MODELO DE ACIDENTE DE AERONAVES POR COLISÃO COM AVES NA AVIAÇÃO COMERCIAL

Bruna Borges Azevedo*
Michelle Carvalho Galvão da Silva Pinto Bandeira
Universidade Federal de Goiás – Faculdade de Ciências e Tecnologia
Engenharia de Transportes

*** Corresponding author e-mail address**: brunabazevedo.eng@gmail.com

PAPER ID: SIT2264

ABSTRACT

Air transport is one of the fastest growing markets in the world and one of the most relevant sectors for the development of the country's economy. However, all this growth also leads to increased occurrence of accidents. Birdstrikes are a specific type of accident that has been a problem for aviation since its inception. Understanding the dangers or factors involved in this event is vital for adopting mitigating measures. Thus, the objective of this study is to develop an aviation accident model that is able to quantify the impact of the main factors involving collisions of commercial aircraft with birds in the landing and takeoff phases. The selected factors (time, cloud cover, species behavior, species mass, flight phase, AGL height, affected part of the aircraft) for the model construction are validated by the literature and in the model, configuration are divided into four categories (environment, bird, aircraft, and event). A survey of the main factors and occurrences in Brazil was carried out between 2011 and 2021. From the analysis, the "Birdstrike Aircraft Accident Model" was proposed, developed using the Bayesian Networks method. The model was represented graphically and the impact of the global - of the states that make up the selected factors - was obtained in scenarios with and without evidence. The states with the highest impacts are: (#1); landing phase as the most critical (#2); aircraft speed up to 80 knots (#3); engine as the second main part reached (#4); AGL height up to 500 feet (#5); radome as the third main part reached (#6); a bird (#7) mass up to 1500 grams (#8); nighttime (#9), clear sky (#10).

Keywords: Air Transport, Accident model, Birdstrike, Safety, Bayesian networks.

ACKNOWLEDGEMENT

As autoras agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq concedido por meio do processo no 168071/2022-3 na modalidade Iniciação Tecnológica – ITC-A concedido a partir do projeto "PI06353-2022 – Desenvolvimento de modelo de acidente em operações de pouso e decolagem de aeronaves comerciais". A segunda autora agradece o apoio do Laboratório de análise, avaliação e gerenciamento de risco (LabRisco) pelo qual é membro do Grupo de Pesquisa em Análise, Avaliação e Gerenciamento de Riscos.

1. INTRODUÇÃO

O transporte aéreo é essencial para o desenvolvimento econômico e social de um país e, em virtude da possibilidade de conexões rápidas, facilita o deslocamento de bens e pessoas, permite o fluxo de agentes de negócios e impulsiona atividades comerciais (EPL; ONTL, 2022). Trata-se de um dos mercados mundiais de mais rápido crescimento. Desde a década de 1970, enquanto a aviação global cresceu a uma taxa média anual de 5,5% em volume de passageiros, a aviação brasileira evoluiu ao ritmo de 7,7% ao ano (ABEAR, 2016). É, portanto, um dos setores mais relevantes para o desenvolvimento da economia do país e melhoria da qualidade de vida dos cidadãos (Oliveira, 2018).

Todavia, com o aumento da quantidade de viagens, da frota de aeronaves e dos movimentos de voo, aumentam-se as ocorrências de acidentes e incidentes. Um dos acidentes que representam problema para o setor de aviação, desde que os humanos iniciaram sua aventura pelos ares há mais de 100 anos, são as colisões de aeronaves com aves, que cada vez mais competem por espaço aéreo em céus lotados. (Blokpoel, 1976; CENIPA, 2020; Cleary & Dolbeer, 2005).

Para que se configure como colisão, pelo menos uma das situações a seguir deve ocorrer: testemunho da tripulação; evidência ou dano decorrente identificado na aeronave; carcaça de animal localizado em até 60 metros do eixo de pistas de pouso e de táxi ou 300 metros das cabeceiras; ou presença de fauna em ou fora do aeródromo que exerça efeito significativo sobre a operação de aeronave (CENIPA, 2020).

No Brasil, no período dos anos de 2016 a 2020, foram relatados 42.765 eventos, e destes, 5.356 se deram por colisão com aves (CENIPA, 2021). Este conflito assume proporções ainda maiores ao passo que colisões significativas – que apresente danos decorrentes – podem causar perdas econômicas substanciais, mortes de tripulantes e passageiros, perda de carga e custos associados para a indústria (Allan, 2006; Azabache-Requena & Marcial-Ramos, 2019; Jeffery & Buschke, 2018; Soldatini et al., 2010).

A natureza e a magnitude dos desafios e problemas enfrentados vai depender da interação de muitos fatores (Cleary & Dolbeer, 2005). Deste modo, a compreensão dos perigos ou fatores do risco aviário, se torna vital para a adoção de medidas de gerenciamento com vistas à mitigação do risco de colisões.

Dentro desta abordagem, o objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo de acidente para a aviação que seja capaz de quantificar o impacto dos principais fatores que envolvem colisões de aeronaves comerciais com aves em fases de pouso e decolagem de voo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Para a concepção do modelo de acidente torna-se crucial investigar os fatores envolvidos nas colisões entre aeronaves e aves e compreender como relacionam-se entre si. Com esse intuito, recorreu-se à literatura – acadêmica e normativa – para descrever os principais fatores envolvidos neste tipo de ocorrência.

O trabalho de Bandeira et al. (2017) mostra como relacionar fatores de diferentes categorias para um tipo de acidente específico; e em Bandeira et al. (2018), mostra a descrição de fatores de várias categorias e como relacioná-los em uma análise probabilística usando redes bayesianas. Vários estudos presentes na literatura avaliam o risco de colisões entre aeronaves e aves, de modo a fornecer uma visão geral do problema, levantando fatores envolvidos e definindo sua influência para a ocorrências dos eventos, bem como buscando estimar sua probabilidade e/ou gravidade relacionada (Azabache-Requena & Marcial-Ramos, 2019; Dolbeer, 2000; Linnell et al., 1996; Schumacher & Henkes, 2020).

Outra abordagem comum na literatura é a realização de avaliação de risco em um aeroporto específico, analisando as espécies presentes e seu comportamento, classificando e as ranqueando quanto sua contribuição para o risco de ocorrência de colisão com as aeronaves operados no aeródromo de modo a determinar espécies e condições prioritárias para medidas de mitigação (Azabache-Requena & Marcial-Ramos, 2019; Guedes et al., 2020; Linnell et al., 1999; Soldatini et al., 2010).

Alguns dos fatores comuns em vários estudos são fase de voo, altitude, velocidade, massa das espécies, quantidade de aves atingida, cobertura de nuvens, movimentação de aeronaves, parte atingida da aeronave, comportamento de voo, horário, categoria da aeronave, estação do ano, custos, entre outros.

A Tabela 1 sintetiza fatores comuns citados na literatura e ainda, a presença de cada um nos estudos analisados e considerados nesta pesquisa (provenientes da literatura acadêmica ou normativa). Salienta-se que o Manual de Gerenciamento de Risco de Fauna, orienta a necessidade da caracterização do uso do solo do aeródromo e Área de Segurança Aeroportuária – ASA, pois pode representar condições atrativas para a fauna, como: áreas verdes, gramados, drenagem, resíduos, entre outros (CENIPA, 2017). A metodologia de Oliveira (2017) também sugere a análise do fator uso do solo, no entanto com outro foco: em relação à concentração de pessoas. Entre as duas análises, o presente trabalho adota o segundo, por ter maior relevância para a segurança das operações, principalmente por considerar o grau de habitação do entorno do sítio aeroportuário.

Tabela 1 Resumo dos principais fatores levantados da literatura.

Fator	Fase de voo	Altura	Horário	Velocidade	Parte atingida	Cobertura de Nuvens	Massa da espécie	Comportamento da espécie	Solo ASA
(Linnell et al., 1996)	X				X	X	X	X	
(Linnell et al., 1999)	X		X			X	X	X	
(Zakrajsek & Bissonette, 2005)					X				
(Allan, 2006)							X		
(Dolbeer, 2006)		X	X						
(Shaw & Mckee, 2008)	X	X	X		X	X	X	X	
(Soldatini et al., 2010)			X				X	X	
(Allan et al., 2016)							X		
(Oliveira, 2017)		X	X	X			X	X	X
(CENIPA, 2017)	X	X	X	X	X	X	X	X	
(Jeffery & Buschke, 2018)							X	X	
(Oliveira, 2018)	X			X					
(Nimmagadda et al., 2020)	X	X	X		X	X	X	X	
(Ghazaoui et al., 2022)								X	

Ressalta-se que devido as colisões com aves serem uma das ocorrências mais recorrentes na aviação, há muitos trabalhos desenvolvidos abordando o tema. Porém, uma análise mais aprofundada e abrangente dos fatores para a probabilidade de ocorrência de uma colisão com aves e como estes se relacionam entre si – está ausente na maioria dos procedimentos de avaliação de risco, exceto em Oliveira (2018), onde o autor utilizou a opinião de especialistas no cálculo de probabilidades. Destaca-se ainda que, modelos de acidentes que possam relacionar e/ou quantificar o impacto dos fatores envolvidos nesse tema não foram encontrados, até o presente momento, portanto, são escassos na literatura.

3. METODOLOGIA

Os reportes dos eventos envolvendo fauna no Brasil são realizados por meio da Ficha CENIPA 15 online pelo Sistema de Gerenciamento de Risco Aviário – SIGRA. São informados os casos de colisões, quase colisões e avistamentos pelo operador do aeródromo, equipe de gestão da fauna, tripulação, controladores de tráfego aéreo e outros. A base com os dados dos reportes é disponibilizada no Portal de Dados Abertos do Governo Federal pelo CENIPA em arquivo de

formato *csv* e nela, consta 23.001 reportes de colisões com fauna no Brasil entre os anos de 2011 e 2021 (abrangência nacional). As informações das espécies (tamanho, nome, quantidade atingida) envolvidas, são disponibilizados em base de dados separada no Portal de Dados Abertos. As duas bases, de "Reportes Risco Fauna 2011 a 2021" e "Espécies do Risco de Fauna de 2011 a 2021", apresentam em comum o código do reporte. Logo, foi possível unificá-las com auxílio da função *procv* no Excel®.

Para atender o objetivo, primeiramente foi realizado filtro dos dados de colisões com aves que envolveram aeronaves comerciais (com capacidade acima de 30 passageiros). Deste primeiro filtro, a base passou a contar com 16.825 reportes. No segundo filtro, foram analisados os reportes que envolveram aves. Finalmente, chegou-se ao valor total de 15.033 reportes de colisões, que foram consideradas para análise. Destes 6.626 envolveram aves; apenas um envolveu ave como segunda espécie e 8.406 com espécie não identificada para as fases de pouso e decolagem. Logo, este dado é referente aos casos favoráveis utilizados neste trabalho.

Destaca-se que das 15.033 colisões entre aves e aeronaves comerciais consideradas, 69,35% estão concentradas em 20 aeródromos do País. O Aeroporto de Guarulhos – SP (SBGR), Porto Alegre – RS (SBPA), Viracopos – SP (SBKP), Galeão – RJ (SBGL) e o de Brasília – DF (SBBR) ocupam as cinco primeiras colocações com maiores quantidades de colisões informadas entre os anos de 2011 e 2021. Outro fato relevante é que, 98,88% das 15.033 colisões ocorreram dentro da Área de Segurança Aeroportuária (ASA) e, em 12,5% informaram danos e/ou prejuízos decorrentes.

Para compor a análise dos casos favoráveis (colisões) dentro do universo dos casos possíveis (movimentos de aeronaves), buscou se dado referente à movimentação de aeronaves no Brasil. Os dados selecionados são advindos do sistema Hórus da Secretaria Nacional de Aviação Civil – SAC, que apresenta informações sobre a aviação civil brasileira dos aeródromos do País. Foram considerados os dados referentes a evolução anual da movimentação de aeronave, via voos domésticos e internacionais, embarque e desembarque, de voos regulares dos aeródromos das capitais e regionais no período de 2011 a 2021. Dentro deste recorte, segundo o portal, ocorreram no Brasil para o período, um total de 18.365.246 movimentos de aeronaves. Os dados foram consultados no *website* no mês de agosto do ano de 2023 e são exibidos por ano considerado na Figura 1.

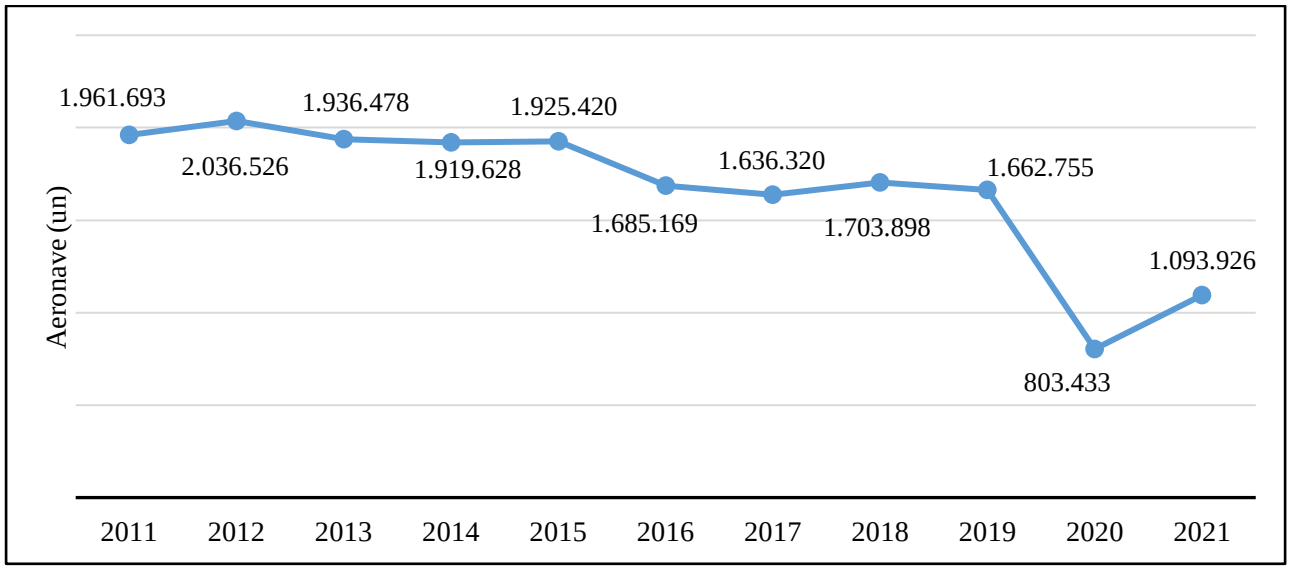


Figura 1 Movimentação de aeronaves no Brasil de 2011 a 2021.
Fonte: Hórus – LabTrans/SAC (2023) adaptado pelas autoras.

3.1. Redes Bayesianas

Foi utilizado a teoria de Rede Bayesiana, por ser um método da inteligência artificial, é capaz de estimar probabilisticamente os eventos de um sistema complexo. Esta teoria permite a representação gráfica do modelo ou sistema e das suas relações entre as variáveis.

Tal representação, facilita o entendimento de sistemas que dependem de muitos fatores, sendo possível a compreensão com facilidade das relações de dependência (Oliveira, 2018).

A probabilidade de um evento é uma medida de quão provável ou improvável o evento ocorra, portanto, as chances de ocorrência. Um evento será condicional a um segundo evento se sua probabilidade for alterada dado o conhecimento do estado do segundo evento (KRIEG, 2001). O cálculo de uma probabilidade posterior a partir de probabilidades anteriores, é realizado segundo o Teorema de Bayes. Este cálculo, se baseia na Lei da probabilidade Total, como consta da Equação 1.

$$P(B) = P(B|A_1)P(A_1) + \cdots + P(B|A_k)P(A_k) = \sum_{i=1}^{k} P(B|A_i)P(A_i) \quad (1)$$

Sendo:
$P(B)$: Probabilidade do evento B;
$P(B|A)$: Probabilidade condicional de B dado que ocorreu A;
$P(A)$: Probabilidade do evento A.

Uma rede de confiabilidade bayesiana (BBN – *Bayesian belief network)* é composta por um grafo direcional acíclico que representa um modelo de dependência em um domínio ou universo de interesse. As variáveis podem ser nós pais ou nós filhos. Em um nó que não recebe influência de nenhum outro, chama-se de "nó pai" e o "nó filho" se este é influenciado diretamente por aquele. Deve-se citar também, por essa lógica, que um nó raiz não tem pais e um nó filho não tem filhos (Krieg, 2001).

Em um cenário no qual algum estado dos nós é conhecido, é possível indicar ao modelo qual o valor do nó, de modo que a rede é atualizada com base nas evidências observadas (Oliveira, 2018). O software Netica® (Norsys Software Corp.) foi a ferramenta computacional utilizada para a realização das inferências em Redes Bayesianas.

3.2. Modelo de acidente por colisão com aves

Os fatores que constam na Tabela 1, foram selecionados para o Modelo de Acidente, uma vez que além de citados pela literatura, tem dados coletados nos reportes de colisões realizados junto ao CENIPA (exceto o fator "solo da área de segurança aeroportuária – ASA" por não ter dados satisfatórios para a análise e não ser contemplado nos bancos de dados oficiais, sendo necessário uma pesquisa de campo mais aprofundada).

Com base no levantamento dos fatores destacados pela investigação da literatura, foram definidos quatro categorias pelos quais estes se relacionam de forma direta e indireta: evento, ambiente, aves e aeronaves. O ambiente delimita fatores do ambiente externo, neste caso, horário e cobertura de nuvens. Aves é a categoria que delimita a fauna aviária, representada pelos fatores intrínsecos a espécime, como: massa da espécie e comportamento da espécie.

Os fatores ambientais influenciam diretamente as condições de presença e comportamento de aves, como foi apresentado na literatura, assim a relação de influência de ambiente e aves é direta. Por fim, a categoria aeronaves delimita condições específicas de operações de aeronaves que se destacaram na literatura e estão representados pelos fatores: fase de voo, altura AGL, velocidade e partes atingidas da aeronave.

Os estados para cada fator foram definidos considerando as informações coletadas para cada um nos reportes junto ao CENIPA e as sugestões de Oliveira (2017). A Tabela 2 apresenta o detalhamento das categorias, dos fatores e seus estados e o percentual de ocorrência de cada estado por aeródromo avaliado.

Tabela 2 Fatores e seus estados com percentual de ocorrência.

Categoria	Fator	Estados	Brasil 15.033 colisões 18.365.246 movimentos
Evento	Evento	Ocorre	0,082%
		Não Ocorre	99,918%
Ambiente	Horário	Dia	58,91%
		Noite	41,09%
	Cobertura de nuvens	Céu claro	62,54%
		Poucas nuvens	23,03%
		Encoberto	11,43%
Aves	Massa da espécie	≤ 1500 gramas	95,77%
		> 1500 gramas	4,21%
	Comportamento da espécie	1 ave	84,79%
		≥ 2 aves	6,78%
Aeronaves	Fase de voo	Pouso	56,82%
		Decolagem	36,33%
	Altura AGL	AGL ≤ 500 ft	90,73%
		500 < AGL ≤ 3500 ft	5,97%
		AGL > 3500 ft	2,09%
	Velocidade	≤ 80 kt	65,92%
		80 < V ≤ 200 kt	30,18%
		> 200 kt	1,80%
	Parte atingida	Fuselagem	17,55%
		Motor	15,31%
		Radome	15,82%
		Para-brisa	9,65%
		Asa	5,77%

Destaca-se que o estado pouso compreende as fases de pouso, descida e aproximação; o estado decolagem, as fases de decolagem e subida; e, o estado radome compreende as partes atingidas radome e nariz da aeronave.

A definição dos arcos ou links entre os nós foi direcional indicando o sentido de causalidade da rede, partindo dos fatores da categoria ‘ambiente’ à categoria ‘evento’. Os links foram determinados em acordo aos fatores (nós) que apresentam interação direta. Como as aves têm uma relação direta com a aeronave durante a operação e possibilitando uma colisão, e também indireta com o ambiente, o sentido dos arcos e a disposição dos nós dentro da rede estão apresentadas na Figura 2. Deste modo, da esquerda à direita da rede ou ainda, do ‘ambiente’ ao ‘evento’, pode-se observar a sequência estabelecida de influência entre os nós.

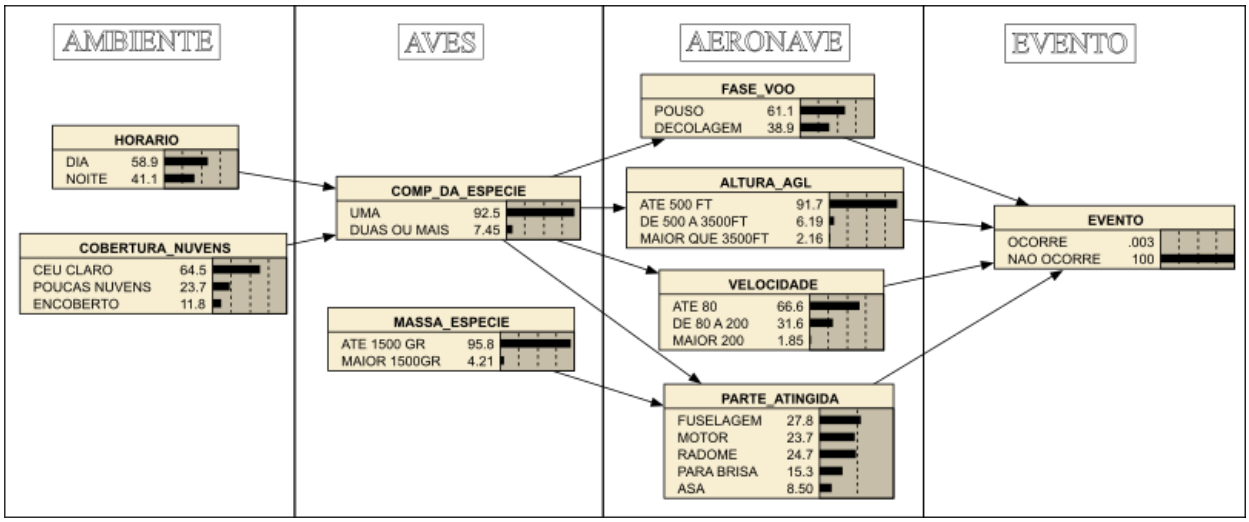


Figura 2 Rede bayesiana do Modelo de Acidente proposto representando o Cenário sem evidência

Construída a rede, foram gerados as Tabelas de Probabilidade Condicionais – TPC com todas as combinações possíveis de estados para cada nó. Nelas foram inseridos os valores das probabilidades reais para cada combinação de estados com base nos dados oficiais levantados do CENIPA e no dado de movimentação de aeronaves referentes às colisões de aeronaves com aves, consolidada após tratamentos anteriormente descritos.

A Figura 2 expõe a rede – com a representação dos nós e seus estados – criados no *software* Netica®. Nela são apresentadas as probabilidades dos nós – calculadas segundo as probabilidades a priori – se tratando, do cenário sem evidência, ou seja, o cenário base.

4. RESULTADOS

A BBN com evidência de que 'ocorreu' colisão de aeronaves com aves é apresentada na Figura 3, este resultado mostra as probabilidades de cada um dos estados dos fatores, dado que houve o evento. A BBN sem evidência da ocorrência da colisão foi apresentada na Figura 2.

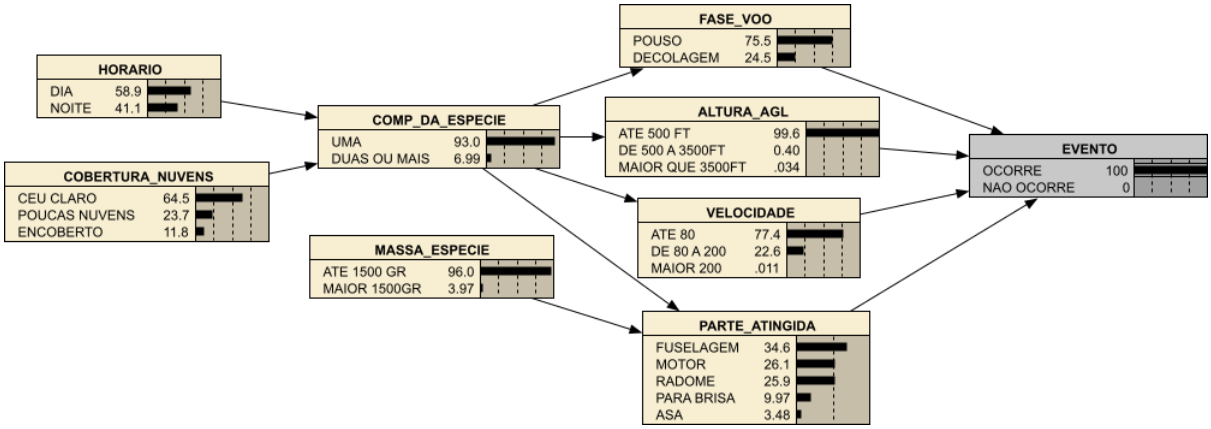


Figura 3 Rede bayesiana do Modelo de Acidente proposto representando o Cenário com evidência

Do cenário sem evidências, partindo dos dados estatísticos do cenário brasileiro, o modelo estimou uma probabilidade de 2,6293E-05 de ocorrer uma colisão de aeronaves com aves. Na Tabela 3 estão representadas todas as probabilidades dos estados de cada nó para os cenários sem e com evidência (EVENTO – OCORRE). O impacto de cada estado, mostra o aumento ou a diminuição da probabilidade de ocorrer, medido pela razão entre o cenário com a evidência e o sem evidência. Os estados estão ranqueados do maior ao menor impacto entre cenários.

Tabela 3 Probabilidades – Modelo de Acidente de Colisão de Aeronaves com Aves.

Nó	Estados	Com evidência (A)	Sem evidência (B)	Aumento da Probabilidade (A/B)*100	Impacto	*Ranking*
Evento	Ocorre	1	2,6293E-05	-	-	-
Evento	Não ocorre	0	9,9997E-01	-	-	-
Parte Atingida	Fuselagem	3,46E-01	2,78E-01	124,41%	24,41%	1º
Fase de voo	Pouso	7,55E-01	6,11E-01	123,71%	23,71%	2º
Velocidade	Até 80kt	7,74E-01	6,66E-01	116,27%	16,27%	3º
Parte Atingida	Motor	2,61E-01	2,37E-01	110,01%	10,01%	4º
Altura AGL	Até 500ft	9,96E-01	9,17E-01	108,63%	8,63%	5º
Parte Atingida	Radome	2,59E-01	2,47E-01	104,74%	4,74%	6º
Comportamento da Espécie	Uma	9,30E-01	9,25E-01	100,50%	0,50%	7º
Massa da Espécie	Até 1500gr	9,60E-01	9,58E-01	100,26%	0,26%	8º
Horário	Noite	4,11E-01	4,11E-01	100,13%	0,13%	9º
Cobertura de Nuvens	Céu Claro	6,45E-01	6,45E-01	100,05%	0,05%	10º
Horário	Dia	5,89E-01	5,89E-01	99,91%	-0,09%	11º
Cobertura de Nuvens	Poucas Nuvens	2,37E-01	2,37E-01	99,90%	-0,10%	12º
Cobertura de Nuvens	Encoberto	1,18E-01	1,18E-01	99,90%	-0,10%	13º
Massa da Espécie	Maior 1500gr	3,97E-02	4,21E-02	94,15%	-5,85%	14º
Comportamento da Espécie	Duas ou mais	6,99E-02	7,45E-02	93,75%	-6,25%	15º
Velocidade	80 a 200kt	2,26E-01	3,16E-01	71,56%	-28,44%	16º
Parte Atingida	Para-brisa	9,97E-02	1,53E-01	65,24%	-34,76%	17º
Fase de voo	Decolagem	2,45E-01	3,89E-01	62,82%	-37,18%	18º
Parte Atingida	Asa	3,48E-02	8,50E-02	40,96%	-59,04%	19º
Altura AGL	500 a 3500ft	4,04E-03	6,19E-02	6,53%	-93,47%	20º
Altura AGL	Maior 3500ft	3,36E-04	2,16E-02	1,56%	-98,44%	21º
Velocidade	Maior 200kt	1,06E-04	1,85E-02	0,57%	-99,43%	22º

Conforme apresentado, os dez primeiros estados do *ranking* da Tabela 3 apresentam os maiores aumentos na probabilidade (mais de 100% de aumento) com a evidência da colisão com ave, em ordem de importância, tem-se: (1º) fuselagem atingida na colisão; (2º) colisão na fase de pouso; (3º) colisão até 80 nós de velocidade; (4)º motor atingido na colisão; (5º) colisão até 500 pés de altura; (6º) radome atingido na colisão; (7º) Uma ave atingida; (8º) Ave de até 1.500 gramas atingida; (9º) Colisão durante a noite e (10º) Colisão em condições de céu claro.

Este resultado demonstra que, quando há a evidência da colisão com ave, estes estados exercem maior impacto no modelo, ou seja, tem maior probabilidade de ocorrer, dado que a colisão ocorreu. Por exemplo, o estado 'fuselagem' do nó 'Parte atingida' diz que a fuselagem da aeronave tem 124,41% de ser a parte atingida em uma colisão com aves. Para os demais estados, observa-se que o impacto diminui (representado pelo sinal negativo).

Os estados com impacto positivo indicam que estes, são os fatores de maior risco no Brasil quando se considera um cenário com a evidência da colisão. Logo, o cenário com maior sensibilidade para que o evento ocorra, envolve: *a fase de pouso, aeronave com até 500 pés de altura e 80 nós de velocidade, envolvendo uma ave de até 1.500 gramas, durante a noite com céu claro, com maior possibilidade de atingir fuselagem, motor ou radome*.

Pode-se afirmar ainda que, os estados que apresentam impacto negativo, quando da evidência de colisão, apresentam menor probabilidade de ocorrer. Este fato, leva à compreensão de que, para as condições simuladas, os fatores e seus respectivos estados com maior impacto podem contribuir com o gerenciamento de segurança operacional de aeroportos no cenário de acidentalidade brasileiro.

A partir dos resultados, foram identificados os fatores críticos no Brasil envolvendo as colisões entre aves e aeronaves

comerciais: a fuselagem, como parte atingida mais crítica (1º), durante fase de pouso (2º), com velocidade até 80 nós (3º), o motor, como segunda parte atingida mais crítica (4º), até 500 pés (5º), o radome, como terceira parte atingida mais crítica (6º), envolve apenas uma ave (7º), massa de até 1.500 gramas (8º), durante a noite (9º) com céu claro (10º).

5. CONCLUSÕES

Com o intuito de quantificar o impacto dos principais fatores contribuintes que envolvem colisões aves na aviação comercial em fases de pouso e decolagem de voos, este estudo desenvolveu um modelo de acidente para a aviação capaz de obter os fatores críticos relacionados à operação considerando-os dentro das categorias ambiente, aves, aeronaves.

O método de redes bayesianas foi utilizado para modelagem e quantificação das probabilidades condicionais. A aplicação do modelo utilizando as redes bayesianas permitiu uma análise detalhada dos impactos dos fatores e seus estados identificando os que influenciam a ocorrência de colisão entre ave e aeronave. O levantamento dos fatores contribuintes realizadas por meio da literatura, acadêmica e normativa, foi fundamental na obtenção da informação primária à construção do modelo de acidente.

Na sequência, a partir do modelo, foi avaliado o impacto de cada estado, que mostra o aumento da probabilidade de ocorrer, medido pela razão entre o cenário com a evidência e o sem evidência. Os estados que apresentaram os maiores impactos são: (1º) fuselagem atingida na colisão; (2º) colisão na fase de pouso; (3º) colisão até 80 nós de velocidade; (4º) motor atingido na colisão; (5º) colisão até 500 pés de altura; (6º) radome atingido na colisão; (7º) uma ave atingida; (8º) ave de até 1.500 gramas atingida; (9º) colisão durante a noite; e, (10º) colisão em condições de céu claro. Este resultado indica que, quando há a evidência da colisão com ave, estes estados exercem maior impacto no modelo, ou seja, tem maior probabilidade de ocorrer, dado que a colisão ocorreu.

Sendo assim, o cenário com maior sensibilidade para que o evento ocorra, envolve a fase de pouso, aeronave com até 500 pés de altura e 80 nós de velocidade, envolvendo uma ave de até 1.500 gramas, durante a noite com céu claro, com maior possibilidade de atingir fuselagem, motor ou radome.

Ressalta-se que os resultados encontrados são relevantes para o contexto da aviação que apresenta crescimento do transporte aéreo e do ponto de vista de que as ocorrências envolvendo aeronaves e aves são um dos mais repetitivos na aviação. Os resultados encontrados podem contribuir com o processo de gerenciamento de risco realizado pelos órgãos de interesse, sejam operadores aeroportuários, agências de aviação civil, centro de investigação de acidentes, companhias aéreas, institutos de pesquisa, entre outros.

Destaca-se também o Modelo de Acidente como ferramenta de análise para os demais atores, a exemplo das companhias aéreas que o podem utilizar como medida de apoio no gerenciamento de segurança operacional bem como, na prevenção de acidentes e custos decorrentes.

6. REFERÊNCIAS

ABEAR. (2016). Voar por mais Brasil: Os benefícios da aviação nos estados. Em Associação Brasileira das Empresas Aéreas. https://abear.com.br/wp-content/uploads/2019/03/ABEAR_VoarPorMaisBrasil_2016.pdf

Allan, J. (2006). A heuristic risk assessment technique for birdstrike management at airports. *Risk Analysis*, *26*(3), 723–729. https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2006.00776.x

Allan, J., Baxter, A., & Callaby, R. (2016). The impact of variation in reporting practices on the validity of recommended birdstrike risk assessment processes for aerodromes. *Journal of Air Transport Management*, *57*, 101–106. https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2016.07.012

Azabache-Requena, J. A., & Marcial-Ramos, R. (2019). Análisis de peligro aviario en el Aeropuerto Guillermo Concha Iberico, Piura, Perú. *Boletín UNOP*, *14*, 19–28. https://boletinunop.weebly.com/uploads/6/2/2/6/62265985/boletin_unop_vol._14_n%C2%B01_2019_-_azabache.pdf

Bandeira, M., Correia, A., Martins, M. (2018). General model analysis of aeronautical accidents involving human and organizational factors. Journal of Air Transport Management 69, 137–

146. https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2018.01.007

Bandeira, M., Correia, A., Martins, M. (2017). Method for measuring factors that affect the performance of pilots. Transportes 25 (2), 156–169. http://dx.doi.org/10.14295/transportes.v25i2.1374.

Blokpoel, H. (1976). *Bird hazards to aircraft: problems and prevention of bird/aircraft collisions*. Clarke, Irwin & Co. https://canadianbirdstrike.ca/wp-content/uploads/2018/02/Blokpoel_1976-1.pdf

CENIPA. (2017). Manual de gerenciamento de risco de fauna MCA 3-8. Em *Comando da Aeronáutica. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos*.

CENIPA. (2020). *Plano básico de gerenciamento de risco de fauna PCA 3-3*. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. Comando da Aeronáutica. Assessoria de Gerenciamento de Risco de Fauna.

CENIPA. (2021). Anuário de Risco de Fauna 2011-2020. Em *SANTOS, L. C. B.; SOUZA, M. D. S. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos.*

Cleary, E. C., & Dolbeer, R. A. (2005). Wildlife Hazard Management at Airports - A Manual for Airport Personnel. Em *Federal Aviation Administration: Vol. Second Edition*. https://www.faa.gov/airports/airport_safety/wildlife/resources/media/2005_FAA_Manual_complete.pdf

Dolbeer, R. A. (2000). Birds and aircraft: fighting for airspace in crowded skies. *Proceedings of the Vertebrate Pest Conference*, *19*(19). https://doi.org/10.5070/V419110122

Dolbeer, R. A. (2006). Height Distribution of Birds Recorded by Collisions with Civil Aircraft. *Journal of Wildlife Management*, *70*(5), 1345–1350. https://doi.org/https://doi.org/10.2193/0022-541X(2006)70[1345:HDOBRB]2.0.CO;2

EPL, & ONTL. (2022). Boletim de Logística: A importância do transporte aéreo para o Brasil. Em *Empresa de Planejamento e Logística S.A.; Observatório Nacional de Transporte e Logística*. https://ontl.epl.gov.br/publicacoes/boletins-de-logistica/

Ghazaoui, A., Lafif, M., Labzai, A., Rachik, M., & Bouyaghroumni, J. (2022). Mathematical modeling of aircraft bird strikes and optimal control strategies. *International Journal of Dynamics and Control*. https://doi.org/10.1007/s40435-022-00934-4

Guedes, F. L., Aragão Júnior, W. R., Medeiros, R. de M., & Santos, M. F. da S. (2020). Relação entre aterro sanitário e risco aviário: estudo de caso no Aeroporto Internacional de Recife - PE. Em R. F. de Santana, W. R. Aragão Júnior, & S. G. El-Deir (Orgs.), *VI Congresso Brasileiro de Resíduos Sólidos* (p. 123–132). EDUFRPE: Gampe/ UFRPE. https://www.epersol.com.br/

Jeffery, R. F., & Buschke, F. T. (2018). Urbanization Around an Airfield Alters Bird Community Composition, but not the Hazard of Bird-Aircraft Collision. *Environmental Conservation*, *46*(2), 124–131. https://doi.org/10.1017/S0376892918000231

Krieg, M. L. (2001). *A Tutorial on Bayesian Belief Networks* (1º ed). DSTO Electronics and Surveillance Research Laboratory.

LABTRANS. (2023). *Evolução anual da movimentação de aeronave*. Secretaria Nacional de Aviação Civil. Hórus. Laboratório de Transporte e Logística. UFSC. https://horus.labtrans.ufsc.br/gerencial/?auth=s#Movimentacao/Evolucao

Linnell, M. A., Conover, M. R., & Ohashi, T. (1999). Biases in bird strike statistics based on pilot reports. *Journal of Wildlife Management*, *63*, 997–1003. https://doi.org/https://doi.org/10.2307/3802814

Linnell, M. A., Conover, M. R., & Ohashi, T. J. (1996). Analysis of Bird Strikes at a Tropical Airport. *Source: The Journal of Wildlife Management*, *60*(4), 935–945.

Nimmagadda, S., Sivakumar, S., Kumar, N., & Haritha, D. (2020). Predicting airline crash due to birds strike using machine learning. *International Conference on Smart Structures and Systems (ICSSS)*, 1–4. https://doi.org/10.1109/AERO.2014.6836249

Oliveira, J. C. de. (2018). *Análise de cenários de acidentes aéreos utilizando redes bayesianas baseadas em especialistas* [Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)]. Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA.

OLIVEIRA, H. R. B. (2017). Metodologia de Avaliação Operacional de Risco de Fauna. Em *Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA)*.

Schumacher, L. N., & Henkes, J. A. (2020). Uma análise sobre o risco aviário na aviação brasileira. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, *9*, 906–926. https://www.skybrary.aero/index.php/Bird_Strike

Shaw, P., & Mckee, J. (2008). *Risk Assessment: quantifying aircraft and bird susceptibility to strike*. https://www.worldbirdstrike.com/images/Resources/IBSC_Documents_Presentations/Brasil/IBSC28_WP01.pdf

Soldatini, C., Georgalas, V., Torricelli, P., & Albores-Barajas, Y. V. (2010). An ecological approach to birdstrike risk analysis. *European Journal of Wildlife Research*, *56*(4), 623–632. https://doi.org/10.1007/s10344-009-0359-z

Zakrajsek, E. J., & Bissonette, J. A. (2005). Ranking the risk of wildlife species hazardous to military aircraft. *Wildlife Society Bulletin*, *33*(1), 258–264. https://doi.org/10.2193/0091-7648(2005)33[258:rtrows]2.0.co;2

DEFENSE AND SECURITY

Defense and Security involves studies related to new Drones/EVTOL applications and the security of air Transportation and its operation. Most of the authors are from the southeast of Brazil, from universities and government agencies.