidente, nem se o pedaço de pena branca recolhido do material do motor direito era do mesmo indivíduo (ave) atingido pela cauda da aeronave. Todas as amostras de penas, lâminas microscópicas e outros itens de evidência foram devolvidos ao investigador do NTSB em junho de 2008.

4 DISCUSSÃO

Embora o processo de identificação seja semelhante em todos os eventos de colisão com ave, o número de amostras analisadas, a abrangência dos exames, o tempo dispendido e a comunicação interagências foram muito mais intensos e detalhados nesta investigação, já que >100 amostras foram analisadas. O conhecimento apropriado e o reconhecimento de várias fibras microscópicas (isto é, sintéticas, plantas, cabelo, etc.) foram vitais para o rápido processamento de material neste caso. Das centenas de lâminas microscópicas de amostras de DNA que foram examinadas neste acidente, encontramos apenas sete fragmentos de penas e três amostras de DNA viáveis de uma das maiores aves da América do Norte. O peso médio de um pelicano-branco-americano é de 7,5kg (Sibley, 2000). Esta ave é comumente encontrada em *Oklahoma* durante a primavera (Newell, 2006). Em 14 de março de 2008, o biólogo da USDA que auxiliou *in loco* na investigação observou 17 pelicanos-brancos no Lago Overholser, a menos de 2km do local do acidente. O pelicano-branco-americano é reconhecido como uma das 36 espécies na América do Norte com massa corporal acima dos requisitos de certificação, estabelecidos pela FAA, para a estrutura, o para-brisas e os motores de aeronaves (Dolbeer & Eschenfelder, 2003). O banco de dados de colisões do *Bird/Wildlife Aircraft Strike Hazard* (BASH) tem registros de 20 colisões com pelicanos-brancos-americanos, desde 1985, totalizando > 257 milhões de dólares em danos (E. LeBoeuf, Chefe do USAF-BASH, comunicação pessoal). Desde 2004, o banco de dados de colisões com fauna da FAA tem registros de cinco colisões com pelicanos-brancos-americanos, sendo que dois deles ocor-

After the DNA samples provided a confident species match, we reexamined the microscopic structures of the downy barbules found in the Wiley Post Airport accident case and confirmed that the feather characters were consistent with those of American white pelican (Figure 4). We eliminated the common loon and various species of grebes because those species typically have stippled pigment in the internodes of the downy barbules. We eliminated double-crested cormorants because the distal downy prongs are typically shorter and fewer in number than those of the Cessna sample. That species also does not have white feathers in the plumage at that time of the year, which was inconsistent with the white, partial pennaceous feather in our sample.

We did not find any feather material or bird DNA in any of the samples from the cockpit materials, left engine, or windshield. We recovered additional synthetic fibers, human hair, and miscellaneous fibers from some of the samples. We were unable to determine if >1 bird was involved in this accident or if the white partial feather from the right engine material was the same bird that struck the tail section. All of the feather samples, microscope slides, and other items of evidence were returned to the NTSB investigator in June 2008.

Discussion

Although the identification process is similar in all bird-strike mishaps, the number of samples analyzed, comprehensive examination, time involved, and interagency communication was much more intensive and detailed for this investigation because >100 samples were analyzed in this case. Proper knowledge and recognition of various microscopic fibers (i.e., synthetic, plant, hair, etc.) were vital to the rapid processing of the material in this case. From the hundreds of microscope slides and DNA samples that we examined from this accident, we found only 7 feather fragments and 3 viable DNA samples from one of the largest birds in North America. The average weight of the American white pelican is 7.5 kg (Sibley 2000). The American white pelican is common during the spring in Oklahoma (Newell 2006). On March 14, 2008, the USDA staff biologist who assisted with the on-site investigation noted 17 white pelicans at Lake Overholser, <2 km from the crash site. The American white pelican has been recognized as one of the 36 species in North America with a body mass that exceeds the maximum bird mass standards established by the FAA that must be tested for airframes, windshields, and engines (Dolbeer and Eschenfelder 2003). The U.S. Air Force Bird-Animal Aircraft Strike Hazard (BASH) wildlife-strike database includes 20 mishaps involving American white pelicans since 1985, totaling >\$257 million in damages (E. LeBoeuf, USAF-BASH chief, personal communication).

The FAA Wildlife Strike database includes 5 American white pelican strikes since 2004 with two of those occurring in April 2008 in Colorado and Minnesota (S. Wright, FAA

reram em abril de 2008 no Colorado e em Minnesota (S. Wright, Gerente do banco de dados de colisões com fauna da FAA, comunicação pessoal). Além disso, esta espécie está passando por um aumento populacional de 4,3% (taxa média anual) na América do Norte (Sauer et al., 2008), sendo previsto que represente maior risco para a aviação geral nas próximas décadas, com o crescente interesse por jatos muito leves (Dolbeer et al., 2008).

A comunicação das colisões com aves (fauna) e a identificação das espécies colididas são obrigatórias na USAF, enquanto a FAA recomenda tal ação com base na voluntariedade (Cleary & Dolbeer, 2005). Anualmente, na USAF, mais de 50% das aves atingidas são identificadas (E. LeBoeuf, Chefe do USAF-BASH, comunicação pessoal), ao passo que na aviação civil, a taxa estimada de identificação de espécies é de apenas 24% (Dolbeer & Wright, 2008). Os programas de gerenciamento de risco de fauna (PGRF) para reduzir tal problema dependem da identificação precisa das espécies como primeiro passo na prevenção. As técnicas e os métodos aqui descritos demonstram a capacidade de identificar espécies de aves a partir de vestígios diminutos, sendo esperado que isto venha a encorajar a comunidade aeronáutica a participar dos programas de redução de risco de fauna (BASH) que, em última análise, irão melhorar a segurança pela definição exata das espécies de aves que representam risco às aeronaves.

A análise detalhada do acidente no Aeroporto de Wiley Post e o cuidado tomado para coletar evidências no local do acidente foram vitais para o sucesso na identificação da espécie de ave envolvida neste evento. As equipes de investigação de acidentes precisam desenvolver protocolos para garantir que, existindo a possibilidade de que uma ave tenha contribuído para um acidente ou uma ocorrência com danos, os restos desta ave sejam procurados, identificados e recolhidos por biólogos familiarizados com o trabalho de coleta de evidências de colisões com aves (fauna).

Os avanços tecnológicos nas técnicas de DNA para a identificação de espécies atingidas por aeronaves (Dove et al., 2008) e a experiência acumulada ao longo de anos realizando exames microscópicos em fragmentos de penas permitiram 100% de confiabilidade na identificação da ave neste caso. Nós obtivemos seis amostras de plumagem e as três amostras de DNA a partir das evidências iniciais coletadas na cauda da aeronave, reforçando a importância de reconhecer os indícios (sinais) de material orgânico oriundo de colisões com aves no local do acidente/incidente e de coletar tais evidências imediatamente após o evento. A coleta apropriada feita em campo e a experiência do biólogo da USDA permitiram aos investigadores do NTSB e ao pessoal do Laboratório de Identificação de Penas do Smithsonian Institution sucesso na identificação da ave envolvida neste acidente.

AGRADECIMENTOS

Ao pessoal do NTSB, M. Gallo (investigador de acidentes aeronáuticos), T. LeBarron (investigador-encarregado do acidente), e J. Hookey (especialista nacional de recursos) fo-

Wildlife Strike Database manager, personal communication). Further, this species is experiencing population increases of 4.3% (mean annual rate) in North America (Sauer et al. 2008) and is predicted to present wildlife hazards to general aviation at smaller airports in the coming decades, as the interest in very light jets increases (Dolbeer et al. 2008).

The U.S. Air Force requires bird-strike reporting and species identification, and the FAA recommends it on a voluntary basis (Cleary and Dolbeer 2005). Currently, the USAF obtains bird identifications in >50% of the total bird strikes annually (E. LeBoeuf, U.S. Air Force BASH chief, personal communication), whereas civil aviation estimates only a 24% bird identification rate (Dolbeer and Wright 2008). Management programs to reduce wildlife risks to aircraft depend on accurate species identification as the first step in prevention. The techniques and methods described here demonstrate the ability to identify bird species from minute evidence and will hopefully encourage aviation personnel to participate in BASH programs that will ultimately improve safety by defining our knowledge of the exact species of birds that are hazardous to aircraft.

The detailed analysis in the Wiley Post Airport mishap case and the care taken to collect evidence in the field and after the accident were vital to the successful identification of the bird species in this accident. Aviation accident investigation teams need to develop protocols to ensure that when a bird is suspected in a crash or damaging mishap, bird remains are searched for and properly collected by biologists familiar with bird-strike evidence recovery.

Advances in DNA technology for bird-strike identification (Dove et al. 2008) and the years of experience in microscopic examination of feather fragments allowed a 100% confidence level of success in bird identification for this case. We obtained six of the feather samples and all three of the DNA samples from the initial evidence collected from the tail of the aircraft, underscoring the importance of recognizing the signs of a bird strike in the field and of collecting the evidence immediately after the mishap. Proper field collecting and the experience of the USDA biologist allowed NTSB investigators and Smithsonian Institution's Feather Lab personnel to be instrumental in the successful bird identification in this case.

Acknowledgments

National Transportation Safety Board employees M. Gallo (air safety investigator), T. LeBarron (investigator-in-charge), and J. Hookey (national resource specialist) were

ram fundamentais para o êxito desta investigação. Graças à dedicação deles em longas horas e esforços extras na coleta de evidências, nós fomos capazes de ratificar todas as evidências e identificar com precisão a espécie de ave envolvida neste caso. O Centro Técnico William Hughes da FAA, Atlantic City, N.J., USA (Acordo nº DTFAC-03-X-90003), em cooperação com a equipe BASH do Centro de Segurança da USAF (Acordo nº F2KDAC707IG001) fornecem fundos para o Laboratório de Identificação de Penas do Smithsonian Institution, o que torna possível estes tipos de exames e a identificação de espécies. Nós estendemos um especial agradecimento a P. Robinson, biólogo da equipe de fauna (USDA/APHIS/WS) de Oklahoma City, Oklahoma, e a K. Duncan, bióloga da fauna (USDA/APHIS/WS) designada para o Aeroporto Will Rogers World, Oklahoma City, Oklahoma, por terem sido proativos e terem coletado de forma apropriada os indícios de material orgânico na aeronave, que foram vitais para a identificação da espécie envolvida neste acidente. Obrigado a S. Peurach, J. Hookey, e a P. Robinson pela edição e comentários feitos neste manuscrito. R. Dolbeer forneceu informações adicionais e revisões na primeira versão deste manuscrito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(no formato do artigo original)

- Brom, T. G. 1991. The diagnostic and phylogenetic significance of feather structures. Instituut voort Taxonomische Zoologische, Amsterdam, Netherlands
- Chandler, A. C. 1916. A study of feathers, with reference to their taxonomic significance. University of California Publications in Zoology 13:243–446.
- Cleary, E. C., and R. A. Dolbeer. 2005. Wildlife hazard management at airports: a manual for airport personnel. Second edition. Federal Aviation Administration, Office of Airport Safety and Standards, Washington, D.C., USA.
- Dale, L. A. 2009. Personal and corporate liability in the aftermath of bird strikes: a costly consideration. *Human–Wildlife Conflicts* 3:216–225.
- Dolbeer, R. A., M. J. Begier, and S. E. Wright. 2008. Animal ambush: the challenge of managing wildlife hazards at general aviation airports. Proceedings of the corporate aviation safety seminar, Palm Harbor, Florida. Flight Safety Foundation, Alexandria, Virginia, USA.
- Dolbeer, R. A., and P. Eschenfelder. 2003. Amplified bird-strike risks related to population increases of large birds in North America. International Bird Strike Committee, Warsaw, Poland.
- Dolbeer, R. A., and S. E. Wright. 2008. Wildlife-strikes to civil aircraft in the United States, 1990–2007. U. S. Department of Transportation Serial Report 14, Federal Aviation Administration, Washington, D.C., USA.
- Dolbeer, R. A., and S. E. Wright. 2009. Safety management systems: how useful will the FAA National Wildlife Strike Database be? *Human–Wildlife Conflicts* 3:167–178.
- Dove, C. J. 1997. Quantification of microscopic feather characters used in the identification of North American plovers. *Condor* 99:47–57.
- Dove, C. J. 2000. A descriptive and phylogenetic analysis of plumulaceous feather characters in Charadriiformes. *Ornithological Monographs* 51, American Ornithologists' Union, McLean, Virginia, USA.
- Dove, C. J., and A. Agreda. 2007. Differences in plumulaceous feather characters of dabbling and diving ducks. *Condor* 109:192–199.
- Dove, C. J., N. C. Rotzel, M. Heacker, and L. A. Weigt. 2008. Using DNA barcodes to identify species involved in bird strikes. *Journal of Wildlife Management* 72:1231–1236.
- Dunning, J. B., Jr., editor. 2008. *CRC handbook of avian body masses*. Second edition. CRC, New York, New York, USA.
- FAA. 2009. Airport wildlife hazard mitigation home page, <http://wildlifemitigation.tc.faa.gov/public_html/index.htm>, Federal Aviation Administration. Accessed February 5, 2009.
- Fros, A. 2008. Bird expert may offer only clue in city plane crash mystery. *The Oklahoman*, March 13, 2008. Oklahoma City, Oklahoma, USA.
- Knopf, F. L., and R. M. Evans. 2004. American white pelican (*Pelecanus erythrorhynchos*) in A. Poole, editor. *Birds of North America* online <<http://bna.birds.cornell.edu/bna/species/057>> doi:10.3173/bna.57, Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, New York, USA. Accessed February 6, 2009.
- Laybourne, R. C., and C. J. Dove. 1994. Preparation of bird-strike remains for identification. Pages 531–534 in *Proceedings of the Bird-strike Committee Meeting*, August 29–September 2, 1994, Vienna, Austria.

- Newell, J. G. 1984. Central Oklahoma bird checklist. Revised 2006. Oklahoma City Audubon Society Bird Records Committee, Oklahoma City, Oklahoma, USA.
- Professional Pilot News. 2008. Five perish in Cessna Citation crash in Oklahoma, March 10, <<http://propilotnews.com/2008/03-five-perish-in-cessna-citation-crash-in.html>>. Accessed February 6, 2009.
- Rajaram, A. 2002. Barbule structure of bird feathers. *Journal of Bombay Natural History Society* 99:250–257.
- Sauer, J. R., J. E. Hines, and J. Fallon. 2008. North American breeding bird survey, results and analysis, 1966–2007. Patuxent Wildlife Research Center, Laurel, Maryland, USA.
- Sibley, D. A. 2000. Sibley guide to birds. National Audubon Society, Chanticleer Inc., New York, New York, USA. 337.