



# **Modelo multicritério para alocação de recursos em uma planta de energia elétrica: uma abordagem baseada na problemática de portfólio**

**Maria Isabel Suassuna da Fonte**

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) , CDSID (Centro de desenvolvimento em sistemas de informação e decisão)  
Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária – Recife, PE  
Mariaisabel.fonte@gmail.com

**Marcelo Hazin Alencar**

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) , CDSID (Centro de desenvolvimento em sistemas de informação e decisão)  
Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária – Recife, PE  
marceloalencar@cdsid.org.br

**Adiel Teixeira de Almeida**

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), CDSID (Centro de desenvolvimento em sistemas de informação e decisão)  
Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária – Recife, PE  
almeida@cdsid.org.br

## **RESUMO**

O aumento das exigências operacionais nas organizações tornou as atividades de manutenção mais importantes, pois elas afetam diretamente no desempenho dos ativos. Nesse contexto, nas últimas décadas, várias estratégias para gerenciamento da manutenção foram desenvolvidas e, dentre elas, destaca-se o RCM (Reliability Centered Maintenance). O artigo tem como objetivo explorar e analisar um modelo que incorpora a teoria da utilidade multiatributo (MAUT) ao RCM, através de uma aplicação numérica. Também objetiva comparar os resultados obtidos do modelo com os obtidos através da abordagem de portfólio.

**PALAVRAS CHAVE.** Apoio à Decisão Multicritério, RCM, Alocação de recursos

**Tópicos (ADM- Apoio à Decisão Multicritério)**

## **ABSTRACT**

The increase of operational requirements in organizations made the maintenance activities more important because they affect the assets performance directly. In this context, various strategies for maintenance management were developed in the last decades and among them RCM (Reliability Centered Maintenance) stood out. The objective of this paper is to explore and analyze a model that incorporates the Multiattribute utility Theory (MAUT) to RCM, through a numeric application. It also aims at comparing the results obtained from the model to the ones obtained through the portfolio approach.

**KEYWORDS.** multicriteria decision aiding, RCM, Resource allocation.

**Paper topics (ADM- multicriteria decision aiding)**



## 1. Introdução

Apesar dos sistemas de produção, de uma forma geral, estarem mais confiáveis que no passado, um dos principais desafios para as organizações é estabelecer a estratégia de manutenção, uma vez que eles ainda são muito afetados por deterioração e falhas [La Fata e Passannanti 2017]. [Lopes et al. 2015] destacam a importância de um sistema eficaz de gerenciamento de manutenção de forma a alcançar o desempenho ótimo dos ativos a partir de um planejamento adequado das atividades de manutenção.

Nas últimas décadas várias estratégias para gerenciamento da manutenção foram desenvolvidas. Dentre elas, está a metodologia RCM (*Reliability Centered Maintenance*) [Gupta e Mishra 2017]. [Tang et al. 2016] caracterizam o RCM como uma metodologia de gestão de risco e confiabilidade, que estabelece estratégias de manutenção preventiva para os ativos. Para [Moubray 1997], é uma metodologia eficiente para tratar questões de manutenção, podendo reduzir os trabalhos de rotina em até 70%. [Hopkinson et al. 2016], afirmam que a metodologia torna os ativos mais confiáveis, com baixas taxas de falha.

[de Almeida et al. 2015a] recomendam que, considerando a abordagem RCM, uma decisão de fundamental importância é estabelecer o quão críticos são os sistemas ou modos de falha. Nesse contexto, [Alencar e de Almeida 2015] propuseram um modelo que incorpora à estrutura tradicional do RCM a teoria da utilidade multiatributo (MAUT), possibilitando a análise quantitativa das consequências das falhas, considerando as preferências do decisor. O modelo proposto fornece um ranking dos modos de falha com o objetivo de auxiliar na elaboração da estratégia de manutenção, provendo uma melhor alocação dos recursos disponíveis.

O presente artigo, então, tem como objetivo explorar e analisar esse modelo proposto por [Alencar e de Almeida 2015] através de uma aplicação numérica baseada no estudo de caso desenvolvido por [Mohsen e Fereshteh 2016] e em dados realísticos e comparar os resultados obtidos no modelo com os resultados obtidos aplicando a abordagem de portfólio.

O trabalho está estruturado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta uma fundamentação teórica; a Seção 3 apresenta sucintamente o modelo proposto por [Alencar e de Almeida 2015]; a Seção 4 traz uma aplicação numérica do modelo; a Seção 5 a discussão e os resultados e finalmente a seção 6 apresenta a conclusão do estudo.

## 2. Fundamentação Teórica

Nesta seção, uma breve fundamentação teórica será apresentada como segue: O item 2.1 apresenta um estudo sobre a metodologia RCM; o item 2.2 traz um breve estudo sobre a análise multicritério, com destaque para o método de apoio a decisão MAUT e para abordagem de portfólio.

### 2.1. RCM (Reliability centered maintenance)

O RCM é uma metodologia que fornece uma abordagem estruturada e prática para estabelecer uma estratégia de manutenção para cada componente de um sistema, com a finalidade de preservar a funcionalidade dos mesmos [Gupta et al. 2016]. De acordo com [Arno et al. 2015], é um processo que avalia como um componente e / ou um sistema crítico pode falhar; quais são as consequências da falha; e, finalmente, quão grave é o impacto da falha para a instalação.

A sua aplicação acontece basicamente através das seguintes etapas [Moubray 1997], [Rausand e Vatn 2008], [Kianfar e Kianfar 2010], [de Almeida et al. 2015a], conforme figura 1:

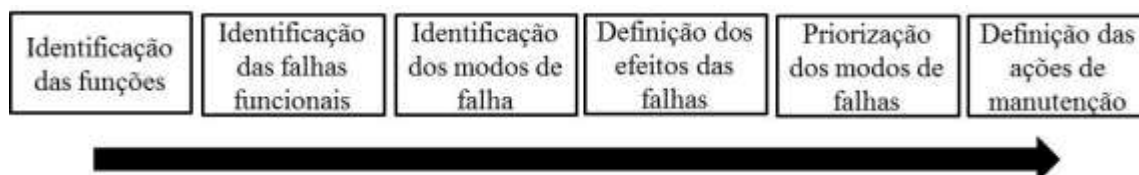


Figura 1. Etapas do RCM.

Para [Gupta e Mishra 2017] a definição dos efeitos das falhas e a análise de criticidade dos modos de falha, ou seja, a obtenção da priorização, são etapas fundamentais da metodologia. Através da priorização, a organização poderá alocar os recursos aos modos de falha mais críticos.

[Alencar e de Almeida 2015] sugerem obter a priorização dos modos de falha através da utilização da teoria da utilidade multiatributo (MAUT). O modelo permite realizar uma melhor análise quantitativa das consequências, incorporando aspectos probabilísticos, além de considerar a estrutura de preferências e o julgamento de valor do decisor. A seção 3 apresenta brevemente a descrição do modelo.

## 2.2. Apoio à decisão multicritério

Em toda e qualquer organização, gestores e executivos enfrentam diariamente situações em que precisam tomar uma decisão sobre algo ou alguém.

Mais especificamente, como observado em [Alencar e de Almeida 2015], muitas das abordagens tradicionais aplicadas à análise quantitativa das consequências das falhas em plantas industriais não incorporam uma avaliação multidimensional do problema em estudo, não mensurando o real impacto que as consequências podem produzir. Para [de Almeida 2013], a preocupação com as consequências dessas decisões estimulam as organizações na construção de modelos de decisão e na escolha de métodos que embasem essas decisões.

No contexto de manutenção, os modelos de decisão multicritério vêm ganhando cada vez mais espaço. [Cavalcante e Lopes 2015] destacam que, ao considerar apenas um critério na tomada de decisão, assume-se implicitamente que esse critério representa todo o problema, o que nem sempre acontece. Para eles, a utilização de modelos multicritério proporciona ao decisor uma perspectiva mais ampla na tomada de decisão. Dessa forma, observa-se a possibilidade de se considerar várias dimensões relacionadas, como por exemplo, questões financeiras, meio ambiente e segurança, atendendo assim as crescentes exigências da sociedade [de Almeida et al. 2015b],[ Brito e Almeida 2009], [Alencar e Almeida 2010], [Brito et al. 2010], [Cavalcanti et al. 2016].

Para apoiar os decisores na resolução de problemas que possuem mais de um objetivo, foram desenvolvidos os métodos multicritério de apoio à decisão (MCDA), que considerando a estrutura de preferência do decisor, auxiliam na seleção da(s) alternativa(s), analisando-as em relação a todos os critérios considerados, simultaneamente [de Almeida et al. 2015a].

MAUT (*Multi-attribute Utility Theory*) é um método multicritério que se destaca no contexto de risco e incerteza, incorporando distribuições de probabilidade aos atributos e tradeoffs envolvendo loterias. Com uma estrutura axiomática bem definida, auxilia na escolha da alternativa para um problema, levando em consideração aspectos subjetivos do comportamento do decisor [Monte e De Almeida-Filho 2016], [Alencar e de Almeida 2015].

### 2.2.1. Classificação das problemáticas nos problemas de decisão

Em um problema de decisão, dada as alternativas disponíveis, o decisor pode avaliá-las de acordo com as seguintes problemáticas segundo [Roy 1996].

- Problemática de escolha (P.α): reduz o máximo possível o conjunto de alternativas, contendo a(s) melhor (es) ação(es), para possibilitar eventualmente a escolha de apenas uma ação;



- Problemática de classificação ( $P.\beta$ ): classifica as alternativas em categorias previamente estabelecidas para apoiar a decisão;
- Problemática de ordenação ( $P.\gamma$ ): estabelece um ranking das alternativas de forma completa ou parcial, conforme preferências do decisor;
- Problemática de descrição ( $P.\delta$ ): descreve as ações e suas consequências para apoiar a tomada de decisão.

Para [Vetschera e de Almeida 2012], ainda pode ser considerada a problemática de portfólio. Esta problemática seleciona um subconjunto das alternativas disponíveis, considerando algumas restrições, de forma a obter um resultado que traga as melhores consequências [Almeida et al. 2013].

Vale ressaltar que essa abordagem tem sido bastante encontrada em diferentes contextos na literatura [Mavrotas et al. 2006], [Cho e Shaw 2013], [De Almeida et al. 2014], [Hansen e Kraemmergaard 2013], [Lopes e De Almeida 2015], [Mutavdzic e Maybee 2015], [Zhang et al. 2016].

### 3. Descrição do Modelo proposto por Alencar e de Almeida (2015)

O modelo proposto por [Alencar e de Almeida 2015], incorpora ao RCM a teoria da utilidade multiatributo (MAUT), com o objetivo de priorizar os modos de falha, como mostra a figura 2.

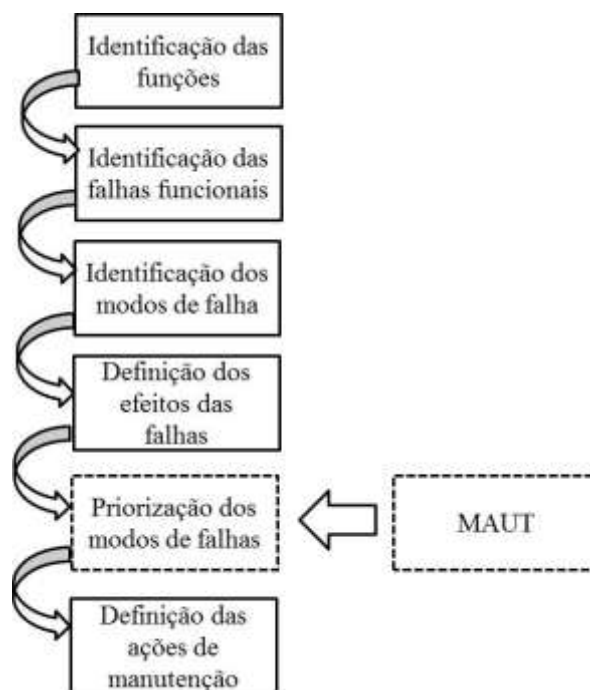


Figura 2. Modelo de decisão multicritério (Adaptado de Alencar e de Almeida, 2015).

A aplicação do método multicritério MAUT resulta em um ranking dos modos de falha, obtido através da análise quantitativa das consequências das falhas, considerando as preferências e o julgamento de valor do decisor. A análise das consequências é realizada com base nas cinco dimensões do modelo descritas a seguir:

- Dimensão Humana (h): Considera o número de pessoas afetadas, levando em conta a morte, lesões/injúrias;
- Dimensão Ambiental (a): Considera a área afetada a partir da ocorrência de determinado modo de falha ( $m^2$ );



- Dimensão Financeira (f): Considera prejuízos financeiros, como por exemplo, multas pagas ao cliente, custos diretos com reparo, etc;
- Dimensão Operacional com interrupção (o): Considera o *Downtime*, quando as consequências da falha afetam o processo produtivo e interrompem a operação;
- Dimensão Operacional sem interrupção (o'): Considera o *Downtime*, mas nesse caso a consequência da falha não interrompe o processo produtivo.

Como resultado final da aplicação do modelo, obtém-se o ranking, ordenando de forma decrescente os valores das funções utilidades multiatributo, calculada para cada modo de falha, através da equação 1. Nota-se pela equação que a função utilidade global considera as contribuições individuais de cada dimensão.

$$U(h, a, f, o, o') = Kh U(h) + Ka U(a) + Kf U(f) + Ko U(o) + Ko' U(o') \quad (1)$$

Onde:

- U(h), U(a), U(f), U(o) e U(o') são as funções utilidade unidimensionais para os critérios humano, ambiental, financeiro, operacional com interrupção e sem interrupção respectivamente.
- Kh, Ka, Kf, Ko e Ko' representam as constantes de escala relativas a cada dimensão, obtidas através do processo de elicitación descrito por [Kenney e Raiffa 1976].

Para estabelecer as estratégias de manutenção, o decisor, além de analisar a ordem de prioridade dos modos de falha estabelecida pelo ranking, pode obter outras informações através dos valores das utilidades multiatributo. Como observado em [Medeiros et al. 2016], por se tratar de uma escala intervalar, considera-se a comparação dos incrementos de utilidade, neste caso, em relação aos modos de falha avaliados. Essa comparação pode ser feita através da razão de incremento (RI), representada pela equação 2.

$$RI = \frac{(U(MFx)_i - U(MFy)_{i+1})}{(U(MFy)_{i+1} - U(MFz)_{i+2})} \quad (2)$$

Sendo "i" a posição no ranking.

#### 4. Aplicação Numérica

Para ilustrar o modelo proposto por [Alencar e de Almeida 2015], esta seção apresenta uma aplicação numérica baseada no estudo de caso realizado em uma Usina Geotérmica (planta que fornece eletricidade por meio de energia geotérmica) por [Mohsen e Fereshteh 2016] e em dados realísticos. A tabela 1 apresenta os modos de falha considerados.

Tabela 1. Modos de falha

Componente "n"	Modos de falha "Mfni"
Produção e transmissão (1)	Válvulas travadas (MF11) Buchas com vazamento (MF12) Tubulações bloqueadas (MF13) Desgaste dos discos de válvula (MF14) Bobinas defeituosas / sifões defeituosos (MF15) Tubos ou canos desalojados/ deslocados (MF16) Degradação da qualidade do vapor (MF17) Problemas de escamação/ incrustação (compostas de cálcio, sílica, sulfeto, etc.) (MF18) Problemas de corrosão (dióxido de carbono, sulfato de ferro, etc) (MF19)
Turbina e Auxiliares (2)	Escamação em pás de rotor e diafragmas (MF21)



	Desgaste e corrosão (MF22) Travamento de válvulas (MF23) Vibração do Rotor (MF24) Entupimento de tubos de condensador (MF25)
Refrigeração e sistema de extração (3)	Bloqueio dos bicos (MF31) Aletas de torre de resfriamento (MF32) Quebra de vedação de água da bomba de vácuo (MF33)
Gerador e sistema elétrico (4)	Vibração do Rotor (MF41) Bobinas de estator soltas (MF42) Centelhação de engrenagens de comutação (MF43) Falha nos motores (MF44) Falha nos transformadores (MF45)
Instrumentação e sistema de controle (5)	Danos causados por H <sub>2</sub> S no cobre (MF51) Sinal de controle errado (MF52) Falha do relé de proteção (MF53)

Fonte: adaptado de Mohsen e Fereshteh (2016)

Para cada uma das cinco dimensões calculou-se as utilidades unidimensionais para todos os modos de falha, considerando o comportamento do decisor em relação ao risco.

Em seguida, obteve-se os valores das constantes de escala através do procedimento descrito em por [Kenney e Raiffa 1976]. Os valores obtidos foram:  $K_h=0,35$ ,  $K_a=0,25$ ,  $K_f=0,2$ ,  $K_o=0,13$ ,  $K_o'=0,07$ .

De posse dos valores das utilidades unidimensionais e das constantes de escala para as cinco dimensões, calculou-se as utilidades multiatributo para cada modo de falha. A tabela 3 apresenta o ranking dos modos de falha e as razões de incremento calculadas.

Tabela 3. Ranking dos modos de falha e RI

Modo de Falha "MFni"	Posição no ranking	RI
MF18	1°	17,0058407
MF44	2°	0,430408146
MF17	3°	15,64593903
MF19	4°	0,12244202
MF45	5°	0,612366153
MF16	6°	2,37828008
MF52	7°	2,603319566
MF15	8°	1,57987597
MF12	9°	1,399616572
MF21	10°	0,259733837
MF32	11°	32,34024273
MF31	12°	0,034003591
MF22	13°	47,88672916
MF43	14°	0,562885178
MF13	15°	5,888017344
MF24	16°	0,849934356
MF14	17°	2,609035901
MF11	18°	0,587348897
MF51	19°	4,219698188
MF53	20°	5,766046929
MF33	21°	0,52580028
MF42	22°	0,569044537



MF23	23°	1,579451962
MF25	24°	-
MF41	25°	-

Fonte: Esta pesquisa (2017)

Analisando a tabela 3, pode-se notar que o modo de falha MF18 ocupa a primeira posição no ranking, seguido pelos modos de falha MF44, MF17 e MF19 que são os mais críticos e precisam ser priorizados nas estratégias de manutenção. Por outro lado, os modos de falha MF41, MF25, MF23 e MF42 são os menos críticos.

Ainda na mesma tabela, analisando a coluna três, nota-se que o incremento entre os valores das utilidades associadas aos modos de falha MF22 para MF43 é aproximadamente 48 vezes o incremento associado aos modos de falha MF43 para MF13.

Conforme mencionado por [Medeiros et al. 2017], com base nessas informações, o decisor pode estabelecer uma política de manutenção adequada para a organização, alocando os recursos disponíveis nos modos de falha mais críticos buscando mitigar os riscos.

#### 4.1. Problemática de portfólio

A partir dos valores das utilidades multiatributo encontrados para cada modo de falha, aplicou-se a problemática de portfólio, considerando a restrição orçamentária da organização. A figura 3 apresenta a comparação dos resultados obtidos com a ordenação e com a abordagem de portfólio.



Figura 3. Comparação dos resultados

Analisando a figura 3, pode-se notar que a abordagem de portfólio selecionou 19 modos de falha, enquanto a ordenação selecionou apenas 16. Gastando aproximadamente o mesmo valor e



atendendo a restrição orçamentária, a abordagem de portfólio garante a seleção dos modos de falha que trazem maiores benefícios para a organização.

## 5. Discussões e resultados

O modelo proposto por [Alencar e de Almeida 2015] apresenta uma forma estruturada para avaliar as consequências dos modos de falha, através da utilização da teoria da utilidade multiatributo, direcionando de forma adequada os recursos limitados. Ao considerar a análise através de múltiplos critérios e de aspectos subjetivos, como as preferências do decisor, o modelo permite uma tomada de decisão mais consistente [Cavalcante et al. 2016].

A avaliação quantitativa das consequências considerando os cinco critérios é uma das contribuições do modelo. Diferentemente de [Moubray 1997], [Carretero et al. 2003], [Hipkin e Lockett 1995] que classificam os modos de falha de acordo com as suas consequências em 4 categorias (Falhas ocultas, Falhas evidentes com consequência ambiental ou Humana, Falha evidente com consequência operacional e Falha evidente com consequência não operacional), o modelo, além de avaliar as consequências humana e ambiental separadamente e considerar os critérios financeiro e os operacionais com e sem interrupção, realiza uma análise quantitativa das consequências, considerando o número de pessoas afetadas, a área atingida, os prejuízos financeiros e o *Downtime*, quando as consequências da falha interrompem ou não a operação, respectivamente.

Por exemplo, a ocorrência de um modo de falha pode acarretar em muitas decorrentes de atrasos para o cliente, em quedas de desempenho, entre outras coisas, que serão inseridas no modelo através das consequências na dimensão financeira.

Além disso, o modelo considera a estrutura de preferências e o julgamento de valor do decisor. Para problemas que envolvem mais de um objetivo, [de Almeida et al. 2015b] argumentam a necessidade de analisar a estrutura de preferências do decisor, através do tradeoff entre os objetivos conflitantes. Como o decisor representa a organização no processo decisório, é importante salientar que suas preferências devem estar alinhadas com as estratégias da organização/área de atuação na organização, uma vez que essas decisões influenciarão na competitividade da empresa.

No modelo, isto é constatado no cálculo das constantes de escala realizado através do procedimento descrito por [Kenney e Raiffa 1976]. As constantes de escala, dentre outras características, incorporam ao cálculo de seus valores o julgamento do decisor para a análise de cada critério em estudo. Esse aspecto não pode ser visto na análise das consequências através do RPN (*Risk Priority Number*), método para priorização dos modos de falha, muitas vezes utilizado na ferramenta FMEA. O RPN é obtido através da multiplicação de três fatores: “S”, fator relativo à severidade, “O” à ocorrência e “D” à detectabilidade de um determinado modo de falha, onde a escala numérica para cada fator é definida pela equipe do estudo. Outro ponto, é que tradicionalmente se considera o mesmo nível de importância para os três critérios nos estudos realizados com a aplicação do RPN [Liu et al. 2013]. [Ben-Daya e Raouf 1996] argumentam que uma das lacunas desse método se dá exatamente por não diferenciar o nível de importância de cada critério.

O modelo de [Alencar e de Almeida 2015] ainda minimiza outro problema encontrado no RPN. A estrutura do cálculo do RPN pode resultar em valores iguais do índice para modos de falha distintos, entretanto com significados diferentes [Gupta et al. 2016]. Valores iguais de RPN para diferentes modos de falha, por exemplo, podem indicar o mesmo nível de ocorrência para os modos de falha analisados, porém diferentes valores de severidade e detectabilidade [Bowles 2003]. O cálculo da função utilidade para cada modo de falha reduz a chance de ocorrência de valores idênticos do RPN.

Além do mais, o modelo considera o comportamento do decisor em relação ao risco no cálculo da função utilidade unidimensional, podendo o decisor apresentar um comportamento neutro, propenso ou avesso ao risco para cada critério [Kenney e Raiffa 1976].





Outra característica do modelo proposto é que, diferentemente dos modelos mais tradicionais considerados acima, ele permite tratar as incertezas encontradas frequentemente no contexto de manutenção.

Para finalizar a discussão, cabe ainda ressaltar a importância da utilização da problemática de portfólio na aplicação numérica apresentada na seção 4. Ao considerar a limitação de recursos financeiros para execução da manutenção dos modos de falha, é necessário selecionar um subconjunto deles de forma ótima, gerando um melhor benefício para a organização. Apesar da ordenação desses modos de falha por criticidade já alcançar um resultado satisfatório, a problemática de portfólio se alinha perfeitamente em se tratando de priorização das atividades de manutenção. Dada a restrição orçamentária imposta pela empresa, essa abordagem irá selecionar um subconjunto dos modos de falha que maximize os benefícios para a organização. No caso apresentado, a troca do MF 24 pelos MF 14, 11,51 e 25 impactou de modo eficiente na organização considerando fatores estratégicos específicos, representados pelos critérios.

## 6. Conclusão

Em decorrência da quantidade limitada de recursos financeiros, materiais e humanos, as organizações necessitam estabelecer prioridades na sua alocação. Com os recursos de manutenção o cenário não é diferente, sendo necessário concentrá-los nas ações que alcançarão um melhor resultado.

Com essa finalidade, [Alencar e de Almeida 2015] propuseram um modelo que incorpora à estrutura do RCM a teoria da utilidade multiatributo (MAUT). O modelo, por meio da análise das cinco dimensões consideradas (Humano, ambiental, financeiro, operacional com e sem interrupção) e da avaliação das preferências e do julgamento de valor do decisor, determina um ranking dos modos de falha. Através do ranking, considerando a criticidade dos modos de falhas, os recursos são alocados.

Para ilustrar o modelo, este artigo apresentou uma aplicação numérica em uma usina geotérmica. Como resultado da aplicação, obteve-se o ranking dos modos de falha. Tendo em vista a restrição de recursos, esse ranking visa possibilitar a identificação dos modos de falhas mais críticos, permitindo uma tomada de decisão mais estruturada por parte dos gestores na estratégia de manutenção, de forma a melhor alocar os recursos. Além disso, foi realizada uma comparação entre os modos de falha selecionados através do ranking [Alencar e de Almeida 2015] e os modos de falha selecionados através da abordagem de portfólio.

## Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do estado de Pernambuco).



## Referências

- Alencar, M.H. e de Almeida, A. T. (2010). Assigning priorities to actions in a pipeline transporting hydrogen based on a multicriteria decision model. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(8), 3610-3619.
- Alencar, M.H. e de Almeida, A.T. (2015). A Multicriteria Decision Model for Assessment of Failure Consequences in the RCM Approach. *Mathematical Problems in Engineering*. Article ID 729865.
- Arno, R., Dowling, N., Fairfax, S., Schuerger, R.e Weber, J.( 2015). What Is RCM and How Could It Be Applied to the Critical Loads? *IEEE Transactions on Industry Applications* 51(3): 2045-2053.
- Ben-Daya, M. e Raouf, A. (1996). A revised failure mode and effects analysis model. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 13(1), 43-47.
- Bowles, J. B.(2003). An assessment of RPN prioritization in a failure modes effect and criticality analysis. *Reliability and Maintainability Symposium*, Annual 380-386.
- Brito, A. J., de Almeida, A.T. e Mota, C. M .M. (2010). A multicriteria model for risk sorting of natural gas pipelines based on ELECTRE TRI integrating Utility Theory. *European Journal of Operational Research*, 200(3), 812-821.
- Brito,A.J. e de Almeida, A. T. (2009). Multi-attribute risk assessment for risk ranking of natural gas pipelines. *Reliability Engineering and System Safety*, 94(2), 187-198
- Carretero, J., Pérez, J. M. , García-Carballeira, F., Calderón,A., Fernández, J., García, J. D., Lozano, A., Cardona, L., Cotaina, N. e Prete, P. (2003). Applying RCM in large scale systems: a case study with railway networks. *Reliability Engineering and System Safety* 82:257–273.
- Cavalcante, C. e Lopes, R. (2015). Multi-criteria model to support the definition of opportunistic maintenance policy: A study in a cogeneration system. *Energy*, 80, 32-40
- Cavalcante, C., Alencar, M., e Lopes, R. (2016). Multicriteria Model to Support Maintenance Planning in Residential Complexes under Warranty. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(4).
- Cho, W., Shaw, M. J.(2013). Portfolio Selection Model for Enhancing Informaton Technology Sysnergy. *IEE transactions on Engineering Mngement*, 60(4: 739-749.)
- de Almeida, A. T.(2013). Processo de Decisão nas organizações: Construindo modelos de decisão multicritério. São Paulo: Atlas.
- de Almeida, A. T., Cavalcante, C. A. V., Alencar, M. H., Ferreira, R. J. P.; de Almeida-Filho, A. T.e Garcez, T. V. (2015a) Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis. International Series in Operations Research and Management Science. Springer, New Yor.
- de Almeida, A.T., Ferreira, R. J. P. e Cavalcante, C. A. V.( 2015b). A review of the use of multicriteria and multi-objective models in maintenance and reliability. *IMA Journal of Management Mathematics* 26:249–271.
- de Almeida, J A., De Almeida, A. T. e Costa, A. P. C. S. (2014). Portfolio selection of information systems projects using PROMETHEE V with c-optimal concept. *Pesquisa Operacional*, 34(2), 275-299.
- Gupta, G., e Mishra, R. (2017). A Failure Mode Effect and Criticality Analysis of Conventional Milling Machine Using Fuzzy Logic: Case Study of RCM. *Quality and Reliability Engineering International*, 33(2), 347.
- Gupta, G., Mishra, R., e Singhvi, P. (2016). An Application of Reliability Centered Maintenance Using RPN Mean and Range on Conventional Lathe Machine. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, 23(6).
- Hansen, L. K., Kraemmergaard, P. (2013) Transforming local government by project portfolio management: Identifying and Overcoming Control Problems. *Transforming Government: People, Process and Policy*, v. 7, n. 1, p. 50–75.



- Hipkin, L. e Lockett, A.G. (1995). A study of maintenance technology implementation. *Omega*.23(1):79-88.
- Hopkinson, J., Perera, N. e Kiazim, E. (2016). Investigating Reliability Centered Maintenance (RCM) for public road mass transportation vehicles. *MATEC Web of Conferences*, 81.
- Keeney, R. L., Raiffa, H. (1976). Decision with multiple objectives preference and value tradeoff. John Wiley, New York.
- Kianfar, A. e Kianfar, F. (2010). Plant function deployment via RCM and QFD. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 16(4): 354-366.
- La Fata, C. e Passannanti, G. (2017). A simulated annealing-based approach for the joint optimization of production/inventory and preventive maintenance policies. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*.
- Liu, H., C. Liu, L. e Liu, N. (2013). Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. *Expert Systems With Applications*, 40(2), 828-838.
- Lopes Y.G. e De Almeida, A.T (2015). Assessment of synergies for selecting a project portfolio in the petroleum industry based on a multi-attribute utility function. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 126, 131-140.
- Lopes, R. S., Cavalcante, C.A.V. e Alencar, M.H. (2015). Delay-time inspection model with dimensioning maintenance teams: A study of a company leasing construction equipment. *Computers & Industrial Engineering*, 88:341–349.
- Mavrotas, G.; Diakoulaki, D.; Caloghirou, Y. (2006). Project prioritization under policy restrictions. A combination of MCDA with 0–1 programming. *European Journal of Operational Research*. 171, pp 296–308.
- Medeiros, C., Alencar, M.H. e de Almeida, A.T. (2017). Multidimensional risk evaluation of natural gas pipelines based on a multicriteria decision model using visualization tools and statistical tests for global sensitivity analysis. *Reliability Engineering and System Safety*
- Medeiros, C.P., Alencar, M.H. e de Almeida, A. T. (2016). Hydrogen pipelines: Enhancing information visualization and statistical tests for global sensitivity analysis when evaluating multidimensional risks to support decision-making. *International Journal of Hydrogen Energy* 41 :22192-22205.
- Mohsen, O. e Fereshteh, N. (2017). An extended VIKOR method based on entropy measure for the failure modes risk assessment – A case study of the geothermal power plant (GPP). *Safety Science*, 92, 160-172.
- Monte, M. B., e De Almeida-Filho, A. T. (2016). A Multicriteria Approach Using MAUT to Assist the Maintenance of a Water Supply System Located in a Low-Income Community. *Water Resources Management*, 1-14.
- Moubray J. (1997). Reliability-centered maintenance. Industrial Press Inc., New York.
- Mutavdzic, M.; Maybee, B. (2015). An extension of portfolio theory in selecting projects to construct a preferred portfolio of petroleum assets. *Journal of petroleum science and engineering*, 133:518-528.
- Rausand, M. e Vatn, J. (2008). Reliability centred maintenance. Complex system maintenance handbook. Springer London. p. 79-108.
- Roy, B. (1996) Multicriteria Methodology for decision Aiding. Kluwer Academic Publishers.
- Tang, Y., Liu, Q. Jing, J. Yang, Y. & Zou, Z. (2016). A framework for identification of maintenance significant items in reliability centered maintenance. *Energy*.
- Vetschera, R., de Almeida, A (2012). A Promethee-based approach to portfolio selection problems. *Computers e Operations research*, 39:1010-1020.
- Zhang, P., Yang, K., Dou, Y. e Jiang, J. (2016). Scenario-based approach for project portfolio selection in army engineering and manufacturing development. *Journal of systems Engineering and Electronics*, 27(1):166-176.