

Desenvolvimento de Indicador para Análise de Risco de Colisões de Fauna com Aeronaves

Luís Fernando Peres Calil
Emmanuel Schlickmann

Universidade Federal de Santa Catarina

INTRODUÇÃO

Aeronaves e pássaros convivem no mesmo espaço e, nessa convivência compartilhada, o risco de colisão entre eles é inevitável – podendo causar perda de vidas, e, no mínimo, prejuízos financeiros. Dados mostram que a aviação soma mais de 440 fatalidades na história e estimam uma perda de US\$3 bilhões por ano no mundo, sendo que no Brasil, entre 2007 e 2011, o custo médio foi estimado em US\$8,2 milhões. [1]

Com essas informações, torna-se evidente a importância em estudar o risco de colisões entre fauna e aeronaves e, por consequência, tentar reduzir a probabilidade de ocorrência ou mitigar seus efeitos. Há alguns trabalhos de pesquisa que tentam calcular esse risco, ou, pelo menos, mostrar quais espécies são mais críticas nos aeródromos. No entanto, estes trabalhos focam mais em avaliar qual espécie acarretaria em uma colisão mais severa, dada a ocorrência da colisão.

Os aeródromos brasileiros estão sob duas regulamentações, uma da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) [2, 3] e outra do Ministério do Meio Ambiente [4], porém, há um problema, as duas regulamentações não são unificadas e trazem diferenças nas análises de risco – em alguns pontos, são até conflitantes. As bases da legislação brasileira são trabalhos como Dolbeer, Wright e Cleary [5], Carter [6] e Villareal [7]. Esse último, inclusive, é o estudo feito pela agência colombiana de aviação (AeroCivil) para a criação da regulamentação sobre o assunto na Colômbia. Essa divergência entre os dois órgãos responsáveis pelo assunto no Brasil faz com que operadores de aeródromos tenham dificuldade na implantação e análise dos dados, tanto por serem diferentes, e também porque carregam os problemas dos trabalhos que não mostram claramente se as espécies são perigosas para a aviação nos aeródromos.

Assim, este trabalho visa desenvolver um indicador para análise de risco de colisões de fauna com aeronaves, evidenciando tanto as espécies quanto as movimentações mais críticas. Ademais, também é objetivo deste trabalho o cálculo do indicador de risco para a pista do aeródromo como um todo – computando todas as espécies e movimentações.

ANÁLISE DE RISCO DE COLISÃO DE AERONAVES COM FAUNA

Apesar da relevância do tema, ainda não existe um método internacionalmente aceito e adotado pelos aeródromos – ou mesmo recomendado pela ICAO (International Civil Aviation Organization) [1]. De fato, a abordagem adotada para se tomar decisões quanto à redução do risco ou à mitigação das consequências varia significativamente entre autores.

Dolbeer, Wright e Cleary [5], que é uma das referências mais importantes da área, teve como objetivo produzir um *ranking* com o perigo relativo que cada espécie traz para as aeronaves baseado em dados de colisões com fauna da FAA (*Federal Aviation Administration*). Os autores selecionaram 21 espécies ou grupo de espécies com que aconteceram 17 ou mais colisões no período entre janeiro de 1991 e maio de 1998, porém não foi estabelecido um padrão para agrupamento das espécies – o que pode gerar discrepância entre as análises de risco, dado que agrupamentos diferentes causariam diferentes resultados. A partir dos dados obtidos, foram criados quatro *rankings*: por danos, por efeitos em voo, e por custo, que juntos resultaram no *ranking* relativo, que uniu os três anteriores. Note-se que o *ranking* relativo tenta avaliar a chance de ocorrer um prejuízo dada a ocorrência da colisão, mas não se avalia a chance de ocorrer a colisão. Assim, se um animal teve apenas uma colisão – mas, com dano grave a aeronave e também com impacto na sua operação – seria colocada no topo do *rank*. Em contrapartida, se outra espécie tiver muitas colisões – sendo que 90% com danos graves e também com impacto na sua operação – o *Relative hazard score* seria menor, mesmo sendo uma espécie mais problemática do que a primeira.

Carter [6], por sua vez, fez uma análise a partir de dez fatores, e explana o motivo da importância de cada um desses fatores. São eles: (1) número total de indivíduos de cada espécie, (2) tamanho médio (massa

e área superficial) de um indivíduo da espécie, (3) o número médio de animais encontrados, (4) o tempo de permanência no aeródromo, (5) hora do dia em que a espécie é mais ativa, (6) localização da espécie com respeito às operações de voo (distância da pista, altura de voo da ave, etc.), (7) tempo em que a espécie permanece em voo ou se movendo, (8) número de colisões envolvendo a espécie (histórico), (9) habilidade da espécie em evitar colisões, (10) suscetibilidade ao controle/mitigação. Note-se que Carter procura considerar não somente fatores que avaliem a severidade, dada a colisão; mas também fatores que ponderem a probabilidade de colisão. No entanto, o método – assim como o proposto por Dolbeer, Wright e Cleary [5] – mostra as espécies críticas, mas não é possível avaliar se existe a necessidade de reduzir o risco de colisão de uma espécie, ou não.

O trabalho de Villareal [7] é a base da legislação sobre risco e gerenciamento de fauna da Colômbia, onde o objetivo principal foi “estabelecer políticas e diretrizes adotadas pela *Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil* (AeroCivil) para orientar ações e tarefas a cumprir na prevenção e controle de presença de fauna em aeroportos”. Apontando as funções que devem ser desempenhadas por cada nível de pessoas envolvidas desde a população, até governo federal, passando por autoridades civis e militares, Villareal apresenta como deve ser estruturado o programa de gerenciamento de risco de fauna da Colômbia. Ela aponta medidas a serem tomadas com relação a espécies mais perigosas do aeródromo. Destaca-se, ainda, que o trabalho de Carter [6] e Villareal [7] são a base para a Instrução Suplementar ANAC 164-001 [3].

O objetivo do trabalho de Paton [8] é criar um modelo de análise de risco das espécies de aves mais perigosas para aeródromos, com base em uma matriz de risco (severidade por chance de ocorrência). O sistema de avaliação de severidade divide as aves em uma das seis categorias de massa, uma de três categorias de comportamento de bando e uma de duas categorias de comportamento de voo. A chance de ocorrência também se basear em indicadores propostos pelo autor – que podem ser tanto quantitativos quanto qualitativos.

Oliveira [1] traz um panorama do assunto no mundo, mostrando dados e referências, incluindo Dolbeer [5], Carter [6], Villareal [7] e Paton [8]. Mas o grande objetivo do trabalho é, assim como Villareal [7] é para Colômbia, dar os fundamentos para a regulamentação brasileira do CONAMA [4]. O autor destaca a participação dos envolvidos no assunto, e ressalta a importância da conscientização sobre esse problema, dado que um único interveniente não consegue resolver tudo e a área do aeródromo é uma pequena parte da área atingida. Assim como Paton [8], Oliveira propõe uma análise com base em uma matriz de risco – e têm inconvenientes equivalentes aos do método proposto por Paton.

De maneira geral, os métodos mostram as espécies críticas, mas não permitem a ponderação da condição do aeródromo como um todo. Por exemplo, não é avaliado se um aeródromo com muitas espécies com risco moderado de colisões é mais preocupante que um aeródromo com apenas uma espécie com risco alto de colisões. Por consequência, não é possível a comparação da análise de um aeródromo com as de outros. É importante resaltar que todos os métodos são baseados em indicadores arbitrários, que podem ou não aderir à realidade.

MÉTODO PROPOSTO PARA A ESTIMAÇÃO DA CHANCE DE COLISÃO DE AERONAVES COM FAUNA

Análise de risco é a estimativa – quantitativa ou qualitativa – do risco e a avaliação se este risco é aceitável ou não.

Assim, ao estimar o risco, avalia-se a chance de ocorrência de um estado futuro “x”, dada a ocorrência de um estado inicial – sendo necessário, para sua completa caracterização, o delineamento dos dois estados, além dos cenários que possibilitem esta transição [9].

Numa análise quantitativa, essa mensuração se dá por cálculos probabilísticos, podendo-se expressar o risco pela probabilidade condicional $P(\text{Estado futuro “x”} | \text{Estado inicial})$ [9]. Desta forma, nessa abordagem, são necessárias informações (dados empíricos ou até mesmo conhecimento de especialista) que possam gerar estatísticas que permitam inferir o comportamento do fenômeno estudado; no caso, a mudança para o estado futuro “x”.

Alternativamente – quando esses dados não estão disponíveis, por exemplo –, podem-se utilizar indicadores que caracterizem a chance de ocorrência da mudança de estado.

No que se refere a colisões de aeronaves com a fauna existe uma dificuldade muito grande para obter dados confiáveis de colisões. Por exemplo, é difícil saber se uma carcaça de um animal (uma ave, por exemplo), próxima à pista, foi ou não vítima de uma colisão. As colisões também podem nem ser percebidas pela tribulação da aeronave. Ademais, mesmo que se perceba a colisão, em muitos casos é difícil de se identificar a espécie que foi atingida pela aeronave.

Outro problema, destacado por Oliveira [1], é que em muitas situações o registro da colisão pode implicar em restrições operacionais – o que diminuiria a capacidade de gerar lucro do aeródromo –; desestimulando, assim, o registro das ocorrências e, por consequência, comprometendo a base de dados.

Assim, tipicamente, a estimação do risco de colisões de aeronaves com a fauna se dá pela elaboração de indicadores – tais como os apresentados na seção anterior. No entanto, esses indicadores não permitem analisar a condição do aeródromo como um todo, tão pouco comparar o risco de um aeródromo com outros. Adicionalmente, observou-se que não existe um critério claro para se agrupar – ou não – espécies. Isso faz com que uma análise não possa ser comparada a outras.

Outro ponto importante a se observar nos indicadores apresentados na seção anterior é que não existe uma modelagem que determine a escala de cada fator utilizado no cálculo do indicador, por exemplo: escala linear, logarítmica ou uma escala arbitrária. Note-se que a variação dessas escalas alterariam significativamente os resultados e uma espécie que não foi considerada importante pode passar a ser crítica.

Neste trabalho, propõem-se um indicador que expresse o risco para cada espécie, para cada movimento no aeródromo e, finalmente, para cada pista do aeródromo.

No desenvolvimento do indicador, os fatores mais importantes foram escolhidos baseados nas diferentes referências consultadas – que foram abordadas na seção anterior – e em discussões com especialistas. Para tanto, dividiu-se o cálculo do indicador em três partes:

- (1) Estimar a exposição para cada espécie em cada movimento (R_{EXP}), o que envolve a estimação da população e do padrão de atividade das espécies.
- (2) Estimar a chance de ocorrer colisões, dada àquela exposição ($R_{OCOR.|EXP}$), caracterizando o comportamento da espécie frente a movimentação de aeronaves.
- (3) Estimar a severidade das consequências, dada à ocorrência da colisão ($R_{SEV.|OCOR}$), o que está relacionado com a massa do animal e o número de indivíduos (agrupamento) que colidem com a aeronave.

Desta forma, pode-se estimar o risco avaliando a chance de ocorrência do estado futuro (terceira parte do indicador), dada a ocorrência do estado inicial (primeira parte), considerando a transição entre os estados (analisada pela segunda parte do indicador).

Note-se que o indicador proposto é um modelo – portanto, uma simplificação – e não considera todos os fatores necessários para a perfeita caracterização do risco, uma vez que inúmeras situações podem influenciar. O clima, a época do ano e mudanças no entorno de aeródromos, por exemplo, não foram incluídos no indicador.

De fato, para o completo entendimento do estado inicial, também seria necessária a caracterização da fauna no momento de cada movimento no aeródromo. Isso implicaria em fazer um senso preciso da fauna no aeródromo – e em seu entorno – inúmeras vezes ao dia, o que não é praticável.

A caracterização dos possíveis estados futuros, por sua vez, implicaria em discriminar os efeitos da colisão em relação aos danos na aeronave e à operação. Por exemplo, os possíveis danos em cada parte da fuselagem da aeronave e/ou na turbina; se a aeronave arremeteu o pouso; etc.

O delineamento da transição de estado também precisaria considerar o porte da aeronave e do animal, além da parte da aeronave que colidiu e o momento do voo que correu a colisão.

Cálculo do Indicador

No modelo proposto, então, calcula-se o indicador atribuindo um valor para cada um de seus fatores, conforme especificado a seguir (itens de I a VII), para cada movimento de aeronave ou espécie. Os valores devem ter como base o censo mais recente.

Assim, para cada movimento e cada espécie calcula-se o $R_{Movimento \cap Espécie}$, que é o risco médio para um movimento e uma determinada espécie.

$$R_{Movimento \cap Espécie} = R_{EXP} \times R_{OCOR.|EXP} \times R_{SEV.|OCOR} \quad (1)$$

Sendo R_{EXP} , $R_{OCOR.|EXP}$ e $R_{SEV.|OCOR}$ calculados pelas equações 2, 3 e 4, respectivamente.

$$R_{EXP} = p \times \frac{t}{5} \quad (2)$$

$$R_{OCOR.|EXP} = \frac{d}{7} \quad (3)$$

$$R_{SEV.|OCOR.} = \frac{m \times g}{2} \quad (4)$$

Pode-se, então, calcular indicadores diários para cada movimento, cada espécie ou para a pista.

Para calcular todo o risco associado a um movimento, $R_{Movimento}$, soma-se todos os riscos médios associados para aquele movimento com cada uma das “n” espécies.

$$R_{Movimento} = \sum_1^n R_{Movimento \cap Espécie} \quad (5)$$

O risco causado por uma espécie, $R_{Espécie}$, é calculado de forma análoga ao risco total de um movimento, soma-se todos os riscos médios de uma espécie com cada um dos “j” movimentos.

$$R_{Espécie} = \sum_1^j R_{Movimento \cap Espécie} \quad (6)$$

Por fim, o indicador de risco médio de uma pista é calculado somando-se todos os riscos associados a cada um dos movimentos, e associados a cada uma das espécies.

$$R_{Pista} = \sum_1^n \sum_1^j R_{Movimento \cap Espécie} \quad (7)$$

Esses indicadores mostram riscos associados a cada movimento, a cada espécie e de todas as operações por pista de aeródromo. Uma aplicação do indicador é encontrada na próxima seção deste artigo.

A seguir, apresentam-se os fatores que compõem o indicador proposto.

I - Fator t:

Considera-se movimentação as operações tanto de pouso quanto de decolagem. Essa definição influencia diretamente no *fator t*. Deve-se atribuir uma classe de horário para cada movimento executado no aeródromo, conforme relacionado a seguir:

Quadro 1 - Movimentos e respectivas classes de horário.

Classe	Faixa de horário
A	de 0:00 a 5:00
B	de 5:00 a 8:00
C	de 8:00 a 17:00
D	de 17:00 a 20:00
E	de 20:00 a 24:00

O *fator t* considera o comportamento da espécie no horário em que ocorre a movimentação, sendo que para cada faixa de horário pode-se ter diferente comportamento. Este fator é tabelado para cada espécie. Ele influencia na exposição ao risco. Uma espécie que – por exemplo – fica somente empoleirada, traria uma exposição ao risco muito menor em comparação com uma espécie ativa (voando) o tempo todo. Para animais não voadores, adota-se o mesmo fator de uma ave empoleirada, e que varia durante o horário do dia.

Quadro 2 - Escala de valores para o *fator t*.

<i>fator t</i>	Descrição
1	animal terrestre/empoleirada somente
3	pouco ativa
5	ativa na maior parte do tempo

II - Fator p:

O *fator p* refere-se à população de indivíduos de uma mesma espécie numa faixa de 150 metros para cada lado da pista a partir de seu centro, e 300 metros das cabeceiras, observados no último censo. A população influencia diretamente na chance de ocorrência, quanto mais indivíduos, maior a chance de

ocorrer uma colisão.

p = é o número de animais observado no censo mais recente na faixa delimitada

III - Fator d :

Cada espécie comporta-se de uma forma em relação ao desvio (ou afrontamento) das aeronaves, e seu peso é dado conforme a espécie tende ou não a entrar em zona de colisão, isso é o que representa o *fator d* (também tabelado para cada espécie). Esse fator entra na chance de ocorrência dada à exposição, porque animais que fogem da rota da aeronave, ou tem uma maior facilidade em desviar da aeronave, causariam menos acidentes que espécies que afrontam a aeronave ou são mais lentas.

Quadro 3 - Escala de valores para o *fator d* .

<i>fator d</i>	Descrição
1	não entra em rota de colisão
3	facilidade no desvio
5	dificuldade no desvio
7	afronta a aeronave

IV - Fator m :

O *fator m* é relacionado à massa equivalente de cada espécie e é calculado de forma diferente para cada tipo de aeronave. Os aviões turboélice, tipicamente, têm uma área projetada frontal onde 60% dessa área equivalem aos propulsores, e 40% fuselagem e asas. Para os aviões *turbofan*, essa relação de áreas é 20% para os motores, e 80% para a fuselagem e asas. Como critério para a colisão com motores adotou-se a regra para certificação dos motores, que só recebem esse aval se suportarem impacto com aves de até 1800g; e para colisões com a fuselagem e asas considerou-se a massa típica da maior ave voadora brasileira, o tuiuiú (*Jabiru mycteria*), que é 8.000 g.

Para o cálculo deste fator, então, deve-se especificar o tipo de aeronave e a espécie do animal – já que a massa média típica da espécie, mt , em gramas, é tabelada.

A massa equivalente de cada espécie para cada movimento é calculada pela seguinte fórmula:

$$m = A_1 \cdot m_1 + A_2 \cdot m_2 \quad (8)$$

Onde A_1 e A_2 são as proporções da área da fuselagem e do propulsor típicas para Turboélice ($A_1 = 0,40$ e $A_2 = 0,60$) e *Turbofan* ($A_1 = 0,80$ e $A_2 = 0,20$).

$$m_1 = \begin{cases} \frac{mt}{8000}, & \text{para } mt < 8000 \\ 1, & \text{para } mt \geq 8000 \end{cases} \quad (9)$$

$$m_2 = \begin{cases} \frac{mt}{1800}, & \text{para } mt < 1800 \\ 1, & \text{para } mt \geq 1800 \end{cases} \quad (10)$$

O fator m lida com a severidade da colisão, quanto maior o animal colidido, mais massa, consequentemente a energia do impacto será maior, causando danos mais graves.

V - Fator g :

O fator g é o agrupamento da espécie, se ela costuma ou não se movimentar em bandos. Esse valor também é catalogado.

Quadro 4 - Escala de valores para o *fator g*.

<i>fator g</i>	Descrição
1	não se movimenta em bando
3	raramente se movimenta em bando
5	tipicamente se movimenta em bando

Semelhante ao *fator m*, o *fator g* lida com a energia da colisão, espécies em grandes bandos e massas maiores, trazem sérios riscos na aviação.

VI - *Fator n*:

O *fator n* é o número total de espécies que foram identificadas no censo. As espécies que potencialmente podem colidir com aeronaves devem estar catalogadas em um documento único para todo o país, a fim de evitar distorções no cálculo dos indicadores decorrentes de agrupamento de espécies – e.g. pode-se tratar as várias espécies de urubus separadamente ou como um único grupo de pássaros.

VII - *Fator j*:

O *fator j* é o número total de movimentos na pista analisada.

SIMULAÇÃO DO CÁLCULO DO INDICADOR

A simulação do indicador foi feita para um dia típico de movimentação no Aeroporto Lauro Carneiro de Loyola (SBJV), em Joinville – SC. Para tanto, o analista deve preencher os Quadros 5 e 6 – pois os outros dados, Quadros 7 e 8, são catalogados. O **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra os “*j*” movimentos de um dia típico.

Quadro 5 - Movimentos e respectivas classes de horário.

<i>j</i>	Tipo aeronave	Movimento	Horário	Classe de h.
1	<i>Turbofan</i>	Decolagem	06:10	B
2	<i>Turbofan</i>	Decolagem	08:40	C
3	<i>Turbofan</i>	Decolagem	10:20	C
4	Turboélice	Decolagem	10:40	C
5	<i>Turbofan</i>	Decolagem	11:55	C
6	<i>Turbofan</i>	Decolagem	18:15	D
7	<i>Turbofan</i>	Decolagem	18:27	D
8	<i>Turbofan</i>	Decolagem	19:03	D
9	<i>Turbofan</i>	Pouso	08:00	C
10	<i>Turbofan</i>	Pouso	09:50	C
11	Turboélice	Pouso	10:15	C
12	<i>Turbofan</i>	Pouso	11:25	C
13	<i>Turbofan</i>	Pouso	17:45	D
14	<i>Turbofan</i>	Pouso	18:00	D
15	<i>Turbofan</i>	Pouso	18:33	D
16	<i>Turbofan</i>	Pouso	22:35	E

No Quadro 6 encontra-se o censo (*fator p*), para o dia que foi analisado, cada espécie (*n*) encontrada nesse dia dentro da área especificada.

O Quadro 7, por sua vez, apresenta a massa média típica de cada espécie (*fator mt*), o *fator d*, que é a capacidade de desviar da rota da aeronave, e o *fator g* que lida com o agrupamento de cada uma das espécies analisadas.

Quadro 6 – Censo das espécies presentes.

<i>n</i>	Nome científico	Nome comum	<i>p</i>
1	<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	Andorinha-pequena-de-casa	3
2	<i>Vanellus chilensis</i>	Quero-quero	227
3	<i>Sturnella superciliaris</i>	Polícia-inglesa-do-sul	11
4	<i>Anthus lutescens</i>	Caminheiro-zumbidor	4
5	<i>Furnarius rufus</i>	João-de-barro	2
6	<i>Coragyps atratus</i>	Urubu-de-cabeça-preta	28
7	<i>Gallinago paraguaiae</i>	Narceja	2
8	<i>Milvago chimachima</i>	Carrapateiro	1
9	<i>Estrilda astrild</i>	Bico-de-lacre	10
10	<i>Phimosus infuscatus</i>	Tapicuru-da-cara-pelada	29

Quadro 7 - Fatores "*d*", "*mt*" e "*g*" para cada espécie observada.

<i>n</i>	Nome científico	<i>d</i>	<i>mt</i>	<i>g</i>
1	<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	3	12	2
2	<i>Vanellus chilensis</i>	7	277	1,5
3	<i>Sturnella superciliaris</i>	3	50	2
4	<i>Anthus lutescens</i>	3	16	2
5	<i>Furnarius rufus</i>	3	49	2
6	<i>Coragyps atratus</i>	3	1600	1,5
7	<i>Gallinago paraguaiae</i>	3	110	2
8	<i>Milvago chimachima</i>	3	320	2
9	<i>Estrilda astrild</i>	3	8	2
10	<i>Phimosus infuscatus</i>	1	575	2

O Quadro 8, por sua vez, apresenta o fator de atividade de cada espécie (*fator t*) para as várias Classes de Horário. Note-se que, para simplificar este exemplo, considerou-se que a atividade das espécies é equivalente nas diversas Classes de Horário.

Quadro 8 – Atividade de cada espécie em relação às classes de horário.

<i>n</i>	Nome científico	<i>fator t</i>				
		A 0:00	B 5:00	C 8:00	D 17:00	E 20:00
1	<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	1	5	3	5	1
2	<i>Vanellus chilensis</i>	1	5	3	5	1
3	<i>Sturnella superciliaris</i>	1	5	3	5	1
4	<i>Anthus lutescens</i>	1	5	3	5	1
5	<i>Furnarius rufus</i>	1	5	3	5	1
6	<i>Coragyps atratus</i>	1	5	3	5	1
7	<i>Gallinago paraguaiae</i>	1	5	3	5	1
8	<i>Milvago chimachima</i>	1	5	3	5	1
9	<i>Estrilda astrild</i>	1	5	3	5	1
10	<i>Phimosus infuscatus</i>	1	5	3	5	1

A partir dos fatores apresentados nos Quadros 5 a 8, podem-se obter os indicadores de risco para cada movimento e espécie. A fim de exemplificar estes processo, a seguir será apresentado os passos para o cálculo do indicador para $j = 1$ (*Turbofan*, Decolagem, 06:10) e $n = 1$ (*Pygocelidon cyanoleuca*, i.e., Andorinha-pequena-de-casa).

- (1) A Classe de Horário para o movimento é B (vide Quadro 5) e a atividade da espécie nesta Classe é " $t = 5$ " (vide Quadro 8);
- (2) A população dessa espécie no último censo é " $p = 3$ " (vide Quadro 6);
- (3) A capacidade de desviar da aeronave e o agrupamento dessa espécie são, respectivamente, " $d = 3$ " e " $g = 2$ " (vide Quadro 7);
- (4) O "*fator m*" pode ser obtido com as seguintes informações:
 - A aeronave é um *Turbofan* (vide Quadro 5), assim a relação das áreas é " $A1 = 0,80$ " e " $A2 = 0,20$ ";
 - A massa típica é " $mt = 12$ " (vide Quadro 7), resultando em " $m1 = 12/8000$ " e " $m2 = 12/1800$ ";
 - Fator $m = A1 \cdot m1 + A2 \cdot m2 = 0,8 \times 12/8000 + 0,2 \times 12/1800$;
 - Assim, "*fator m*" = 0,00253;
- (5) $R_{EXP} = p \times \frac{t}{5} = 3 \times \frac{5}{5} = 3$;
- (6) $R_{OCOR.|EXP} = \frac{d}{7} = \frac{3}{7}$;
- (7) $R_{SEV.|OCOR.} = \frac{m \times g}{2} = \frac{0,00253 \times 2}{2} = 0,00253$
- (8) $R_{Movimento \cap Espécie} = R_{EXP.} \times R_{OCOR.|EXP.} \times R_{SEV.|OCOR.}$
 $R_{Movimento \cap Espécie} = 3 \times \frac{3}{7} \times 0,00253 = 0,0033$.

Repetindo-se este procedimento para todas as relações "movimento x espécie", obtém-se os resultados apresentados no Quadro 9, sendo possível analisar os resultados do risco médio calculado para cada movimento, cada espécie e também o risco médio total da pista em estudo.

Quadro 9 – Resultado dos indicadores de cada movimento e espécie, indicador total de cada movimento e indicador total de cada espécie.

j \ n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<i>R_{movimento}</i>
1	0,0033	9,9558	0,0498	0,0058	0,0089	3,0400	0,0199	0,0290	0,0072	0,5029	13,6225
2	0,0020	5,9735	0,0299	0,0035	0,0053	1,8240	0,0119	0,0174	0,0043	0,3017	8,1735
3	0,0020	5,9735	0,0299	0,0035	0,0053	1,8240	0,0119	0,0174	0,0043	0,3017	8,1735
4	0,0035	10,8466	0,0542	0,0063	0,0097	3,3120	0,0217	0,0315	0,0079	0,5479	14,8414
5	0,0020	5,9735	0,0299	0,0035	0,0053	1,8240	0,0119	0,0174	0,0043	0,3017	8,1735
6	0,0033	9,9558	0,0498	0,0058	0,0089	3,0400	0,0199	0,0290	0,0072	0,5029	13,6225
7	0,0033	9,9558	0,0498	0,0058	0,0089	3,0400	0,0199	0,0290	0,0072	0,5029	13,6225
8	0,0033	9,9558	0,0498	0,0058	0,0089	3,0400	0,0199	0,0290	0,0072	0,5029	13,6225
9	0,0020	5,9735	0,0299	0,0035	0,0053	1,8240	0,0119	0,0174	0,0043	0,3017	8,1735
10	0,0020	5,9735	0,0299	0,0035	0,0053	1,8240	0,0119	0,0174	0,0043	0,3017	8,1735
11	0,0035	10,8466	0,0542	0,0063	0,0097	3,3120	0,0217	0,0315	0,0079	0,5479	14,8414
12	0,0020	5,9735	0,0299	0,0035	0,0053	1,8240	0,0119	0,0174	0,0043	0,3017	8,1735
13	0,0033	9,9558	0,0498	0,0058	0,0089	3,0400	0,0199	0,0290	0,0072	0,5029	13,6225
14	0,0033	9,9558	0,0498	0,0058	0,0089	3,0400	0,0199	0,0290	0,0072	0,5029	13,6225
15	0,0033	9,9558	0,0498	0,0058	0,0089	3,0400	0,0199	0,0290	0,0072	0,5029	13,6225
16	0,0007	1,9912	0,0100	0,0012	0,0018	0,6080	0,0040	0,0058	0,0014	0,1006	2,7245
<i>R_{espécie}</i>	0,0423	129,2163	0,6459	0,0752	0,1151	39,4560	0,2583	0,3758	0,0939	6,5271	176,8058
											<i>R_{pista}</i>

Observa-se que o movimentos 4 e 11 são considerados os mais críticos, principalmente pelo fato de

serem aeronaves turboélice, onde a chance de atingir os motores da aeronave é maior em comparação com as aeronaves *turbofan*.

Quanto à espécie mais crítica, o quero-quero (*Vanellus chilensis*) é apontado como o que pode trazer mais chances de colisão, devido ao grande número de indivíduos apurados no censo e ao comportamento da ave. Esse fato era esperado, pois em conversa com o responsável pelo gerenciamento de risco aviário no Aeroporto de Joinville, obteve-se a informação de que esta espécie é a mais problemática dentro do aeródromo.

O indicador relativo à pista mostrou um valor de 176,8058, número este que não traz informações claras sobre a situação de risco no aeroporto. Esse problema será abordado na seção a seguir.

ADEQUAÇÃO DO MODELO

Note-se que o modelo proposto, assim como os apresentados anteriormente, indica a espécie mais crítica do aeródromo – no caso do modelo proposto esta análise é feita por pista do aeródromo – e, adicionalmente, o modelo traz uma análise por movimento. O modelo, ainda, permite calcular um indicador para a pista como um todo, superando a limitação de se comparar os aeródromos.

No entanto, os valores adotados para ponderar os fatores que compõem os indicadores de risco também foram arbitrários. Isto é, não existe uma relação comportamental que indique que – por exemplo – uma ave que está ativa na maior parte do tempo (*fator* $t = 5$) é cinco vezes mais provável de colidir com uma aeronave do que uma ave empoleirada (*fator* $t = 1$).

Também não se pode afirmar que o movimento "11" (com $R_{movimento} = 14,8414$) tem um risco de colisão com aves mais de 5 vezes maior que o movimento "16" (com $R_{movimento} = 2,7245$).

O mesmo problema se verifica no valor final do $R_{espécie}$ ou do R_{pista} , o valor encontrado não tem relação direta com fatores qualitativos reais, por exemplo, número de colisões ou gasto estimado para determinado indicador. Com isso, não se pode afirmar o grau de periculosidade das movimentações na pista, apenas fazer comparações entre pistas de aeródromos.

Uma possível solução para este problema é correlacionar o resultado do R_{pista} com o valor esperado do custo decorrente de colisões de aeronaves com a fauna. No entanto, como a escala de cada fator é arbitrária, não necessariamente o valor do R_{pista} será proporcional ao valor esperado do custo de colisões. Assim, propõe-se que seja feito um ajuste na escala dos fatores para que melhore a correlação com base no histórico de dados de custo por colisão com aves em diversos aeroportos.

Para tanto: (1) estipula-se uma escala para cada um dos fatores; (2) calcula-se o R_{pista} com base no histórico de movimentos típico e de censo típico daquele período; (3) correlaciona-se com o custo de colisões do período; (4) repetir este procedimento até que se alcançar o menor erro no modelo.

Assim, assumindo que a amostra realmente representa o que se espera de custo para cada aeródromo, é possível adequar os valores dos fatores para que exista a proporcionalidade.

Uma vez estabelecida a correlação entre o R_{pista} e o valor esperado do custo de colisões, pode-se fazer inferências a partir da movimentação e censo atual de cada aeródromo.

É importante destacar que, apesar do indicador apresentado ser uma análise daquele momento, o modelo utilizará fatores obtidos a partir do histórico de colisões. Assim, crescendo o histórico, as escalas dos fatores podem ser atualizadas e melhorar continuamente a representatividade do indicador.

CONCLUSÕES

Partindo da literatura especializada no assunto, juntamente com entrevista com especialista, foi proposto um indicador para gestão de risco de colisão de fauna com aeronaves em aeródromo. No entanto, o indicador conta com algumas simplificações – devido à complexidade do tema, muitas são as variáveis que poderiam ser consideradas. O indicador baseou-se em características de espécies e dos movimentos nos aeroportos, resultando em valores que permitam diferentes movimentos, espécies e aeródromos serem comparados.

A fim de avaliar o indicador proposto, foi realizada uma simulação para um dia típico do Aeroporto Lauro Carneiro de Loyola, em Joinville. Esperava-se, com a simulação, que o quero-quero (*Vanellus chilensis*) fosse apontado como a espécie mais crítica, devido à realidade encontrada no Aeroporto de Joinville – o que foi confirmado na análise.

Por fim, destacou-se a necessidade de se aperfeiçoar o indicador – uma vez que a escala de valores de muitos dos fatores foi arbitrária, sem uma justificativa técnica fundamentada. Para tanto, propõem-se que se correlacione o valor do indicador para a pista do aeródromo com o valor esperado do custo de colisões de

aeronaves com a fauna. Com isso faz se necessária uma nova aquisição de dados, confiáveis, que representem um conjunto expressivo de movimentações, para que, assim, cada um dos fatores seja ajustado com base na realidade existente.

REFERÊNCIAS

- [1] OLIVEIRA, H. R. B. *Risco de fauna: aplicando o SMS para o gerenciamento integrado no Brasil*. Dissertação de Mestrado Profissional em Segurança de Aviação e Aeronavegabilidade Continuada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aeronáutica e Mecânica - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2014.
- [2] ANAC. *RBAC nº 164: Gerenciamento do risco da fauna nos aeródromos públicos*, emd. 00, 2014.
- [3] ANAC. *Instrução Suplementar (IS) nº 164-001 Revisão A. Análise do risco de colisão entre aeronaves e fauna*, 2015.
- [4] CONAMA. *Resolução nº 466/2015. Estabelece diretrizes e procedimentos para elaboração e autorização do Plano de Manejo de Fauna em Aeródromos e dá outras providências*. CONAMA, 2015
- [5] DOLBEER, R. A.; WRIGHT, S. E.; CLEARY, E. C. *Ranking the hazard level of wildlife species to aviation*. Wildlife Society Bulletin 28: 372-378, 2000.
- [6] CARTER, N. B. 2001. *All birds are not created equal: risk assessment and prioritization of wildlife hazards at airfields*. 2001 Bird Strike Committee-USA/Canada, Third Joint Annual Meeting, Calgary, AB. Paper 8.
- [7] VILLAREAL, L. M. A. *Programa Nacional de Limitación de Fauna em Aeropuertos*. AeroCivil, Bogotá, 2008
- [8] PATON, D. C. *Bird risk assessment model for airports and aerodromes*. Consultancy report for Adelaide Airport Ltd. 15 pp. 2010.
- [9] CALIL, L. F. P. *Metodologia para Gerenciamento de Risco: Foco na Segurança e na Continuidade*. Tese de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.