ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA PRIORIZAÇÃO DE MÁQUINAS EM MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Flávia Fernandes Trevizan
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Av. Eng° Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, Vargem Limpa, CEP 17033-360, Bauru/SP
f.trerizan@unesp.br

Regiane Maximo de Souza
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Av. Eng° Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01, Vargem Limpa, CEP 17033-360, Bauru/SP
regiane.maximo@unesp.br

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo elaborar um modelo para auxiliar o processo de decisão dentro do departamento de manutenção em uma indústria de bebidas. O processo que será modelado é a priorização de manutenção preventiva de uma linha de envase de alta velocidade. Utilizou-se para isso o auxílio do método MACBETH de apoio à tomada de decisão, que tem a característica de realizar julgamentos de diferenças de atratividade par a par. Para o desenvolvimento desse estudo foi considerado quatro critérios de desempenho (tempo médio de reparo, tempo médio entre falhas, custo de manutenção preventiva e rendimento próprio do equipamento) para decidir a melhor alocação de recursos em manutenção. A partir dos procedimentos de pesquisa, os resultados revelaram que os três primeiros equipamentos que devem ser priorizados são: Empacotadora, Paletizadora e Transporte.

PALAVRAS CHAVE. **Tomada de decisão Multicritério; MACBETH; Manutenção.**

ABSTRACT

This work aims to elaborate a model to assist the decision process within the maintenance department in a beverage industry. The process that will be modeled is the prioritization of preventive maintenance of a high speed container line. We used the MACBETH method to support decision making, which has the characteristic of making judgments of differences in attractiveness. For the development of this study, four criteria were used (mean time to repair, mean time between failures, preventive maintenance cost and reliability) to decide the best allocation of maintenance resources. From the research procedures, the results revealed that the first three equipment that should be prioritized are: Packing machine, Palletizer and Transport.

KEYWORDS. Multicriteria Decision. MACBETH. Maintenance.

1. Introdução

Segundo Slack et. Al. (2009), a manutenção é como as organizações tentam evitar falhas cuidando das suas instalações físicas. Os benefícios de execução de uma boa manutenção são inúmeros dentre eles temos melhorias na segurança, confiabilidade, qualidade, custos de operação mais baixos, tempo de vida mais longo para o processo de tecnologia, entre outros. O conceito de mantenabilidade passou a ser tratado no início da revolução industrial, quando o objetivo era manter os equipamentos funcionando a qualquer custo. Após o fim da Segunda Guerra Mundial o conceito de manutenção passou a ser tratado de maneira mais estruturada, considerando a possibilidade de fazer manutenção preventiva.

Devido ao alto nível de competitividade no mercado a manutenção de equipamentos passou a ser uma área estratégica nas organizações uma vez que possui relação direta com disponibilidade de ativos, nível de produção e resultados globais. A função manutenção agrega valor à organização, quando realizada de forma adequada e em concordância com os objetivos do negócio. Quando bem administrada a manutenção preventiva maximiza a disponibilidade dos equipamentos, a confiabilidade e a segurança.

Com o crescimento do número e complexidade dos equipamentos nas organizações, o custo de execução de manutenção também está aumentando. Em dados publicados pela Associação Brasileira de Manutenção (ABRAMAN), em estudo bienal de 2017, 4% do faturamento total de empresas brasileiras foram aplicadas em manutenção. Logo, torna-se relevante dispor de uma metodologia apropriada para gerenciar adequadamente os recursos disponíveis e transformar tal investimento em competitividade.

Nesse contexto, a proposta desse trabalho é elaborar um modelo para auxiliar o processo de decisão na priorização da manutenção preventiva em uma linha de envase de bebidas. Nesse processo de análise, realizou-se um estudo de caso com apoio de um método de decisão multicritério, o MACBETH. O artigo está estruturado em seis seções, a primeira seção referente à introdução do que será abordado durante o trabalho e objetivos. A segunda apresenta referencial teórico utilizada para elaboração da pesquisa. A terceira seção traz a modelagem proposta. Na quarta seção temos os principais dados do estudo de caso. Na quinta seção temos a análise de resultados com gráficos de sensibilidade e robustez. E por fim temos as conclusões do trabalho.

2. Referencial teórico

2.1. Manutenção

A manutenção envolve atividades ligadas à correção, prevenção ou predição de falhas. Segundo Cordeiro e Assumpção (2016), a manutenção é responsável por manter máquinas, instalações e equipamentos em condições adequadas de funcionamento. Esta atividade, tradicionalmente, estava orientada a minimização de custos, porém mudanças com relação à determinação de nível de serviço e competitividade entre empresas mudaram esse panorama. Neste novo cenário a manutenção é vista como recurso estratégico, cujo foco é maximizar a disponibilidade.

Já a definição de manutenção pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) na NBR 5462/94 pode ser entendida como a combinação de todas as atividades destinadas a manter ou recolocar um item em estado de completa funcionalidade. Dentro desse conceito existem os tipos de manutenção, que se distinguem quanto a métodos, instrumentos e periodicidade.

Segundo Santos et. Al.(2007), manutenção corretiva é a realização de atividades não-planejadas para restaurar a capacidade do equipamento. Esse tipo de manutenção é a mais primaria e a mais cara. O trabalho de manutenção é realizado somente após a falha ter ocorrido. Segundo esse mesmo autor, a manutenção preventiva consiste na execução de atividades planejadas. É realizada com o intuito de manter um item em condições de funcionamento através de prevenção de falhas. O objetivo desse tipo de manutenção é eliminar ou reduzir as probabilidades de paradas, o que inclui a execução de limpeza, lubrificação, substituição e verificação nos equipamentos.

2.2. Método MACBETH

A literatura apresenta diversos modelos de abordagem multicritério. Esses métodos têm em comum a percepção do mundo real como problemas de decisão complexos que requerem o balanceamento de múltiplos fatores. Dentre os métodos existentes referencia-se o método MACBETH *(Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique)*. Esse método destaca-se por ser uma abordagem que requer julgamentos qualitativos sobre as diferenças de atratividade de alternativas par a par (Bana e Costa et. al, 2012). Esses julgamentos expressos pelo decisor são inseridos no sistema de apoio a decisão M-MACBETH.

O método MACBETH é uma abordagem concebida para construir um modelo de valores quantitativos a partir de juízos de valor, fundamentado no objetivo de transformar escalas ordinais em escalas cardinais a partir da diferença de atratividade entre duas alternativas. Com isso proporciona ao decisor, ou à um grupo de decisores, a quantificação da atratividade relativa das opções. O processo de questionamento interativo não-numérico, emprega sete categorias semânticas: nula, muito fraca, fraca, moderada, forte, muito forte e extrema.

Tal método de tomada de decisão multicritério é fundamentado em julgamentos qualitativos sobre diferenças de atratividade e origina pontuações numéricas de tais julgamentos, o que permite a criação de escalas de valores e pesos. A partir da definição de critérios de avalição A_j, j= 1, ..., n e seus descritores X_j, $j = 1, \dots, n$, o perfil de desempenho das alternativas é medido por modelo de valor aditivo. A pontuação geral $v(x)$ de uma opção é obtida pela agregação de valores parciais $v_j(x)$ nos critérios j ($j = 1, \dots, n$) e sendo k_j o peso atribuído ao critério j ($j = 1, \dots, n$), como segue (Bana e Costa et. Al. 2012):

$$v(x_1, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^{n} k_j \; v_j(x_j) \tag{1}$$

Com,

$$\sum_{j=1}^{n} K_j = 1, k_j > 0 \; e \; \begin{cases} v_j\left(x_j^+\right) = 100 \\ v_j\left(x_j^0\right) = 0 \end{cases} \; para \; j = 1, \dots, n \tag{2}$$

Em revisão bibliográfica, Ferreira e Santos (2018), mostra que a ferramenta tem evoluído através do curso da pesquisa teórica e também pelas inúmeras aplicações, resultando em 192 artigos científicos com datas de publicação entre 1994-2016. Porém, as características essências do método se mantiveram, como sendo uma abordagem humanista, interativa e construtiva para a tomada de decisão. Humanista no sentido de ajudar o tomador de decisão à refletir seu sistema de valores e preferencias; Interativo porque a ferramenta foi desenvolvida sustentada na ideia questionamentos simples sobre diferenças de atratividade; Construtivo porque parte da convicção que a decisão não (pré-)existe , mas que a ferramenta dá o suporte para construir preferências robustas sobre as opções possíveis.

Fundamentado por essas diretrizes, à atividade de apoio a tomada de decisão pelo MACBETH, inicia com a fase de estruturação. É a etapa de entendimento do problema, visa a construção de uma estrutura partilhada entre os integrantes do processo decisório. Onde são analisados o ambiente, contexto e possíveis situações de decisão. Após esse procedimento, inicia-se a fase de avaliação, seguindo uma abordagem interativa e sem assumir posicionamentos, onde são realizados os questionamentos de diferenças de atratividade. Por fim, o modelo apresenta a fase de recomendações com a análise de sensibilidade e robustez dos resultados.

As etapas do processo de apoio à tomada de decisão estão estruturadas conforme mostrado na Figura 1.

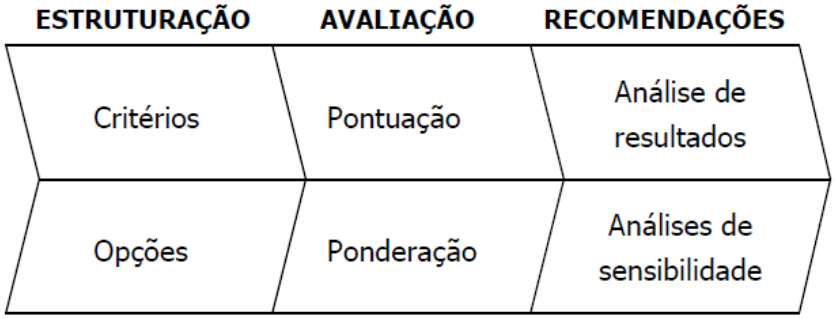


Figura 1: Etapas do processo MACBETH, Bana e Costa (2017).

Com o apoio do software M-MACBETH temos a operacionalização da metodologia. Na fase de estruturação existe a definição de critérios e das opções que serão avaliadas. Na etapa de avaliação a atratividade de cada critério e ponderação dos mesmos são modeladas. Por fim temos a etapa de recomendações, em que temos a análise dos resultados com a atratividade global de cada opção e análise de sensibilidade e robustez.

Com todo o processo estruturado o M-MACBETH permite: A modelagem da árvore de valor, que permite visualizar de forma organizada a totalidade dos aspectos importantes para o problema; A construção de descritores, que indica o nível de impacto das ações possíveis dentro de um critério; O desenvolvimento de funções de valor com base nos julgamentos. Além de extensas análises de sensibilidade e robustez que permitirá a validação dos resultados.

3. Modelagem Proposta

3.1. Local de Estudo

Esse tipo de indústria é intensivo em capital, logo, menos expressiva no fator trabalho. Outro ponto importante de análise, é que a unidade de fabricação onde o estudo foi aplicado tem como característica principal o fato de que os maquinários utilizados são de fornecedores estrangeiros, logo, a reposição de peças é onerosa e demorada, assim como a vinda de técnicos. Por isso a priorização de manutenção se mostra como fator crítico de produtividade.

Tal característica é firmada por entidades do setor financeiro. Em relatório do BNDES (2017), Panoramas Setoriais 2030, o banco ressalta que as fábricas que operam linhas de alta velocidade, não dispõem de muitas opções de fornecedores para equipamentos de envase. O mercado é dominado por poucos *players* de atuação mundial. Além de capacidade produtiva, o setor deve investir em ganhos de produtividade.

O sistema de gestão de manutenção atualmente é realizado por planilhas onde existem os dados de performance e falhas dos equipamentos. A aplicação do método MACBETH apresentasse como alternativa de agregar robustez à tomada de decisão.

3.2. Definição dos objetivos e envolvidos no processo de decisão

Nesse estudo de caso foi envolvido no processo de decisão um especialista de campo, com experiência de sete anos na indústria de bebidas. Sua contribuição foi definida por sua atuação prática no processo de gestão de manutenção da unidade fabril em estudo, sendo a pessoa que concentra a decisão final. Além disso, do facilitador que possui importante papel dentro da metodologia MACBETH. A sua principal função foi de apoiar o decisor em todo o processo, através de um trabalho interativo. Por ser uma metodologia de via construtiva de apoio à decisão, o mesmo não atuou propondo modificações de forma normativa, mas sugerindo reflexões.

Com o painel de especialista definido, o modelo a ser desenhado tem como objetivo principal a priorização de manutenção preventiva de equipamentos de uma linha de envase de alta velocidade, utilizando para isso ferramenta de análise de decisão multicritério. Serão consideradas na avaliação diversos critérios inerentes ao processo produtivo.

O método MACBETH foi escolhido por ter como característica a realização de comparações par a par das alternativas avaliadas sem exigir do decisor comparações numéricas. Sendo uma abordagem diferente do modelo empregado atualmente pela unidade fabril, onde apenas planilhas com valores de performance são utilizados.

3.3. Definição dos critérios e descritores

A definição de critérios faz parte da fase de estruturação e entendimento do problema. Tal aspecto representa um ponto de vista elementar que os atores entendem como importante para construção do modelo de avaliação. Os critérios utilizados nessa pesquisa foram definidos pelo especialista com base nos indicadores e rotinas de manutenção. A eles verificou-se a existência das seguintes propriedades definidas por Bana e Costa et. al. (1994): Relevância para os objetivos de decisão; Entendimento comum sobre o seu significado; As opções podem ser medidas de acordo com cada critério; Não redundância e independência entre critérios; Exaustividade e concisão, ou seja, todos os aspectos devem ser considerados, mas o modelo deve ser simples.

A cada elemento definido está associado descritores que são conjuntos ordenados de níveis de impacto (Bana e Costa et. al., 1994). Dentro deles são definidos dois níveis de referência: Bom e neutro. Tal explicitação busca a realização de avaliações comparativas, sendo possível a ordenação de atratividades relativas. Com base nos princípios da metodologia, e com os níveis bom e neutro definidos foram realizadas perguntas ao decisor do tipo: " Você pode conceber um impacto muito atrativo que seja melhor do que bom"? "Quais poderiam ser impactos piores do que bom? ". Com o objetivo de obter cinco níveis de descritores.

A obtenção de critérios e a construção de seus descritores fazem parte da fase de estruturação do processo decisório. Nesse estudo de caso, foram identificados quatro critérios quantitativos com cinco níveis de descritores. As tabelas referentes a cada critério contêm uma breve explicação a respeito de cada nível de impacto.

3.3.1. Critério 1

O indicador MTTR (*mean time to repair* ou tempo médio para reparo), refere-se ao prazo médio que leva para realizar a correção da falha depois que o problema aconteceu. O indicador global do equipamento é calculado pela divisão do tempo total de reparos sobre a quantidade de falhas. Trata-se de um critério quantitativo e medido em intervalo de minutos. O nível 1 (marcado em verde) e 3 (marcado em azul) representam, respectivamente, aos descritores de impacto bom e neutro.

Tabela 1 – Descrição critério 1

Nível	Critério 1	Tempo médio para reparo
1	Nível muito baixo de tempo empregado em reparo	5 min
2	Nível baixo de tempo empregado em reparo	10 min
3	Nível médio de tempo empregado em reparo	20 min
4	Nível alto de tempo empregado em reparo	30 min
5	Nível alto de tempo empregado em reparo	40 min

Fonte: o autor

3.3.2. Critério 2

O indicador MTBF (*mean time between failures* ou tempo médio entre falhas), está associado à média de tempo transcorrido entre irregularidades. O valor para o equipamento pode ser calculado pela diferença do tempo total disponível menos o tempo perdido, sobre o número de paradas. Tal medida está associada à confiabilidade do equipamento. O descritor de nível 1, com maior tempo entre interrupções, indica um equipamento que está operando com maior produtividade.

Tabela 2 – Descrição critério 2

Nível	Critério 2	Tempo médio entre falhas
1	Nível muito baixo de interrupções devido falhas	600 min
2	Nível baixo de interrupções devido falhas	500 min
3	Nível médio de interrupções devido falhas	400 min
4	Nível alto de interrupções devido falhas	300 min
5	Nível muito alto de interrupções devido falhas	200 min

Fonte: o autor

3.3.3. Critério 3

O custo de manutenção preventiva está relacionado com o custo financeiro relacionado com as atividades no equipamento. O equilíbrio entre manutenção preventiva e corretiva é estabelecido para minimizar o custo total das paradas. Um baixo nível de manutenção preventiva terá um custo menor momentaneamente, porém, resultará em alta probabilidade de falha. De forma inversa, o excesso de manutenção preventiva terá um alto custo. O objetivo é que seja possível chegar a um equilíbrio.

Em uma fábrica ou instalação industrial setores trabalham em conjunto para manter e elevar níveis de produção, de forma a garantir rentabilidade do negócio. Com relação a manutenção desejasse que a máquinas e equipamentos sejam conservadas nas mesmas condições de dispositivos novos. Embora isso seja possível existem custos associados. O objetivo é chegar a um patamar em que o custo total seja minimizado, logo, que o somatório do custo de manutenção preventiva e o custo de paradas seja o menor possível.

Para a indústria em questão o decisor estabeleceu níveis de manutenção preventiva associados ao cumprimento planos definidos pelos fabricantes. O decisor considera como um nível bom a proporção de 80% do recurso disponível empregado em manutenção preventiva. Os valores dos descritores estão em % do orçamento anual do equipamento.

Tabela 3 – Descrição critério 3

Nível	Critério 3	Custo
1	Nível muito alto de recursos aplicados	100%
2	Nível alto de recursos aplicados	90%
3	Nível médio de recursos aplicados	80%
4	Nível baixo de recursos aplicados	70%
5	Nível muito baixo de recursos aplicados	60%

Fonte: o autor

3.3.4. Critério 4

O rendimento próprio do equipamento mede a eficiência do equipamento, com dedução de pequenas interrupções, redução de ritmo e problemas de qualidade. Tem por objetivo medir a capacidade total de produção do equipamento. Um dos principais motivos do equipamento está em velocidade reduzida é devido a falhas que não foram sanadas. Através dele é possível obter a diferença entre a eficiência real e planejada.

Tabela 4 – Descrição critério 4

Nível	Critério 4	Rendimento
1	Nível muito baixo de perda de eficiência	99%
2	Nível baixo de perda de eficiência	90%
3	Nível médio de perda de eficiência	85%
4	Nível alto de perda de eficiência	80%
5	Nível muito alto de perda de eficiência	70%

Fonte: o autor

A partir da definição de tais critérios foi possível a construção de uma árvore de pontos de vista, o que permite uma melhor compreensão dos elementos da situação problema em questão. Segundo Mirshawka e Olmedo (1993), um dos grandes objetivos da manutenção é garantir a máxima produção. Por isso, performance foi incluído na estrutura do modelo, uma vez que os critérios utilizados buscam garantir melhores níveis de produção. A organização por custo também foi inserida, devido à importância para o resultado financeiro. Essas linhas não são critérios do modelo, mas o torna compreensível e didático. A Figura 2 mostra a árvore MACBETH construída para o estudo de caso.

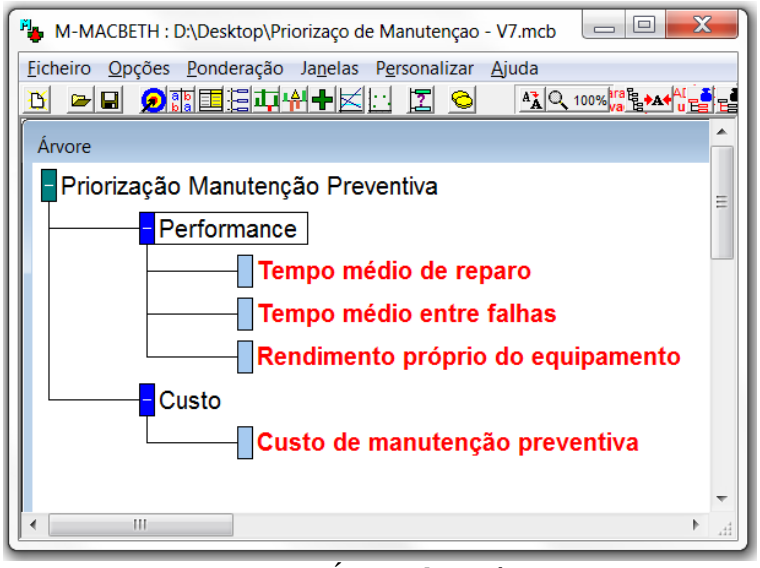


Figura 2: Árvore de critérios

4. Estudo de Caso

Após a construção dos descritores, definidos anteriormente, inicia-se a identificação de escalas de valor cardinal, essa etapa já faz parte da fase de avaliação (Bana e Costa et. al., 1994). Para tal existe um caminho entre a informação ordinal para cardinal. Primeiramente, a informação ordinal é obtida através da classificação dos elementos dos descritores por ordem decrescente. De posse das informações ordinais, são realizados os questionamentos par a par das diferenças de atratividade. Para cada resposta o software M-MACBETH testa a compatibilidade das informações. Caso uma incompatibilidade seja detectada o sistema dispara uma mensagem de aviso com a fonte do problema e sugestão de modificação.

No estudo de caso, para cada um dos critérios, a informação ordinal foi construída com o limite de referência superior e inferior associados, respectivamente, ao melhor e pior desempenho das alternativas, para cada critério. O protocolo de perguntas utilizadas foi estruturado de forma que o decisor comparasse dois elementos da seguinte forma: “Um dos elementos é mais atrativo, se sim, qual? Obtida a informação ordinal, passamos para a segunda fase de questionamentos

realizada da seguinte forma, “Quando X é mais atrativo que Y que diferença de atratividade é percebida: muito fraca, fraca, moderada, forte, muito forte ou extrema”

A primeira análise realizada foi com relação ao tempo médio de reparo, que avalia o tempo de conserto do equipamento quando a falha acontece. Para realização dessa avaliação, utilizou-se cinco parâmetros de valores de MTTR, os dados estão em escala de minuto. Na primeira fase de questionamentos, o decisor prestou informações ordinais organizadas em ordem decrescente de atratividade entre 5 min à 40 min, associadas ao melhor e pior desempenho, respectivamente. Na segunda fase (obtenção de informação cardinal) foi pedido ao decisor que comparasse o MTTR mais atrativo com o menos atrativo (5 min e 40 min) utilizando os seis níveis de diferença de atratividade, seguido pelo segundo nível mais atrativo com o menos atrativo (10 min e 40 min), e assim por diante. Até que fosse possível completar toda a matriz. A Figura 3 descreve o julgamento dois a dois realizado pelo decisor.

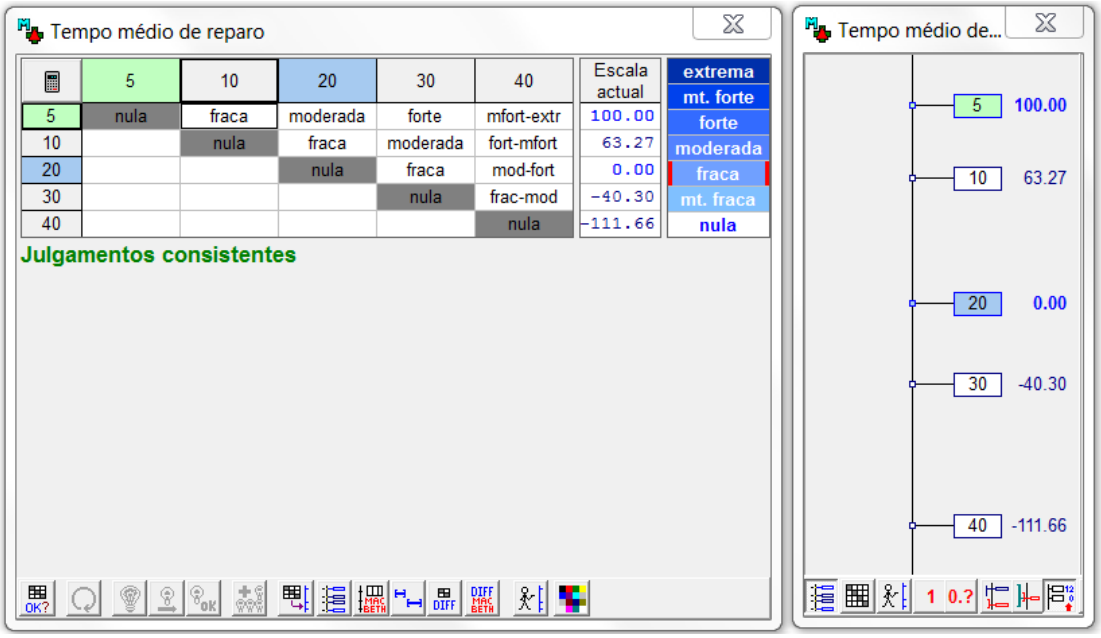


Figura 3: Matriz de julgamentos do critério tempo médio de reparo e escala de valor

A partir da matriz de julgamentos consistentes, realizadas pelo decisor o tempo médio de reparo entre 5 min à 40 min foi estendido pelo *software* para uma gama completa de descritores contínuo, dando origem a uma função de valor linear, cujo o gráfico está representado na Figura 3, à esquerda da matriz de julgamentos.

É possível observar que a função de valor está ancorada nas posições definidas como boa e neutra, e recebem as pontuações 100 e 0, respectivamente. Qualquer outra posição recebe um valor numérico de atratividade relativa a esses dois pontos. A razão por fixar as pontuações dessa forma indica que uma posição negativa se refere a um tempo médio de reparo pouco atrativo, do mesmo modo, pontuações maiores que 100 indicam valores muito atrativos. Vale destacar, que para cada elemento do gráfico existe um intervalo dentro do qual a posição do elemento pode ser modificada. Obtendo assim um novo posicionamento compatível com os julgamentos verbais do decisor. Tal função é interessante para ajustar representação de magnitude relativa aos julgamentos verbais. Após discussão com o decisor e realizados esses ajustes, obtemos a construção da escala cardinal.

Na próxima análise, o tempo médio entre falhas visa mensurar o tempo que um equipamento permanece sem apresentar problemas. A Figura 4 ilustra os diferentes níveis de performance e os julgamentos realizados. A partir desses resultados, o tempo menores que 200 horas se apresentou como o melhor perfil de priorização para manutenção de equipamento, com base nas escalas definidas pela função de valor.

No critério de custo de manutenção preventiva avalia-se a proporção do montante gasto nesse tipo de manutenção. Os valores são referentes ao orçamento anual total para cada equipamento. A Figura 4 também representa a avaliação do decisor com relação a esse critério. Para o tipo de indústria avaliada o decisor trabalha com a melhor proporção de 80% (manutenção preventiva) e 20% (manutenção corretiva). O último critério a ser avaliado, rendimento próprio do equipamento, mede o quanto o equipamento está dentro da sua capacidade total de trabalho. O ideal é que o mesmo se encontre em 100% de sua eficiência de produção, que configura a sua capacidade total.

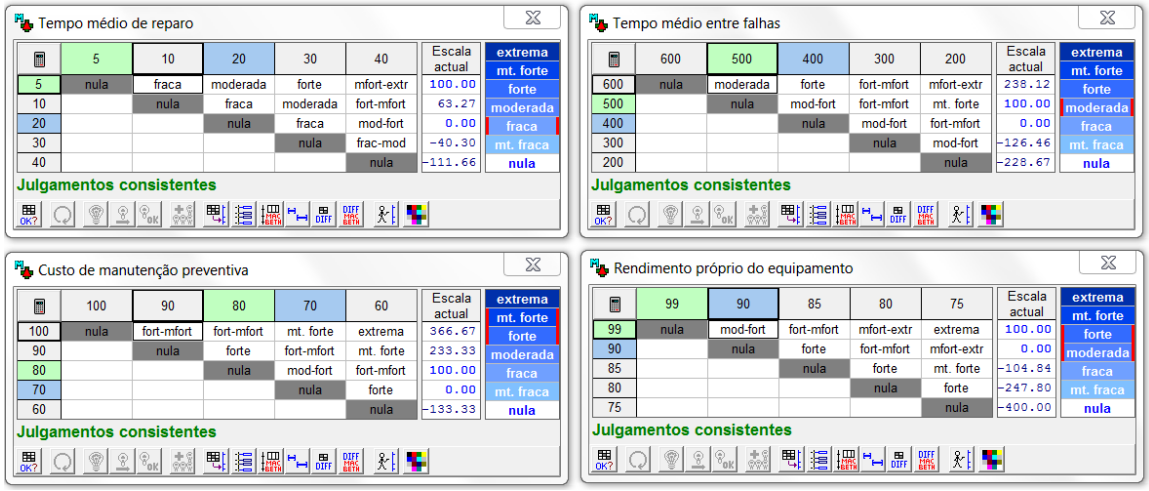


Figura 4: Matriz de julgamentos

Após realizados todos os julgamentos, seguimos para o passo de obtenção de informação de preferência inter-critério para que seja possível a obtenção de uma avaliação global. Os julgamentos são realizados com base na importância relativa e gera dado necessário para que seja possível a construção de uma regra de agregação. Com essa análise é obtido um ranking de prioridades, conforme Figura 5. Onde temos os critérios Rendimento, MTBF, MTTR e Custo, respectivamente, com 38.47, 33.33, 23.08 e 5.12 pontos. Os questionamentos realizados foram do tipo: “ O quanto mais atrativo é passar de neutro para bom no critério “Custo” ao invés de passar de neutro para bom no critério “MTBF”? Nesses julgamentos controles de consistência foram automaticamente empregados.

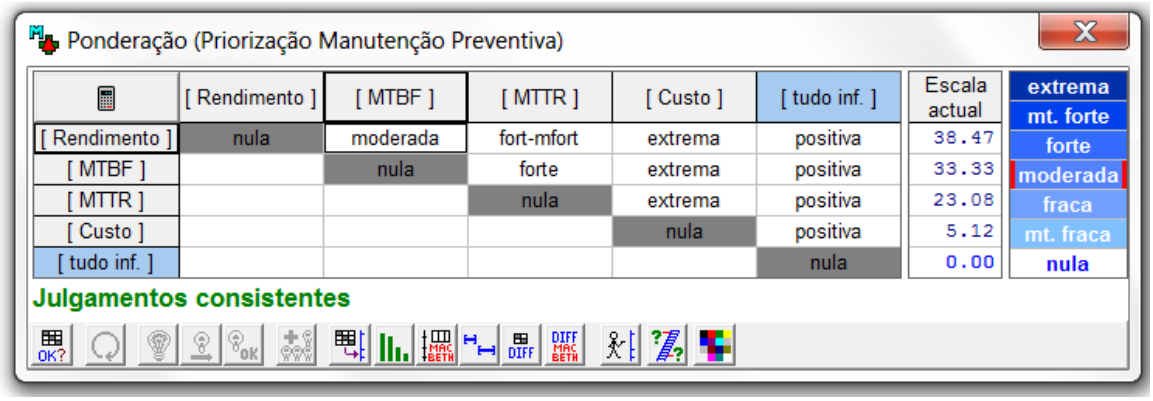


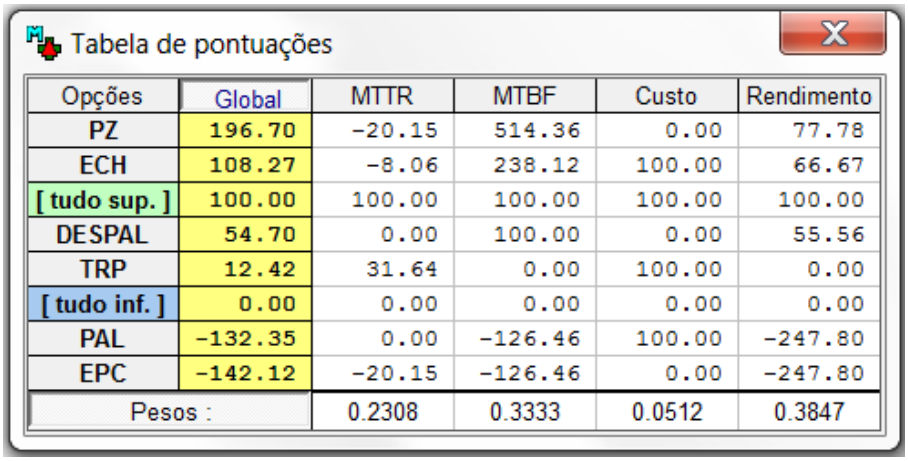
Figura 5: Matriz de julgamentos referente à atratividade global dos critérios

5. Análise de Resultados

O decisor incluiu na análise os seis equipamentos que fazem parte da linha de produção, que serão as opções do modelo: Paletizadora (Pal), Empacotadora (EPC), Enchedora (ECH), Transporte (TRP), Despaletizadora (DESPAL) e Pasteurizador (PZ). Deles foram definidos os perfis de impacto, constituindo as performances das opções com relação à cada critério. Após o processo de tomada de decisão evolui para a avaliação global das alternativas.

Na Figura 8 existe a compilação de todos os dados para a definição da priorização da manutenção dos equipamentos. A coluna "Global" mostra a atratividade de cada equipamento em ordem decrescente. Com base nos resultados, a empacotadora é o equipamento mais crítico, pois possui a pior pontuação com relação aos critérios que medem performance, logo deve ser o primeiro na priorização, seguida por paletizadora e transporte.

A definição dos critérios foi pensada com relação à contribuição de cada equipamento para o resultado da linha, nos julgamentos realizados a empacotadora é o equipamento que possui uma avaliação global com pior impacto e que logo deve ter priorização em manutenção para estabelecer níveis adequados de performance. Vale ressaltar, que a empacotadora obteve os piores índices de desempenho nos quatro critérios avaliados


Tabela de pontuações

Opções	Global	MTTR	MTBF	Custo	Rendimento
PZ	196.70	-20.15	514.36	0.00	77.78
ECH	108.27	-8.06	238.12	100.00	66.67
[tudo sup.]	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
DESPAL	54.70	0.00	100.00	0.00	55.56
TRP	12.42	31.64	0.00	100.00	0.00
[tudo inf.]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PAL	-132.35	0.00	-126.46	100.00	-247.80
EPC	-142.12	-20.15	-126.46	0.00	-247.80
Pesos :		0.2308	0.3333	0.0512	0.3847

Figura 6: Tabela de pontuações global

Após a obtenção do resultado global, para garantir a validade das recomendações feitas, foram apresentadas análises de robustez e sensibilidade geradas por meio do software M-MACBETH. Com essas analises é possível melhorar a confiabilidade dos resultados e compreender o problema em profundida. A análise de robustez obtida apresenta um ranking com a ordem de dominância. Após essa avaliação, a empacotadora possui uma posição de dominância frente as demais opções, tal dado é graficamente representado pelo símbolo de triângulo vermelho. Da interpretação dessa informação chegasse a conclusão que esse equipamento domina a outras opções sendo pelo menos tão atrativa quanto as outras em todos os critérios e sendo mais atrativa em pelo menos uma.

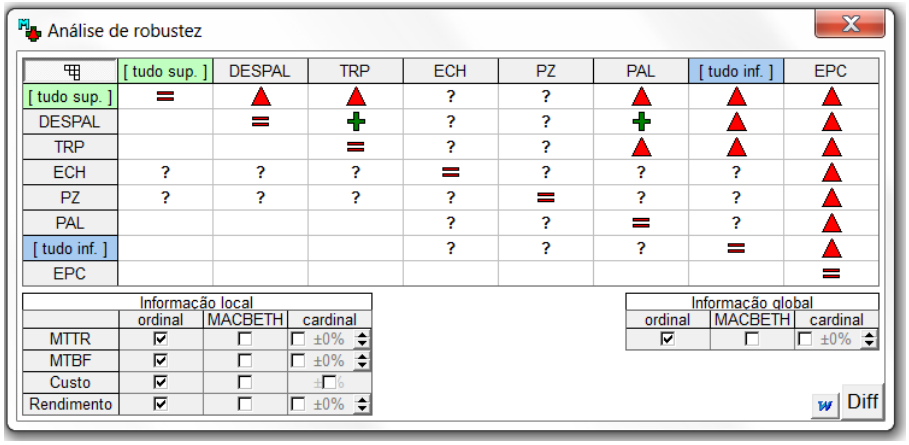


Figura 7: Análise de robustez

Por fim, a Figura 8 apresenta a análise de sensibilidade do critério tempo médio entre falhas. O gráfico mostra a pontuação global da opção correspondente ao peso do critério variando entre 0% à 100%. Tal analise permite dimensionar como mudanças de julgamentos afetaria os resultados globais do modelo. Para o estudo de caso, os gráficos dos quatro critérios não possuem pontos de intersecções de reta em que haja mudanças de resultado. Na Figura 8 observamos que independente da variação no peso não existe mudança na ordem de priorização entre os três equipamentos mais críticos.

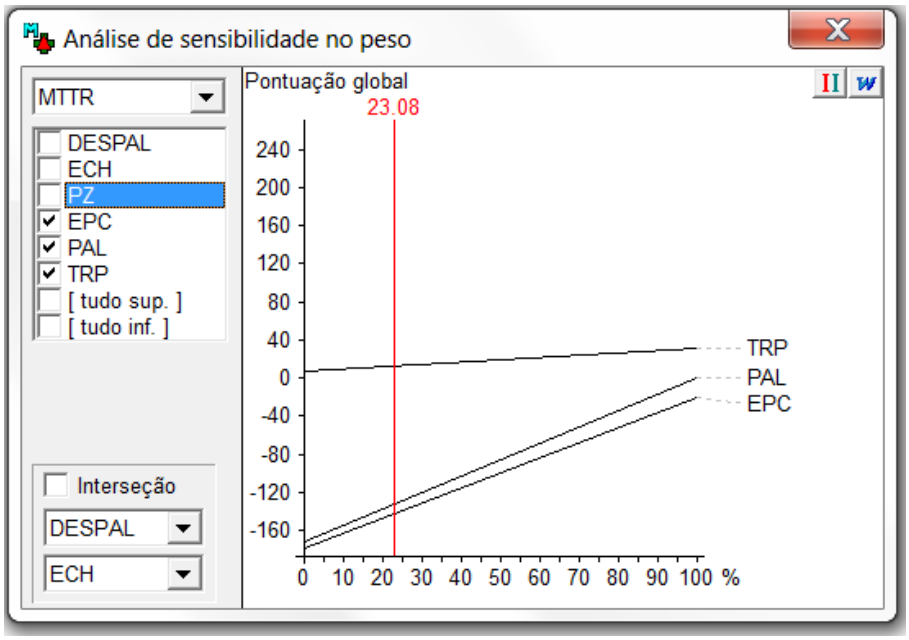


Figura 8: Análise de sensibilidade

6. Conclusão

A manutenção é uma área estratégica para as organizações, pois tem como foco a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, assim como, busca garantir a segurança e qualidade dos processos produtivos. A escassez de recursos exige a priorização de manutenção com base no maior impacto para o resultado final. A proposta desse trabalho foi realizar a priorização de manutenção preventiva em uma indústria de bebidas, utilizando a ferramenta MACBETH.

Os resultados revelaram, após a construção de critérios e avaliações, que o equipamento que primeiro deve ser priorizado é a empacotadora, pois obteve os piores índices nos quatro critérios avaliados e na ponderação global possui o menor resultado. Recomenda-se que o modelo seja atualizado regularmente nos períodos de alocação de recursos e planejamento financeiro, para que sejam revistos os dados de performance dos equipamentos e níveis de impacto dos descritores. Espera-se que com evolução em manutenção preventiva os resultados dos equipamentos melhorem e seja necessário rever tais dados do modelo.

Este estudo fornece base para a indústria de bebidas de um modo geral. Apesar de o modelo ter sido aplicado em uma linha de envase de alta velocidade, realizando adaptações pertinentes, pode ser estendido para outros setores. Uma vez que os critérios de manutenção se mantém. Sendo está a sugestão de trabalhos futuro, de forma a replicar a mesma metodologia de tomada de decisão para as demais áreas produtivas. Também se apresenta como necessidade de pesquisas futuras a comparação dessa estrtutura com outras ferramentas multicritério.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO (ABRAMAN). A situação da manutenção no Brasil. Curitiba, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Confialibilidade e Manteabilidade – Terminologia, NBR 5462. Rio de Janeiro, 1994.

BANA E COSTA, C. A, VANSNICK, J.C. MACBETH: An interactive path towards the construction of cardinal value functions. *International Transactions in Operational Research*, v.1, n.4, p. 489–500, 1994.

BANA E COSTA, C.A.; DE CORTE, J.M.; VANSNICK, J.C. MACBETH. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, v.11, n. 2, p. 359-387, 2012.

BANA E COSTA, C.A.; DE CORTE, J.M.; VANSNICK, J.C. MACBETH GUIA DO UTILIZADOR. 2017. Disponível em < http://m-macbeth.com/demo/>. Acesso em 03.07.2018.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). Panoramas Setorias 2030 Bebidas. 2017. Disponível em < web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/14256>. Acesso em 20.03.2019.

CORDEIRO, J.C.A., ASSUMPÇÃO, M.R.P. Indicadores para gestão na manutenção corretiva. *Exacta – EP*, v.14, n.2, p.173-182, 2016.

FERREIRA, F.A.F; SANTOS, S.P. Two decades on the MACBETH approach: a bibliometric Analysis. *Annals of Operations Research.* 2018.

MIRSHAWKA, V.; OLMEDO, N. L.; Manutenção – combate aos custos da não-eficácia - a vez do Brasil. São Paulo: Makron, MacGraw-Hill, 1993

SANTOS, W.B et. al. Tempo ótimo entre manutenções preventivas para sistemas sujeitos a mais de um tipo de evento aleatório. *Gestão e Produção*, v.14, n.1, p.193-202, 2007.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Administração da Produção. São Paulo: Editora Atlas, 2009.