

## **PRIORIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS EM MANUTENÇÃO EMPREGANDO O APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO**

**Tainá do Carmo Mendonça**  
Sociedade Michelin Particip. E Ind. Ltda  
Itatiaia, RJ  
tainamendonca@id.uff.br

**Luís Alberto Duncan Rangel**  
Escola de Eng. Ind. Metalúrgica de Volta Redonda - Universidade Federal Fluminense (UFF)  
Volta Redonda – RJ  
duncan@metal.eeimvr.uff.br

### **RESUMO**

Em processos produtivos com diversas máquinas semelhantes é necessário priorizar a máquina que a equipe de manutenção deve atuar. Esta decisão é tomada em função das características inerentes ao processo produtivo, e características dos equipamentos em falha. Esta pesquisa tem como tema central a priorização dos equipamentos em falha empregando o Apoio Multicritério à Decisão. O método PROMÉTHÉE II foi empregado nesta pesquisa, e tem a característica de ser não compensatório e realizar comparação par a par das alternativas, fornecendo como resultado uma pré-ordem das alternativas. Os critérios utilizados foram definidos por especialistas do processo produtivo. Um modelo foi elaborado e aplicado para priorizar o equipamento em falha para ser implementado diariamente, e sua validação foi realizada por especialista do processo.

**PALAVRAS CHAVE.** Manutenção, Auxílio Multicritério à Decisão, Método PROMÉTHÉE II.

### **ABSTRACT**

In productive processes with several similar machines is necessary to prioritize the machine that maintenance team should act on. Decision is made based on the characteristics inherent to the production process and characteristics of the equipment in failure. The central theme of this research is prioritization of equipment failing using Multicriteria Decision Aid. PROMÉTHÉE II method was used in this research, and has characteristic of being non-compensatory and pairwise comparison of alternatives, providing as a result alternatives preorder. Criteria used were defined by specialists in production process. A model was developed and applied to prioritize equipment failed to be implemented daily, and its validation was performed by a process specialist.

**KEYWORDS.** Maintenance, Multicriteria Decision Aid, PROMÉTHÉE II method.

## 1. Introdução

O aumento da competitividade no setor industrial exige que as empresas busquem melhorias dos resultados dentro de seus processos produtivos. Esta melhoria se dá por intermédio de aumento de sua produtividade, capacidade, flexibilidade e redução de custos. A sobrevivência de uma indústria requer uma maior flexibilidade administrativa, para atender às exigências dos clientes finais gerando um desenvolvimento econômico, tecnológico e estrutural. Segundo a Confederação Nacional das Indústrias (CNI, 2014), o Brasil apresenta de uma forma geral um custo de trabalho mais alto que os outros países em desenvolvimento, portanto, é necessário que a produtividade das indústrias brasileiras seja melhor que as de outros países, para que seja possível para o Brasil atrair investimento.

O setor produtivo das empresas em geral é composto pela produção propriamente dita, manutenção, planejamento, qualidade, compras, vendas, marketing, recursos humanos, logística, segurança, meio ambiente, entre outros. O setor de manutenção industrial tem uma posição chave para o desempenho operacional da indústria, uma vez que todo o trabalho de melhoria de produtividade, capacidade, flexibilidade geram interferências no equipamento. As principais ações realizadas para aumentar a produtividade são: redução de tempo unitário de fabricação, redução das campanhas de produção gerando conseqüentemente o aumento das trocas de *setup* de máquina, redução do tempo de manutenção corretiva e preventiva.

No que concerne à indústria abordada nesta pesquisa a redução do tempo de manutenção corretiva se dá de duas formas principais: a primeira a cargo da engenharia de manutenção trata da melhoria da confiabilidade dos equipamentos com o objetivo principal de reduzir a taxa de falhas, ou seja, trabalhar diretamente na quantidade. A segunda forma a cargo do setor de manutenção é a redução do tempo de falha e priorização dos equipamentos.

A questão colocada é qual a melhor forma para priorizar os equipamentos aguardando a manutenção corretiva visando atender às expectativas dos clientes e a produtividade esperada. O objetivo deste trabalho é utilizar a metodologia de Apoio Multicritério à Decisão para priorizar a manutenção corretiva dos equipamentos de um processo produtivo.

## 2. A Manutenção

Existem diversos conceitos para definir manutenção, conforme a ABNT/NBR 5462/94, manutenção é o conjunto de ações ou técnicas requeridas para manter ou recolocar um determinado equipamento em estado de forma que possa desempenhar sua função específica.

De acordo com Torres (2005), o objetivo da manutenção é atingir o maior nível de efetividade de um equipamento, com a menor contaminação do meio ambiente, ao melhor custo possível e com o menor risco de segurança. Lins (2009) ressalta o fato de que é importante valorizar a diferença entre o melhor e o menor custo, pois o primeiro visa atingir um bom custo mantendo a qualidade, e o segundo simplesmente leva em consideração o menor valor financeiro independente da qualidade. Para Kardec e Nascif (2013) a manutenção tem como missão a eliminação das necessidades de intervenções corretivas não programadas, ou seja, a manutenção deve ser capaz de se antecipar às falhas, de forma que a disponibilidade dos equipamentos seja garantida e os eventos inesperados sejam suprimidos.

Deste modo, a manutenção garante além da disponibilidade outros fatores chaves para o sucesso da organização, como por exemplo, a redução das falhas, a garantia da qualidade do produto, a garantia da segurança para os operadores dos equipamentos, a redução do lucro cessante e também garante a preservação do meio ambiente. Resumidamente para Kardec e Nascif (2013) a manutenção tem como missão a garantia da disponibilidade dos equipamentos para que estes exerçam sua função respeitando a confiabilidade, segurança, meio-ambiente e custos.

### 2.1. Os tipos de Manutenção

A manutenção passou por três grandes fases em sua evolução. Essas fases se devem a mudanças nos focos das equipes de manutenção, complexidade dos projetos, evolução de maquinário e novas expectativas da função manutenção (Moubray, 2000). De acordo com Tavares

(1999), a evolução das gerações da manutenção foi caracterizada por melhoria na garantia da qualidade do serviço, disponibilidade do equipamento e redução de custo.

Os principais tipos de manutenção podem ser divididos em grandes categorias, classificados como manutenção reativa, proativa e de melhoria. Segundo Kardec e Nascif (2013) a manutenção reativa é aquela que é desenvolvida após a falha, ou seja, reage à mesma. Enquanto a manutenção proativa é toda a manutenção realizada antes da ocorrência da falha, seja ela como forma de detecção, prevenção, predição ou correção. A manutenção de melhoria objetiva evoluir a qualidade do serviço de manutenção, seja a partir de ações de melhoria de confiabilidade, consequentemente a redução da quantidade de falhas, ou de ações de melhoria e padronização do trabalho. Os tipos principais de manutenção se dividem em seis categorias, sendo elas, a manutenção corretiva não programada ou emergencial, a manutenção corretiva programada, manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção detectiva e engenharia de manutenção.

Há dois tipos de manutenção corretiva, a manutenção corretiva emergencial e a manutenção corretiva programada. A manutenção corretiva não programada é entendida como a intervenção que ocorre devido ao aparecimento de uma falha aleatória, que torna o equipamento indisponível ou com baixa confiabilidade. De acordo com Santos (2015) as manutenções corretivas programadas são aquelas em que a máquina continua a funcionar mesmo apresentando um estado de falha, portanto podem aguardar até um momento propício para que a intervenção seja feita.

De acordo com Nunes (2013) a manutenção preventiva sistemática é a manutenção realizada em períodos fixos. A manutenção preventiva é a manutenção realizada em máquinas que estão em funcionamento, seu objetivo é prevenir a ocorrência da falha com a troca precoce do equipamento. A manutenção preventiva é escolhida como técnica quando existem limitações para a realização da manutenção preditiva, se o equipamento apresenta algum risco de segurança mediante a ocorrência de uma falha e se os equipamentos apresentam um custo de falha muito alto.

Para Kardec e Nascif (2013) manutenção preditiva é o trabalho de verificação e monitoramento de algumas condições específicas da máquina, para prever a ocorrência da falha, quando a manutenção preditiva identifica que o equipamento está entrando em degradação é necessário que se faça uma manutenção corretiva planejada. A manutenção preditiva é um processo que prevê qual a vida útil dos subconjuntos dos equipamentos, podendo ser comparada a uma manutenção preventiva, porém não sistemática e sim condicional, visto que os desvios encontrados nos equipamentos são tratados de acordo com a condição medida.

A manutenção detectiva também conhecida como manutenção pró ativa, tem como objetivo detectar falhas que estão ocultas no equipamento, mediante testes e dispositivos de segurança que indicam um estado de falha. Kardec e Nascif (2013) e Bristot (2012) afirmam que a manutenção detectiva teve início após a década de 90, tendo como objetivo a pesquisa pela falha antes que a mesma gere uma parada aleatória.

De acordo com Bristot (2012) a engenharia de manutenção surgiu após a Segunda Guerra Mundial, com a necessidade de reduzir as quebras de máquinas a partir da mudança de paradigmas e melhoria dos métodos de trabalho. A Engenharia de Manutenção tem por objetivo a análise dos equipamentos, dos materiais e ferramentais, planejamento e gerenciamento do sistema de manutenção, assim como é responsável por garantir o bom nível de confiabilidade e manutenibilidade (Lucatelli, 2002; Bristot 2012).

### **3. Apoio multicritério a decisão**

De acordo com Almeida (2013) um método multicritério consiste em escolher a melhor alternativa dentro de um conjunto de duas ou mais alternativas, baseando esta decisão em dois ou mais critérios. De acordo com Lopes (2011) a decisão é um processo que leva a escolha de pelo menos uma alternativa que atenda aos critérios especificados.

Normalmente nos modelos de auxílio multicritério à decisão existem, conflitos ou interdependência entre os critérios, e a decisão pode envolver mais de um avaliador, desta forma

pode haver direções diferentes na avaliação das alternativas. Portanto, na análise multicritério deve-se procurar a solução que se adequa mais aos critérios selecionados (Lins, 2009).

Os métodos de Apoio Multicritério à Decisão podem ser classificados de diversas formas. Uma das mais utilizadas é subdividi-los entre métodos da Escola Americana e métodos da Escola Francesa. De acordo com Lima Junior (2013) os métodos da escola americana são baseados na função de utilidade, que tem por objetivo apoiar a decisão baseado na preferência do decisor, ou seja, no seu grau de satisfação perante uma alternativa. A escola americana tem por principal característica o fato de ser compensatória, ou seja, um desempenho muito alto em um determinado critério compensa o desempenho fraco em outro critério devido ao fato que todos os critérios são analisados em conjunto na mesma função de utilidade.

A escola francesa tem como base a relação de dominância, que tem por objetivo definir a busca pelo Ótimo de Pareto, que é a melhor alternativa para todos os critérios. A escola francesa tem como característica a análise dos critérios em comparações par a par, estabelecendo a sobreclassificação das alternativas para posteriormente solucionar o problema, Campos (2011).

Segundo Rossoni (2011) os métodos da escola americana são o MAUT, SMART, TODIM, TOPSIS, MACBETH e o AHP, e os métodos da escola francesa são ELECTRE, PROMÉTHÉE. Além destes métodos, outros foram propostos, como os métodos UTA-CR (Rangel, 2002), Fuzzy TODIM (Souza e Krohling, 2012), Fuzzy PROMÉTHÉE (Gupta, Sachdeva e Bhardwaj, 2012; Senvar, Tuzkaya e Kahraman, 2014), Fuzzy AHP e Fuzzy TOPSIS (Alcan, Balin e Basligil, 2013).

### **3.1. Conceitos básicos para decisão multicritério**

Gomes, Araya e Carignano (2011), definem alguns conceitos básicos dentro do ambiente de tomada de decisão: *i.* Decisor – ou tomador de decisão é um indivíduo ou um grupo de indivíduos que é responsável pela decisão, por meio da avaliação das alternativas; *ii.* Analista – é o indivíduo ou grupo de indivíduos responsáveis pela modelagem do problema em estudo, e pela apresentação dos resultados; *iii.* Conjunto de alternativas – é um conjunto finito ou infinito de possibilidades que serão avaliadas, todas as alternativas devem ser selecionadas no início do processo de modelagem; *iv.* Critérios – são elementos que permitem que se analisem as alternativas de acordo com determinados pontos de vista. Podem ser quantitativos ou qualitativos, refletindo a preferência do decisor de acordo com regras definidas; *v.* Constantes de escala – é a atribuição de um valor relativo a cada critério para a tomada de decisão, de acordo com sua importância.

### **3.2. Etapas Método Multicritério**

Gomes e Gomes (2014) dividem a estruturação de um modelo multicritério de decisão em 13 etapas de trabalho, enquanto Almeida (2013) a divide em 12 etapas consolidadas em três grandes fases, sendo elas a fase preliminar, a modelagem das preferências e escolha do método e a finalização. A Fase preliminar é composta pelas etapas 1 a 5, a fase da modelagem das preferências é composta pelas etapas 6 a 8 e a fase de finalização composta pelas etapas 9 a 12. Na primeira fase são definidos os elementos iniciais para a formulação do problema como, por exemplo, os objetivos, os critérios e as problemáticas de decisão, na segunda fase são definidas as funções de preferência e a avaliação dos critérios. Na terceira fase as alternativas são analisadas assim como o resultado da avaliação.

### **3.3. Método PROMÉTHÉE II**

O método PROMÉTHÉE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) é um método com o objetivo de tratar problemas multicritério discretos (BRANS, VINCKE, MARESCHAL, 1984). Neste método as alternativas são analisadas par a par para cada critério, até que a ordem seja definida (Gomes, Araya e Carignano, 2011). Os critérios são avaliados mediante as constantes de escala definidos pelo decisor, de acordo com a importância de cada critério considerado. O método PROMÉTHÉE II foi proposto por Brans, Vinke e Mareschal em 1984, trata-se de uma variação do método ELECTRE, com uma maior resistência às variações dos parâmetros, mas sujeitos às subjetividades dos parâmetros técnicos (Campos, 2011). Para

Santos (2015) a ordenação proveniente do método PROMÉTHÉE II é calculada em função do fluxo líquido, apresentado na Equação 1.

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) \quad (1)$$

Onde,  $\phi^+(a)$  é o fluxo positivo e  $\phi^-(a)$  é o fluxo negativo, a forma de cálculo dos fluxos positivos e negativos são apresentadas nas Equações 2 e 3.

$$\phi^+(a) = \frac{1}{m-1} \sum \pi(a,b) \quad (2)$$

$$\phi^-(a) = \frac{1}{m-1} \sum \pi(a,b) \quad (3)$$

Onde,  $m$  é o número de alternativas consideradas nos modelos e  $\pi(a,b)$  é o grau de sobreclassificação entre as alternativas. Segundo Clemente (2011) o grau de sobreclassificação entre duas alternativas é o somatório do produto entre a função de preferência de cada critério e o peso de cada critério. A Equação 4 apresenta o cálculo do grau de sobreclassificação.

$$\pi(a,b) = \sum_{j=1}^n F_j(a,b) \times w_j \quad (4)$$

Como existem seis formas básicas para  $F_j(a,b)$ , o decisor define qual a melhor forma para a representação da preferência de cada critério (Almeida, 2013). O método PROMETHEE II emprega 6 funções de preferência que utilizados na avaliação das alternativas (Brans, Vinke, Mareschal, 1984).

## 4. Metodologia Proposta

### 4.1. Local de estudo

A unidade de fabricação onde o estudo será aplicado tem como característica principal o fato de que todas as máquinas são semelhantes. As eventuais diferenças são provenientes das características dimensionais dos produtos que estão sendo fabricados no equipamento. Ao todo existem 150 máquinas trabalhando simultaneamente, e dois técnicos eletromecânicos de manutenção para o tratamento das falhas.

Devido às características do meio ambiente em que os equipamentos estão instalados, e à complexidade de automatismo e sistemas pneumáticos, existe grande dificuldade de se prever o momento que a falha irá ocorrer, sendo considerado então que os equipamentos apresentam taxa de falha aleatória, portanto não é possível prever o momento exato que a falha irá ocorrer. Portanto podem haver diversas máquinas apresentando falha simultaneamente, o que leva à necessidade de que haja um modelo auxiliar para a priorização de qual equipamento receberá tratamento primeiro.

O sistema de gestão de manutenção utilizado atualmente fornece somente uma ordem de priorização para os equipamentos que apresentem falha de segurança, pois os mesmos podem apresentar um risco físico aos operadores do equipamento e demais funcionários da empresa. Os equipamentos restantes na lista dos que apresentam falhas são tratados conforme ordem de ocorrência, ou solicitação da chefia de produção, quando as falhas aparecem no turno administrativo, sem analisar qual é a boa ordem de trabalho para tratativa das falhas que aparecem. A aplicação do método de apoio multicritério à decisão se divide em 12 etapas.

### 4.2. Definição dos envolvidos no processo de decisão

Os envolvidos no processo de decisão, conhecidos como atores, podem ser considerados como sendo principalmente os decisores, o analista, os clientes e os especialistas. No presente trabalho os decisores serão os técnicos de manutenção e os agentes de manutenção do setor em estudo, o analista é o engenheiro de organização e métodos do setor de manutenção, os clientes são os supervisores de produção e os operadores de produção do setor em estudo, e os especialistas são os responsáveis do setor de manutenção e da engenharia de manutenção. A decisão sobre quais critérios serão analisados foi tomada em conjunto com os decisores, com o responsável pela engenharia de manutenção, e com a engenheira de organização e métodos do setor em estudo.

### 4.3. Identificação dos objetivos

O modelo a ser definido tem como objetivo principal a priorização equipamentos de um processo produtivo que se encontram em estado de falha, obtendo uma ordem completa na qual os equipamentos deverão ser atendidos. A priorização deve levar em consideração a avaliação de diversos critérios inerentes ao processo produtivo. Por apresentar uma estrutura de pré-ordem completa e ser aplicado para um a estrutura de ordenação, o método PROMÉTHÉE II foi escolhido como método de apoio multicritério à decisão para ser aplicado nesta pesquisa.

O método PROMÉTHÉE II foi escolhido por ter como característica a realização de comparações par a par das alternativas avaliadas de forma não compensatória, gerando como resultado uma ordem completa. Diferentemente do método ELECTRE II o método PROMÉTHÉE II já fornece funções de preferências pré-definidas para a análise dos critérios.

### 4.4. Definição dos critérios

Os critérios utilizados nesta pesquisa foram definidos por especialistas com base em indicadores de manutenção e de rotinas normal de trabalho. Foram identificados cinco critérios.

#### 4.4.1. Critério 1

O critério um correspondente ao fluxo de produção será considerado a quantidade de horas de estoque disponível para a máquina, ou seja, o estoque no posto anterior ao equipamento em análise, visto que o limitante do processo é o posto que será estudado. Entre o posto estudado e o posto anterior, existe um estoque onde são armazenados os produtos, este estoque é responsável por limitar a produção do posto anterior, portanto um estoque alto implica na parada da produção do posto montante à máquina analisada. As horas de estoque são calculadas a partir da Equação 5.

$$\text{horas de estoque} = \frac{\text{quantidade de pneus crus no estoque}}{\text{número de cozimentos por hora}} \quad (5)$$

O critério de horas de estoque é um critério qualitativo e medido em intervalos de horas segundo a Tabela 1.

Tabela 1 - Descrição critério 1

Critério 1	Horas de estoque	Pontuação
Muito alto	> 16h	10
Alto	< 16h	7
Médio	< 12h	5
Baixo	< 8h	3
Muito Baixo	< 4h	1

Fonte: o autor

#### 4.4.2. Critério 2

O critério dois é considerado como fluxo de produção e representa o tempo máximo de parada de máquina sem gerar impacto ao fluxo de produção jusante à máquina analisada. Um tempo excessivo de parada de uma máquina impacta no fluxo de produção do posto seguinte, pois o maior tempo de parada leva o posto jusante a consumir o estoque disponível, até que o mesmo cesse, levando a uma interrupção do fluxo produtivo, pois o mesmo não terá nenhum produto para processar. O critério de fluxo de produção é um critério qualitativo e medido em intervalo de tempo segundo a Tabela 2.

Tabela 2 - Descrição critério 2

Critério 2	Tempo máximo de parada	Pontuação
Muito alto	< 20 min	10
Alto	> 20 min	7
Médio	> 1h	5
Baixo	> 2h	3
Muito Baixo	> 4h	1

Fonte: o autor

#### 4.4.3. Critério 3

O critério três é considerado como disponibilidade de máquina, no qual é avaliado o tempo para o tratamento e correção da falha de um equipamento, esta avaliação é subjetiva e depende diretamente da expertise do avaliador. O critério de disponibilidade de máquina é um critério qualitativo e medido em intervalo de tempo segundo a Tabela 3.

Tabela 3 - Descrição critério 3

Critério 3	Tempo de pane	Pontuação
Muito alto	>2h	10
Alto	< 2h	7
Médio	< 1,5	5
Baixo	< 1h	3
Muito Baixo	< 0,5h	1

Fonte: o autor

#### 4.4.4. Critério 4

O critério quatro avalia o custo de produção, tem como métrica a prioridade do produto em análise a prioridade do produto é definida de acordo com o pedido de produção da Supply Chain, e em função do cálculo dos entregáveis para os clientes, de uma forma simplificada é uma tabela de dados onde constam os produtos e sua prioridade. O critério de prioridade do produto é um critério qualitativo e medido em qualificação de prioridade segundo a Tabela 4.

Tabela 4 - Descrição critério 4

Critério 4	Prioridade do Produto	Pontuação
Muito alto	Muito alto	10
Alto	Alto	7
Médio	Médio	5
Baixo	Baixo	3
Muito Baixo	Muito Baixo	1

Fonte: o autor

#### 4.4.5. Critério 5

O critério cinco trata da manutenibilidade e avalia a complexidade da falha, tem o impacto considerado pois para falhas mais complexas devem ser tratadas diretamente pela equipe técnica, que está presente no horário administrativo, ou remotamente pela mesma, enquanto as falhas simples ou de manutenção de nível 1 podem ser tratadas diretamente pela equipe de operação das máquinas. O critério de complexidade do tipo da falha é um critério qualitativo e medido em qualificação do tipo da falha segundo a Tabela 5.

Tabela 5 - Descrição critério 5

Critério 5	Complexidade do tipo de falha	Pontuação
Muito alto	Falha nível 2	10
Alto	Falha de automatismo	7
Médio	Falha complexa mecânica / elétrica	5
Baixo	Falha simples, mecânica / elétrica	3
Muito Baixo	Manutenção Nível 1	1

Fonte: o autor

#### 4.5. Definição do espaço de ações e problemáticas de decisão

A problemática de decisão que envolve o problema em estudo se trata da problemática  $P_y$ , definida como a problemática de ordenação, que tem por objetivo fornecer uma ordem completa das alternativas. O espaço de ações considerado neste estudo são as 150 prensas do setor de manutenção, as alternativas que serão analisadas serão as máquinas que se encontram em estado de falha, podendo o número de alternativas variar de uma análise para outra.

As prensas são divididas em cinco linhas de trinta prensas, denominadas linhas A, B, C, D e E. As prensas estão dispostas de forma uniforme no setor produtivo, não sendo necessária a consideração da distância dos equipamentos como fator determinante para o processo decisório.

#### 4.6. Identificação dos fatores não controlados do processo

Os fatores não controlados para o processo estudado podem ser considerados como todos aqueles que podem gerar um aumento excessivo do número de alternativas de uma forma instantânea, como por exemplo, o vapor e o ar comprimido que alimentam as máquinas e são gerados em outro setor da fábrica. Nestes casos a prioridade se torna tratar as máquinas que estão paradas com pneus em processo de cozimento para evitar as perdas no processo produtivo.

#### 4.7. Modelagem das preferências

Cada critério do método de análise multicritério é regido por uma função de preferência, esta função define a importância relativa de cada alternativa para o decisor. A partir da definição dos especialistas do processo, foram identificadas as características de preferência que cada critério tem para os decisores, definidos como valores de preferência. A Tabela 6 apresenta as funções de preferência que foram escolhidas para os critérios em análise.

Critério	Tipo de preferência	Observação
C <sub>1</sub> Horas de estoque	Preferência linear com zona de indiferença	Uma diferença de até 4 horas de estoque entre duas dimensões é indiferente, uma diferença maior que 8h de estoques entre duas dimensões deve ser atuado no estoque maior que 8h
C <sub>2</sub> Tempo de parada sem impacto ao fluxo	Preferência linear	Até 3h de parada o impacto ao fluxo é mais provável acima de 3h existe impacto
C <sub>3</sub> Tempo de pane	Quase critério	Panes de até 1h são indiferentes
C <sub>4</sub> Prioridade do CAB	Critério usual	Qualquer diferença na avaliação é uma diferença considerável
C <sub>5</sub> Complexidade do tipo de falha	Critério usual	Qualquer diferença na avaliação é uma diferença considerável

Fonte: o autor

A Tabela 7 apresenta os parâmetros para as funções de preferência de cada critério, estes parâmetros variam de acordo com a função de preferência definida e com as características dos critérios definidos pelos decisores.

	Tipo de preferência	q	p
C <sub>1</sub>	Preferência linear com zona de indiferença	3	4
C <sub>2</sub>	Preferência linear	-	4
C <sub>3</sub>	Quase critério	4	-
C <sub>4</sub>	Critério usual	-	-
C <sub>5</sub>	Critério usual	-	-

Fonte: o autor

#### 4.8. Avaliação Intracritério

A avaliação intracritério é a definição das escalas de variação de cada critério para a avaliação das alternativas, para todos os critérios foram utilizadas escalas verbais de classificação de resultados de acordo com sua criticidade, para cada patamar da escala é atribuída uma determinada pontuação, e uma faixa de variação.

Um resumo da classificação dos critérios está demonstrado na Tabela 8, a pontuação dos critérios de acordo com a faixa definida é o valor a ser utilizado para a hierarquização das alternativas.

Classificação	Muito alto	Alto	Médio	Baixo	Muito Baixo
C <sub>1</sub>	< 4h	< 8h	< 12h	< 16h	> 16h
C <sub>2</sub>	< 20 min	> 20 min	> 1h	> 2h	> 4h
C <sub>3</sub>	>2h	< 2h	< 1,5	< 1h	< 0,5h
C <sub>4</sub>	Muito alto	Alto	Médio	Baixo	Muito baixo
C <sub>5</sub>	Falha nível 2	Falha de automatismo	Falha complexa	Falha simples	Manutenção Nível 1
Pontuação	10	7	5	3	1

Fonte: o autor

#### 4.9. Avaliação Intercritério

A avaliação intercritério consiste na definição da importância relativa de cada critério para o processo decisório, esta importância é imputada ao método através do peso dos critérios, estes pesos foram definidos a partir da decisão sobre quais parâmetros analisados deve ser dada a maior prioridade.

A Tabela 9 apresenta os pesos definidos para cada critério e o valor do peso ponderado, os pesos foram definidos de acordo com a opinião dos especialistas do processo.

Tabela 9 – Pesos dos critérios

	Critério	Constante de escala	Valor Ponderado
C <sub>1</sub>	Horas de estoque	8	0,30
C <sub>2</sub>	Tempo de parada sem impacto ao fluxo de produção	3	0,11
C <sub>3</sub>	Tempo de pane	5	0,19
C <sub>4</sub>	Prioridade do CAB	10	0,37
C <sub>5</sub>	Complexidade do tipo de falha	1	0,04

Fonte: o autor

#### 4.10. Avaliação das alternativas

As alternativas foram avaliadas de acordo com os dados referentes a um dia de produção. No momento da coleta de dados haviam dez máquinas apresentando estado de falha, A<sub>1</sub>, A<sub>9</sub>, A<sub>24</sub>, A<sub>31</sub>, A<sub>67</sub>, A<sub>88</sub>, A<sub>105</sub>, A<sub>139</sub>, A<sub>144</sub> e A<sub>150</sub>.

Após o levantamento das alternativas, as mesmas foram avaliadas em cada um dos cinco critérios disponíveis, posteriormente à análise das alternativas, a matriz de resultado da avaliação foi criada e apresentada na Tabela 10, a partir desta matriz é feita a aplicação do método PROMÉTHÉE II.

Tabela 10 – Avaliação das alternativas

Alternativa	C1	C2	C3	C4	C5
A1	< 8h	> 20 min	< 0,5h	Muito alto	Falha de automatismo
A9	< 16h	> 20 min	< 1,5	Médio	Falha nível 2 (Necessita equipe técnica)
A24	> 16h	> 2h	< 2h	Alto	Manutenção Nível 1
A31	< 8h	> 4h	< 2h	Muito Baixo	Falha complexa mecânica / elétrica
A67	< 4h	< 20 min	< 1,5	Médio	Falha nível 2 (Necessita equipe técnica)
A88	< 12h	< 20 min	< 0,5h	Baixo	Falha simples, mecânica / elétrica
A105	< 12h	> 1h	< 1h	Alto	Falha de automatismo
A139	< 4h	> 2h	< 1h	Muito alto	Falha de automatismo
A144	> 16h	> 4h	> 2h	Médio	Falha simples, mecânica / elétrica
A150	< 4h	> 4h	< 1,5	Baixo	Falha nível 2 (Necessita equipe técnica)

Fonte: o Autor

A Tabela 11 apresenta o resultado da avaliação das alternativas com os valores de pontuação. De posse dos valores de avaliação das alternativas, são feitas comparações par a par das mesmas para cada um dos cinco critérios de avaliação, resultando nas intensidades de preferência  $g_j(a) - g_j(b)$  de cada critério.

Tabela 11 – Avaliação das alternativas, resultado em pontos

Alternativa	C1	C2	C3	C4	C5
A <sub>1</sub>	3	7	1	10	7
A <sub>9</sub>	7	7	5	5	10
A <sub>24</sub>	10	3	7	7	1
A <sub>31</sub>	3	1	7	1	5
A <sub>67</sub>	1	10	5	5	10
A <sub>88</sub>	5	10	1	3	3
A <sub>105</sub>	5	5	3	7	7
A <sub>139</sub>	1	3	3	10	7
A <sub>144</sub>	10	1	10	5	3
A <sub>150</sub>	1	1	5	3	10

Fonte: o Autor

A partir do valor das intensidades de preferência obtidos da comparação par a par das alternativas, o grau de sobreclassificação –  $\pi(a, b)$  – das alternativas é calculado, utilizando a função de preferência definida –  $F_j(a, b)$  – e a constante de escala de cada critério –  $w_j$ .

Após o cálculo dos fluxos positivos e negativos o fluxo líquido é calculado e as alternativas são priorizadas em função do maior fluxo líquido. A Tabela 7 apresenta a classificação final das alternativas em ordem decrescente dos fluxos líquidos, empregando o método PROMETHEE.

Tabela 12 – Classificação das alternativas

Prioridade	Alternativa	Máquina
1	A <sub>24</sub>	A12 - B
2	A <sub>9</sub>	A5 - A
3	A <sub>150</sub>	E15 - B
4	A <sub>144</sub>	E12 - B
5	A <sub>139</sub>	E10 - A
6	A <sub>1</sub>	A1 - A
7	A <sub>105</sub>	D8 - A
8	A <sub>67</sub>	C4 - A
9	A <sub>88</sub>	C14 - B
10	A <sub>31</sub>	B1 - A

Fonte: o Autor

#### 4.11. Análise de sensibilidade

O processo de análise de sensibilidade tem por objetivo verificar a robustez do modelo verificando qual o nível de variação nas entradas pode gerar uma variação no resultado final. Considerou-se para a análise de sensibilidade a variação das constantes de escala dos critérios de forma individual, com o objetivo de avaliar o impacto na decisão, no caso de as prioridades mudarem. A análise foi realizada variando-se as constantes de escala dos critérios C<sub>1</sub> e C<sub>4</sub>, em 20% de seu valor para mais e para menos, e variando-se o critério C<sub>4</sub> em 10% de seu valor.

A variação da ordenação das alternativas após a variação das constantes de escala dos critérios, pode-se observar-se que a alternativa prioritária permanece como alternativa prioritária do processo indiferentemente da variação dos pesos dos critérios. Para o critério C<sub>4</sub> uma mudança de 10% no seu valor de constante de escala não modifica o resultado inicial da priorização, apenas após uma variação maior que 20%. Para o critério C<sub>1</sub> uma variação de 20% não apresenta variação na posição das alternativas priorizadas.

#### 4.12. Análise de resultados e implementação

A análise multicritério permite que se avalie qual a melhor escolha das alternativas a serem trabalhadas, pois ao contrário da decisão simples que analisa somente um critério para a classificação das alternativas, a análise multicritério apresenta uma classificação das alternativas que são melhores de uma forma global.

Para um decisor avaliando o critério C<sub>3</sub>, a primeira alternativa escolhida seria a alternativa A<sub>144</sub>, que apresenta o maior tempo de pane, e conseqüentemente o maior impacto à produção. Entretanto se o decisor estivesse analisando as alternativas somente através do critério C<sub>4</sub> teria duas alternativas como primeira escolha, as alternativas A<sub>1</sub> e A<sub>139</sub>, sendo a escolha entre as duas alternativas é feita através da preferência direta do decisor. Da mesma forma a decisão para os demais critérios, se avaliados individualmente, pode gerar uma decisão que não atenda de uma forma global a todas as necessidades do decisor.

A alternativa A<sub>88</sub> é um exemplo de como a decisão multicritério fornece o equilíbrio para a escolha das alternativas, analisando-se somente o critério C<sub>2</sub> esta alternativa estaria empatada em primeiro lugar com a alternativa A<sub>67</sub>, porém analisada de forma global com todos os critérios e comparada com todas as alternativas, a alternativa A<sub>88</sub> está localizada como nono lugar na classificação. Para a implementação da decisão na indústria estudada foi criada uma interface no *software* Microsoft Office Excel, onde os dados são analisados e armazenados.

A aplicação do método deve ser feita em todos os turnos de trabalho, devido ao fato das equipes de manutenção ter por rotina, no início do horário de trabalho, se organizarem para atender todas as demandas de forma mais eficiente. Pode-se também implementar o modelo matemático sempre que houver necessidade de reavaliação das prioridades dos equipamentos em falha ou em função de nova programação da produção a ser feita, para definir a nova lista de prioridade.

## 5. Conclusão

No ambiente industrial existe uma grande pluralidade de equipamentos fazendo-se necessário uma priorização de como esses equipamentos serão tratados. O Apoio à Decisão Multicritério é amplamente utilizado em diversos processos produtivos. A partir do levantamento bibliográfico foi possível elaborar um modelo para apoiar a tomada de decisão na manutenção industrial, objetivando a melhor organização na correção das falhas dos equipamentos, focando nas características que são impactantes ao processo produtivo fornecendo meios de alavancar a produção e reduzir custos.

O modelo matemático proposto, baseado em critérios técnicos e característicos do setor prensa de pneus, apesar de carregar subjetividade em sua proposição devido às avaliações emitidas por especialistas, inerentes dos métodos e apoio multicritério à decisão, fornece uma ordenação para a equipe de manutenção atuar corretivamente de forma sistemática. O modelo e o programa de priorização foram validados com os especialistas do processo produtivo antes de sua implementação ser realizada, uma vez que o processo é dinâmico.

Este estudo fornece base para a indústria de um modo geral, adaptar seu método de trabalho, para garantir a produção esperada pelos clientes e a produtividade esperada. Apesar de o estudo ter sido aplicado em um setor de manutenção, o mesmo pode ser facilmente difundido em caso de necessidade. As sugestões de trabalhos futuros têm por objetivo apoiar a melhoria dos processos produtivos e fornecer a mesma metodologia de tomada de decisão para os demais setores da mesma indústria.

## Referências

- ALCAN, P., BALIN, A., BASLIGIL, H. Fuzzy multicriteria selection among cogeneration systems: A real case application. *Revista Energy and Buildings*, 2013.
- ALMEIDA, A.T. Processo de Decisão nas organizações: construindo modelos de decisão multicritério. Atlas, São Paulo, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Confiabilidade e Mantabilidade – Terminologia, NBR 5462. Rio de Janeiro, 1994.
- BRANS, J. P.; MARESCHAL, B.; VINCKE, P. Promethee: A New Family Of Outranking Methods In Multicriteria Analysis. In: *International Conference Of Operational Research*, 10., 1984, Washington. *Proceedings...* Washington: North-Holland, 1984.
- BRISTOT, V.M. Estudo para implementação do sistema de gestão de manutenção em indústria de conformação de revestimentos cerâmicos. (Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul), 2012.
- CAMPOS, V.R. Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento (Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo), 2011.
- CLEMENTE, T.R.N. Estudo dos pesos substitutos para o método PROMETHÉE II e aplicação em modelo para avaliação das tecnologias críticas, 2011.
- CNI. Custo do trabalho e produtividade: comparações internacionais e recomendações. – Brasília: Confederação Nacional da Indústria, 2014.
- GOMES, L.F.A.M., ARAYA, M.C.G., CARIGNANO, C. Tomada de decisão em cenários complexos: introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão. Cengage Learning, São Paulo, 2011.
- GOMES, L.F.A.M., GOMES, C.F.S. Tomada de decisão gerencial: Enfoque multicritério. Atlas, São Paulo, 2014.
- GUPTA, R., SACHDEVA A., BHARDWAJ A. Selection of logistic service provider using fuzzy PROMETHEE for a cement industry, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 2012.

- KARDEC, A.; NASCIF, J.A. *Manutenção – Função Estratégica*. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda, 2013.
- LIMA JUNIOR, F.R. *Comparação entre os métodos Fuzzy TOPSIS e Fuzzy AHP no apoio à tomada de decisão para a seleção de fornecedores*. (Dissertação de Mestrado - Universidade de São Paulo) 2013.
- LINS, F.E. *Modelo multicritério para a priorização de equipamentos hospitalares para manutenção programada* (Dissertação de Mestrado – UFPE), 2009.
- LOPES, R.S. *Modelo de apoio à decisão para manutenção oportuna*. (Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Pernambuco), 2011.
- LUCATELLI, M.V. *Proposta de aplicação da manutenção centrada em confiabilidade em equipamentos médico-hospitalares*. (Tese de Doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina), 2002.
- MOUBRAY, J. *Manutenção Centrada em Confiabilidade*. Trad. Kleber Siqueira. São Paulo: Aladon, 2000.
- NUNES, M.A.M. *Aplicação dos Princípios da Manutenção Lean na Indústria Farmacêutica*. (Dissertação de Mestrado – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa), 2013.
- RANGEL, L.A.D. *Determinação de Funções de Utilidade através das Preferências dos Decisores sobre o Conjunto de Critérios empregando o Método UTA*, (Tese de Doutorado em Engenharia de Produção da UFRJ, Brasil), 2002.
- ROSSONI, C.F. *Decisão Multicritério, uma pesquisa experimental para avaliação da percepção dos gestores de MPE acerca de um modelo de tomada de decisão T-ODA quanto à sua aplicabilidade*. (Dissertação de Mestrado - Faculdade Campo Limpo Paulista), 2011.
- SANTOS, A.C.Q. *Abordagem multicritério para classificação de equipamentos críticos e determinação de tempos de inspeções para a manutenção*. (Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco), 2015.
- SENVAR, O., TUZKAYA, G., KAHRAMAN C., *Multi Criteria Supplier Selection Using Fuzzy PROMETHEE Method*. Supply Chain Management Under Fuzziness, 2014.
- SOUZA, T.T.M., KROHLING, R.A. *Fuzzy TODIM for group decision making*. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2012.
- TAVARES, L. A. *Administração Moderna da Manutenção*. Novo Pólo Publicações, Rio de Janeiro, 1999. Disponível em <http://www.mantenimientomundial.com/sites/Libro/>. Acessado em, 17/06/2016.
- TORRES, L.D. *Mantenimiento - Su Implementación y Gestión*. Universitas, Argentina 2005. Disponível em <http://www.mantenimientomundial.com/sites/Libro/>. Acessado em, 17/06/2016.