

Metodologias Fuzzy na Monitorização Equipamentos

S. Lampreia (1), I. Mestre (2), T. Morgado (3), H. Navas (4)

- (1) CINA V - Centro de Investigação Naval/Escola Naval, 2810-001 Almada, Portugal, suzana.paula.lampreia@marinha.pt.
- (2) Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial, NOVA School of Science and Technology (FCT NOVA), Universidade NOVA de Lisboa, Portugal.
- (3) ISEL - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 1959-007 Lisboa, Portugal.
- (4) UNIDEMI, Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial, NOVA School of Science and Technology (FCT NOVA), Universidade NOVA de Lisboa, Portugal.

Resumo: A exigência da manutenção para manter elevados padrões de segurança e de performance nos navios da Marinha Portuguesa, face o enquadramento económico, administrativo, legal e aos quadros de pessoal especializado em manutenção de equipamentos e sistemas marítimos, conduz a que sejam implementadas medidas de monitorização e de apoio contínuo à decisão que suportem as exigências do dia de hoje. Neste sentido foi desenvolvida uma metodologia com capacidade de eventualmente ser aplicada na gestão da manutenção de equipamentos marítimos. O equipamento escolhido para o estudo foi um motocompressor de ar de um navio patrulha oceânico e a metodologia a lógica Fuzzy. Esta lógica tem sido vastamente aplicada em várias áreas na qual se inclui a manutenção. O desenvolvimento de uma lógica Fuzzy adaptada à realidade dos navios e das características dos seus equipamentos poderá contribuir na análise de risco no que diz respeito a tomada de decisão sobre determinados tipos de manutenção.

Palavras-chave: Manutenção, Equipamentos, Risco, Fuzzy

1. INTRODUÇÃO

A importância da manutenção como atividade de apoio à produção em ambiente industrial tornou-se inquestionável devido à sua vasta contribuição no que concerne à operacionalidade e melhoria dos ativos físicos.

Neste contexto, foi desenvolvido o conceito de gestão da manutenção, definido pelo IPQ (NP, 2007) como “todas as atividades de gestão que determinam os objetivos, a estratégia e as responsabilidades respeitantes à manutenção e que os implementam por diversos meios tais como o planeamento, o controlo e a supervisão da manutenção e a melhoria de métodos na organização, incluindo os aspetos económicos.”

O planeamento da manutenção diz respeito a todas as atividades relacionadas ao desenvolvimento de um programa de trabalho regularmente programado para garantir a operação satisfatória do equipamento e evitar problemas graves (Dhillon, 2002). É no âmbito do planeamento e monitorização da manutenção em equipamentos que se aplicou a metodologia Fuzzy para o desenvolvimento de um modelo de apoio à decisão no âmbito da manutenção de um compressor de ar de um navio da Marinha Portuguesa.

2. A METODOLOGIA FUZZY EM MANUTENÇÃO

A lógica Fuzzy é capaz de contribuir para o desenvolvimento de um sistema de tomada de decisão com base em entradas de variáveis linguísticas, mesmo que, por vezes sendo vagas e subjetivas do ponto de vista matemático (Ierace & Cavalieri, 2008). Estas podem servir para definição de matrizes de decisão, tornando os registos de texto e mesmo definições do fabricante e configurações do navio úteis no que diz respeito à gestão da manutenção de equipamentos.

2.1 Processo Fuzzy

A metodologia Fuzzy fornece uma estrutura matemática para modelar a incerteza dos processos cognitivos humanos que podem ser controlados por um computador (Moreno-Cabezali & Fernandez-Crehuet, 2020; Nunes, 2003).

Este processo pode ser descrito em 7 etapas que estão identificadas na figura 1.



Fig. 1. Etapas de um Sistema Fuzzy

Fonte: adaptado de (Jaderi et al., 2019; Kumru & Kumru, 2013)

2.2 Conjuntos Dados Fuzzy

Um conjunto *fuzzy* A , pertencente a um universo U , encontra-se definido através de uma função de pertinência:

$$\mu_A(x) : U \rightarrow [0,1]$$

Esta função de pertinência representa um conjunto *fuzzy* através de um conjunto de pares ordenados dados por:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in U\}$$

Na qual existe apenas uma correspondência, um número real do intervalo $[0,1]$, para cada elemento x .

Quanto mais próximo de 1 for o valor de μ_A maior é a possibilidade do elemento x pertencer ao conjunto A . Este grau de pertinência dos elementos é o que possibilita que ocorram as transições graduais entre o verdadeiro e o falso, deixando de existir assim uma fronteira bem definida entre os conjuntos como acontece nos conjuntos clássicos.

Esta transição gradual é dada por (Sousa, 2014; Zadeh, 2002):

$$\mu_A(x) : x \rightarrow [0,1], \quad \begin{cases} \mu_A(x) = 0 \\ 0 < \mu_A(x) < 1 \\ \mu_A(x) = 1 \end{cases}$$

As funções da Fuzzificação podem ser de diversas formas, as utilizadas na presente investigação foram as trapezoidais (Silva, 2018).

As funções de pertinência triangulares e trapezoidais podem ser descritas através das próximas duas equações respetivamente:

$$\mu_A = \begin{cases} 0, & \text{se } x < x_1 \\ \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}, & \text{se } x_1 < x \leq x_2 \\ \frac{x_3 - x}{x_3 - x_2}, & \text{se } x_2 < x \leq x_3 \\ 0, & \text{se } x > x_3 \end{cases}$$

$$\mu_A = \begin{cases} 0, & \text{se } x < x_1 \\ \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}, & \text{se } x_1 < x \leq x_2 \\ 1, & \text{se } x_2 < x \leq x_3 \\ \frac{x_3 - x}{x_3 - x_2}, & \text{se } x_3 < x \leq x_4 \\ 0, & \text{se } x > x_4 \end{cases}$$

3. CASE STUDY

O equipamento utilizado para o presente estudo foi um compressor de ar, que está instalado num espaço de máquinas dos navios Patrulha Oceânicos da Marinha Portuguesa. Nesta classe de navios existem dois compressores de ar.

Para a aplicação da metodologia Fuzzy teve-se que proceder à classificação da frequência da falha considerando uma frequência remota ou muito frequente, com número de falhas entre 6 e 22 vezes.

Relativamente ao impacto foi considerado desde baixo a extremamente alto, entre 0 e 10 respetivamente.

A nível do impacto na segurança entre baixo e alto com o nível entre 1 e 5.

Para além deste consideraram-se ainda os custos de manutenção, e a classificação a nível do risco.

À posteriori foram enunciadas as regras de inferência para atuação, apresentadas algumas na tabela I:

Tabela I – Regras de Inferência

Nº da Regra	Regra
1	Se (F é MF) e (C é Ba) então (R é NC)
2	Se (F é MF) e (C é Mo) então (R é PC)
3	Se (F é MF) e (C é A) então (R é SC)
....
19	Se (F é Re) e (C é Ma) então (R é NC)
20	Se (F é Re) e (C é Ea) então (R é PC)

Nota: F é a Falha, MF é Muito Frequente, Fr é Frequente, PF é Pouco frequente, Ba é Baixa, R é o Risco, NC é Pouco Crítico, SC é Semicrítico, MC é Muito Crítico, Re é Remota, EA é Extremamente Alta, MA é Muito Alta, A é Alta e Mo é Moderada.

Na tabela II apresentam-se os intervalos para o calculo do Risco para cada uma das situações consideradas para o enquadramento do compressor de ar.

Tabela II – Intervalos para a Variável Risco

Termo Linguístico	Abreviatura	Intervalo
Não Crítico	NC	$[R \leq 88]$
Pouco Crítico	PC	$[88 < R \leq 176]$

Semicrítico	SC	$[176 < R \leq 264]$
Crítico	C	$[264 < R \leq 352]$
Muito Crítico	MC	$[R > 352]$

Na Fig. 2 apresenta-se a função trapezoidal com os resultados obtidos para os critérios e níveis definidos.

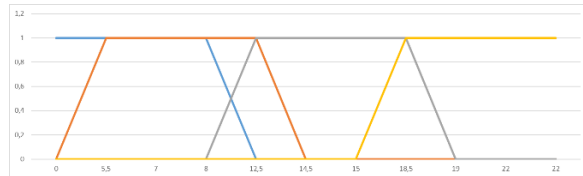


Fig. 2. Função Trapezoidal

Para o cálculo do risco, apresentam-se na Tabela III alguns resultados, para uma frequência entre 14 e 20 ocorrências.

Tabela III – Resultado da Análise Risco

Freq.	Impacto Oper.	Impacto Seg. Amb.	Custos Manut.	Conseq.	Risco	TLR
14	4	5	3	12	168	Pouco Crítico
16	6	1	5	12	192	Semi-Crítico
18	10	3	1	14	252	Semi-Crítico
20	0	5	3	20	400	Muito Crítico

Verificou-se que existe a necessidade de ajuste dos pesos dos critérios, devido a, por exemplo, alguns resultados em que se obteve muito crítico, eram-no menos que alguns em que se obteve só Semi-crítico.

4. CONCLUSÕES

A aplicação da Lógica de Fuzzy em equipamentos de navios pode ser útil no apoio ao desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão em gestão da manutenção de navios da Marinha Portuguesa.

A metodologia Fuzzy permite a medição de registos cognitivos humanos, para isso devem ser considerados alguns critérios e estes devem ter vários níveis para ser possível obter uma quantificação de resultados através de um algoritmo.

O resultado do algoritmo pode ser um nível de risco que permita perceber a urgência de execução de uma manutenção num equipamento.

Na presente investigação, com os níveis e regras de inferência considerados, obtiveram-se alguns resultados que carecem de revisão, de forma a aprimorar e credibilizar os resultados obtidos. Esta situação pode-se logo verificar na função trapezoidal com sobreposição das variáveis.

Este resultado mostra o ponto negativo da lógica, que consta da definição dos critérios que influenciam os resultados, daí a necessidade de várias simulações prévias para efetuar correções, antes da implementação desta Lógica.

Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pela Escola Naval e Centro de Investigação Naval (CINAV) em colaboração com a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

REFERÊNCIAS

- NP (2007). Norma Portuguesa: NP-EN13306, Terminologia da Manutenção. IPQ: Instituto Português da Qualidade.
- Dhillon, B. S. (2002). *Engineering Maintenance: A Modern Approach*. CRC Press.
- Ierace, S., e Cavalieri, S. (2008). Maintenance Strategy Selection: A comparison between Fuzzy Logic and Analytic Hierarchy Process. *IFAC Proceedings Volumes*, 41(3), 228-233.
- Moreno-Cabezali, B. M., e Fernandez-Crehuet, J. M. (2020). Application of a fuzzy-logic based model for risk assessment in additive manufacturing R&D projects. *Computers & Industrial Engineering*, 145, 106529.
- Jaderi, F., Ibrahim, Z. Z., e Zahiri, M. R. (2019). Criticality analysis of petrochemical assets using risk based maintenance and the fuzzy inference system. *Process Safety and Environmental Protection*, 121, 312–325.
- Kumru, M., e Kumru, P. Y. (2013). Fuzzy FMEA application to improve purchasing process in a public hospital. *Journal of Applied Soft Computing*, 13(1), 721–733.
- Sousa, A. (2014). *Controladores Linguísticos Fuzzy*. Tese de Mestrado da área Departamental de Engenharia Mecânica. ISEL.
- Zadeh, L. A. (2002). From Computing with Numbers to Computing with Words: From Manipulation of Measurements to Manipulation of Perceptions. Em M. MacCrimmon & P. Tillers (Eds.), *The Dynamics of Judicial Proof: Computation, Logic, and Common Sense*. Physica-Verlag HD, 81–117.
- Silva, B. (2018). *Proposta de um modelo Fuzzy—AMFE integrado no DMAIC aplicado à Indústria Automóvel*. FCT-UNL.