

APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY PARA GERENCIAMENTO DE RISCOS EM AEROPORTOS

Elohim Adonai dos Santos Nery Nunes Ribeiro*

Universidade de Brasília/Departamento de Engenharia Civil e Ambiental/Brasília/Brasil

Fabiana Serra de Arruda

Universidade de Brasília/Departamento de Engenharia Civil e Ambiental/Brasília/Brasil

RESUMO

A utilização da Matriz de Risco é um critério mínimo exigido pela OACI (Organização da Aviação Civil Internacional), que deve ser adaptado para atender às necessidades de cada aeroporto. Este artigo faz uma associação da análise de eventos de risco utilizando a matriz de riscos com uma análise numérica por meio da Lógica Fuzzy, trazendo não mais apenas a classificação linguística para os eventos (Aceitável, Tolerável ou Intolerável). São propostos quatro eventos de risco, em duas simulações de operações aeroportuárias simplificadas. A partir disso, é realizada uma pesquisa com cinco avaliadores especialistas em Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional (SGSO) buscando uma avaliação numérica a cada evento. As respostas foram o input para um Sistema de Controle Fuzzy (SCF), construído com base na matriz de riscos da OACI. Os outputs deste SCF permitiram a classificação numérica dos eventos de risco. Três, dentre os quatro eventos, foram classificados como 3A pela matriz, mas com valores diferentes de saída do SCF. Os resultados mostram que é viável a utilização da ferramenta para refinamento de análise de tolerabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Aeroportos, Gerenciamento de Riscos, Lógica Fuzzy, Matriz de Risco

ABSTRACT

The use of the Risk Matrix is a minimum criterion required by ICAO (International Civil Aviation Organization), which must be adapted to meet the needs of each airport. This article associates the analysis of risk events using the risk matrix with a numerical analysis using Fuzzy Logic, not only bringing the linguistic classification to the events (Acceptable, Tolerable or intolerable). Four risk events are proposed, in two simulations of simplified airport operations. From this, a survey is carried out with five Safety Management System (SMS) specialist evaluators seeking a numerical assessment for each event. The answers were the input for a Fuzzy Control System (FCS), built based on the ICAO risk matrix. The outputs of this FCS allowed the numerical classification of risk events. Three of the four events were classified as 3A by the matrix, but with different FCS output values. The results show that it is feasible to use the tool to refine the tolerability analysis.

KEYWORDS: Airports, Risk Management, Fuzzy Logic, Risk Matrix

1. INTRODUÇÃO

As operações aeroportuárias são dotadas de risco em cada uma de suas etapas. Para o controle e mitigação desses riscos, a *International Civil Aviation Organization* (ICAO) estabelece um Sistema de Gerenciamento de Riscos à Segurança Operacional (SGSO), que engloba políticas, práticas de gestão, avaliação, revisão e ferramentas próprias com o intuito de identificar potenciais fatores que gerem prejuízos às operações aeroportuárias ou às pessoas

e/ou materiais e equipamentos envolvidos, e agir contra suas ocorrências ou consequências. Uma das ferramentas mais difundidas nas atividades do SGSO é a matriz de probabilidade e impacto.

A matriz de probabilidade e impacto (ou matriz de risco) é a ferramenta recomendada pela ICAO para o gerenciamento dos riscos e priorização de ações de mitigação, especificamente associadas aos riscos à segurança operacional de aeroportos, utilizando uma análise majoritariamente qualitativa, associada a fatores quantitativos das operações. Watanabe et al.

*Autor correspondente: elohim.rbr@gmail.com



(2019, p. 4) discorrem em seu trabalho que a matriz de risco, apesar de sua vantagem na simplicidade de implementação, apresenta perdas em seus processos pois a análise quantitativa do risco torna-se desconhecida, visto que seus dados de entrada tratam as consequências dos perigos de maneira inteiramente qualitativa, exigindo certa meticulosidade dos especialistas para a atribuição das magnitudes de probabilidade e impacto.

A ICAO (2018, p. 2-14) possibilita que os operadores de aeródromos adaptem as tabelas e matrizes de avaliações de risco, de maneira a refletir suas necessidades e complexidades de operações, e que estas avaliações devem levar em consideração parâmetros qualitativos e quantitativos.

Para promover uma classificação e associação quantitativas de eventos de risco qualitativos surge o ferramental da Lógica Fuzzy (ou lógica difusa) que apresenta modelagens matemáticas mais próximas aos aspectos observáveis da realidade (Krykhtine, 2018, p. 22).

Este trabalho tem por objetivo desenvolver uma adaptação da metodologia de gerenciamento de riscos da ICAO utilizando a Lógica Fuzzy associada à Matriz de Riscos. O produto deste artigo busca auxiliar na tomada de decisão de operadores de aeroportos frente à eventos de risco diferentes, mas que pela avaliação convencional de riscos, não são facilmente diferenciados para priorização de ações, por terem classificações iguais na matriz de probabilidade e impacto.

2. GERENCIAMENTO DE RISCOS (ICAO)

Na aviação civil, a ICAO, em seu DOC 9859, define os pilares *safety* (segurança operacional) e *security* (segurança contra atos ilícitos) como os domínios operacionais básicos dentre aqueles que compõem o sistema da aviação geral.

A segurança operacional, foco deste trabalho, é definida pela ANAC, no Regulamento Brasileiro da Aviação Civil N°153 (RBAC 153), como:

“[...] estado no qual o risco de lesões a pessoas ou danos a bens se reduz ou se mantém em um nível aceitável, ou abaixo deste, por meio de um processo contínuo de identificação de perigos e gestão de riscos (RBAC 153, ANAC).”

O modelo ICAO do Gerenciamento da Segurança Operacional é um processo que evolui através de 4

fases principais:

- 1) Identificação de perigos e análise das consequências dos perigos;
- 2) Avaliação do risco associado;
- 3) Desenvolvimento de estratégias para eliminação ou mitigação do risco; e
- 4) Avaliação das estratégias implementadas.

Este trabalho é aplicado à fase de Avaliação dos Riscos, onde a ICAO recomenda a utilização da Matriz de Riscos.

A fase de avaliação dos riscos associa um valor numérico à realização de uma atividade, operação ou evento (FAA, 2009, p. 18). Esta definição do valor numérico, entretanto perpassa por avaliações tanto qualitativas, quanto quantitativas (Canale, 2005, p. 6). O grau de risco associado a determinada operação é comparado com a tolerância, para definir se o risco é aceitável ou não. Caso a operação planejada resulte em uma tolerância inaceitável, as atividades devem ser canceladas pelos operadores. (FAA, 2009, p. 29).

A ICAO, portanto, define três níveis de avaliação do risco associado às operações no DOC 9859 (2018, pp. 35-40): Probabilidade de Ocorrência, Severidade e Tolerância.

A avaliação da probabilidade de ocorrência é baseada na determinação da chance ou frequência que o acidente ou incidente pode ocorrer para cada perigo identificado na primeira fase do gerenciamento de riscos (Orlando, 2020, p. 31). Esta probabilidade pode ser estimada ou calculada, a depender da disposição de dados confiáveis a respeito das operações (Canale, 2005, p. 6), levando em consideração todas as medidas de controle e segurança já existentes no sistema em vigor no aeródromo (Veras, 2011, p. 62). A ICAO define uma métrica qualitativa para esta avaliação, conforme a Tabela 01.

Tabela 1. Avaliação da Probabilidade

Frequência	Significado	Valor
Frequente	Provável de ocorrer várias vezes (tem ocorrido com frequência)	5
Provável	Provável de ocorrer algumas vezes (tem ocorrido sem frequência)	4
Remoto	Improvável de ocorrer, mas possível (tem ocorrido raramente)	3
Improvável	Muito improvável de acontecer (não há registro de ocorrências)	2
Extremamente Improvável	Quase inconcebível de que o evento ocorra	1

Fonte: ICAO (2018)

Feita a análise de probabilidades, a próxima etapa é a de avaliação da severidade das consequências dos perigos, com base na extensão dos possíveis danos resultados destes perigos (Orlando, 2020 e ICAO, 2018). São avaliadas as possíveis fatalidades ou danos a pessoas, operações ou equipamentos que estejam em aeronaves ou em contato direto com qualquer parte da aeronave e até mesmo na área de projeção da explosão do jato da aeronave. Ainda é realizada a análise com base em danos sofridos pela aeronave ou instalações de serviços do aeroporto (ICAO, 2018).

Para a avaliação da severidade devem ser considerados os piores cenários razoavelmente esperados como resultado para as consequências dos perigos identificados (Canale, 2005), levando em consideração quaisquer medidas de mitigação existentes (ANAC, 2019). Assim como na avaliação de probabilidades, a ICAO exemplifica uma categorização da severidade das consequências dos perigos em cinco níveis:

(A) Catastrófica: Aeronave/equipamento destruído; múltiplas fatalidades;

(B) Crítica: Larga redução das margens de segurança, dano físico ou carga de trabalho acima da capacidade operacional de desempenhar suas atividades de maneira acurada e completa; lesões sérias; graves danos a equipamentos;

(C) Significativa: Redução significativa das margens de segurança, redução na habilidade do operador em responder a condições operacionais adversas como resultado do aumento da carga de trabalho ou

condições que impedem sua eficiência; incidente sério; lesões às pessoas;

(D) Pequena: Interferência; limitações operacionais; utilização de procedimentos de emergência; incidentes menores;

(E) Insignificante: Consequências menores.

A combinação dos graus de probabilidade e severidade é utilizada para a definição do índice de tolerabilidade, utilizando um exemplo de matriz de risco proposto pela ICAO, alinhando as tabelas sugeridas anteriormente. A matriz de risco (Tabela 2) classifica conceitualmente os índices em 3 regiões principais de nível de risco: intolerável (vermelho), tolerável (amarelo), aceitável (verde) (Barroso, 2015, p. 22).

Tabela 2. Matriz de Risco

Probabilidade	Severidade				
	A	B	C	D	E
5	5A	5B	5C	5D	5E
4	4A	4B	4C	4D	4E
3	3A	3B	3C	3D	3E
2	2A	2B	2C	2D	2E
1	1A	1B	1C	1D	1E

Fonte: ICAO (2018)

Com base na indicação de tolerância da matriz de risco, são determinadas as ações, conforme o exemplo da ICAO:

Intolerável: Tomar ações imediatas para mitigação do risco ou interromper as atividades. Realizar mitigação prioritária do risco para garantir que haja controles preventivos adicionais ou melhorados para reduzir o índice de risco para um risco tolerável.

Tolerável: Pode ser tolerado com base na mitigação do risco. Requer uma decisão de gerenciamento para aceitar o risco.

Aceitável: Aceitável como é. Não necessita de ações para a mitigação do risco.

3. LÓGICA FUZZY

A técnica da Lógica Fuzzy, ou Lógica Difusa, amplia o horizonte de possibilidades de resposta de dispositivos eletrônicos. Ao invés de restringir esta resposta ao conjunto binário {0, 1} ou {Sim, Não}, introduz o conceito de pertinência, sendo este o grande diferencial da teoria dos números nebulosos (Krikhtine, 2018, p. 36). Este conceito se baseia na proposição de que existem alternativas intermediárias, admitindo a possibilidade de um "Quase Verdadeiro = 0,9" ou "Quase Falso = 0,1" (Rignel, 2011, pp. 8-9). Lotfi Zadeh (1978, PP. 5-8)

propõe em sua teoria que entre os limites 0 e 1 existe uma função de pertinência $\mu(x)$ do tipo:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & \text{para } x < a \\ \mu_A(x) & \text{para } 0 \leq x \leq 1 \\ 1 & \text{para } x > b \end{cases} \quad (1)$$

A função pertinência $\mu_A(x)$ pode assumir diversas formas, a depender da distribuição analisada. A escolha da função é resultado da análise do comportamento dos parâmetros que explicam determinado fenômeno (Krykhtine, 2018, p. 28). Os casos mais utilizados são os de função pertinência triangular e trapezoidal, conforme as Figuras 1 e 2:

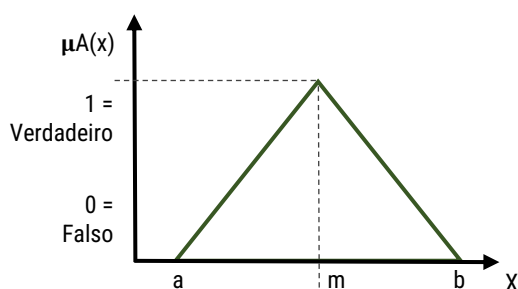


Figura 1. Exemplo de função de pertinência triangular.
 Fonte: acervo pessoal.

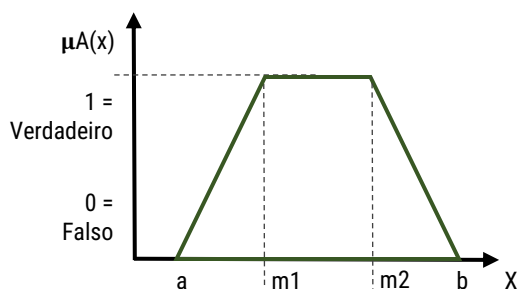


Figura 2. Exemplo de função de pertinência trapezoidal.
 Fonte: acervo pessoal.

Onde,

a e b: mínimo e máximo valores, respectivamente, em que a função $\mu_A(x)$ assume algum grau de pertinência;

m, m1 e m2: valor onde a função de pertinência assume seu maior valor de aderência.

As operações entre dois diferentes conjuntos fuzzy e suas respectivas funções de pertinência também são definições importantes de serem compreendidas, pois serão exploradas no decorrer deste trabalho:

● A Soma de dois conjuntos Fuzzy A e B, com funções de pertinência $\mu_A(x)$ e $\mu_B(x)$

respectivamente, num mesmo espaço X é dada pela seguinte relação:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A, \mu_B), \text{ para todo } x \in X \quad (2)$$

● A Intersecção de dois conjuntos Fuzzy A e B, com funções de pertinência $\mu_A(x)$ e $\mu_B(x)$ respectivamente, num mesmo espaço X é dada pela seguinte relação:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A, \mu_B), \text{ para todo } x \in X \quad (3)$$

3.1 Sistema de Controle Fuzzy (SCF)

Papis et al. (2019, p. 3) descrevem o sistema clássico de um controle fuzzy conforme as seguintes fases:

a. Fuzzificação: Converte a entrada de um valor numérico numa variável linguística, com base nas funções de pertinência, determinando um grau de pertinência a esta entrada em cada função.

b. Inferência: É a fase onde a pertinência do dado de saída é definida, tendo como parâmetro inicial as Regras Base, e passando por três estágios de inferência: Agregação, Ativação e Acumulação.

○ Regras Base são correlações entre conjuntos fuzzy de entrada, determinando uma saída específica para diferentes combinações. Normalmente estão na forma de funções lógicas E e OU: “SE X = A1 E Y = B1 ENTÃO Z = C1”.

No contexto da aviação civil, as regras base se enquadram nos resultados da própria matriz de risco, como:

“SE Probabilidade = Frequente E Severidade = Catastrófica ENTÃO Risco = Intolerável”.

c. Defuzzificação: este processo é aplicado quando é necessária uma saída numérica do problema. São vários os métodos para este processo. Papis et al. citam os seguintes: Primeiro do Máximo, Último do Máximo, Centro do Máximo, Centro de Gravidade e Método da Altura.

4. MÉTODO

Foi realizada uma pesquisa com especialistas em SGSO em aeroportos do Brasil, com o intuito de coletar as suas avaliações para 4 eventos de risco, apresentados em duas situações distintas. Nenhum especialista teve acesso às respostas dos outros.

Os valores de Probabilidade e Severidade obtidos na avaliação dos especialistas foram utilizados como *input* para o Sistema de Controle Fuzzy, aplicado conforme o item 3.1.

Os *outputs* numéricos do SCF serviram de insumo para que fosse feito um ranqueamento dos eventos de risco, estabelecendo-se uma ordem de prioridade para a tomada de decisões.

4.1 Aplicação da Pesquisa

A pesquisa foi aplicada por meio de um formulário na plataforma *SurveyMonkey*. O formulário coleta informações a respeito de: área de formação dos respondentes; ocupação no momento da pesquisa; há quanto tempo atuam com SGSO; em qual(is) estado(s) atua com SGSO; número do código do aeroporto de maior complexidade que atua (de acordo com a classificação da ICAO); letra do código do aeroporto de maior complexidade que atua (de acordo com a classificação da ICAO). Estas informações são coletadas visto que a utilização da Lógica Fuzzy tem por objetivo balizar as incertezas de avaliações de risco, e a experiência de cada profissional naturalmente gera vieses em sua avaliação individual e específica.

A avaliação de riscos no formulário é aplicada a duas simulações de operações aeroportuárias: Manutenção de Pista e Pouso de Emergência. Após a apresentação da operação, são destacados alguns eventos de risco associados a cada uma, e então os respondentes são convidados a avaliar numericamente cada evento de risco. Esta avaliação de risco foi baseada num exemplo de matriz de risco adaptada pelo Aeroporto Internacional de Incheon, na Coreia do Sul, disponibilizada como exemplo pela ICAO (2018, p. 2-14 – 2-15), destacando 3 parâmetros de perda na avaliação de severidade: Perdas Humanas (H), Perdas de Equipamentos (E) e Perdas em operações (O). Foi pedido que os avaliadores focassem em perdas de equipamentos, monetarizando esta perda em dólares, conforme a Tabela 3. A avaliação da probabilidade é dada pelo tempo de recorrência, de acordo com a Tabela 4.

Tabela 3. Legenda para Avaliação de Severidade

Código	Significado
A	Mais de \$10Mi
B	Entre \$1Mi e \$10Mi
C	Entre \$100m e \$1Mi
D	Entre \$10m e \$100m
E	Menos de \$10m

Fonte: Aeroporto Internacional de Incheon - KOR, adaptada

Tabela 4. Legenda para Avaliação de Probabilidade

Código	Significado
1	Provável que o evento ocorra uma vez a

	cada mês
2	Provável que o evento ocorra uma vez a cada ano
3	Provável que o evento ocorra uma vez a cada 5 anos
4	Provável que o evento ocorra uma vez a cada 20 anos
5	Improvável que o evento ocorra em 20 anos

Fonte: Aeroporto Internacional de Incheon - KOR, adaptada

4.2 Eventos de Risco Propostos

A seguir, serão apresentadas as situações propostas:

Situação 01 - Operação de Manutenção de Pista

Após uma precipitação de 10 minutos, está prevista uma operação para manutenção da pista, para remoção do acúmulo de água e de borracha na área de toque. A operação é em um aeroporto de pista única, que realiza cerca de 350 operações diárias de pouso e decolagem.

DESCRIÇÃO DOS PERIGOS ANALISADOS

Perigo 1.1) Trabalhador inexperiente entra/permanece na pista sem a autorização da TWR (do inglês "Tower" - Torre de Controle);
 Perigo 1.2) Invasão dos motores à área lateral da pista.

CONSEQUÊNCIAS DOS PERIGOS

Evento 1.1) Colisão de Aeronave com veículo/pessoas;
 Evento 1.2) Ingestão de componentes pelas turbinas e consequente falha nos motores.

MEDIDAS MITIGADORAS EXISTENTES

Medida 1.1) Exame prático para admissão de motoristas; Supervisão da fraseologia utilizada por motoristas e controladores; Comunicações de trabalhadores de manutenção, pilotos e TWR em VHF; Plano Operacional de Obras e Serviços (POOS).
 Medida 1.2) Check-list de operação para os trabalhadores da manutenção

Situação 02 - Pouso Emergencial

Por conta de um passageiro passando mal, o piloto avalia a possibilidade de um pouso emergencial de um Boeing 747-8 num aeroporto com operação máxima de Boeing 747-400, de classificação 4E.

DESCRIÇÃO DOS PERIGOS ANALISADOS

Perigo 2.1) Habilidades do piloto insuficientes para realizar a frenagem no comprimento de pista disponível;

Perigo 2.2) Esforços aplicados ao pavimento além de sua resistência.

CONSEQUÊNCIAS DOS PERIGOS

Evento 2.1) Excursão de pista;

Evento 2.2) Deterioração do pavimento da pista de pouso/decolagem ou pistas de táxi.

MEDIDAS MITIGADORAS EXISTENTES

Medida 2.1) Monitoramento de dados de vôo; Line Operational Safety Audit - LOSA; Runway End Safety Area - RESA; Emissões de reportes de condições da pista;

Medida 2.2) Inspeção operacional rotineira da pista de pouso/decolagem; Plano de manutenção preventiva das pistas de pouso/decolagem e táxi.

4.3 Resultados Obtidos

Diante das situações propostas, e considerando apenas as medidas mitigadoras apresentadas no roteiro, os avaliadores propuseram valores de Severidade, considerando apenas perdas de equipamentos, em dólares, e Probabilidade, levando em conta o tempo de recorrência, em meses.

Os resultados da avaliação de severidade e probabilidade dos eventos de risco da situação 01 e situação 02 são apresentados na Tabela 5 e na Tabela 6, respectivamente, sendo a probabilidade medida em tempo de recorrência em meses.

Tabela 5. Avaliação de severidade e probabilidade dos eventos 1.1 e 1.2

Avalr.	Sev. 1.1	Prob. 1.1	Sev. 1.2	Prob. 1.2
1	\$10m	2	\$10m	7
2	\$50Mi	1	\$100m	1
3	\$100Mi	60	\$100Mi	60
4	\$80m	180	\$100m	48
5	\$100Mi	240	\$100Mi	240

Fonte: respostas ao formulário

Tabela 6. Avaliação de severidade e probabilidade dos eventos 2.1 e 2.2

Avalr.	Sev. 2.1	Prob. 2.1	Sev. 2.2	Prob. 2.2
1	\$10m	2	\$0m	3
2	\$500m	1	\$100m	1
3	\$100Mi	240	\$60m	600
4	\$8m	50	\$100m	60
5	\$100Mi	600	\$10,13Mi	600

Fonte: respostas ao formulário

A análise direta dos valores obtidos mostra discrepâncias entre as respostas. Para este trabalho, serão considerados todos os valores, para com eles realizar uma média. Desta forma, valores muito altos

reforçam a tendência do avaliador a se inclinar a uma avaliação mais crítica, e valores muito baixos denotam a perspectiva de que as medidas mitigadoras existentes na simulação já são boas alternativas para os eventos de risco analisados. Apenas foi considerado como inválido o valor nulo da severidade 2.2 para o Avaliador 1, e descartado para fazer a média.

Portanto, utilizando as médias dos valores obtidos, e então lançando estes valores nos intervalos das Tabelas 3 e 4 são atingidos os resultados abaixo:

- Evento 1.1: Severidade R\$50.018.000,00; Probabilidade 96.60; Classificação 3A
- Evento 1.2: Severidade R\$40.042.000,00; Probabilidade 71.20; Classificação 3A
- Evento 2.1: Severidade R\$41.702.000,00; Probabilidade 178.60; Classificação 3A
- Evento 2.2: Severidade R\$2.597.500,00; Probabilidade 252.80; Classificação 2B

Os resultados obtidos trazem, então, 3 eventos de risco com a mesma classificação (3A), que pela Tabela 2 são associados à categoria "Intolerável", sendo necessário desenvolver medidas mitigadoras para todos os eventos, visando reduzir sua classificação. Além disso, um dos eventos é de classificação 2B, e conseqüentemente "Tolerável", necessitando de medidas mitigatórias.

Entretanto, a classificação idêntica dos eventos de risco 1.1, 1.2 e 2.1, reforça o objetivo da pesquisa. No próximo tópico, será realizada a aplicação da Lógica Fuzzy aos valores obtidos para se promover um valor adicional à categoria utilizando a metodologia explicada no item 3.

4.4 Aplicação da Lógica Fuzzy

Os dados obtidos no item 4.3 são utilizados como input para o Sistema de Controle Fuzzy, como no item 3.1. O Sistema foi criado utilizando o software Scilab® em sua versão 6.1.1, com o apoio do Toolbox sciFLT.

4.4.1 Funções de Pertinência

Estabelecer funções de pertinência requer o entendimento claro do comportamento das variáveis em função dos parâmetros analisados. A aplicação da Lógica Fuzzy proposta neste trabalho não é uma prática cotidiana no setor da aviação civil, portanto não há estudos consolidados que demonstrem o

comportamento de Probabilidade, Severidade e Tolerabilidade de eventos de risco em função de perdas e tempo de recorrência, sendo necessário arbitrar as curvas de pertinência para prosseguimento da análise e demonstração do sistema.

As funções utilizadas levaram em consideração os intervalos das Tabelas 3 e 4. Foram arbitradas funções trapezoidais para os intervalos das extremidades, e triangulares para os intervalos centrais. Aos valores limites de Severidade descritos na Tabela 3 foi adicionada uma margem de 10% para mais e para menos deste valor. Por exemplo, para a avaliação da Severidade, o intervalo de severidade "Fraco" é compreendido pelos limites inferior e superior \$10.000,00 e \$100.000,00 respectivamente. Foi adotado um intervalo de \$9.000,00 a \$110.000,00 com a margem de 10%. Os valores centrais que representam 100% da função de pertinência de severidade foram atribuídos ao valor exatamente no centro do intervalo. O mesmo se repete a todos os valores de Severidade, seguindo os seguintes limites:

- Insignificante: Trapezoidal (-1, 0, 10000, 11000)
- Fraco: Triangular (9000, 55000, 110000)
- Moderado: Triangular (90000, 550000, 1000000)
- Grave: Triangular (900000, 5500000, 11000000)
- Catastrófico: Trapezoidal (9000000, 10000000, 100000000, 1000000001)

As curvas de pertinência de Probabilidade foram realizadas com os mesmos formatos das de Severidade, entretanto, os limites dos intervalos foram tomados diferentemente. O limite inferior de um intervalo é dado como o inverso do valor que representa a variável linguística anterior. O limite superior é dado como o inverso valor que representa a variável linguística subsequente. Por exemplo, a Tabela 4 associa o valor "Remoto" como 60 meses, portanto os limites inferior e superior de sua função de pertinência são 1/12 meses (inverso do valor atribuído a Ocasional) e 1/240 meses (inverso do valor atribuído a Improvável), sendo o Remoto associado diretamente ao valor 1/60. Os intervalos das funções de Probabilidade são mostrados abaixo:

- Muito Improvável: Trapezoidal (-0.0001, 0, 0.00167, 0.00417)
- Improvável: Triangular (0.00167, 0.00417, 0.0167)
- Remoto: Triangular (0.00417, 0.0167, 0.0833)
- Ocasional: Triangular (0.0167, 0.0833, 1)
- Frequente: Trapezoidal (0.0833, 1, 1.00009,

1.0001)

Também foram constituídas as funções de pertinência para a Tolerabilidade, associando os valores dos intervalos Aceitável, Tolerável e Intolerável. Não há regra numérica para estes intervalos, portanto arbitrou-se os intervalos abaixo:

- Aceitável: Trapezoidal (-1, 0, 30, 35)
- Tolerável: Triangular (30, 50, 75)
- Intolerável: Trapezoidal (70, 80, 100, 101)

4.4.2 Sistema de Controle Fuzzy

Fuzzificação:

Este processo é realizado de maneira direta. Um valor numérico é convertido em variável linguística, de acordo com o intervalo em que é compreendido. Naturalmente, neste processo um valor pode ser associado a mais de uma variável. Nestes casos, é avaliado o grau de pertinência deste valor para cada função, associando à variável o valor da ordenada no ponto X dado como input (probabilidade/severidade).

Inferência:

A inferência é primeiramente apoiada pelas regras base. Estas regras são as correlações de Severidade X Probabilidade = Tolerabilidade. Por exemplo:

Se Severidade = 5 (Catastrófica) e Probabilidade = A (Frequente), Tolerabilidade = 5A (Intolerável).

O mesmo se repete a todas as 25 combinações possíveis, que formam, cada uma, regras diferentes.

Defuzzificação

A Defuzzificação associa uma série de operações gráficas para trazer um resultado numérico ao output do Sistema de Controle Fuzzy. Abaixo são expostos os resultados obtidos como output para os valores de entrada já mencionados. O processo de defuzzificação utilizado foi o de centróide.

- Evento 1.1: Sev. R\$50.018.000,00; Prob. 96.60; Classif. 3A; Output 67.452
- Evento 1.2: Sev. R\$40.042.000,00; Prob. 71.20; Classif. 3A; Output 76.940
- Evento 2.1: Sev. R\$41.702.000,00; Prob. 178.60; Classif. 3A; Output 55.978
- Evento 2.2: Sev. R\$2.597.500,00; Prob. 252.80; Classif. 2B; Output 46.075

Os resultados obtidos da análise dos eventos

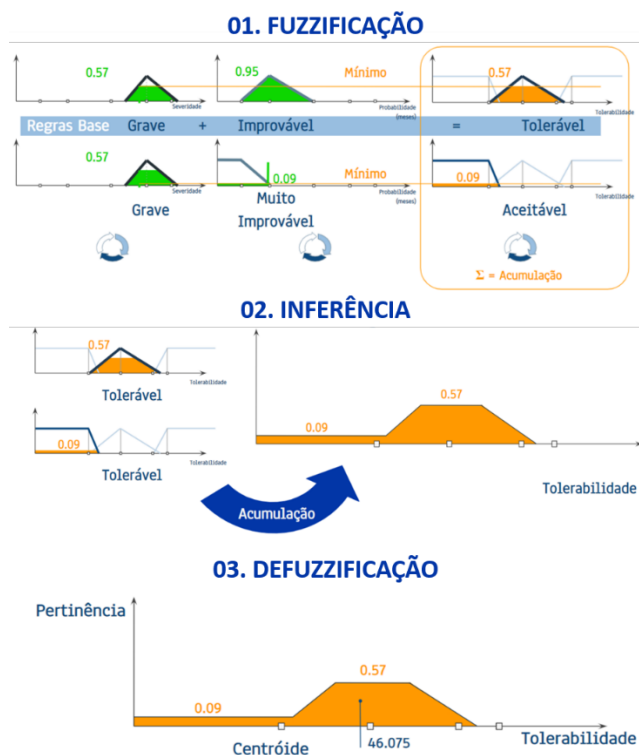
de risco trazem outro parâmetro para agregar a avaliação. Se o número associado é interpretado como potencializador do risco, considera-se que quanto maior o número, maior a criticidade do evento, e conseqüentemente, maior a necessidade de desenvolvimento de ações para eliminar ou mitigar o risco associado.

Em ordem decrescente de criticidade os eventos são classificados da seguinte forma (probabilidade com 3 casas decimais):

- ① Evento 1.2: 3A – 76.940
- ② Evento 1.1: 3A – 67.452
- ③ Evento 2.1: 3A – 55.978
- ④ Evento 2.2: 2B – 46.075

Reforça-se, portanto, que a análise numérica de eventos de risco auxilia na diferenciação das ações para uma mesma classificação. Mesmo tendo 3 eventos de mesma classificação (3A), foi possível estabelecer um ranqueamento para estes eventos, o que torna satisfatório o desempenho da ferramenta Lógica Difusa para complementar o trabalho de gerenciamento de riscos na aviação civil.

A Figura 2 ilustra graficamente o funcionamento do SCF, aplicado ao Evento 2.2.



Representação sem escala.

Figura 2: Processo gráfico do Sistema de Controle Fuzzy – Fuzzificação, Inferência e Defuzzificação. (Fonte: Acervo pessoal).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste estudo foi associar a avaliação de riscos com a matriz de riscos da ICAO com a Lógica Fuzzy, para se obter um parâmetro quantitativo de avaliação de eventos de risco, e promover uma diferenciação de eventos de mesma categoria na matriz. A avaliação dos eventos de risco foi realizada de maneira preventiva, considerando que os eventos nas simulações já estavam em andamento.

O estudo apresenta limitações, que reforçam a necessidade de novas pesquisas que complementem esta. Dentre as limitações, cita-se a utilização de funções de pertinência arbitrárias, o que pode gerar desvios na análise em relação ao comportamento real de evolução dos parâmetros severidade, probabilidade e tolerabilidade. Além disso, ressalta-se a restrição da quantificação de severidade a apenas prejuízo monetário, fato evitou dificuldades que seriam encontradas numa análise de campo, como a dificuldade de quantificar prejuízos humanos e operacionais.

A pesquisa aplicada obteve 5 respostas válidas de especialistas e a partir disto os eventos foram classificados de acordo com a Matriz de Risco da ICAO, além de também serem avaliados sob a perspectiva da Lógica Fuzzy, sendo providos de um valor numérico associado. Os quatro eventos foram ranqueados, estabelecendo-se uma ordem de prioridades para promoção de medidas para mitigar/eliminar os riscos. Em ordem decrescente de prioridade, os eventos foram classificados da seguinte forma: Evento 1.2: 3A – 76.940; Evento 1.1: 3A – 67.452; Evento 2.1: 3A – 55.978; Evento 2.2: 2B – 46.075.

Como foi possível observar pelas avaliações coletadas com especialistas, a avaliação de riscos carrega certa subjetividade, podendo variar um especialista para outro, mas que obteve discrepâncias significantes nesta coleta, o que torna necessário um balizador para que esta subjetividade retorne a diferenciação desejada para os eventos. Mesmo com variações nas respostas dos especialistas, a lógica fuzzy ainda colaborou para que eventos de maior gravidade fossem contemplados por sua criticidade. Os 3 eventos que colocavam em risco vidas foram classificados com severidade catastrófica, como esperado mesmo antes de uma análise numérica. Destaca-se que o objetivo principal da pesquisa foi atingido, e que ao término de análise dos resultados, foi possível ranquear os eventos de risco de acordo

com a sua criticidade, associando o output do Sistema de Controle Fuzzy, e mantendo as suas classificações de acordo com a matriz de riscos da ICAO.

A utilização da ferramenta, no entanto, mostra grande necessidade de utilização prévia de metodologias ou ferramentas para quantificar a severidade e probabilidade de um evento de risco. A disparidade entre as respostas de especialistas denota que a subjetividade ainda gera grandes diferenças nos resultados de uma avaliação de riscos. A quantidade de informação disponível para os especialistas avaliarem os eventos de risco também é considerada como um complicador para a obtenção de resultados mais concisos.

O output do Sistema de Controle Fuzzy forneceu uma avaliação numérica adequada, mas a classificação linguística foi incoerente, e foi necessário desconsiderar esta resposta, e recorrer à classificação da ICAO, trazendo uma problemática ao estudo apresentado.

Visto que a avaliação numérica de eventos de risco é um tema recorrente, e que demanda pesquisas e desenvolvimento, são recomendações para complementar este trabalho outras contribuições científicas:

- Estudar o comportamento das funções de pertinência para as classificações linguísticas da matriz de risco da ICAO (Probabilidade, Severidade e Tolerabilidade);
- Realizar a mesma avaliação numérica de forma reativa (considerando dados já consolidados sobre os eventos de risco);
- Realizar a mesma avaliação numérica de forma proativa (considerando pesquisas e ferramentas para a determinação proativa do risco associado a eventos na aviação civil).

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (2019). Guia para o Gerenciamento de Riscos da Aviação Civil.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (2020). Relatório Anual da Segurança Operacional (RASO) - 2019.

BARROSO, Luiza Franco. Avaliação de Risco de Acidentes Aéreos em Aeroportos utilizando Simulação Monte Carlo: Uma Aplicação ao Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro/Galeão. 2015. 127f. Dissertação de mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica, Área de Transporte Aéreo e Aeroportos - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CANALE, S; DISTEFANO, N; LEONARDI, S. A risk assessment procedure for the safety management of airport infrastructures. III Convegno Internazionale SIIV

(People, Land, Environment and Transport Infrastructures), Bari, Itália, 2005.

FAA, Federal Aviation Administration. Risk Management Handbook. Washington DC: FAA, 2009.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (Canadá). Safety Management Manual. 4 ed. 2018. E-book.

JOHN WANG, C.H; SHI KUN TAN; KIN HUAT LOW. Collision risk management for non-cooperative UAS traffic in airport-restricted airspace with alert zones based on probabilistic conflict map. 2019. 19f. Transportation Research Part C 109. pp 19-39.

KRYKHTINE, Fabio Luiz Peres. Abordagem Fuzzy para Otimização de Planos de Voo. 2018, 130f. Tese de doutorado - UFRJ/COPPE/ Programa de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro

MAMDANI, E.H., (1977). Applications of Fuzzy Logic to Approximate Reasoning using Linguistic Synthesis, IEEE Trans. Computers, Vol. 126: 1182-1191.

ORLANDO, I.R. (2020). Proposta de uma Ferramenta para Gerenciamento de Risco em Aeroportos Localizados em Meios Urbanos. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 98 p.

PAPIS, Mateusz; MATYJEWski, Marek. The use of fuzzy logic elements for the risk analysis in aviation. Journal of KONBIN 2019. Volume 49, n.2. pp. 31-53. Warsaw, Polônia

POKORÁDI, László. Application of fuzzy set theory for risk assessment. Journal of KONBIN Volume 14,15; n 2, 3. pp. 195 - 204. Warsaw, Polônia.

RIGNEL, D. G. S; CHENCI, G. P; LUCAS, C. A. Uma Introdução a Lógica Fuzzy. 2011. 12f. Revista Eletrônica de Sistemas de Informação e Gestão Tecnológica. Volume 01. N 01.

VERAS, Alan Advíncula. ANÁLISE DE RISCOS EM AEROPORTOS: UMA ABORDAGEM PROATIVA. 2011. 105f. Dissertação de Mestrado – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

WATANABE, D. K; SABBATINO, L. A; BATISTELA, G. C. Avaliação Qualitativa dos Riscos de um Projeto por meio da Lógica Fuzzy. 2019. 16f. XXXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Santos, São Paulo.

ZADEH, L.A. (1978). Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility. Fuzzy Sets and Systems, Vol. 1: 3-28.