EMPREGO DE MULTIMETODOLOGIA PARA REDUÇÃO DA SUBJETIVIDADE NO GERENCIAMENTO DO RISCO NA AVIAÇÃO MILITAR

Thiago Fontes Macêdo
Instituto de Pesquisas e Ensaios em Voo
Praça Mal. Eduardo Gomes, 50, São José dos Campos, SP, 12.228-901
tfmacedo1@gmail.com

Mário Henrique de Oliveira Coutinho da Silva
Comando de Aviação do Exército
Est. Mun. dos Remédios, 2135, Granjas Rur. Reunidas São Judas Tadeu, Taubaté, SP, 12086-000
mariohcoutinho@gmail.com

Moacyr Machado Cardoso Júnior
Instituto Tecnológico da Aeronáutica
Praça Mal. Eduardo Gomes, 50, São José dos Campos, SP, 12.228-900
moacyr@ita.br

Ligia Maria Soto Urbina
Instituto Tecnológico da Aeronáutica
Praça Mal. Eduardo Gomes, 50, São José dos Campos, SP, 12.228-900
ligia@ita.br

RESUMO

O gerenciamento do risco, no contexto da aviação militar, é, atualmente, cercado de subjetividade, tanto na identificação dos fatores de risco, quanto na quantificação dos mesmos. Este fato causou a burocratização do processo, deixando de ser uma ferramenta de gerenciamento e passando a ser somente uma etapa a ser transposta antes da execução das missões. O objetivo deste trabalho é, por meio de um processo multimetodológico, identificar os fatores de risco, a partir da análise do *Value Focused Thinking* - VFT, suas relações de causa e efeito com uso do *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory - Fuzzy* (DEMATEL-FUZZY) e finalmente, representar a análise de probabilidades dos fatores de risco utilizando redes Bayesianas. A aplicação integrada destas ferramentas permitiu realizar inferências sobre o nível de risco em um estudo de caso de uma campanha de certificação do par de aeronaves SC-105 e KC-130 para a atividade de reabastecimento em voo.

PALAVRAS CHAVE. Quantificação do risco, Aviação militar, Redes Bayesianas.
Tópicos. PO em Defesa e Segurança Pública, apoio a decisão multicritério.

ABSTRACT

Risk management, in the context of military aviation, is currently surrounded by subjectivity, both in the identification of risk factors and in their quantification. This fact caused the bureaucratization of the process, which stopped being a management tool and became just a step to be transposed before the execution of the missions. The objective of this work is, through a multi-methodological process, to identify the risk factors, from the analysis of the Value Focused Thinking - VFT, its cause and effect relationships using the Decision Making Trial and Evaluation Laboratory - Fuzzy (DEMATEL -FUZZY) and finally represent the probability analysis of the risk factors using Bayesian networks. The integrated application of these tools allowed to make inferences about the level of risk through a case study of a certification campaign for the pair of SC-105 and KC-130 aircraft for in-flight refueling activity.

KEYWORDS. Risk quantification, Military aviation, Bayesian networks.
Paper Topics. Operational research in defense and public safety, Multicriteria decision.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

1. Introdução

A aviação militar vive um momento histórico, essa década tem sido marcada pela transição entre as aeronaves analógicas e as equipadas com equipamentos tecnológicos de última geração que vão desde os, visualmente impactantes, *Glass Cockpit*, até os pilotos automáticos de quatro eixos dos helicópteros EC725.

Com isso, convive-se, diariamente, com aeronaves extremamente simples, de concepção essencialmente analógica, como os AS-50, da Aviação do Exército, e os T-27 da Academia da Força Aérea, e aeronaves de alta complexidade tecnológica, como os citados EC-725, que compõe a frota das três Forças Armadas, os aviões KC-390, de fabricação nacional, integrantes da Força Aérea Brasileira (FAB), e os aguardados caças Saab JAS 39 - *Gripen*.

No entanto, em meio a toda essa modernização, algo permanece inalterado, nos cockpits das velhas e modernas aeronaves ainda temos os pilotos, seres humanos sujeitos a vulnerabilidades e falhas que podem tornar-se decisivas para a correta operação das máquinas, ou sua completa destruição.

> A história descreve o elemento humano como a parte mais valiosa da aviação, mas também, a mais vulnerável. As aeronaves vêm se tornando sistemas cada vez mais confiáveis e os seres humanos têm desempenhado um papel causal progressivamente mais importante nos acidentes aeronáuticos. Lapsos no desempenho humano são citados como fatores causais na maioria dos acidentes, sendo comumente atribuídos a "erro humano" (Wiegmann; Shappell, 2003).

Nesse contexto, emerge a importância da execução de um gerenciamento do risco eficaz, cada vez mais voltado para a identificação de fatores de risco relevantes e direcionados a atividade a ser executada, levando-se em consideração o ambiente operacional, de forma a tornarem-se, realmente, reflexos da realidade vivenciada.

Vale destacar que, na maioria das vezes, as operações de emprego da aviação militar são marcadas pelo ineditismo, tornando, comum, a ausência de banco de dados que possam subsidiar o gerenciamento do risco. Surgindo, com isso, a necessidade de utilização de metodologias eficazes para minimizarem a presença da subjetividade durante o planejamento das ações e gerenciamento dos riscos das operações.

> Em âmbito geral, as organizações estão expostas a diversos tipos de riscos, dentre eles, ambientais, legais, operacionais, financeiros e tecnológicos. Estes estão relacionados a incerteza epistêmica, presente principalmente em projetos com características complexas (múltiplos decisores, múltiplas perspectivas), sendo extremamente necessária a análise inicial de riscos de maneira holística. Contudo, para maioria dos sistemas e projetos considerados complexos, o histórico de probabilidade de ocorrência dos perigos é incompleto ou inexistente devido ao caráter inovador (Borges, 2019).

Ante o exposto, o objetivo deste estudo é propor a utilização da combinação de três métodos, *Value Focused Thinking* (VFT), para identificação dos fatores de riscos, de forma a reduzir a subjetividade ao definir os objetivos finais, fatores de riscos, tomando por base os valores e a participação de especialistas, *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory Fuzzy*

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

(DEMATEL-*FUZZY*), em prol de determinar a relação de causa e efeito entre os riscos identificados, incorporando a subjetividade no modelo e garantindo assim uma análise mais realística, e as redes Bayesianas, para quantificação dos riscos e simulação de cenários, reduzindo, assim, o impacto da subjetividade no processo de gerenciamento.

De forma a tornar viável a validação deste estudo, optou-se por realizar a aplicação das citadas metodologias em parte da análise de risco da campanha de certificação de reabastecimento em voo do par SC-105 e KC-130, ambos da Força Aérea Brasileira, a ser realizada pelo Instituto de Pesquisas e Ensaios em Voo (IPEV).

Esse trabalho será estruturado em 04 (quatro) seções, sendo a primeira composta por essa Introdução e Contextualização do problema proposto, a seção 2 apresentará os métodos empregadas, VFT, DEMATEL-FUZZY e redes Bayesianas, a seção 3 a aplicação desses em um breve estudo de caso do planejamento da campanha de reabastecimento em voo do par SC-105 e KC-130 e, por fim, a seção 4 com a conclusão e as considerações finais.

2. Métodos propostos

2.1 *Value Focused Thinking* (VFT)

Tomada de decisão é uma constante no dia a dia de todos e, considerando-se a abordagem tradicional, normalmente, é realizada optando-se entre fazer ou não determinada ação, ou mesmo, escolhendo de que forma fazer determinada tarefa.

No entanto, dado ser um processo rotineiro, muitas vezes não se leva em consideração que as decisões, em geral, envolvem múltiplos atores, os quais pautam-se em interesses relevantes e diversificados em função de suas aspirações individuais.

Dessa forma, a tomada de decisão não deve ser simplificada à escolha entre alternativas, mas sim tratada com um processo contínuo, que requer a interação entre atores e a confrontação de múltiplos interesses em prol de um ideal comum.

Nesse sentido, Ralph L. Keeney desenvolveu a metodologia *Value Focused Thinking.* Em linhas gerais esse método aborda a tomada de decisão partindo, não da escolha de alternativas limitadas, mas sim através do levantamento dos valores pessoais ou institucionais, a partir dos quais obtém-se os objetivos fundamentais e meios, que serão os alicerces das alternativas criadas com base no contexto do problema.(Keeney, 1992)

O processo metodológico divide-se em quatro passos: definição dos valores; identificação dos objetivos; elaboração da hierarquia de objetivos; e a construção da rede de objetivos. Através desses obtêm-se os subsídios necessários para a confecção de um plano de ação.

Destaca-se a importância da participação de *stakeholders* que tenham o devido interesse e capacidade de influenciar na solução do problema proposto, de forma a atender o as expectativas e gerar alternativas realísticas.

Dentro desse contexto, os especialistas foram selecionados tomando por base a sua formação como pilotos de ensaios em voo, a participação prévia em uma campanha de certificação de reabastecimento em voo e dotados de prática no uso de ferramentas de gerenciamento do risco.

2.1.1 Definição de valores

Segundo Morais et al (2012), a tomada de decisão, ou seja, a escolha de alternativas para solução de um problema, está diretamente relacionada à necessidade de se obter algo de valor. Esses valores devem ficar evidentes na construção dos objetivos que conduzirão a alternativas para solução de um problema, visto que, a ênfase em valores possibilita a geração novas alternativas.

Seguindo essa premissa, e levando-se em consideração os fatos de que as Forças Armadas (FA) são uma instituição organizada segundo preceitos constitucionais, e que a atividade aérea militar possui peculiaridades, fruto da singularidade técnica e operativa, foram considerados como basilares os valores das FA e os inerentes a filosofia de segurança de voo.

Os valores das FA são, segundo o Vade-Mécum de Cerimonial Militar do Exército (Brasil, 2012): patriotismo, civismo, Fé na missão, amor a profissão, espírito de corpo, aprimoramento técnico-profissional e coragem. A estes somam-se as premissas de segurança de voo: a valorização da vida humana, a salvaguarda do material e o respeito ao ambiente operacional.

2.1.2 Identificação dos objetivos

Para a conversão dos valores em objetivos foi atribuído um questionário aos especialistas, tendo sempre em mente o objetivo estratégico do problema: garantir a eficaz identificação dos perigos e gerenciamento dos riscos da campanha de certificação de reabastecimento em voo do par SC-105 e KC-130.

De posse do resultado deste questionário realizou-se a classificação dos objetivos entre fundamentais e meios através da técnica WITI - *Why is that important*? (“por que isso é importante”), tendo como resultado a hierarquia de objetivos.

2.1.3 Hierarquia de objetivos

Após o desdobramento em objetivos fundamentais e meios torna-se possível a elaboração da hierarquia de objetivos, que será a base do processo de criação de alternativas para a solução dos problemas.

2.2 DEMATEL-*FUZZY*

De posse da identificação dos fatores de risco torna-se necessário a avaliação destes, para isso, e não deixando de lado a proposta de se incorporar a subjetividade, optou-se pelo emprego de um método capaz de extrair, através da opinião dos especialistas, a relação de causa e efeito entre os citados fatores de risco.

A escolha pelo DEMATEL, em sua versão *Fuzzy*, deu-se por atender as expectativas do estudo, ao permitir a geração do conhecimento causal acerca dos fatores de risco, bem como gerar a visualização da imprecisão humana no julgamento, por meio do *Fuzzy*.

A análise DEMATEL permite verificar a interdependência entre recursos ou atributos que envolvam problemas complexos, considerando como base as opiniões de especialistas. Para isso baseia-se em duas matrizes, definidas e calculadas com base nas opiniões dos especialistas.

A primeira matriz, chamada matriz de relação direta, tem por finalidade apresentar o grau de influência direta entre os atributos ou critérios e a segunda matriz, conhecida como matriz de relação total, destina-se a representar a soma das influências diretas e indiretas entre os critérios.

> DEMATEL se tornou o método mais popular no Japão, porque é uma técnica difundida que é capaz de avaliar e formular todas as relações de causa e efeito entrelaçadas em cada modelo estrutural. A base do DEMATEL é a teoria dos grafos e nos permite ter uma percepção aprimorada dos relacionamentos casuais dividindo questões importantes e relacionadas a causa e efeito (Chung-Wei e Gwo-Hshiung, 2009).

A junção do *Fuzzy* destina-se a retratar, de maneira mais fidedigna, a subjetividade humana. Este método é largamente utilizado em problemas que envolvem opinião de especialistas, visto o nível de complexidade da incerteza que provém deste tipo de dado (Zadeh, 1965). Desta

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

forma, foram utilizados números *Fuzzy* triangulares para permitir uma representação da opinião humana, buscando representar a sua incerteza e tornando os dados mais confiáveis. Para isso, foi utilizada uma escala de influência *Fuzzy*, composta por cinco gradações: nenhuma influência, influência muito baixa, influência baixa, influência alta e influência muito alta, conforme figura 1:

Variáveis Linguísticas	Números triângulares Fuzzy correspondentes
Nenhuma influência (NO)	(0,0,0.25)
Influência muito baixa (VL)	(0,0.25,0.5)
Influência baixa (L)	(0,25,0,5,0.75)
Influência alta (H)	(0,5,0,75,1)
Influência muito alta (VH)	(0,75,1,1)

Figura 1: Escala de influência *fuzzy*
Fonte: Sukran Seker e Edmundas K. Zavadskas

O método DEMATEL pode ser dividido em quatro etapas, conforme figura 2:

1) Definição dos elementos relacionados ao problema e o grau de influência dos mesmos. (No presente estudo essa etapa foi realizada com o uso do VFT, para buscar uma maximização dos resultados);
2) Construção da matriz de relação direta e normalização desta;
3) Construção da matriz de relação total;
4) Construção do diagrama de causa e efeito.

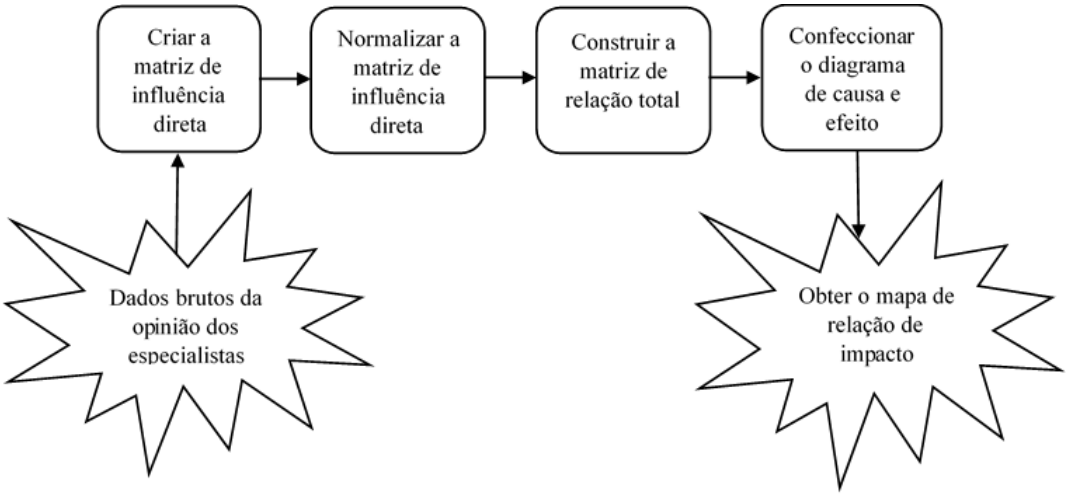


Figura 2: Ilustração das etapas do DEMATEL- *FUZZY*
Fonte: Elham F., Zulkiflle L., Shahryar S. e Meysam S., 2012

2.2.1 Matriz de relação direta e normalização

A matriz de relação direta, exemplificada como M, é construída com base na atribuição, por parte dos especialistas, da influência de um critério sobre outro, tendo por base uma escala de graus de influência.

$$M = \begin{bmatrix} 0 & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & 0 & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

A matriz M, é normalizada utilizando-se a fórmula abaixo:

2.2.2 Matriz de relação total

$$D = \frac{Z^k}{\max\limits_{1 \le i \le n} \sum_{j=1}^{n} z_{ij}}, i,\ j = 1, 2, \ldots, n$$

Representa a soma das relações diretas e indiretas entre os critérios, obtida pela fórmula:

$$T = D(I - D)^{-1}$$

Após este passo, é realizado o somatório dos valores de cada linha, *Ri* e de cada coluna, *Cj* da matriz de relação total, conforme abaixo:

$$Ri = \sum_{j=1}^{n} t_{ij} (i = 1, 2, \ldots, n)$$

$$Cj = \sum_{i=1}^{n} t_{ij} (j = 1, 2, \ldots, n)$$

Neste ponto, é definida a relação de causa e efeito.

2.2.3 Construção do diagrama de causa e efeito

Também conhecido como diagrama de influência, requer, no caso da aplicação *Dematel-fuzzy*, a realização da *defuzzificação*, que foi feita com o uso da função *centroid*, a partir dos valores de *Ri* e *Cj*. Para construção do eixo horizontal do plano cartesiano, é realizada a soma dos valores de *Ri* e *Cj*, e para o eixo vertical, é realizada a subtração de *Ri* por *Cj*. A soma (*Ri* + *Cj*) define a proeminência do critério, enquanto a subtração (*Ri* - *Cj*) define a extensão de sua influência. Os critérios com o valor de *Ri* - *Cj* positivo, são definidos como critérios causa e os com valor negativo, como critérios efeito. Os critérios com valor de *Ri* - *Cj* próximos a zero são definidos como aqueles que não tem influência de causa e efeito no problema abordado. Com relação ao valor de *Ri* + *Cj*, quanto maior seu valor, mais proeminente é a influência do critério.

Após a definição dos pontos no plano cartesiano, as relações de causalidade dos critérios são definidas pelos especialistas, de maneira gráfica, conforme exemplo da figura 3, onde C1 é causa de C2, que representa a consequência de C1, causa de C3 e C4, e assim por diante.

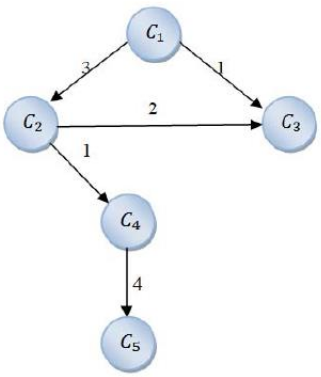


Figura 3: Exemplo de diagrama de influência
Fonte: Elham F., Zulkiflle L., Shahryar S. e Meysam S. , 2012

2.3 Rede Bayesianas

De maneira simplificada, pode-se afirmar que uma Rede Bayesiana corresponde a um modelo gráfico, que representa as relações de causalidade entre as variáveis de um sistema.

As Redes Bayesianas são utilizadas normalmente para modelar incertezas e problemas complexos. São um processo gráfico acíclico direto, que define uma distribuição de probabilidade condicionais para diferentes eventos. A topologia é defina por nós ligados entre si representando a dependência de causa e efeito entre os nós. A rede completa define a distribuição de probabilidade conjunta, baseada nas distribuições de probabilidade condicionais e suas relações gráficas (Calle-Alonso et al. 2019).

A distribuição de probabilidade unificada é resultado do produto das probabilidades condicionais, conforme a fórmula abaixo:

$$P(X1, X2, \ldots, Xn) = P(Xi \,|pa\ Xi\ )$$

Como as redes são baseadas exclusivamente em termos de probabilidades e as relações entre as variáveis, o seu uso para simulação de cenários é bastante adequado.

2.4 Integração dos métodos propostos

A figura 4 descreve as etapas definidas para integração dos métodos no corrente estudo.



Figura 4: Descrição da integração dos métodos
Fonte: Autores

3. Aplicação dos métodos em um estudo de caso

3.1 A campanha de certificação do par de aeronaves SC-105 e KC-130 para a atividade de reabastecimento em voo.

A campanha de certificação do par SC-105 e KC-130 consiste em uma atividade de ensaios em voo na qual é verificada a compatibilidade entre as duas aeronaves para transferência de combustível em voo do KC-130 para o SC-105.

Desta forma, aspectos como compatibilidade aerodinâmica, física, estrutural, eletromagnética, dentre outros tem que ser avaliados para que a atividade possa ser executada com nível de segurança aceitável e dentro dos parâmetros operacionais requisitados pela FAB.

Neste caso, a certificação é demandada quando a atividade não foi executada anteriormente, considerando o tipo de equipamento e parâmetros de voo, o que exige a utilização de profissionais habilitados para isso, como pilotos e engenheiros de ensaios.

3.2 Aplicação do VFT

Com a aplicação do questionário e o desdobramento em objetivos fundamentais e meios tornou-se possível a elaboração da hierarquia de objetivos (Tabela 1), que serviu como base para a criação de alternativas para solução do problema em questão.

1. Perda de controle
   - 1.1 Identificar as causas que podem levar a perda de controle
   - 1.2 Estabelecer medidas mitigadoras
   - 1.3 Treinar situações de emergência que envolvam perda de controle
2. Falha estrutural
   - 2.1 Identificar as causas que podem levar a falhas estruturais
   - 2.2 Estabelecer medidas mitigadoras
   - 2.3 Treinar situações de emergência que envolvam falhas estruturais
3. Alijamento acidental da mangueira
   - 3.1 Identificar as causas que podem levar ao alijamento acidental
   - 3.2 Estabelecer medidas mitigadoras
   - 3.3 Treinar situações de emergência que envolvam alijamento acidental
4. Falha do motor do KC-130
   - 4.1 Identificar as causas que podem levar a falha do motor
   - 4.2 Estabelecer medidas mitigadoras
   - 4.3 Treinar situações de emergência que envolvam falha do motor
5. PIO (*Pilot Induced Oscillations)*
   - 5.1 Identificar as causas que podem levar ao PIO
   - 5.2 Estabelecer medidas mitigadoras
   - 5.3 Treinar situações de emergência que envolvam PIO

Tabela 1: Hierarquia de objetivos
Fonte: Autores

3.3 Aplicação do DEMATEL-FUZZY

Com base nos fatores de risco identificados através do VFT, passou-se a aplicação do DEMATEL-FUZZY dentro da sequência preconizada de construção das matrizes de relação direta e total, seguidos da construção do diagrama de influência.

3.3.1 A matriz de relação direta

Código	Perda de Controle	PIO	Rompimento acidental da mangueira	Falha estrutural da probe	Falha estrutural do leme	Falha do motor do KC-130	Aeronave na esteira de turbulência do KC-130	Treinamento das tripulações em simulador Classe D	Disponibilidade de dados de instrumentação em tempo real
Perda de Controle	NO	NO	VH	VH	NO	NO	NO	NO	NO
PIO	VH	NO	H	VH	VL	NO	NO	NO	NO
Rompimento acidental da mangueira	VL	NO	NO	H	VL	NO	NO	NO	NO
Falha estrutural da probe	H	NO	H	NO	VL	NO	NO	NO	NO
Falha estrutural do leme	VH	NO	H	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Falha do motor do KC-130	VL	NO	H	VH	NO	NO	NO	NO	NO
Aeronave na esteira de turbulência do KC-130	H	H	L	L	L	NO	NO	NO	NO
Treinamento das tripulações em simulador Classe D	VH	VH	L	NO	VL	NO	NO	NO	NO
Disponibilidade de dados de instrumentação em tempo real no SC-105	VH	H	VL	H	VH	NO	NO	NO	NO

Tabela 2: Matriz de relação direta do DEMATEL- *FUZZY*
Fonte: Os autores

Quando não havia convergência entre as opiniões, foi adotado o critério da ignorância, sendo considerada a relação dos fatores como sem influência para estes casos. Estes foram hachurados em amarelo na Tabela 2. Após a construção desta, foi realizada a normalização, conforme Tabela 3.

Código	Perda de Controle			PIO			Rompimento acidental da mangueira			Falha estrutural da probe			Falha estrutural do leme			Falha do motor do KC-130			Aeronave na esteira de turbulência do KC-130			Treinamento das tripulações em simulador Classe D			Disponibilidade de dados de instrumentação em tempo real no SC-105		
Perda de Controle	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,30	0,27	0,18	0,30	0,27	0,18	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05
PIO	0,30	0,27	0,18	0,00	0,00	0,05	0,20	0,20	0,18	0,30	0,27	0,18	0,00	0,07	0,09	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05
Rompimento acidental da mangueira	0,00	0,07	0,09	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,20	0,20	0,18	0,00	0,07	0,09	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05
Falha estrutural da probe	0,20	0,20	0,18	0,00	0,00	0,05	0,20	0,20	0,18	0,00	0,00	0,05	0,00	0,07	0,09	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05
Falha estrutural do leme	0,30	0,27	0,18	0,00	0,00	0,05	0,20	0,20	0,18	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05
Falha do motor do KC-130	0,00	0,07	0,09	0,00	0,00	0,05	0,20	0,20	0,18	0,30	0,27	0,18	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05
Aeronave na esteira de turbulência do KC-130	0,20	0,20	0,18	0,20	0,20	0,18	0,00	0,13	0,14	0,00	0,13	0,14	0,00	0,13	0,14	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05
Treinamento das tripulações em simulador Classe D	0,30	0,27	0,18	0,30	0,27	0,18	0,00	0,13	0,14	0,00	0,00	0,05	0,00	0,07	0,09	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05
Disponibilidade de dados de instrumentação em tempo real no SC-105	0,30	0,27	0,18	0,20	0,20	0,18	0,00	0,07	0,09	0,20	0,20	0,18	0,30	0,27	0,18	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,05

Tabela 3: Matriz de relação direta normalizada do DEMATEL- *FUZZY*
Fonte: Os autores

3.3.2 A matriz de relação total

Código	Perda de Controle			PIO			Rompimento acidental da mangueira			Falha estrutural da probe			Falha estrutural do leme			Falha do motor do KC-130			Aeronave na esteira de turbulência do KC-130			Treinamento das tripulações em simulador Classe D			Disponibilidade de dados de instrumentação em tempo real no SC-105		
Perda de Controle	0,08	0,11	0,41	0,00	0,00	0,24	0,41	0,38	0,56	0,41	0,37	0,53	0,00	0,05	0,27	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,17
PIO	0,40	0,42	0,63	0,00	0,00	0,28	0,42	0,43	0,66	0,50	0,47	0,62	0,00	0,13	0,37	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,20
Rompimento acidental da mangueira	0,05	0,15	0,44	0,00	0,00	0,23	0,06	0,11	0,42	0,23	0,26	0,50	0,00	0,09	0,30	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	0,16
Falha estrutural da probe	0,23	0,27	0,55	0,00	0,00	0,25	0,29	0,32	0,58	0,13	0,14	0,43	0,00	0,10	0,32	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,17
Falha estrutural do leme	0,33	0,33	0,53	0,00	0,00	0,23	0,33	0,32	0,56	0,17	0,15	0,41	0,00	0,03	0,27	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,17
Falha do motor do KC-130	0,08	0,18	0,47	0,00	0,00	0,25	0,30	0,33	0,59	0,38	0,38	0,55	0,00	0,05	0,29	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,17
Aeronave na esteira de turbulência do KC-130	0,30	0,41	0,69	0,20	0,20	0,44	0,17	0,40	0,69	0,18	0,37	0,64	0,00	0,20	0,45	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,22
Treinamento das tripulações em simulador Classe D	0,44	0,45	0,62	0,30	0,27	0,41	0,25	0,39	0,61	0,27	0,27	0,49	0,00	0,13	0,36	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,19
Disponibilidade de dados de instrumentação em tempo real no SC-105	0,55	0,53	0,72	0,20	0,20	0,45	0,36	0,41	0,68	0,50	0,48	0,70	0,30	0,34	0,51	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	0,23

Tabela 4: Matriz de relação total do DEMATEL- *FUZZY*
Fonte: Os autores

3.3.3 Construção do diagrama de causa e efeito

As ligações de causa e efeito foram realizadas utilizando-se as relações que tiveram influência alta ou muito alta, conforme apresentado na figura 5:

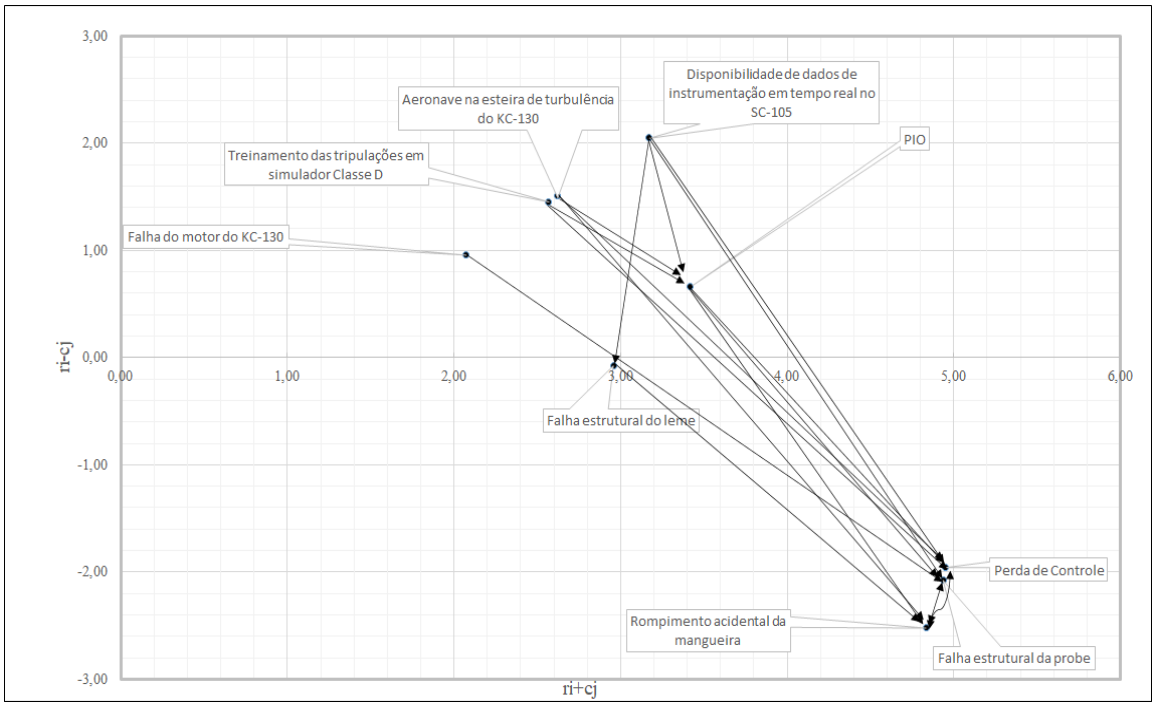


Figura 5: Diagrama de causa e efeito do DEMATEL- *FUZZY*
Fonte: Os autores

3.4 Construção da Rede Bayesiana

De posse da relação de causalidade, identificada pela aplicação da metodo Dematel-*fuzzy* construiu-se a rede Bayesiana do estudo de caso apresentado, seguindo-se a divisão em duas etapas: identificação da topologia e definição da tabela de probabilidades condicionais.

No corrente estudo a identificação da topologia foi realizado com a aplicação da metodologias *VFT e* Dematel-*fuzzy*, permitindo a redução da subjetividade, restando a conversão destes em uma rede bayesiana.

Conforme Figura 3, o fator efeito de maior importância foi a perda de controle, pois apresentou o maior valor de ri + cj, sendo a técnica de redes bayesianas aplicada para este fator. Para melhor visualização, a Figura 6 mostra as relações de causa e efeito.

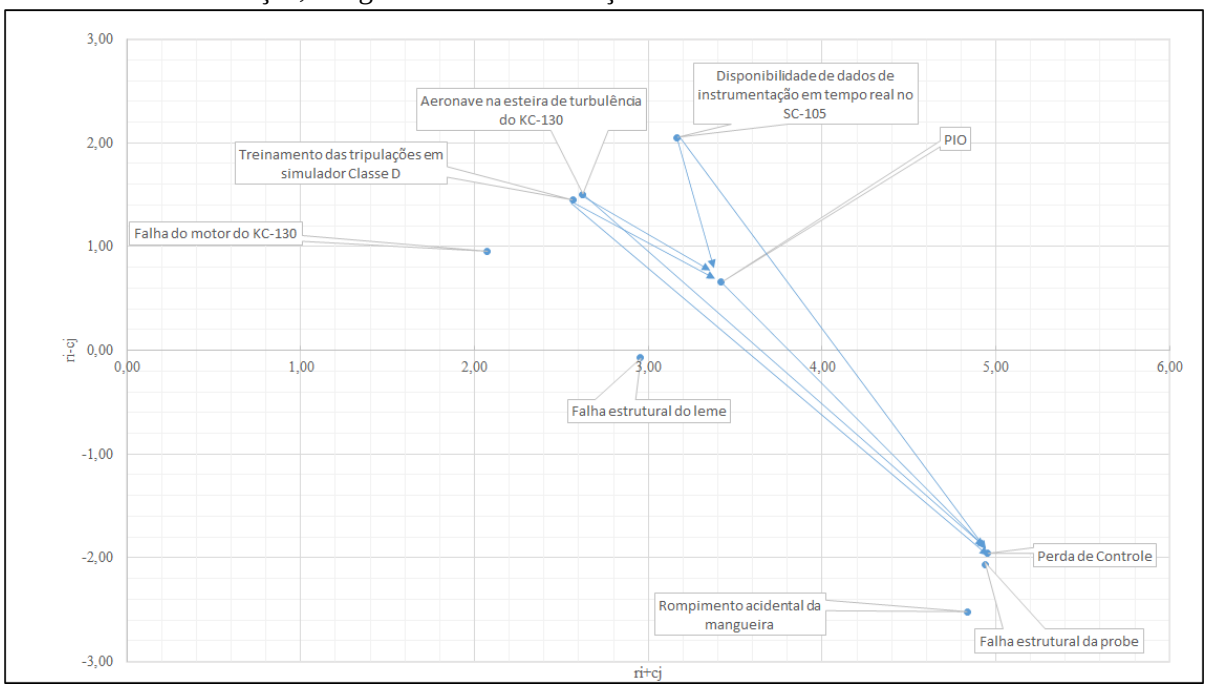


Figura 6: Diagrama de causa e efeito do DEMATEL- *FUZZY* para fator de risco perda de controle.
Fonte: Os autores

A Figura 7 mostra a rede bayesiana, criada no software Netica versão 6.07 livre, com base na topologia do diagrama de causa e efeito do DEMATEL- *FUZZY* para o fator de risco perda de controle.

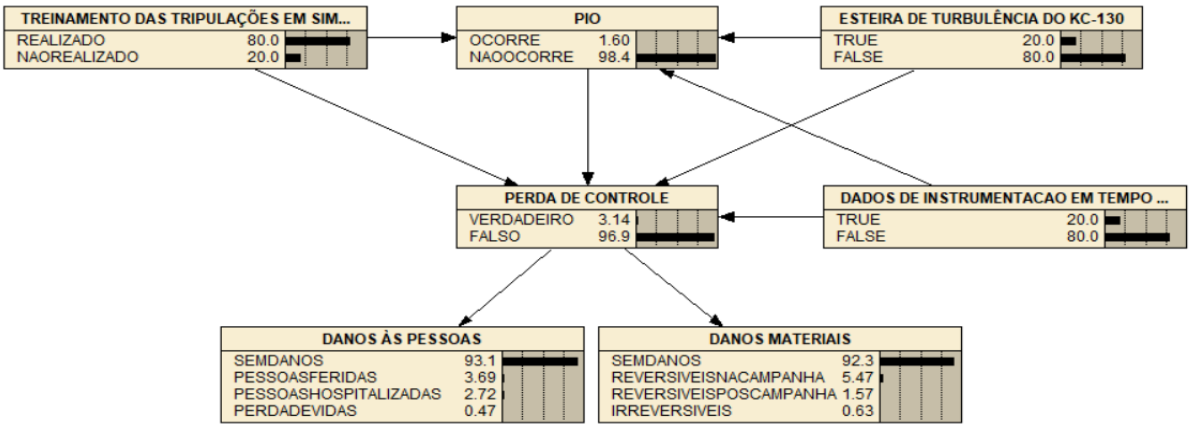


Figura 7: Topologia para o fator de risco perda de controle.
Fonte: Os autores

De modo a facilitar o entendimento da severidade do efeito da perda de controle, ao decisor recipiente da análise de risco, o mesmo foi desmembrado em dois critérios adicionais: danos às pessoas e danos materiais, e os mesmos segmentados conforme utilizado atualmente, ou seja, “sem danos”, “pessoas feridas”, “pessoas hospitalizadas”, “perdas de vidas”, e “sem danos”, “danos reversíveis na campanha”, “danos reversíveis após a campanha”, “danos irreversíveis”, respectivamente.

As tabelas de Probabilidades foram definidas por consenso pelos especialistas conforme Figura 7 e Tabelas 5 a 8.

Treinamento das tripulações em simulador Classe D	Aeronave na esteira de turbulência do KC-130	Disponibilidade de dados de instrumentação em tempo real no SC-105	PIO	
			Ocorre	Não Ocorre
Realizado	True	True	5%	95%
Realizado	True	False	5%	95%
Realizado	False	True	0%	100%
Realizado	False	False	0%	100%
Não realizado	True	True	20%	80%
Não realizado	True	False	20%	80%
Não realizado	False	True	0%	100%
Não realizado	False	False	0%	100%

Tabela 5: Probabilidades elicitadas para o nó do PIO
Fonte: Os autores

PIO	Treinamento das tripulações em simulador Classe D	Aeronave na esteira de turbulência do KC-130	Disponibilidade de dados de instrumentação em tempo real no SC-105	Perda de controle	
				Ocorre	Não Ocorre
Ocorre	Realizado	True	True	15%	85%
Ocorre	Realizado	True	False	20%	80%
Ocorre	Realizado	False	True	10%	90%
Ocorre	Realizado	False	False	15%	85%
Ocorre	Não Realizado	True	True	20%	80%
Ocorre	Não Realizado	True	False	25%	75%
Ocorre	Não Realizado	False	True	15%	85%
Ocorre	Não Realizado	False	False	20%	80%
Não Ocorre	Realizado	True	True	2%	98%
Não Ocorre	Realizado	True	False	7%	93%
Não Ocorre	Realizado	False	True	1%	99%
Não Ocorre	Realizado	False	False	2%	98%
Não Ocorre	Não Realizado	True	True	5%	95%
Não Ocorre	Não Realizado	True	False	10%	90%
Não Ocorre	Não Realizado	False	True	2%	98%
Não Ocorre	Não Realizado	False	False	3%	97%

Tabela 6: Probabilidades elicitadas para o nó do Perda de Controle
Fonte: Os autores

		Sem Danos	Pessoas Feridas	Pessoas Hospitalizadas	Perda de Vidas
Danos às pessoas	VERDADEIRO	35%	25%	25%	15%
	FALSO	95%	3%	2%	0%

Tabela 7: Probabilidades elicitadas para o nó Danos às Pessoas
Fonte: Os autores

		Sem Danos	Reversíveis na campanha	Reversíveis após a campanha	Irreversíveis
Danos Materiais	VERDADEIRO	10%	20%	50%	20%
	FALSO	95%	5%	0%	0%

Tabela 8: Probabilidades elicitadas para o nó Danos Materiais
Fonte: Os autores

Observa-se que no cenário compilado, a probabilidade de ocorrer perda de vidas e danos irreversíveis à aeronave é de 0.47% e 0.63% respectivamente. Por outro lado, as probabilidades de não ocorrerem danos nem às pessoas e nem materiais é de 93.1% e 92.3% respectivamente.

A Figura 8 mostra a instanciação das redes bayesianas, considerando que todas as ações iniciais foram realizadas (treinamento das tripulações em simulador Classe D, aeronave fora da esteira de turbulência do KC-130 e disponibilidade de dados de instrumentação em tempo real.

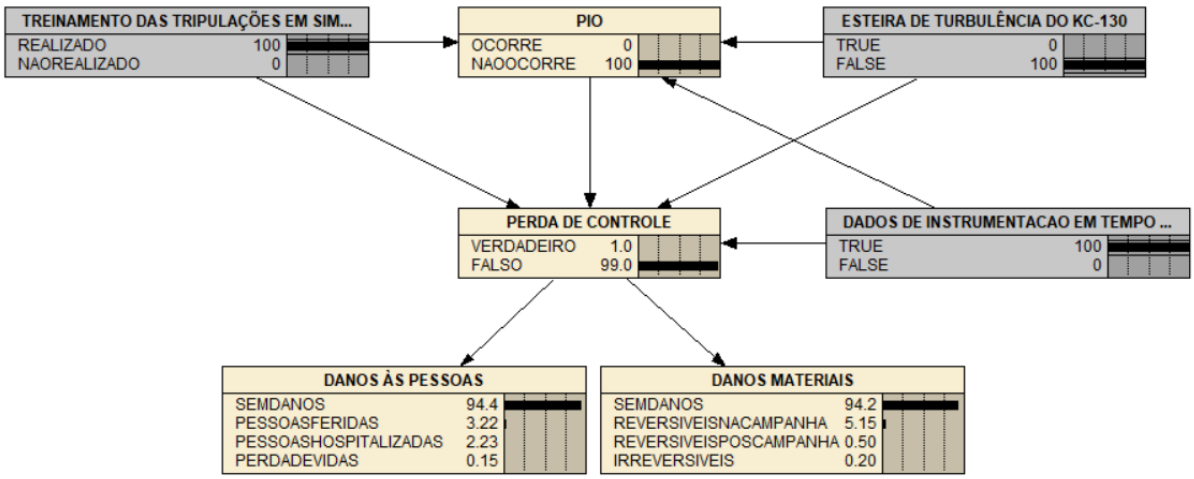


Figura 8: Topologia para fator de risco perda de controle considerando ações iniciais realizadas.
Fonte: Os autores

Verifica-se que a probabilidade de ocorrer perda de vidas e danos irreversíveis à aeronave diminuiu 0.32% e 0.43% respectivamente, enquanto as probabilidades de não ocorrerem danos nem às pessoas e nem materiais aumentaram 1.5% e 1.9% respectivamente.

Caso nenhuma ação inicial seja realizada, o cenário pessimista, Figura 9, traz, em relação ao cenário otimista, um aumento de 1.8% e 2.4% na probabilidade de ocorrer perda de vidas e danos irreversíveis à aeronave respectivamente e uma redução de 7.2% e 10.2% na probabilidade de não ocorrerem danos nem às pessoas e nem materiais.

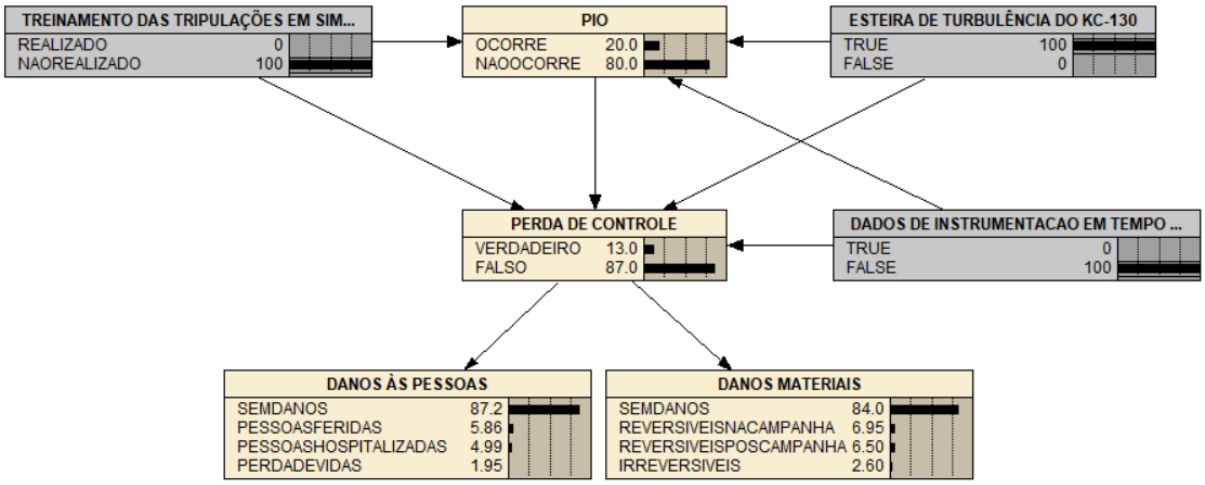


Figura 9: Cenário pessimista
Fonte: Os autores

Assim, o decisor teria uma visualização clara do impacto de prover ou não a realização das ações iniciais, contribuindo para a melhoria do gerenciamento de risco da campanha de certificação em reabastecimento em voo entre o SC-105 e o KC-130.

4. Conclusão

O presente trabalho teve como fator motivador os constantes questionamentos sobre as deficiências do gerenciamento de riscos, na aviação militar, que, com o passar do tempo, geraram desconfiança sobre a eficácia das ferramentas, tornando seu uso, muitas vezes, uma mera formalidade.

Este artigo propôs um novo método que integra o VFT, DEMATEL-*FUZZY* e as REDES BAYESIANAS para reduzir a subjetividade humana no gerenciamento do risco da na aviação militar, permitindo a concepção de um gerenciamento mais confiável e representativo do contexto em que se emprega.

Com a implementação da ferramenta VFT buscou-se um envolvimento aprofundado dos especialistas na situação problema estudada, permitindo um ganho de qualidade na identificação dos fatores de risco, com a inserção do compartilhamento de experiências e conhecimento dos envolvidos.

A relação de causalidade, obtida com o uso do DEMATEL-*FUZZY*, tornou o processo mais robusto e realista, garantindo a redução da incerteza da utilização de especialistas no processo de construção de Redes Bayesianas em problemas complexos, como o de uma campanha de reabastecimento em voo.

Na etapa final, a construção de uma Rede Bayesiana, com base no resultado das metodologias anteriores, foi capaz de apresentar um modelo probabilístico de suporte ao gerenciamento do risco, de fácil visualização e compreensão, uma vez que é dotado de elementos gráficos que apresentam de maneira direta a quantificação do risco, fornecendo os fundamentos básicos necessários ao suporte a decisão.

Dessa forma, conclui-se que o método proposto permite um ganho de qualidade no processo de gerenciamento do risco, permitindo a avaliação, parametrização e visualização de maneira prática e fidedigna.

Em estudos futuros planeja-se a aplicação da metodologia proposta em uma maior número de casos, de forma a englobar tanto atividades de alta complexidade, a exemplo do reabastecimento em voo, até atividades corriqueiras, como um voo de formação básica de pilotos com óculos de visão noturna, de forma a validar a eficácia do mesmo e a praticidade de aplicação.

Referências

Abul-Haggag, O.Y. (2013). Application of Fuzzy Logic for Risk Assessment using Risk Matrix. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. Volume 3. Versão 1. 49-54p.

Almeida S., Morais D. C. e Almeida A. T. (2014). Agregação de pontos de vista de stakeholders utilizando o Value-Focused Thinking associado à mapeamento cognitivo.

Brasil, 2019, Comando da Aeronáutica, Instituto de Pesquisas e Ensaios em Voo. Programa de Segurança de Voo em Ensaios. São José dos Campos. SP. 2019. 13p.

Borges, S.F.S; Integração de Métodos para Análise de Riscos em Projetos de Pesquisa Aeroespaciais. Instituto Tecnológico da Aeronáutica, 2019.

Brasil. Exército Brasileiro. Comando de Aviação do Exército. Norma Interna do Comando de Aviação do Exército 7002. Taubaté. SP. 2017.

Brasil. Exército Brasileiro. Comando do Exército. Vade-Mécum de Cerimonial Militar do Exército Valores, Deveres e Ética Militares (VM 10). 2002.

Brasil. Ministério da Defesa. Manual de Abreviaturas, Siglas, Símbolos e Convenções Cartográficas das Forças Armadas. Brasília. DF. 2008.

Bryson, J.M., Cunningham, G.L., Lokkesmoe, K.J., 2002. What to do when stakeholders matter: the case of problem formulation for the African American men project of Hennepin county. Minnesota. Public Administration Review 62. 568e584.

Calle-Alonso F., Pérez C. J., Ayra, E. S., A Bayesian-Network-based Approach to Risk Analysis in Runway Excursions. The Journal of Navigation. 72, 1121–1139. 2019.

Cheshmberah, Mohsen & Naderizadeh, Alireza & Shafaghat, Abutaleb & Nokabadi, Mohammad. (2020). An integrated process model for root cause failure analysis based on reality charting, FMEA and DEMATEL. International Journal of Data and Network Science. 4. 225-236. 10.5267/j.ijdns.2019.12.003.

Chung-Wei, L. and T. Gwo-Hshiung, 2009. Identification of a threshold value for the DEMATEL method using the maximum mean de entropy algorithm to find critical services provided by a semiconductor intellectual property mall. Expert Syst. Appl., 8(1): 9891-989.

Elham F., Zulkiflle L., Shahryar S. e Meysam S. , Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory, Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 2012.

Falatoonitoosi, Elham & Leman, Z. & Sorooshian, Shahryar & Salimi, Meysam. (2013). Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. 5. 3476-3480. 10.19026/rjaset.5.4475.

Fran Ackermann and Colin Eden (2011). Strategic Management of Stakeholders: Theory and Practice.

Hang, Pan-ke & Luo, Fan. (2017). Influencing factors of runway incursion risk and their interaction mechanism based on DEMATEL–ISM. Tehnicki Vjesnik. 24. 1853-1861. 10.17559/TV-20170928105858.

Galoá { Este trabalho foi publicado utilizando o **Galoá** proceedings

Iribarren, I & Chacón, E & De Miguel, Eduardo. (2008). A Bayesian Approach to Probabilistic Risk Assessment in Municipal Playgrounds. Archives of environmental contamination and toxicology. 56. 165-72. 10.1007/s00244-008-9161-2.

Jiao J., Wei M., Yuan Y. e Zhao T., Risk Quantification and Analysis of Coupled Factors Based on the Dematel Model and a Bayesian Network, School Of Reliability and Systems Engineering, Beihang University, 2019.

Keeney, R. L. (1992), Value-Focused Thinking - A Patch to Creative Decision Making. Harvard University Press, Cambridge, UK.

Keeney, R. L. (1996). Value-Focused Thinking: Identifying Decision Opportunities and Creating Alternatives. European Journal of Operational Research. 92. 537-549.

Seker, Sukran & Zavadskas, Edmundas. (2017). Application of Fuzzy DEMATEL Method for Analyzing Occupational Risks on Construction Sites. Sustainability. 9. 2083. 10.3390/su9112083.

Sukran S., Edmundas K. Z., Application of Fuzzy DEMATEL Method for Analyzing Occupational Risks on Construction Sites, 2017.

Tzaschel, Joel & Meira, Alves & Figueiredo, Lucas & Pereira, Jose Cristiano. (2019). Probabilistic Risk Analysis in aeronautical maintenance using Bayesian Networks - A Case Study.

Wiegmann, D.; Shappell, S. A human error approach to aviation accident analysis: the human factors analysis and classification system. Cornwall: MPG Books Bodmin, 2003.

Zadeh, L. Fuzzy Sets. Inf. Control 1965, 8, 338–353.