

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE TECNOLOGIA EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL
CURSO SUPERIOR TECNOLOGIA EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

DIOGO RURIQUE NEIVETH OLISZESKI

**Aplicação de Métodos decisórios multicritérios COPRAS e
PROMETHEE para priorização de atividades preventivas e
preditivas em compressores industriais: Estudo de caso em uma
indústria de laticínios**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GUARAPUAVA

2020

DIOGO RURIQUE NEIVERTH OLISZESKI

**Aplicação de Métodos decisórios multicritérios COPRAS e
PROMETHEE para priorização de atividades preventivas e
preditivas em compressores industriais: Estudo de caso em uma
indústria de laticínios**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Manutenção Industrial, Coordenação do Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Luan Jose Franchini Ferreira

Co-orientadora Prof. Dra. Marjorie Maria Bellinello

GUARAPUAVA

2020



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Guarapuava
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Coordenação de TMI
Tecnologia em Manutenção Industrial



TERMO DE APROVAÇÃO

APLICAÇÃO DE MÉTODOS DECISÓRIOS MULTICRITÉRIOS COPRAS E PROMETHEE
PARA PRIORIZAÇÃO DE ATIVIDADES PREVENTIVAS E PREDITIVAS EM COMPRESSORES
INDUSTRIAIS: ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS POR:

DIOGO RURIQUE NEIVETH OLISZESKI

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 13 de abril de 2020 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Manutenção Industrial. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Msc. Luan José Franchini
Prof. Orientadora

Prof. Dr. Marcelo Rodrigues
Membro titular

Prof. Dr. Emerson Rigoni
Membro titular

Dr. Marcelo Rafael Cosetin

Coordenador do Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

RESUMO

OLISZESKI, Diogo Rurique Neiverth. Aplicação de Métodos Decisórios Multicritérios COPRAS e PROMETHEE para priorização de atividades preventivas e preditivas em compressores industriais: estudo de caso em uma indústria de laticínios. 100 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção de título de Tecnólogo em Manutenção Industrial - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2020.

A função manutenção possui um papel fundamental na gestão industrial, pois influencia diretamente nas finanças da empresa, tanto no lucro quanto nas despesas. Seja uma empresa de grande, médio ou pequeno porte, quando se trata de implantar manutenção preventiva e preditiva, inicialmente se pensa em despesas, porém este tipo de estratégia de manutenção visa a redução e/ou eliminação de falhas que interrompem o funcionamento ou reduzem o desempenho operacional dos ativos, contribuindo diretamente para a disponibilidade e confiabilidade do equipamento e consequente redução dos gastos. Os compressores de ar dentro de uma indústria alimentícia atuam como forma vital para o funcionamento dos ativos industriais, sendo necessária uma adequada política de manutenção para estes ativos, a qual garanta disponibilidade e confiabilidade operacional. Uma inadequada política de manutenção para compressores industriais, principalmente quando empregados na produção de alimentos, acarreta danos severos ao compressor e as linhas produtivas, afetando diretamente a qualidade do ar oferecido e a qualidade do produto final. Este trabalho visa a aplicação de dois métodos decisórios multicritérios (MCDM): Avaliação proporcional complexa (COPRAS), e Método de organização de classificação de preferência para avaliação de enriquecimento (PROMETHEE). Para priorizar atividades de manutenção preventiva e preditiva, promovendo uma adequada política de manutenção para compressores industriais de ar aplicados em processos de laticínios, visando obter garantia de confiabilidade e disponibilidade desses ativos com segurança pessoal dos funcionários e do meio ambiente.

Palavras-chave: COPRAS, PROMETHEE, Confiabilidade operacional, Política de Manutenção, Métodos Decisórios Multicritérios, Compressores Industriais.

ABSTRACT

OLISZESKI, Diogo Rurique Neiverth. Application of Multicriteria Decision Making Methods COPRAS and PROMETHEE for Prioritization of Preventive and Predictive Maintenance Activities of Industrial Compressors: Case Study in a Dairy Industry. 100 pages. Term Paper to obtain the Technologist in Industrial Maintenance Title - University Technological Federal of Paraná. Guarapuava, 2020.

The maintenance function plays a fundamental role in industrial management, as it directly affects the company's finances, both in profit and expenses. Be it a large company, medium or small, when it comes to preventive and predictive maintenance deployments, when it comes to expenses, but it is the type of visa maintenance strategy for reducing and / or changing failures that interrupts the operation or they use the operational performance of the assets, make a direct contribution to the availability and use of the equipment and consequently reduce costs. Air compressors within a food industry act as a vital way for the functioning of industrial assets, allowing an economic maintenance policy for these assets, with quality of availability and operational use. An inadequate maintenance policy for industrial compressors, especially when used in the production of food, severe damage to the compressor and production lines, directly affecting the quality of the product and the quality of the final product. This work aims at the application of two multicriteria decision-making methods (MCDM): complex proportional assessment (COPRAS) and preference classification organization method for enrichment assessment (PROMETHEE). For priority preventive and predictive maintenance activities, promoting an adequate maintenance policy for industrial air compressors and applying in dairy processes, aiming to guarantee the reliability and availability of these assets with the personal safety of employees and the environment.

Keywords: COPRAS, PROMETHEE, Operational reliability, Maintenance Policy, Multicriteria Decision Making Methods, Industrial Compressors.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Central de ar comprimido	24
Figura 2: Relação da Confiabilidade e Conceitos da Gestão Industrial	28
Figura 3: Curva da Banheira	30
Figura 4: Etapas para Decisão com aplicação de MCDM.....	32
Figura 5: Matriz de Decisão,	34
Figura 6: Matriz de Decisão Normalizada	35
Figura 7: Matriz de decisão.....	36
Figura 8: Matriz Normalizada.....	37
Figura 9: Tipos de compressores	41
Figura 10: Compressor dinâmico de hélices.....	41
Figura 11: Compressor alternativo de pistão	43
Figura 12: Compressor tipo palheta.....	45
Figura 13: Compressor parafuso	46
Figura 14: Compressor de lóbulos.....	47
Figura 15: Protocolo de Pesquisa.....	51
Figura 16 - Método do trabalho.....	59
Figura 17- Beneficiamento do leite	60
Figura 18 - Produção do queijo mussarela	62
Figura 19: Arvore Funcional compressor	66
Figura 20- Sistema compressor de ar.....	67
Figura 21: Compressor modelo 4015	68
Figura 22 - Tempo total de reparo x frequência.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quantidade dissipada de óleo por compressores novos	22
Tabela 2: Histórico de falhas	74
Tabela 3: Frequência de falhas por subsistema	75
Tabela 4: Matriz de decisão COPRAS.....	82
Tabela 5: Matriz de decisão PROMETHEE	86
Tabela 6: Ranking COPRAS (Análise de sensibilidade).....	92
Tabela 7: Ranking PROMETHEE (Análise de sensibilidade)	93

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classes ar comprimido	21
Quadro 2: Qualidade do ar comprimido	22
Quadro 3: Conceitos da gestão industrial relacionados a Confiabilidade	28
Quadro 4: Etapas para Aplicação de MCDM's	33
Quadro 5: Classificação da metodologia de pesquisa	49
Quadro 6: Comparativo com estudos correlatos.....	55
Quadro 7: Cronograma de atividades.....	57
Quadro 8: Etapas do processo produtivo do Leite.....	61
Quadro 9 - Processo de beneficiamento do queijo como produto final.....	63
Quadro 10: Utilização do ar comprimido.....	64
Quadro 11- Instruções de manutenção preventiva	77
Quadro 15: Ranking geral obtido através do COPRAS	88
Quadro 16: Ranking geral obtido através do PROMETHEE	89
Quadro 17- Falhas associadas a falta de manutenção preventiva	90

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

COPRAS	Avaliação proporcional complexa (Complex proportional assessment)
MCDM	Método decisório multicritério (Multiple criteria decision making)
PROMETHEE	Método de organização de ranking de preferência de avaliação de enriquecimento (Preference ranking organization method for enriched evaluation)
USDA	United states department of agriculture (Departamento de agricultura dos estados unidos)
SRP	Schulz rotativo parafuso
LCC	Life cycle cost (Ciclo de vida útil e financeiro)
TTR	Time to repair (Tempo total para reparo)
PCM	Pés cúbicos por minuto
ANVISA	Agência nacional de vigilância sanitária
TBF	Time between failures (Tempo entre falhas)
MTTR	Mean time to repair (Tempo médio para reparo)
MTBF	Time between failures(Tempo médio entre falhas)
CAPEX	Capital expenditures (Despesas capitais)
OPEX	Operational expenditures (Despesas operacionais)
TCC	Trabalho de conclusão de curso
TOPSIS	Technique for order of preference by similarity to ideal solution (Técnica para ordenação de preferência por similaridade com a solução ideal)
FMEA	Failure mode and effect analysis (Análise de modos de falhas e efeitos)
PSI	Preference selection index (Índice de seleção de preferencia).

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	TEMA.....	13
1.1.1	DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	13
1.2	OBJETIVO GERAL	13
1.2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
1.3	JUSTIFICATIVA.....	14
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
2	REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1	MANUTENÇÃO INDUSTRIAL	18
2.1.1	TIPOS DE MANUTENÇÃO	19
2.1.2	MANUTENÇÃO EM INDÚSTRIA DE ALIMENTOS	20
2.2	ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE E INDICADORES DE DESEMPENHO ..	25
2.3	MÉTODOS DECISÓRIOS MULTICRITÉRIOS (MCDM – MULTICRITERIA DECISION MAKING).....	32
2.3.1	COPRAS (COMPLEX PROPORTIONAL ASSESSMENT) – AVALIAÇÃO PROPORCIONAL COMPLEXA	35
2.3.2	PROMETHEE (PREFERENCE RANKING ORGANIZATION METHOD FOR ENRICHMENT EVALUATIONS) – MÉTODO DE ORGANIZAÇÃO DE RANKING DE AVALIAÇÃO PREFERENCIAL .	38
2.3.3	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA AVALIAÇÃO DE MÉTODO DECISÓRIO MULTICRITÉRIO	39
2.4	COMPRESSORES INDUSTRIAIS.....	40
2.4.1	COMPRESSORES DINÂMICOS.....	41
2.4.2	COMPRESSORES VOLUMÉTRICOS.....	42
2.4.3	COMPRESSORES VOLUMÉTRICOS ALTERNATIVOS.....	42
2.4.4	COMPRESSORES VOLUMÉTRICOS ROTATIVOS	44
3	MÉTODOS E MATERIAIS.....	48

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA METODOLOGIA	48
3.2 PROTOCOLO DE PESQUISA	50
3.3 TRABALHOS CORRELATOS	52
3.4 CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO	57
4 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO	58
4.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	58
4.2 MAPEAMENTO DO PROCESSO DE INDUSTRIALIZAÇÃO DO LEITE	59
4.3 COLETA E ANÁLISE DE DADOS	69
4.4 TRATATIVA DOS DADOS PARA REALIZAÇÃO DO COPRAS E DO PROMETHEE	76
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	87
5.1 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS MÉTODOS COPRAS E PROMETHEE.	91
6 CONCLUSÃO.....	94

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, em função da competitividade cada vez mais acirrada, é vital para empresas buscarem eficácia na sua produtividade por meio de melhoria nos processos produtivos, conjuntamente, com otimização dos seus custos.

O aumento da automação incrementando a complexidade da tecnologia aplicadas nos sistemas industriais, transforma a manutenção industrial uma função cada vez mais importante e essencial para obtenção de: disponibilidade e confiabilidade operacionais, eficácia no desempenho do maquinário, eficiência energética da planta industrial, conseqüentemente lucratividade.

A manutenção industrial emprega ações técnicas, administrativas e de gestão para manter a funcionalidade plena de máquinas e/ou equipamentos durante seu o ciclo de vida funcional e econômico. Essas ações compreendem determinar as prioridades, estratégias e otimização de recursos: materiais, humanos e financeiros.

Uma má gestão da manutenção provoca perda de produtividade e rentabilidade financeira por meio de ocorrência de falhas que ocasionam interrupções na produção e /ou reduzem o seu desempenho. Logo, para evitar falhas de manutenção faz-se necessários a aplicação e gestão de estratégias de manutenção como preventiva e preditiva.

A manutenção preventiva tem como objetivo manter o equipamento em operação realizando lubrificação, substituição de peças e pequenos ajustes, aumentando assim a sua disponibilidade operacional com garantia de confiabilidade do funcionamento do sistema industrial (KARDEC; NASCIF, 2009; GUIMARÃES; SILVA; NOGUEIRA 2012).

Aliada à manutenção preventiva, está a manutenção preditiva, a qual visa acompanhar o estado de conservação em função do seu ambiente de operação por meio de acompanhamento contínuo e/ou periódico. Assim é possível prever intervalos de tempos que podem ser respeitados para troca de elementos de máquinas, também pode-se prever a ocorrência de defeitos antes que ocorra a falha (PEREIRA,2009; GUIMARÃES; SILVA; NOGUEIRA,2012).

Como todo ramo industrial, as empresas de alimentos também sofrem pressão do mercado consumidor em questão de demanda, preço, qualidade e neste ramo específico, legislação para manter a segurança alimentar do produto. A adequada gestão de manutenção industrial nesse tipo de indústria é essencial para ganhos operacionais e financeiros, mas principalmente para evitar perda do produto devido contaminação do alimento durante a realização de suas atividades. (COSTA et.al, 2015).

Um dos principais insumos utilizados para operação e limpeza de máquinas e equipamentos em indústria de alimentos é o ar comprimido, assim a manutenção preventiva e preditiva do compressor industrial são de grande importância, uma vez que essas plantas industriais se tornam totalmente dependentes do ar comprimido. A falha do compressor pode ocasionar a parada de uma linha de produção por completo acarretando prejuízos, além da potencial contaminação do alimento, por meio da transmissão de contaminantes como: sujeira, líquidos e lubrificantes, que podem estar presentes no ar comprimido por inadequada manutenção da unidade compressora.

Nos compressores industriais podem ocorrer diversos tipos de defeitos e falhas, sendo que esses podem ser evitados quando aplicadas estratégias de manutenção adequadas. Logo, a utilização de métodos para aumentar a assertividade na tomada de decisão da gestão das atividades de manutenção, é essencial para garantir pleno desempenho da planta industrial. (KARDEC, 2001; STIER, 2010).

Os métodos decisórios multicritérios (MCDM -Multiple Criteria Decision Making) visam auxiliar a gestão da manutenção na determinação e priorização das ações de manutenção a serem tomadas e executadas no maquinário industrial, de modo a otimizar os recursos materiais, humanos e financeiros envolvidos. (ZAVADSKAS; BAUSYS,2008 e PODVEZKO,2011).

Este Trabalho visa aplicar os métodos decisórios multicritérios COPRAS – Avaliação Proporcional Complexa (Complex Proportional Assessment) e PROMETHEE – Método de Organização de Ranking de Avaliação Preferencial (Preference Ranking Organization Method for Enriched Evaluation) para priorização das atividades preventivas e preditivas em compressores de ar rotativos de parafuso, o qual empregado em uma indústria do ramo de laticínios

1.1 TEMA

Priorização das atividades de manutenção preventiva e preditiva utilizando métodos decisórios multicritérios.

1.1.1 Delimitação do tema

Priorização das atividades de manutenção preventiva e preditiva de compressores de ar aplicados empregados em uma indústria de laticínios, utilizando métodos decisórios multicritérios: COPRAS e PROMETHEE.

1.2 OBJETIVO GERAL

Aplicação de métodos decisórios multicritérios para priorização das atividades de manutenção preventiva em compressores industriais, objetivando aumento de disponibilidade operacional e garantia da confiabilidade do sistema industrial.

1.2.1 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, faz-se necessário executar os seguintes objetivos específicos:

- Efetuar a revisão da literatura acerca do tema do trabalho;
- Analisar o fluxograma do processo produtivo de laticínio para compreensão dos modos de operação e manutenção do compressor de ar comprimido;
- Estruturar a árvore funcional do compressor para compreender seu funcionamento e os impactos dos modos de falhas em seu projeto;
- Efetuar levantamento de falhas do compressor e agrupar em modos de falhas;

- Analisar o impacto na confiabilidade e disponibilidade operacional dos modos de falhas do compressor na produtividade da indústria de laticínios;
- Correlacionar os modos de falhas identificados com o LCC - Ciclo de vida útil e financeiro (Life Cycle Cost) do compressor nos custos da planta industrial em estudo;
- Estabelecer as atividades manutenção preventiva e preditiva em função dos modos de falhas analisados
- Aplicar os métodos decisórios multicritérios COPRAS e PROMETHEE na priorização das atividades de manutenção preventiva e preditiva do compressor industrial;
- Apresentar resultados por meio da análise de sensibilidade dos métodos COPRAS e PROMETHEE na assertividade da tomada de decisão e os benefícios dessa assertividade na melhoria dos indicadores de desempenho de manutenção.

1.3 JUSTIFICATIVA

A manutenção industrial além de manter o pleno funcionamento do maquinário industrial, que garante produtividade, também é responsável em promover ações para a diminuição de custos de produção e manutenção (minimização dos custos referentes a troca de peças e parada de máquinas), visando garantir disponibilidade e confiabilidade operacional (KARDEC, 2001; NASCIF,2009).

Grande parte dos esforços gastos com manutenção é dedicado à manutenção corretiva, (devido ao fato da dificuldade de prever todas as falhas aleatórias ocorridas no processo produtivo), sendo esse tipo de manutenção caracterizada pela realização da ação do conserto da máquina após a ocorrência do evento da falha (MOBLEY,2014; KOBACZY; MURTHY, 2008).

A manutenção preventiva caracteriza-se por que conservam o funcionamento do maquinário por meio de planos de manutenção periódico, possibilitando a redução de custos de reparo e substituição de peças com a melhoria gerada na disponibilidade e confiabilidade do sistema produtivo, pois suas atividades reduzem a necessidade da manutenção corretiva e assim prolongam a vida útil dos ativos industriais (KOBACZY; MURTHY, 2008; MOBLEY,2014).

Já a manutenção preditiva atua como uma forma auxiliadora à manutenção preventiva e também com a corretiva, pois através de uma implementação correta de manutenção preditiva é possível prever a vida útil de certo elemento de uma máquina por de averiguações e análises. Através destas análises e levantamento de dados pode-se então realizar a preventiva elevando o tempo de funcionamento do equipamento até que seja necessário a realização da manutenção Corretiva.

(ALMEIDA, 2015; MOBLEY,2014).

Em indústrias de alimentos, a manutenção de máquinas equipamentos devem prover a confiabilidade e disponibilidade operacional da planta conjuntamente com a garantia da qualidade e segurança da qualidade do produto, em função de normas e legislações.

Dentre os sistemas utilizados para automação de uma planta industrial de laticínios estão os que utilizam fluidos sob pressão como: sistema hidráulico (utiliza de líquidos sob pressão) e sistema pneumático (utiliza do ar sob pressão). Em indústria de laticínios, como em qualquer indústria de alimentos, o sistema pneumático é empregado para acionamento de atuadores, liberação de válvulas de fluxo e para limpeza de produtos e máquinas (FIALHO, 2003; FRANCESCO, 2013).

No sistema pneumático, o fluido é colocado à alta pressão por meio de um equipamento chamado compressor de ar. Em indústrias de alimentos, se deve manter qualidade do ar produzidos pelos compressores do sistema industrial, assim o ar deve estar livre de impurezas e umidade para evitar contaminação dos produtos em processamento. (FIALHO, 2003; STEWART, 2002).

O compressor de ar comprimido em estudo, está inserido no processo produtivo de uma empresa do ramo de laticínios, beneficiadora de diversos produtos derivados do leite, sendo este ar utilizado diretamente nas linhas produtivas e, as falhas no compressor interferem diretamente na disponibilidade e confiabilidade operacional dessas linhas de produção

As principais atuações do compressor nas linhas de produção são: para abertura e fechamento de válvulas (que servem tanto para dosagem de produtos adicionados a matéria prima ou então para controle da própria matéria prima), retirada da umidade no processo final de embalagem e limpeza do ambiente. Na planta industrial há outro compressor do tipo alternativo de pistão marca pressure 40 pés.

Com ligação em paralelo ao compressor estudado que é do tipo rotativo de parafuso marca Schulz com potência de 15CV modelo SRP 4015, porém sua capacidade produtiva é inferior gerando péssima qualidade e quantidade de ar para as linhas produtivas.

Quando utilizado o Compressor alternativo de pistão, as linhas de produção operam em capacidade reduzida, além da potencial contaminação da rede de ar devido a potencial ocorrência do arraste de óleo natural (provocado pelos cilindros) e pela grande quantidade de água (muitas vezes presentes no interior dos compressores).

Para evitar as falhas nos compressores, faz-se necessários a aplicação de ações adequadas de manutenção preventiva e preditiva, com otimização de recursos humanos, financeiros e materiais. Assim para priorizar as atividades de forma otimizada, a aplicação de métodos decisórios multicritérios (MCDM) são essenciais no processo decisório, visando a melhoria na assertividade na tomada de decisão na gestão dos recursos aplicados no desenvolvimento das ações de manutenção. (PODVEZKO, 2011; ROSSINI,2011).

Neste trabalho foram aplicados os métodos decisórios COPRAS e PROMETHEE II, sendo que este ressalta valores, superação ou prevalência sobre demais alternativas, buscando envolver interpretações físicas e econômicas no resultado, aquele fundamentado na avaliação dos dados, por meio quantitativo, determinando os objetivos e identificando as ações relevantes, e ambos estruturados em matrizes de decisão e ponderação para obter o resultado (PODVEZKO, 2011; LOPES; ALMEIDA, 2014).

Com aplicação desses métodos decisórios multicritérios se objetiva obter a priorização das atividades de manutenção preventiva e preditiva para compressores industriais aplicados em sistema industrial de laticínios, buscando maximizar os indicadores de desempenho desse equipamento conjuntamente com seguridade da qualidade do produto.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em cinco capítulos, com as seguintes estruturas de tópicos:

I. Capítulo 1: este capítulo engloba a introdução acerca do tema, delimitação do tema, objetivos: gerais e específicos, justificativa da pesquisa conjuntamente com o detalhamento da estrutura do trabalho.

II. Capítulo 2: apresenta-se, de forma detalhada, a revisão da literatura sobre manutenção industrial, contemplando os tipos e metodologias de manutenção, as particularidades de manutenção na indústria de alimentos conforme legislação brasileira e procedimentos de qualidade, Confiabilidade e indicadores de desempenho de manutenção, MCDM com ênfase nos métodos COPRAS e PROMETHEE, Correlação estatística de Dados, e o funcionamento de compressores industriais.

III. Capítulo 3: este capítulo compreende o enquadramento do tema de pesquisa dentro da grande área das Engenharias III (que engloba a Manutenção Industrial) conjuntamente com a construção do protocolo de pesquisa referente às etapas do presente trabalho e o quadro de trabalho correlatos.

IV. Capítulo 4: este capítulo apresenta o detalhamento do estudo de caso, compreendendo as particularidades do processo produtivo de alimentos, a análise do processo de manutenção e operação do compressor industrial, os indicadores de desempenho de manutenção do compressor e as variáveis elencadas e correlacionadas a serem utilizadas para aplicação dos métodos COPRAS e PROMETHEE II.

V. Capítulo 5: estrutura-se a análise dos resultados por meio da priorização das atividades de manutenção preventiva e preditiva do compressor, e discussões acerca da análise de sensibilidade dos métodos em relação aos índices obtidos e os impactos dos grupos de modos de falhas nos indicadores de desempenho.

VI. Capítulo 6: são descritas as conclusões e recomendações de trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo serão apresentados todos os conceitos utilizados desenvolvimento deste trabalho, como: Manutenção, Confiabilidade, Métodos Decisórios Multicritérios e Funcionamento de compressores industriais.

2.1 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

Com a globalização da economia e a competitividade do mercado crescendo, se torna acirrada a busca por um diferencial nos processos produtivos, almejando a manufatura de produtos com qualidade superior e a custos baixos, para tanto, a manutenção de máquinas e equipamentos demanda uma gestão adequada de manutenção para que haja redução/eliminação na probabilidade de falhas no sistema industrial (FOGLIATTO et.al, 2009).

Falhas em equipamentos agregam custos no produto final, se o equipamento não possui um acompanhamento e nem plano de manutenção preventiva/preditiva, certamente quanto maior o seu tempo de vida de sua operação, maior também será a probabilidade em que ele inicie desencadeamento de falhas.

O indicador que mensura a probabilidade de um equipamento produzir sem falhar é a confiabilidade, sendo a sua definição “...probabilidade de que um item vem a desempenhar sua função requerida por um período de tempo predeterminado; como é dado em probabilidade o resultado de seus cálculos é de 0 a 1, podendo ser estudado o sistema como um todo ou então cada parte constituinte deste sistema separadamente” (VERRI,2007; FOGLIATTO et.al, 2009).

A manutenção com a evolução no mercado competitivo industrial deixou de ser um ato “quebra e conserta” com o passar do tempo, para se estabelecer como uma função estratégia em busca da confiabilidade e disponibilidade operacional dos ativos empregados em uma planta industrial. Esta função agora não é apenas a mão de obra propriamente dita para realizar intervenções diretas, nela está englobada um conjunto de ações para identificar, corrigir e acompanhar um problema. (VERRI, 2007; MOBLEY, 2014).

“A manutenção é a combinação de todas as ações técnicas e administrativas incluindo as de supervisão destinadas a manter ou recolocar

um item em um estado no qual ele possa desempenhar uma função requerida” (NBR-5462,1994).

A manutenção se classifica em 3 tipos fundamentais: Preventiva, Preditiva e Corretiva, as quais detalhadas nos tópicos seguintes.

2.1.1 Tipos de Manutenção

A manutenção corretiva acontece por meio de paradas imprevistas, que necessitem a parada da produção para regularizar determinada situação em equipamentos que perdem parte da sua capacidade requerida (DHILLON, 2002).

A intervenção Corretiva acontece quando a produção é interrompida por determinada falha isso demanda de altos custos por tempo sem produção, portanto a intervenção necessita ser rápida.

Para Fogliatto et al (2009) e Almeida (2015), a manutenção corretiva ocorre da forma mais rápida, para se obter o menor tempo de reparo (TTR) deve ser estabelecer uma equipe preparada tecnicamente e a quantidade mínima de peças em estoque para reposição, ou seja, treinamento e gestão de estoque.

Já a manutenção preventiva se caracteriza por estabelecer planos de manutenção e atividades fundamentadas em evitar as falhas ou então minimizar os seus efeitos, evitando assim a perda da funcionalidade requerida de determinado equipamento, é uma intervenção para prevenir a ocorrência da falha (VILARINHO et al.,2017; ZHONG et.al,2019).

Para que um equipamento possua uma menor ocorrência de falhas necessita-se que exista uma manutenção preventiva consistente, sendo seu objetivo a garantia de confiabilidade e disponibilidade de um ativo.

Para implantar a manutenção preventiva deve-se obedecer alguns passos como: diagnóstico e verificação da vida útil das peças fornecidas por fabricantes, condições que se encontram registros de manutenção dos ativos, elaboração das

rotas inclusas nos planos de manutenção, formular cadastros para lubrificação, entre outros (ALMEIDA 2017).

Por conseguinte, tem-se a manutenção preditiva, a qual é a forma de manutenção que atuará diretamente com o setor de PCM (Planejamento e Controle da Manutenção), pois a aplicação de técnicas preditivas diminui consideravelmente os custos relativos a paradas de máquinas. Ela baseia-se em análise de dados obtidos através de instrumentos de medidas, e ainda realiza análises periódicas verificando o comportamento de cada mecanismo (KARDEC, NASCIF 2009).

Os parâmetros analisados e passíveis de monitoramento preditivo são: temperatura, fadiga, vibração, ruído, composição química, etc. A manutenção preditiva auxilia no aumento consideravelmente o tempo de vida útil de uma máquina, sendo assim possível aproveitar o seu máximo de operação com mínimo de trocas de componentes.

2.1.2 Manutenção em Indústria de Alimentos

A manutenção industrial segue normas rígidas para sua gestão e execução em indústria de alimentos, regulamentações estas estabelecidas pela ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). Um dos ativos que afeta tanto a produtividade quanto pode acarretar contaminação no alimento, caso não seja mantido adequadamente, são os compressores de ar comprimido.

O ar comprimido é de grande utilização para diversos tipos de processos hoje nas indústrias, é imprescindível que o ar comprimido seja produzido através de uma fonte confiável, principalmente para indústrias do ramo alimentício e farmacêutico PEREIRA (2010).

A ISO 8573-1- Ar Comprimido e Classes de contaminantes de 2010. Foi criada para determinar os níveis máximos admissíveis de contaminação, e às várias classes para utilização do ar comprimido, de acordo com o tipo de condensado presente em seu sistema, sendo consideradas partículas: sólidas, água, óleo. Com o quadro 1 podemos observar a classe do ar comprimido máxima permitida para utilização em

uma indústria de alimentos, a classe de sólidos e óleo máxima permitida é de 1 e para água é 4.

Classe (isso 8573)			Aplicação
Sólido	Água	Óleo	
1	7	1	Uso geral: Válvulas, Cilindros, Ferramentas Pneumáticas, pintura, etc.
1	7	1	Pintura, Jateamento, Odontologia
1	4	1	Indústrias automobilística, Plástico, Têxtil, Papel e Celulose, Metalúrgica.
1	4	1	Indústria alimentícia, Química, Farmacêutica
2	2	1	Fabricação de cimento, Leite em pó e atividades de Criogenia
2	1	1	
1	2	1	Fibras óticas, circuitos integrados, reatores Nuclear
1	1	1	

Quadro 1: Classes ar comprimido

Fonte: Adaptado de Prudente (2013)

No quadro 2 pode-se observar quais são os padrões estipulados para cada classe. Para a indústria de alimentos a classe máxima permitida para o condensado de água é de 4, isso mostra que o ponto máximo de orvalho permitido na saída do compressor deve ser de 3°C.

CLASSE	Partículas sólidas			Água		Óleo
	Nº máximo de partículas por m ³			Ponto de orvalho da pressão Vapor	Líquida	Conteúdo total de óleo(Líquido, aerossol e vapor)
	0,1-0,5 µm	0,5-1 µm	1-5 µm	°C	G/m ³	Mg/m ³
0	Exigências maiores do que a classe 1					
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10	≤-70		0,01
2	≤ 400.000	≤ 6.000	≤ 100	≤-40		0,1
3		≤ 90.000	≤ 1.000	≤-20		1

CLASSE	Partículas sólidas			Água		Óleo
	Nº máximo de partículas por m ³			Ponto de orvalho da pressão Vapor	Líquida	Conteúdo total de óleo(Líquido, aerossol e vapor)
	0,1-0,5 µm	0,5-1 µm	1-5 µm	°C	G/m ³	Mg/m ³
4			≤ 10.000	≤+3		5
5			≤ 100.000	≤ +7		
6				≤ +10		
7					≤ 0,5	
8					0,5-5	
9					5á10	
X					> 10	> 10

Quadro 2: Qualidade do ar comprimido

Fonte: Adaptado ISSO 8753-1:2010

O quadro 1 nos traz a quantidade máxima de óleo dissipada por cada modelo de compressor, pode-se então observar que o compressor rotativo de parafuso que é o objeto de estudo dissipa uma quantidade de 2 a 10 mg³. Portando necessita-se então de algum meio para que venha a retirar o excesso de óleo que é desprendido pelo compressor na produção de ar, uma vez que a classe máxima permitida para compressores nas indústrias de alimentos que é de 0,01mg³ de acordo com a tabela 1.

Tipo de Compressor	Quantidade de óleo Dissipada (mg/m ³)
Pistão	25
Palhetas	5
Parafuso	2 á 10
Isento de óleo	0,25

Tabela 1: Quantidade dissipada de óleo por compressores novos

Fonte: Adaptado – Manual Compressores SCHULZ 2002

Os dados representados na Tabela 1 mostram que há uma quantidade de óleo dissipada pelo compressor para a rede pneumática, porém, mesmo sendo mínima esta quantidade, quando se trata de uma indústria do ramo alimentício, existe o potencial risco de contato deste óleo com o produto em processamento. Logo, para indústrias de alimentos, é sempre recomendado o uso de lubrificantes com grau alimentício (Food Grades Lubrificants).

Geralmente o óleo utilizado em compressores são de origem sintética. Estes lubrificantes por sua vez, apresentam preço elevado quando comparado a outros óleos minerais, este é um com grande peso na hora da manutenção, em contrapartida a sua utilização estende os períodos de troca de lubrificante (GEBARIN, 2009 apud BELINELLI, 2015).

Os lubrificantes de grau alimentício podem ser classificados em três designações criadas pelo USDA são elas, H1, H2 e H3, sendo os lubrificantes H1 designados a indústrias em que o alimento possa ter algum contato acidental com o lubrificante. Já os lubrificantes de classificação H2 refere-se a lubrificantes que não terão contato direto com o alimento em hipótese alguma, porém não podem conter metais pesados e os de classe H3 são para óleos solúveis ou comestíveis, os quais servem para limpeza e prevenção da oxidação de materiais (HODSON, 2004 apud BELINELLI, 2015; Girard, 2002 apud BELINELLI, 2015).

Em indústrias do ramo alimentício, mesmo que se utilizem de lubrificantes atóxicos, é necessário que se tenha um tratamento adequado do ar comprimido aplicado no processo produtivo, para tanto se utiliza métodos para uma confiável filtragem do ar, para se obter uma melhor qualidade com menor quantidade de impurezas.

A Figura 1 mostra um modelo de sistema para tratamento de ar em compressores, chamado central de tratamento de ar comprimido.

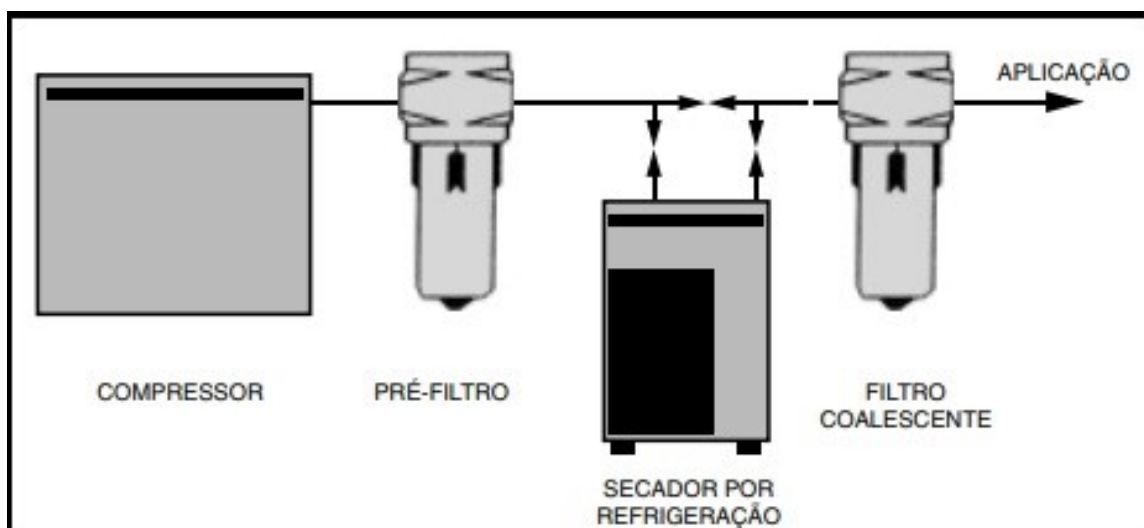


Figura 1: Central de ar comprimido

Fonte: Manual do Compressor SPR3020 Fabricante SCHULZ (2002)

Este sistema de filtragem compreende:

- Compressor de ar, o qual tem a funcionalidade de produzir o ar comprimido que será utilizado na produção.
- Pré-filtro que tem a finalidade de remover as impurezas contidas na produção do ar comprimido como: óleo, Condensado de água e Partículas sólidas.
- Secador de ar que efetua a remoção total do condensado de água presente no ar comprimido por meio de secagem.
- Pós-filtro responsável pela retirada do restante do material não liberado nos processos anteriores, seu grau de filtragem é mínimo, aonde somente o ar é capaz de passar.

A manutenção adequada em sistemas de compressão de ar aplicados no processo de manufatura de alimentos é indispensável para evitar a interrupção da produção, pois o processo de fabricação de alimentos é dependente da vazão de ar comprimido, quanto para manter o padrão de qualidade do produto final.

2.2 ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE E INDICADORES DE DESEMPENHO

A eficiência de um de um processo ou até mesmo de uma organização é mensurada por meio de indicadores de desempenho, os quais apontam o quão eficiente ou deficiente se encontra um processo. Para as atividades de manutenção industrial não é diferente, existem indicadores que são mostram a situação da eficiência das atividades de execução e gerenciamento, as quais auxiliam na tomada de decisão futura.

Conforme Mobley (2002) e Dhillon (2006), os principais indicadores de desempenho da manutenção são: TTR, TBF, MTTR, MTBF, Disponibilidade e Confiabilidade, sendo o indicador TTR (Time To Repair) - Tempo para reparo que por definição é o tempo em que o ativo fica parado sem produção até que seja então restabelecida a sua função requerida após uma falha e o indicador TBF (Time Between Failures) - Tempo entre falhas aponta o tempo entre falhas o tempo em que o ativo falhou a última vez, desde o momento em que foi restabelecido estando apto a desempenhar sua função até o momento que veio a falhar novamente, ou seja, teoricamente é o tempo produtivo do mesmo. A equação 1 representa o cálculo do indicador TBF:

$$TBF = TTO - TTR \quad \text{Eq. 1}$$

Onde: TTO = Tempo Total de Operação do ativo;

TTR = Tempo para Reparo.

O MTTR (Mean Time to Repair) - Tempo médio para reparo indica qual o tempo médio em que o ativo ficou sem funcionamento em função da ocorrência de falhas, este indicador representa o tempo gasto pelo setor da manutenção para conserto do ativo com a finalidade recoloca-lo em operação. A equação 2 representa a estrutura do MTTR (MOBLEY,2002).

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{N^{\circ} \text{ DE FALHAS}} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde: $\sum TTR$ = Somatório de todos dos Tempos para Reparo

MTBF (Time Between Failures) - Tempo médio entre falhas indica o cálculo médio entre todas as falhas e o tempo total de operação do mesmo, por meio deste indicador é possível observar o comportamento crescente ou decrescente da ocorrência de falhas no decorrer do tempo. A Função 3 expressa o cálculo do MTBF (MOBLEY,2002).

$$MTBF = \frac{TTO}{N^{\circ} DE FALHAS} \quad \text{Eq.3}$$

A Disponibilidade operacional (Availability) representa a quantidade de tempo em que o ativo esteve disponível para produção ao longo do tempo total de operação, levando em conta a média do tempo entre falha e a média do tempo de reparo. A disponibilidade é dada conforme equação 4. (MOBLEY,2002):

$$A(t) = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \times 100\% \quad \text{Eq. 4}$$

Onde: MTBF é o tempo médio entre falhas

MTTR é o tempo médio para reparo

Conforme Fogliatto (2009) e Pereira (2010) E as ocorrências de falhas nos ativos industriais impactam as finanças das organizações, assim a solução para eliminar as causas e reduzir a taxa de falhas é preciso promover confiabilidade ao processo industrial.

O setor da manutenção tem um importante papel dentro de uma organização, o qual se fundamenta na redução de custos por meio da prevenção dos eventos de falhas, investindo em práticas que promovam garantia de confiabilidade dos ativos na

planta industrial. A confiabilidade de um ativo é correspondente a probabilidade de desempenhar a sua devida funcionalidade em um tempo pré-determinado com condições também pré-determinadas (LEEMIS,1995)

“A confiabilidade deve ser calculada para cada ativo separado mesmo que existam dois com mesmo modelo e data de fabricação iguais, podendo ser definida a confiabilidade para uma linha de produção com vários ativos, para um ativo somente, ou para cada componente constituinte deste ativo desmembrando-os em partes” (FOGLIATTO, 2009).

A confiabilidade está relacionada aos conceitos de: qualidade, disponibilidade, manutenibilidade, segurança e confiança. O quadro 3 e a Figura 2 detalham estes conceitos e a relação deles com a confiabilidade.

Conceito industrial	Descrição para análise de risco e confiabilidade
Análise de risco e segurança	Segurança tem por definição a inexistência de fatores que possam prejudicar o operador e/ou o ativo, sendo o termo inexistência de risco, em muitos dos casos, não aceitável já que pode se dizer que não existe a possibilidade de isenção do risco. Analisar a confiabilidade e risco nas atividades industriais é de extrema importância, e pode utilizada a análise FMEA (análise de modos e efeitos de falhas).
Qualidade	É definida como a capacidade de um item ou serviço satisfazer a sua devida funcionalidade ao qual foi projetado, de forma que não venha a ocorrer muita variação. Qualidade e confiabilidade estão interligados pois pode ser atribuído qualidade a um processo de confiabilidade, crescendo juntos assim em processos e produtos. Quanto maior for a confiabilidade proporcionalmente será a qualidade.
Manutenibilidade	Pode ser definida como a capacidade de um item/equipamento ser restaurado e restabelecido o ser determinado funcionamento. A manutenção tem por funções restaurar o estado de um ativo ou então prevenir de modo a evitar possíveis falhas. A conexão entre manutenção e confiabilidade está em programas que tem por objetivo a redução de custos e a otimização dos recursos aplicados nas tarefas de manutenção.

Conceito industrial	Descrição para análise de risco e confiabilidade
Proteção ambiental e Projeto de produtos	A confiabilidade pode ser utilizada para diversas melhorias em diversos setores, assim ocorre com o meio ambiente atuando em sistemas para o controle de poluição e também para a fabricação de produtos em linhas de produção, exemplos são as linhas de montagem automotiva e aeronáutica.

Quadro 3: Conceitos da gestão industrial relacionados a Confiabilidade
 Fonte: Adaptado de Fogliatto - Confiabilidade e manutenção industrial (2009).

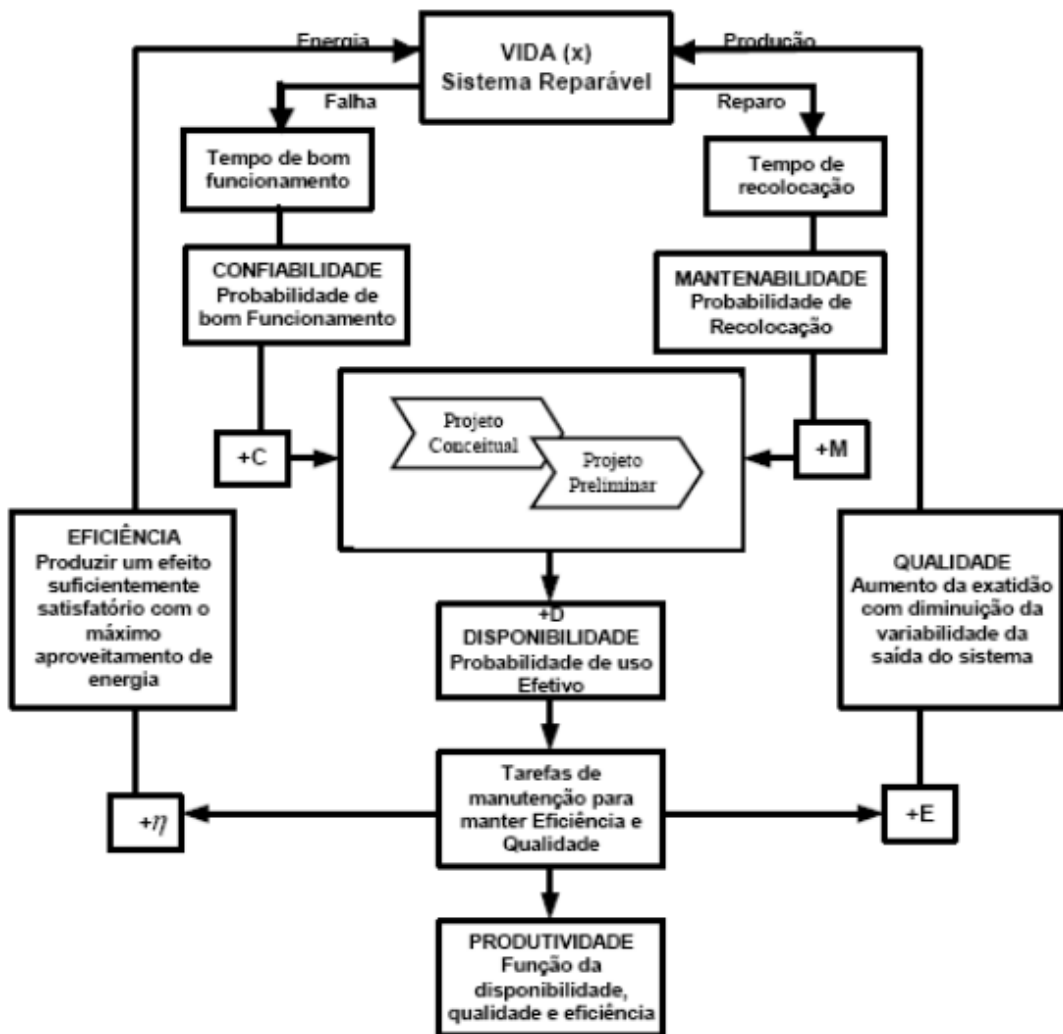


Figura 2: Relação da Confiabilidade e Conceitos da Gestão Industrial

Fonte: Adaptado de Dhillon - Engineering Systems Reliability, Safety, and Maintenance: An Integrated Approach (2002)

A confiabilidade de um ativo ou sistema industrial está relacionada a uma série de fatores como o fator de segurança (que visa além da segurança do ativo e segurança pessoal) e os indicadores de tempo de produção sem falhas. Para realização da análise da confiabilidade e risco em sistema industriais aplica-se distribuição estatística de probabilidade de falhas como: normal, exponencial, log normal, distribuição de Weibull. (FOGLIATTO, 2009 p.20).

A distribuição de WEIBULL é uma distribuição de probabilidade contínua. Seu nome origina-se de Waloddi Weibull que propôs em 1951 um artigo que descrevia a distribuição em detalhes e esta pode ser utilizada em diversas áreas de conhecimento.

Também com grande utilização em para mecânica, com a distribuição pode-se representar falhas típicas, falhas aleatórias, falhas por meio de desgaste que são mais utilizados na área de engenharia. (ASSIS et al., 2013, p. 720).

A equação 5 representa a equação generalizada da distribuição exponencial.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta - t_0} \left(\frac{t - t_0}{\eta - t_0} \right)^{\beta - 1} \exp \left(- \frac{t - t_0}{\eta - t_0} \right)^{\beta - 1} \quad t > 0, (\eta, \beta) > 0 \quad \text{Eq. 5}$$

t_0 – Parâmetro de localização, vida mínima ou confiabilidade intrínseca – intervalo de tempo no qual o componente não apresenta falha.

β – Parâmetro de forma – indica a forma da curva e a característica das falhas.

η – Parâmetro de escala – intervalo de tempo.

Com o conceito da distribuição de Weibull podemos representar o comportamento de uma falha em função do tempo através de uma curva denominada curva da banheira conforme figura 3. (DHILLON, 2006 p.37).

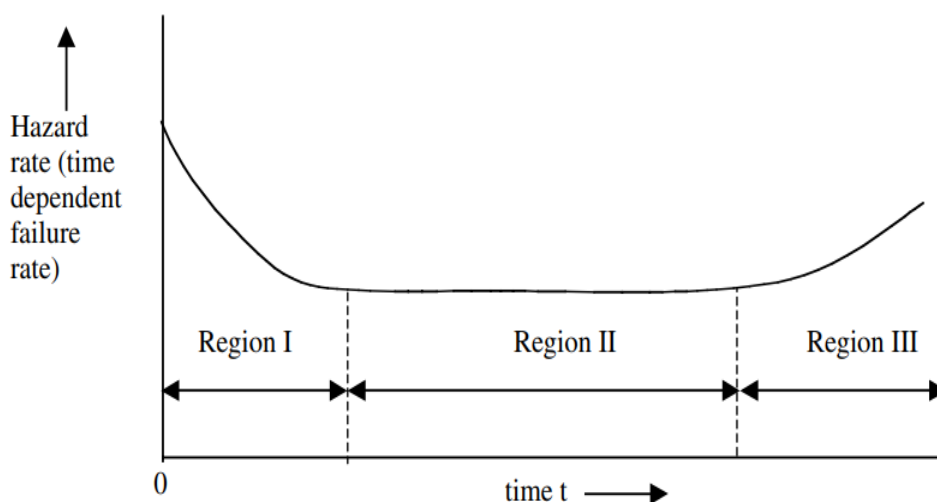


Figura 3: Curva da Banheira

Fonte: Adaptado de DHILLON 2006 p. 38

Conforme figura 3 a Curva da Banheira mostra que um ativo industrial possui 3 fases, sendo elas:

I- Mortalidade infantil (falhas prematuras): São geralmente causadas por defeitos na fabricação ou instalação do ativo, podem também ocorrer casos de sobre dimensionamento. (DHILLON, 2006 p. 37; FOGLIATTO, 2009 p.20)

II- Período de Vida Útil (falhas casuais): é a fase aonde a taxa de risco permanece constante, é a região em que deseja-se que o ativo permaneça por mais tempo. (DHILLON, 2006 p. 37; FOGLIATTO, 2009 p.20)

III- Desgaste (falhas por desgaste): é a última fase de um ativo, aonde já não se espera tanto do mesmo, a partir desta fase a taxa de risco tende a crescer de conforme o tempo de operação. (DHILLON, 2006 p. 37; FOGLIATTO, 2009 p.20)

Conjuntamente com a Curva da Banheira, a qual representa o tempo de vida útil do ativo industrial por meio do comportamento das falhas ocorridas ao longo do tempo, se pode analisar o Ciclo de Vida Econômica desse ativo (LCC - Lyfe Cycle Cost), que engloba a relação entre os custos de aquisição, operação e desativação.

O LCC é utilizado quando houver uma decisão sobre compra de um ativo que exigirá substanciais custos de operação e manutenção durante sua vida útil. Além disso, também afirmam que, por exemplo, custos de operação e manutenção ao longo da vida de um ativo excedem em muito os custos iniciais, devendo pois serem considerados no processo decisório. (BROWN, YANUCK 1985; RABBANI 2014).

O ciclo de vida econômico (LCC) corresponde ao momento em que a soma dos custos atualizados de: CAPEX (Capital Expenditures) e OPEX (Operational Expenditures) apresentem um ponto de inflexão. A partir deste ponto é recomendado a substituição do ativo, pois os custos de manutenção podem não compensar em função do valor de investimento em um novo ativo.

O CAPEX (Capital Expenditures) ou despesas capitais tem por definição o levantamento de todos os custos que envolvem a aquisição de um ativo e a fase de instalação do mesmo. (ANIMAH et.al 2018; RODRIGUES 2017).

O CAPEX será utilizado para o levantamento de custos iniciais de aquisição e instalação do compressor de ar cuja função é de melhoria da empresa no sistema produtivo em que se utiliza do ar comprimido.

Já o conceito de OPEX (Operational Expenditures) tem o seu foco voltado para as despesas operacionais do ativo ou então no investimento com manutenções dos mesmos. (RODRIGUES 2017; MACHUCA et.al 2009).

O OPEX terá sua utilização para o levantamento de custos atrelados a manutenção do compressor de ar, sendo ela preventiva ou corretiva, uma vez que qualquer tipo de manutenção entra como despesa operacional.

Logo, se verifica que a análise de confiabilidade conjuntamente com os custos envolvidos na reposição do Ativo em função da sua desativação é de extrema importância para manter produtividade custos no sistema industrial.

2.3 MÉTODOS DECISÓRIOS MULTICRITÉRIOS (MCDM – MULTICRITERIA DECISION MAKING)

Métodos decisórios Multicritérios - MCDM (Multicriteria Decision Making) são métodos para estruturar/solucionar problemas de tomada de decisão que envolvem múltiplos critérios. A Figura 4 ilustra o processo de decisão auxiliado pela estrutura de métodos decisórios. (MARTTUNEN; LIENERT; BELTON,2017; BOUYSSOU et al.,2006)

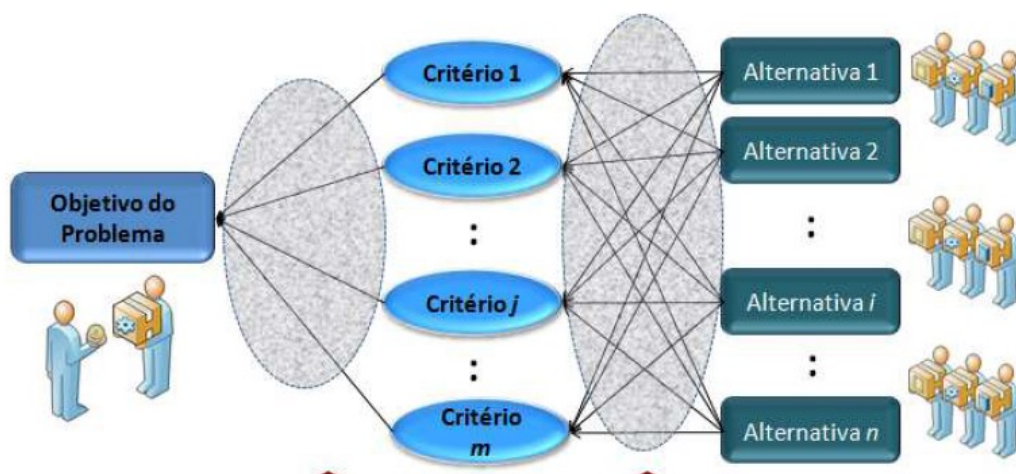


Figura 4: Etapas para Decisão com aplicação de MCDM.

Fonte: Mulliner; Mallys (2016).

Os métodos de decisão multicritério são utilizados quando um decisor necessita avaliar uma demanda alta de soluções para um determinado problema. Normalmente são dispostas as soluções com alguns critérios onde as alternativas podem superar umas às outras em determinado dado, porém serão inferiores em outros aspectos. Para aplicação de métodos decisórios multicritério (MCDM), se segue as etapas elencadas no Quadro 4.

Etapa	Particularidades
1: Identificar os Tomadores de Decisão	Determinar o indivíduo ou grupo de indivíduos (decisores) que irão proporcionar o juízo de valor final que poderá ser usado no momento de avaliar as alternativas disponíveis, com o objetivo de identificar a melhor escolha.
2: Definir as Alternativas	Eliminando as alternativas que não atinjam um nível preestabelecido em algum critério. Determinando uns poucos critérios críticos para a avaliação e a seleção daquelas alternativas que possuem um desempenho melhor de acordo com esses critérios.
3: Definir os Critérios Relevantes	Critérios diretos (MAXIMIZAÇÃO): quanto maior o seu valor, melhor. Como exemplo: receita, rendimento, faturamento, salários, etc. Critérios indiretos (MINIMIZAÇÃO): quanto maior o seu valor, pior. Como exemplo: despesas, consumo, preço, horas extras, etc. Os critérios podem ser: objetivos (valor definido) e subjetivos (atribuição de valor por meio de escalas)
4: Avaliar as Alternativas em Relação aos Critérios	Esta parte do processo é denominada pontuação (<i>scoring</i>) e existem várias maneiras distintas de executá-la. Procura-se <i>quantificar</i> o valor de cada alternativa (i) em relação a cada critério (j). Consiste em atribuir pesos (w_j) aos critérios, a fim de mostrar a importância de um critério para o decisor.
5: Recomendações e Apresentação de um Relatório	A análise realizada deve ser considerada junto com as informações relevantes para o processo de tomada de decisões, com o intuito de se fazer uma recomendação final.

Quadro 4: Etapas para Aplicação de MCDM's

Fonte: Adaptado de Almeida - Utilização de Métodos multicritério de Apoio à decisão (2003); Keeney e Gregory (2005).

Todo MCDM parte pela coleta de dados para tomada de decisão, estes dados e informações devem ser estruturados em uma matriz de decisão, a qual é uma matriz $m \times n$ onde o elemento a_{ij} indica a avaliação (desempenho) da alternativa i , A_i , em relação ao atributo (as particularidades das alternativas, ou seja, critérios) j , C_j . A Figura 5 ilustra a estrutura da matriz de decisão.

Alternativas (A_i)	Critérios (C_j)			
	C_1	C_2	...	C_n
A_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}
A_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
A_m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn}

Figura 5: Matriz de Decisão,

Fonte: Adaptado de Almeida - Utilização de Métodos multicritério de Apoio à decisão (2003); Mulliner; Malys(2016)

Onde: A_i = alternativa i ($i = 1, \dots, m$);

C_j = Critério j ($j = 1, \dots, n$);

A_{ij} = Desempenho da alternativa i em relação ao critério j .

Posteriormente deve-se transformar os dados contidos na matriz de decisão em escalas de medidas iguais, ou seja, em escala comum (monotônica), possibilitando assim comparação entre critérios e resolução da matriz para tomada de decisão. Para tanto efetua-se o processo de Normalização. A Figura 6 mostra o modelo de estrutura da matriz de decisão normalizada.

Alternativas	Critérios			
	C_1	C_2	...	C_n
	w_1	w_2	...	w_n
A_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}
A_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
A_m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn}

intercritério (pointing to the weights row)

intracritério (pointing to the first column of performance values)

escalas distintas (under a bracket covering the performance values)

A_i = alternativa i ($i = 1, \dots, m$)
 C_j = critério j ($j = 1, \dots, n$)
 a_{ij} = desempenho da alternativa i em relação ao critério j

Figura 6: Matriz de Decisão Normalizada

Fonte: Adaptado de Almeida - Utilização de Métodos multicritério de Apoio à decisão (2003); Mulliner; Malys (2016)

No presente trabalho os métodos decisórios serão utilizados para determinar e priorizar as atividades relacionadas a manutenção preventiva e preditiva aplicadas em compressores de ar, com a finalidade de garantir confiabilidade e disponibilidade e operacional em uma indústria de laticínios. Os MCDM's utilizados são COPRAS (Complex Proportional Assessment) e PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations), os quais serão detalhados a seguir.

2.3.1 COPRAS (Complex Proportional Assessment) – Avaliação Proporcional Complexa

O método COPRAS foi proposto por Zavadskas e Kaklauskas 1996, e consiste em definir um ranking para priorização das alternativas se destaca principalmente pela simplicidade de seus cálculos, são dispostos alguns critérios e atribuídos pesos a estes critérios. (STEFANO, et al. 2015).

O método COPRAS pode ser utilizado em inúmeras ocasiões e de inúmeras formas diferentes quando necessário pode ser aplicado em qualquer área, tornando-se assim uma poderosa ferramenta para a indústria auxiliando a manutenção.

Ressalta-se que este método decisório não estabelece o método de atribuição de pesos, de modo que podem ser inclusive subjetivamente definidos pelos analistas (decisores).

Para aplicação do COPRAS segue-se os passos:

(i) Deve-se ser preponderado pesos ao material e ao que se destina. A importância de cada atributo j deve ser refletida no peso (W_j). O próprio usuário decisor que deve preponderar pesos. Assim deve ser formada uma matriz de decisão com os pesos devidamente coletados e organizados. A Figura 7 ilustra a estrutura da matriz decisória.

Matriz de decisão

Alternativas A_i	Critérios C_j			
	C_1	C_2	...	C_n
A_1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1n}
A_2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2n}
...
A_m	x_{m1}	x_{m2}	...	x_{mn}
Pesos w_j	w_1	w_2	...	w_n

Alternativas: $i = 1, \dots, m$
Critérios: $j = 1, \dots, n$
 x_{ij} = desempenho da alternativa i em relação ao critério j

Figura 7: Matriz de decisão

Fonte: Adaptado de Almeida - Utilização de Métodos multicritério de Apoio à decisão (2003); Mulliner; Malys(2016)

De acordo com CHATTERJEE, et al 2011 o método consiste em seguir alguns passos. Deve-se normalizar a matriz de decisão através da equação 6.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad \text{Eq. 6}$$

Onde: x_{ij} é o valor definido para utilidade ou desempenho

r_{ij} é o valor do desempenho normalizado de i associado a j

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} \cdot w_j}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}$$

Matriz normalizada

Alternativas A_i	Critérios C_j			
	C_1	C_2	...	C_n
A_1	r_{11}	r_{12}	...	r_{1n}
A_2	r_{21}	r_{22}	...	r_{2n}
...
A_m	r_{m1}	r_{m2}	...	r_{mn}

Figura 8: Matriz Normalizada

Fonte: Adaptado de Almeida - Utilização de Métodos multicritério de Apoio à decisão (2003); Mulliner; Malys (2016)

(ii) Então é realizado o cálculo no qual para atributos positivos S_{+i} e para negativos S_{-i} , onde temos que

$$S_{+i} = \sum_{j=1}^n y_{+ij} \quad \text{Eq. 7}$$

$$S_{-i} = \sum_{j=1}^n y_{-ij} \quad \text{Eq. 8}$$

(iii) A equação 9 que resulta na prioridade relativa de cada alternativa, então quanto maior o valor de Q_i , maior será a prioridade da alternativa.

$$Q_i = S_{+i} + \frac{\sum_{i=1}^m S_{-i}}{S_{-i} \sum_{i=1}^m \frac{1}{S_{-i}}} \quad \text{Eq. 9}$$

(iv) A de terminação de grau da utilidade U_i é dada pela equação 10.

$$U_i = \frac{Q_i}{Q_{MAX}} \cdot 100\% \quad \text{Eq.10}$$

2.3.2 PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) – Método de Organização de Ranking de Avaliação Preferencial

O método decisório PROMETHEE é compreendido como um método de fácil entendimento e assimilação por parte do decisor por possuir aspectos físico econômicos, proposto pela primeira vez em 1982 (BRANS, MARESCHAL, 2002).

Este método consiste na construção de uma relação de sobre classificação de valores. (VINCKE, 1992).

A sua aplicação inicia através do decisor definindo para cada critério (j) um peso (p_j), assumindo este valores entre 0 e 1, a diferença de desempenho entre as alternativas para um determinado critério aumentando a preferência do decisor é $[g_j(a)-g_j(b)]$, tendo como $g_j(a)$ desempenho da alternativa a no critério j (VINCKE, 1992).

Para modelos de cálculos temos as seguintes equações:

O índice de preferência, aonde indica a intensidade da preferência de um item ou alternativa sobre outro. Conforme equação 11.

$$P(a, b) = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^n w_j P_j(a, b) \quad \text{Eq.11}$$

Para W temos que:

$$W = \sum_{j=1}^n w_j \quad \text{Eq. 12}$$

Após ser definido o índice de preferência, realiza-se a equação 13, para definição de fluxo positivo, Quanto maior for o índice de Q^+ , melhor é a alternativa. (BELTON, STEWART, 2002).

$$Q^+(a) = \sum_{a \neq b} \frac{P(a,b)}{n-1} \quad \text{Eq. 13}$$

Para cálculo do fluxo negativo utiliza-se a equação 14, tem por definição de que quanto menor for o valor de Q^- , melhor será a alternativa. (BELTON, STEWART, 2002).

$$Q^-(a) = \sum_{a \neq b} \frac{P(a,b)}{n-1} \quad \text{Eq.14}$$

Para as funções são utilizados os seguintes conceitos.

W_j : Peso definido para cada alternativa

P_j : É a função de preferência, valor podendo variar de zero a um.

P : É o grau de sobre classificação ou índice de preferência.

O Método PROMETHEE é dividido em sete classes, nos quais temos que;

PROMETHEE I – É a problemática da escolha – Pré ordem parcial.

PROMETHEE II- Pré-ordem completa entre as alternativas.

PROMETHEE III – Tratamento probabilístico dos fluxos.

PROMETHEE IV – Utilizado para alternativas com conjunto contínuo.

PROMETHEE V – É uma otimização de alternativas utilizando-se do PROMETHEE II

PROMETHEE VI – Destinado a problemas em que o decisor não consegue ponderar um valor fixo a cada alternativa.

PROMETHEE GAIA – Utiliza-se do PROMETHEE I com um procedimento iterativo.(CAVALCANTE, ALMEIDA, 2005) ;(SILVA, MORAIS, 2008).

2.3.3 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA AVALIAÇÃO DE MÉTODO DECISÓRIO MULTICRITÉRIO

Quando utilizado os métodos decisórios multicritérios, os resultados obtidos serão sempre associados a muitas incertezas, essas incertezas são causadas por critérios, atribuição de pesos e prioridades.

Para uma avaliação e identificação das incertezas que cercam os métodos multicritérios desenvolvidos necessita-se então de uma análise de sensibilidade. (VALENTE, VETTORAZZI 2009) ;(LEITE, FREITAS 2012).

A análise de sensibilidade busca por meio da avaliação e comparação dos métodos usados se a melhor alternativa resultante por um método MCDM é realmente a melhor opção dentre as variáveis escolhidas. (HORA, COSTA 2015, MALCZEWSKI 2010).

O processo para realização da análise ocorre de forma a substituir pesos ponderados a certos atributos afim de verificar qual a modificação decorrente desta mudança, e com isto confirmar se existe ou não variação com os resultados obtidos primordialmente.

Buscara através da análise do decisor avaliar a composição dos pesos dos atributos, quando o mesmo realiza uma análise de sensibilidade para todas as variáveis de um estudo, isto auxiliara na delimitação do grau de risco, assim é possível conhecer quais variáveis são motivos de receber atenção. (FILHO;CURY 2018) ;(HORA, COSTA 2015).

É possível também saber qual é o comportamento de determinada variável quando o valor atribuídos nos pesos tendem aos extremos. (FILHO;CURY 2018) ;(HORA, COSTA 2015).

2.4 COMPRESSORES INDUSTRIAIS

Um dos tipos mais comuns de sistemas automatizados encontrados dentro de uma indústria é o sistema pneumático, que se utiliza do ar comprimido sobre pressão para realizar trabalho, empregando compressores de ar para tal operação (STEWART,2002).

Stewart (2002) define dois tipos principais de compressores: compressores de deslocamento positivo ou volumétrico e compressores dinâmicos ou turbo compressores. A Figura 9 mostra os tipos de compressores.

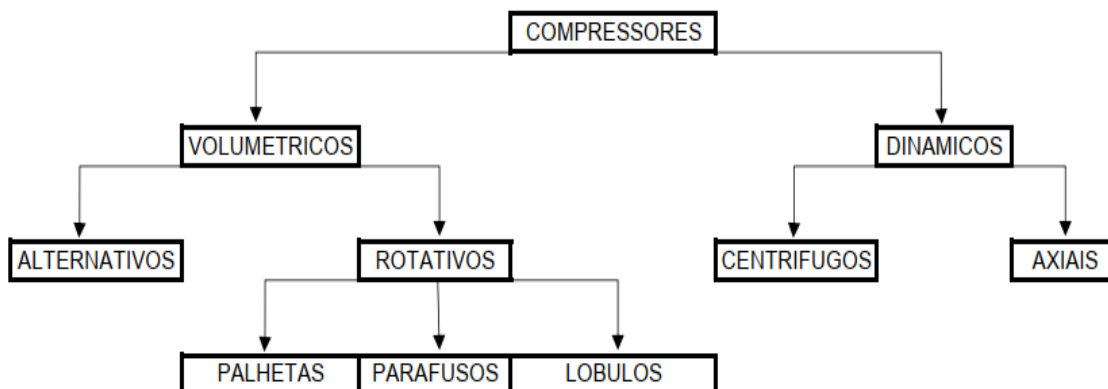


Figura 9: Tipos de compressores

Fonte: Adaptado de Fialho – Automação Pneumática (2003)

2.4.1 Compressores dinâmicos

Os compressores dinâmicos podem ser divididos em dois subtipos; Centrífugos e axiais. São equipamentos desenvolvidos para uma vazão grande de ar a uma pressão muito pequena, aonde o ar admitido por meio de sua aspiração e logo após ele é centrifugado por meio de hélices ou lâminas até a sua descarga (FIALHO, 2011).

A Figura 10 ilustra o modelo básico de um compressor dinâmico de hélices.

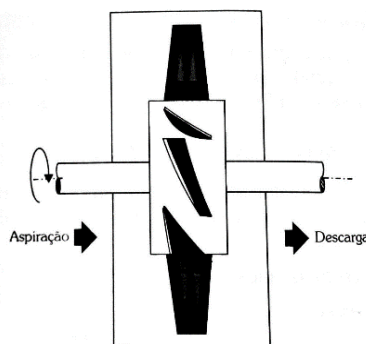


Figura 10: Compressor dinâmico de hélices

Fonte: Adaptado de Fialho – Automação Pneumática (2003)

2.4.2 Compressores Volumétricos

Os compressores volumétricos são caracterizados pela elevação da pressão por meio da redução do volume ocupado pelo ar, o seu funcionamento baseia-se na aspiração do ar atmosférico, e então por meio de algum processo ele é comprimido tendo o seu volume inicial reduzido. Existem duas divisões em compressores volumétricos; alternativos e rotativos. (FRANCESCO, 2013; HENN, 2012).

2.4.3 Compressores Volumétricos Alternativos

Os compressores alternativos são constituídos em um sistema biela-pistão para executar a produção de ar comprimido, por meio da transformação do movimento rotativo de um virabrequim em movimento longitudinal no pistão (FIALHO, 2011).

A forma construtiva desse tipo de compressor são: cilindro (promove deslizamento do pistão), biela, virabrequim, rolamentos, cárter, pistão ou embolo, placa de válvulas, jogos de anéis, óleo para refrigeração e lubrificação, retentores de vedação, a figura 11 ilustra o sistema biela-pistão dos compressores alternativos.

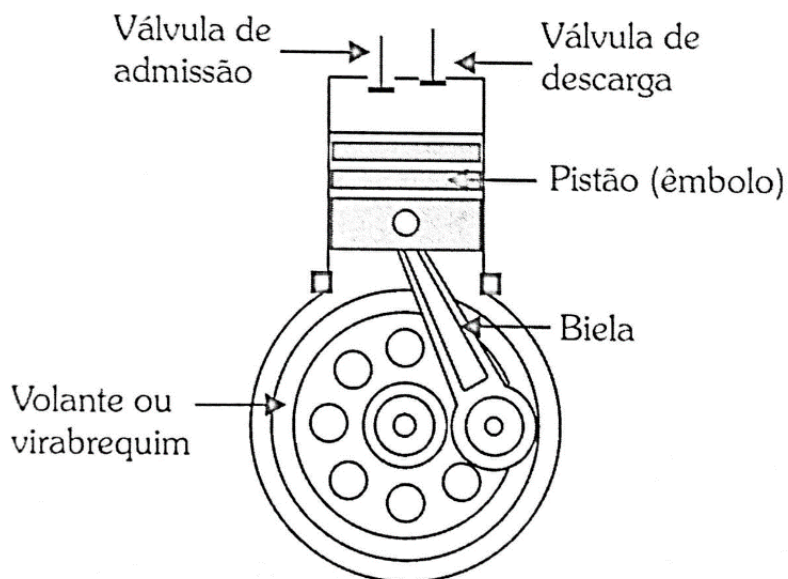


Figura 11: Compressor alternativo de pistão

Fonte: Adaptado de Fialho – Automação Pneumática (2003)

O funcionamento deste tipo de compressor se comporta mediante as etapas elencadas:

I) Virabrequim efetua movimento translacional, fazendo com que a biela seja rotacionada em sua parte inferior, completando um giro completo de 180° finalizando um ciclo.

II) Quando a biela é puxada para baixo, conseqüentemente ela puxa o pistão que está unido na sua outra extremidade também para baixo, permitindo assim, a entrada do ar pela válvula de admissão. O ar que entra pela válvula é filtrado anteriormente para eliminar partículas que possam ocasionar danos ao sistema de compressão do ar.

III) Quando a biela completa seu ciclo, a mesma impulsiona o pistão para cima submetendo que ar comprimido (que está na câmara) se movimenta pela válvula de descarga, uma vez que a válvula de admissão se encontra fechada neste momento.

IV) O ar então pode ser submetido a um reservatório ou aplicado diretamente na rede de para utilização no processo produtivo. Quando o ar é

submetido ao reservatório, o compressor interrompe a compressão de ar quando se encontrar com a pressão desejada automaticamente.

Um compressor volumétrico alternativo pode ter uma ou mais câmaras de compressão, determinando deste modo qual a capacidade de produção do compressor que é medida em pés cúbicos por minuto (PCM).

2.4.4 Compressores Volumétricos Rotativos

Os compressores volumétricos podem ser do tipo: palheta, parafuso e lóbulos. Compressores do tipo palhetas possuem um rotor excêntrico na carcaça, sendo que na carcaça se encontra a entrada e saída de ar. O rotor possui sucros, os quais alojam as palhetas, por meio da força centrífuga do movimento rotacional do eixo que está acoplado ao rotor, as palhetas se deslocam para a fora do rotor fazendo contato com a carcaça (FRANCESCO, 2013).

O ar presente no ambiente entra pela abertura da carcaça, sendo então aspirado para dentro do compressor preenchendo aberturas entre as palhetas. Como a carcaça fica pouco deslocada da parte da descarga, o ar começa a ser comprimido pois o espaço entre rotor, palhetas e carcaça começa a diminuir, podendo atingir pressão de até 10 bar (FIALHO,2003; FRANCESCO, 2013).

A figura 12 apresenta as partes de um compressor volumétrico rotativo tipo palheta.

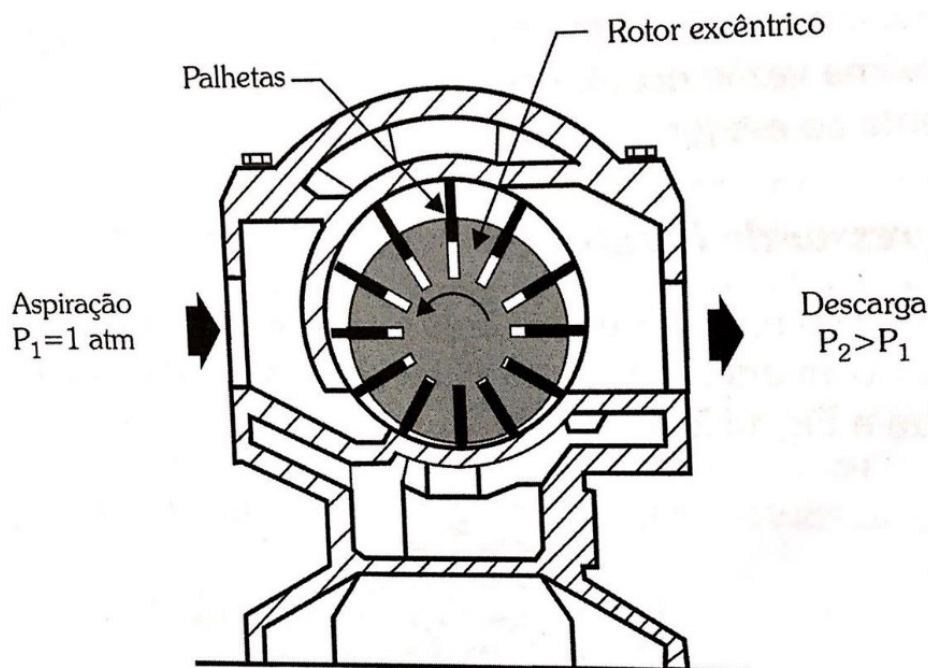


Figura 12: Compressor tipo palheta

Fonte: Adaptado de HENN – Máquinas de Fluido (2012)

Compressores rotativos do tipo parafuso operam com dois rotores em forma de parafuso, sendo que um rotor possui forma convexa na superfície de sua face e outro rotor apresenta forma côncava, ambos mantem entre si uma relação de engrenamento, sendo a velocidade de rotação definida pelo rotor macho. Quando existe a utilização de óleo lubrificante o próprio rotor macho (ou fuso) conduz a rosca fêmea, já em compressores isentos de óleo para transmissão de força, esta movimentação da rosca fêmea é realizada por engrenagens (HENN, 2012).

O ar é sugado pelo processo de admissão do compressor, e ela é transferido pelos fusos, sendo comprimido gradativamente na carcaça, saindo forçadamente pela descarga do sistema compressor. A função utilizada para se calcular a vazão aspirada pelo compressor é apresentada na equação 23. (HENN, 2012).

$$Q = (K.D^2.bn.nv)/60 \quad \text{Eq. 23}$$

Onde: Q = Vazão aspirada pelo compressor em m³/s;

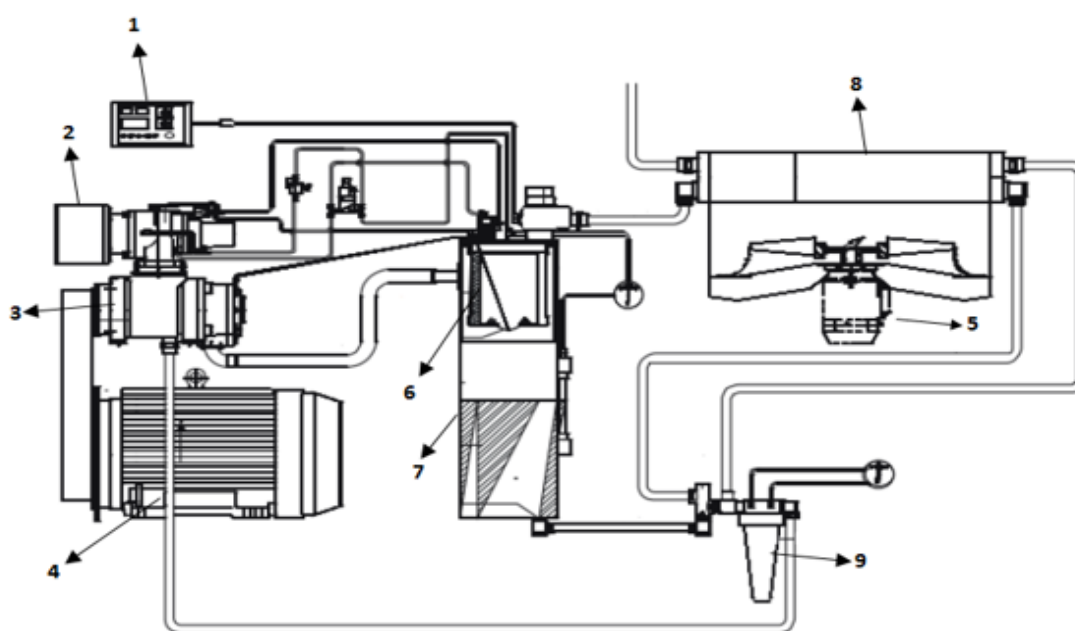
K = Constante relativa a geometria do compressor estimada em 0,5;

D = Diâmetro externo do rotor macho (m);

B = comprimento dos parafusos (m);

$n.v$ = rendimento volumétrico, normalmente de 75 a 92% levando em conta a perda por fugas.

Henn (2012) ressalta que a utilização de óleo nos compressores rotativos servem para lubrificação, refrigeração do sistema, elemento de vedação entre os fusos, esta função auxilia quando o ar é comprimido pelos fusos misturando-se com o óleo, prosseguindo até a descarga e posteriormente separados (ar e óleo) por um elemento separador. A Figura 13 ilustra os principais componentes dos compressores rotativos do tipo parafuso.



Legenda					
1	Interface eletrônica	4	Motor elétrico principal	7	Reservatório de óleo
2	Sistema de admissão de ar	5	Motor elétrico radiador	8	Radiador/resfriador ar, óleo
3	Unidade compressora	6	Elemento separador	9	Sistema de filtragem de óleo

Figura 13: Compressor parafuso
 Fonte: Adaptado de catalogo técnico SCHULZ (2014)

Os compressores de ar tipo roots ou lóbulos possuem baixa pressão, porem um alto volume de movimentação do ar, uma das principais vantagens destes tipos de compressores é a capacidade de suportar altas horas de jornadas de trabalho sem muitos cuidados com a manutenção.

A constituição destes compressores é basicamente carcaça e dois rotores descentrados conforme a figura 14, por possuir uma taxa de compressão muito pequena eles são mais comumente utilizados como sopradores. (FIALHO 2015 p.18; Henn 2012).

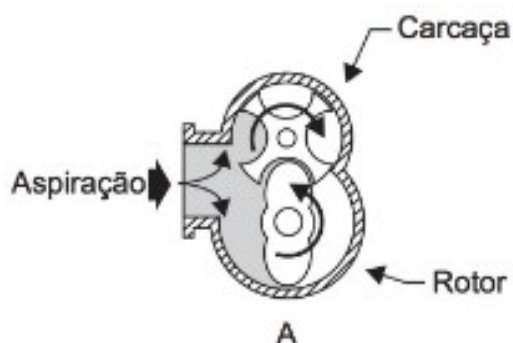


Figura 14: Compressor de lóbulos

Fonte: Adaptado de FIALHO- Automatismos Pneumáticos (2015)

3 MÉTODOS E MATERIAIS

Neste capítulo apresentar-se-á a classificação da metodologia aplicada no desenvolvimento do presente trabalho, o detalhamento das etapas por meio do protocolo de pesquisa e por fim o comparativo da pesquisa realizada com demais trabalhos publicados relacionadas a tomada de decisão na manutenção industrial.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA METODOLOGIA

De acordo com a CAPES (Coordenação de aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), este trabalho pode ser colocado como pertencente a área de engenharias III contemplando assim: Engenharia Mecânica, Engenharia de produção, Engenharia Naval e Oceânica e Engenharia Aeroespacial (CAPES, 2019).

A pesquisa pode ser dividida de duas formas: com informações qualitativas e base dados quantitativa; a pesquisa qualitativa refere-se a uma coleta de informações (referencial, documental e/ou observação direta) e tratamento dessas de uma forma mais narrativa ou descritiva, já em relação à pesquisa quantitativa, esta tem seus dados, basicamente, representados de forma numérica (BERNARDES ,2019).

“Uma pesquisa pode ter a coleta de dados classificada da seguinte maneira, dados primários; estes coletados diretamente em campo através de análises e entrevistas. Dados secundários; são dados coletados de jornais, livros e artigos científicos” (BERNARDES ,2019).

Esta pesquisa enquadra-se tanto como qualitativa, quanto quantitativa, pois apresenta informações qualitativas (comportamento do processo de fabricação de laticínios e métodos de manutenção da unidade compressora) e correlaciona dados numéricos (indicadores de desempenho de manutenção, parâmetros de funcionamento do compressos, custos relacionados a manutenção e implantação da

unidade compressora e a aplicação de método decisório). A classificação da metodologia aplicada pode ser melhor observada no quadro 5.

QUESITO	CLASSIFICAÇÃO						
	Aplicada	Básica					
Natureza	Aplicada	Básica					
Objetivos	Exploratória	Descritiva	Explicativa				
Procedimentos	Pesquisa Bibliográfica	Pesquisa Documental	Pesquisas Experimentais	Levantamento de dados	Observação Direta	Pesquisa de Campo	Estudo de caso
Abordagem	Pesquisa Quantitativa	Pesquisa Qualitativa					

Quadro 5: Classificação da metodologia de pesquisa

Fonte: Autoria Própria

Do ponto de vista da natureza do presente trabalho científico, esta pesquisa pode ser classificada como pesquisa aplicada, pois o conhecimento gerado pelo seu resultado pode ser aplicado em ambientes industriais para à solução de problemas específicos relacionados a tomada de decisão na manutenção industrial de compressores, com otimização dos recursos financeiros, humanos e materiais envolvidos

Para Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa descritiva visa descrever as características de determinados fenômenos, populações ou relações entre variáveis. Logo, esta pesquisa classifica-se como descritiva pois registra, descreve e analisa informações e dados referentes ao processo de manutenção e operação de compressores aplicados na fabricação de laticínios. Estes dados são correlacionados e, assim se estabelece as variáveis de critérios e alternativas para tomada de decisão, está estruturada por meio de métodos decisórios (COPRAS e PROMETHEE), os quais auxiliam na priorização das atividades de manutenção a serem executadas.

No quesito procedimentos técnicos, este trabalho utiliza-se: da pesquisa bibliográfica, da pesquisa documental, do estudo de caso, do levantamento de dados, pois; reunirá uma base de dados com relação ao objeto do estudo, com todas as

variáveis possíveis de serem investigadas, contextualizando todo o meio envolvido. Também compreendia a pesquisa realizada em campo, com o levantamento dos relatórios relacionados ao equipamento a ser estudado e manuais do fabricante. Aprofundando o estudo acima de um ponto único dentro de um local específico, que é o compressor de ar dentro da indústria de laticínios, detalhando todos os pontos afim de explicar todos os pontos tocantes ao problema encontrado.

3.2 PROTOCOLO DE PESQUISA

A preparação da pesquisa consiste na seleção, definição e delimitação das etapas da pesquisa, assim como o planejamento de aspectos logísticos e apresentação do cenário envolvido no estudo de caso.

De acordo com Gil (2010), Prodanov e Freitas (2013), a elaboração do protocolo de pesquisa define como utilizar a metodologia para aplicação dos dados obtidos e direcionar aos resultados esperados. O protocolo de pesquisa determina o modo como a pesquisa foi conduzida, apresenta as etapas e o detalhamento de dados para realização da estrutura do trabalho, visando sempre o avanço no conhecimento. O protocolo é de grande importância na realização da pesquisa, ele transcreve em um método científico as respostas para as perguntas do pesquisador. A Figura 15 apresenta o protocolo de pesquisa adotado para desenvolvimento desse trabalho.

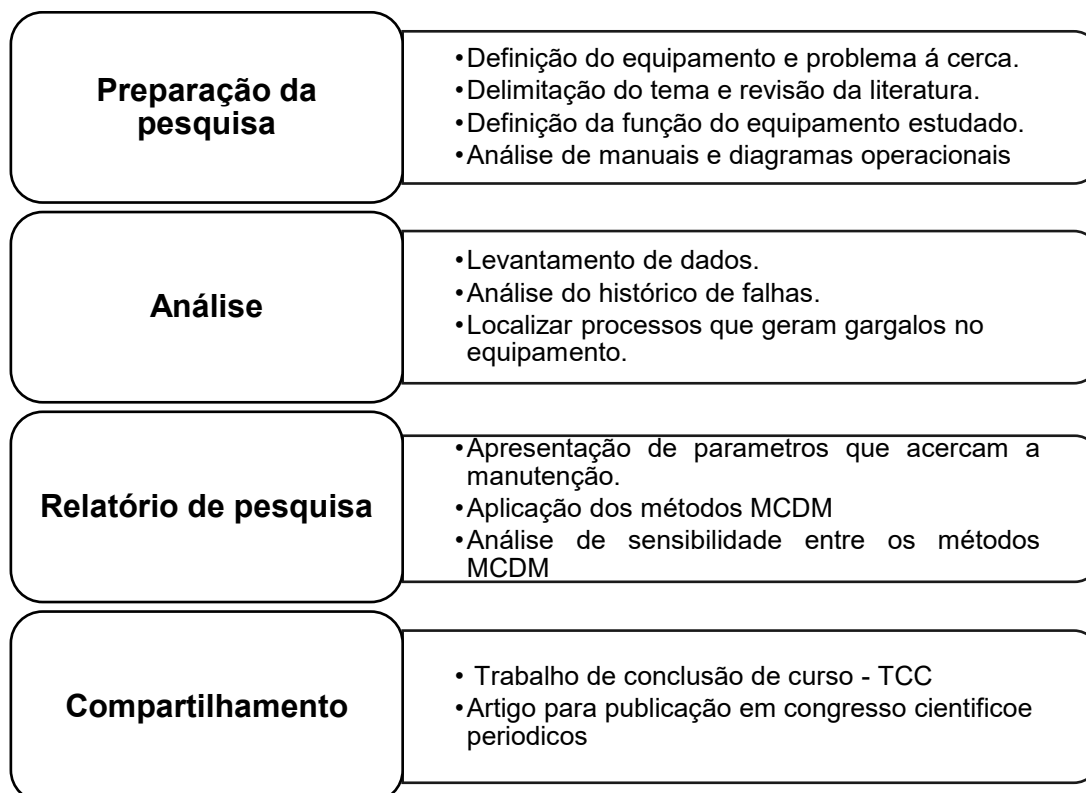


Figura 15: Protocolo de Pesquisa

Fonte: Autoria própria

Mediante ao protocolo de pesquisa da figura 15, pode-se detalhar as suas etapas:

I. Preparação da Pesquisa: nesta etapa é definido o problema da pesquisa por meio de revisão da literatura, a qual é composta por livros, artigos técnicos, científicos (plataformas: Elsevier, Scielo, EBSCO, CAPES, ScienceDirect, Emerald, etc.), teses e dissertações relacionadas ao tema. Também se definiu o ramo industrial; indústria de laticínio situada na região central do Paraná e o objeto de estudo compressor de ar rotativo de parafuso modelo SRP 4015, fabricante Schulz. Compreendendo assim o desenvolvimento do trabalho e o equipamento de aplicação do estudo.

II. Análise: Esta etapa em analisar as falhas relacionadas diretamente com a unidade compressora, e seus efeitos na produtividade do sistema industrial que está instalada, por meio desta análise, é possível estabelecer as atividades preventivas de manutenção para evitar as falhas potenciais e reincidência das

funcionais. Posteriormente, se efetua o levantamento e análise dos custos de instalação, dos custos de manutenção, dos indicadores de desempenho de manutenção referentes ao compressor em estudo, e assim, se elenca as variáveis necessárias para aplicação de correlação e métodos decisórios na tomada de decisão.

III. Relatório de pesquisa: apresenta parâmetros quantitativos que visam priorizar as atividades de manutenção preventiva para o compressor em estudo, em função da correlação das variáveis de :custo, taxa de falha, impacto da falha, produtividade e indicadores de desempenho de manutenção. Aplica-se os MCDM's COPRAS e PROMETHEE para priorização das atividades preventivas e preditivas, conjuntamente, com a análise de sensibilidade comparativa entre os dois métodos decisórios. Esta análise comparativa entre os dois métodos decisórios é necessária para verificar a eficácia dos métodos na tomada de decisão de manutenção para este tipo de ramo industrial (laticínios).

IV. Compartilhamento: descrição da pesquisa em formato de trabalho de conclusão de curso e produção de artigo científico para compartilhamento dos resultados com a sociedade e o meio acadêmico (congressos e periódicos)

3.3 TRABALHOS CORRELATOS

Apresentar-se-á estudos científicos correlatos a pesquisa desenvolvida neste trabalho, sendo a comparação entre os estudos analisadas pelos seguintes quesitos:

- Identificação do sistema industrial: mapeamento do processo (observação direta), pesquisa documental, levantamento de dados (pesquisa em campo) e estudo de caso;
- Variáveis analisadas para o tratamento de falhas: disponibilidade, confiabilidade, taxa de falhas, MTBF, MTTR, histórico de falhas (descrição das OS's), produtividade das linhas de produção, solicitações de funcionamento do compressor (análise estrutural e monitoramento), custos envolvidos;

- Ferramentas para tratamento da análise de dados: Atividades de Manutenção preventiva e preditiva, árvore funcional, MCDM's COPRAS e PROMETHEE, correlação estatística entre as variáveis de processo;
- Ferramenta para tratamento dos resultados: análise de sensibilidade (comparação eficácia dos métodos decisórios), ferramentas da qualidade aplicadas e indicadores de desempenho de manutenção e produtividade.

O Quadro 6 a seguir apresenta a comparação entre os estudos.

Autor(es)	Aplicação	Identificação do Sistema Industrial				Variáveis analisadas para Tratamento de Falhas								Ferramenta para Análise de dados				Ferramenta para tratamento dos resultados				
		Mapeamento	Pesquisa Documental	Levantamento de Dados	Estudo de Caso	Disponibilidade	Confiabilidade R(t)	Taxa de falha	MTBF	MTTR	Histórico de Falhas	Custos envolvidos	Produtividade	Solicitações (Estrutural)	Manutenção Preventiva e Preditiva	Árvore Funcional	COPRAS	PROMETHEE	Correlação das variáveis	Ferramentas Qualidade	Análise de Sensibilidade	Indicadores Manutenção e Produção
CAVALCANTE e ALMEIDA (2008)	Modelo hipotético para substituição de determinado item com certa periodicidade	X	X	X	X												X			X		
CHAREONSUK, NAGRUR, TABUCANON (1996)	Fábrica de papel	X	X	X	X		X	X			X	X	X		X			X		X		X
BEKAR, CAKMACKI, KAHRAMAN (2016)	Estudo para correta implantação de TPM, através de COPRAS	X	X	X					X	X						X						
PANCHOLI e BHATT (2018)	Industria Laminação de Alumínio	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X		X	X	X			X		
SELIM et.al (2015)	Industria de alimentos	X	X	X	X	X	X	X			X				X						X	

Autor(es)	Aplicação	Identificação do Sistema Industrial				Variáveis analisadas para Tratamento de Falhas								Ferramenta para Análise de dados				Ferramenta para tratamento dos resultados				
		Mapeamento	Pesquisa Documental	Levantamento de Dados	Estudo de Caso	Disponibilidade	Confiabilidade R(t)	Taxa de falha	MTBF	MTTR	Histórico de Falhas	Custos envolvidos	Produtividade	Solicitações (Estrutural)	Manutenção Preventiva e Preditiva	Árvore Funcional	COPRAS	PROMETHEE	Correlação das variáveis	Ferramentas Qualidade	Análise de Sensibilidade	Indicadores Manutenção e Produção
OLISZESKI e BELLINELLOI (2020)	Industria de laticínio	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X

Quadro 6: Comparativo com estudos correlatos

Fonte: Autoria própria

Cavalcante e Almeida (2008), aplicaram o MCDM PROMETHEE II para determinar a periodicidade de substituição de determinado elemento em um equipamento, porém o histórico de falhas não foi utilizado para análises mais precisas e com maior embasamento, realizaram uma análise de sensibilidade afim de verificar alguns parâmetros.

Chareonsuk, Nagrur, Tabucanon (1996), analisaram os intervalos de substituição de determinado componente em um intervalo de tempo. O estudo foi aplicado utilizando-se o método decisório PROMETHEE, em das cinco linhas de produção que compõe a fábrica do estudo.

Já Bekar, Cakmacki, Kahraman (2016), aplicaram métodos decisórios (MCDM) para otimização da TPM na fase de implantação de um processo produtivo. Para tanto, investigaram os fatores necessários para a implantação da TPM e apontaram os fatores preponderantes para estruturar a tomada de decisão na priorização das atividades. Apresentaram no estudo uma revisão literária completa acerca do método decisório COPRAS.

Pancholi e Bhatt (2018), realizaram um estudo em uma indústria beneficiadora de alumínio. O objeto de estudo foi uma máquina empregada na fabricação de fios de alumínio, e com o auxílio dos métodos decisórios COPRAS e PSI, estabeleceram a criticidade de alguns componentes da máquina, os quais determinados como direcionadores na tomada de decisão no planejamento de atividades de manutenção da empresa estudada.

Selim et.al (2015), estruturou uma pesquisa relacionada a aplicação do método decisório TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution)- Técnica para Ordenação de Preferência por Similaridade com a Solução Ideal, como auxiliador da análise FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) – Análise de Modos de Falhas e Efeitos. Esta pesquisa busca priorizar atividades voltadas a manutenibilidade do ativo, focando nas atividades de menor custo e garantisse menor TTR (Time to Repair) - tempo para reparo, o estudo foi realizado em indústria de alimentos, mas não foi aprofundado em um equipamento em particular.

3.4 CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO (RETIRRA NÃO PRECISA MAIS NO TCC2)

Para realização do presente trabalho seguiu-se o cronograma apresentado no Quadro 7 a seguir.

Cronograma realização tcc											
	2019						2020				
	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR
Elaboração do projeto	■										
Revisão bibliográfica	■										
Levantamento de dados		■	■								
Tratamento de dados			■	■							
Discusões e resultados					■	■					
Produção do texto final							■	■			
Entrega do trabalho final									■		
Preparação da apresentação tcc2									■	■	
Apresentação tcc2											■

Quadro 7: Cronograma de atividades

Fonte: Autoria própria

4 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO

4.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A empresa em que foi desenvolvido o estudo de caso é uma indústria do ramo alimentício a qual trabalha com o beneficiamento de leite e seus derivados.

A empresa situa-se na região central do Paraná próxima ao município de Candói e conta com aproximadamente 50 colaboradores diretos. O principal produto fabricado é o queijo, a área ocupada pela indústria é de aproximadamente 35.000 m², sua fundação deu-se no ano de 1999.

A indústria atualmente trabalha em regime 9 horas diária em um total de 5 dias por semana, os produtos que são produzidos destinam-se a consumidores de regiões do Paraná, São Paulo e Minas Gerais. Esta pesquisa tem por fundamentação tratar os dados de falhas juntamente com os indicadores de desempenho para aplicação dos métodos decisórios MCDM COPRAS e PROMETHEE afim de priorizar atividades da manutenção no compressor de ar.

A aplicação dos métodos MCDM para priorização das atividades de manutenção no compressor de ar, se justifica devido as inúmeras paradas para intervenção que o equipamento sofreu ao longo de um curto espaço de tempo, causando assim dúvidas quanto à capacidade produtiva do mesmo. Podem ocorrer falhas que venham a afetar a qualidade do produto no processo produtivo. Portanto o objetivo é de priorizar atividades de manutenção preventiva e preditiva as quais não venham a interferir na produtividade da máquina afim de evitar modos de falhas operacionais. Para a aplicação dos métodos decisórios. O presente trabalho é estruturado pelas etapas presentes na figura 16.

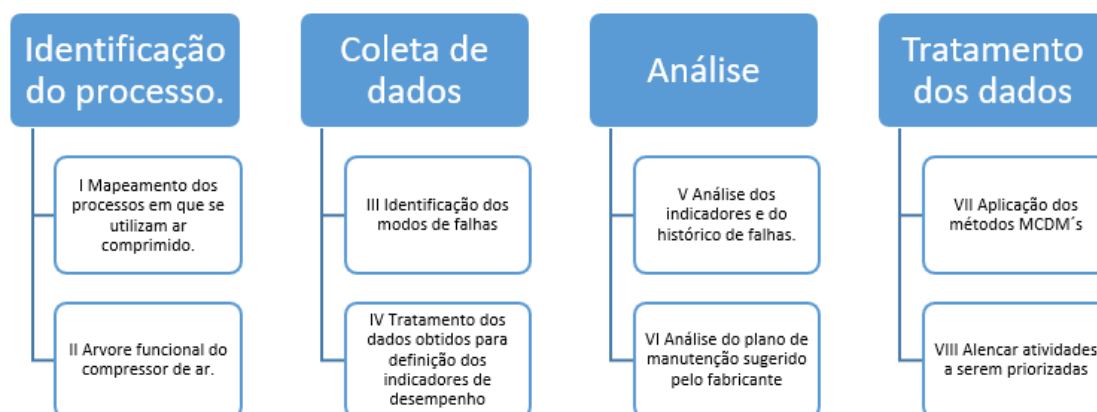


Figura 16 - Método do trabalho

Fonte: Aatoria Própria

- I. Apresentar o processo produtivo dos produtos em que o compressor de ar está empregado.
- II. Estruturar a arvore funcional do compressor de ar afim de definir possíveis gargalos no sistema produtivo.
- III. Identificação dos modos de falhas por meio de dados obtidos através do histórico de falhas entre 2017 e 2019.
- IV. Tratamento dos dados obtidos para obtenção dos indicadores de desempenho
- V. Analisar os indicadores de desempenho obtidos e analisar o histórico de falhas.
- VI. Análise do plano de manutenção sugerido pelo fabricante afim de confronta-lo com o histórico de falhas e os futuros resultados a partir dos MCDM's
- VII. Aplicação dos métodos MCDM's para priorização das atividades a serem realizadas.
- VIII. Alencar atividades a serem priorizadas com base nos resultados do MCDM's.

4.2 MAPEAMENTO DO PROCESSO DE INDUSTRIALIZAÇÃO DO LEITE

Para compreender as particularidades do processo de industrialização do leite e a produção de seus derivados, em como, analisar a participação do ar comprimido no processo produtivo, estrutura-se o mapeamento do processo. A figura 17 apresenta o fluxo do processo do leite.

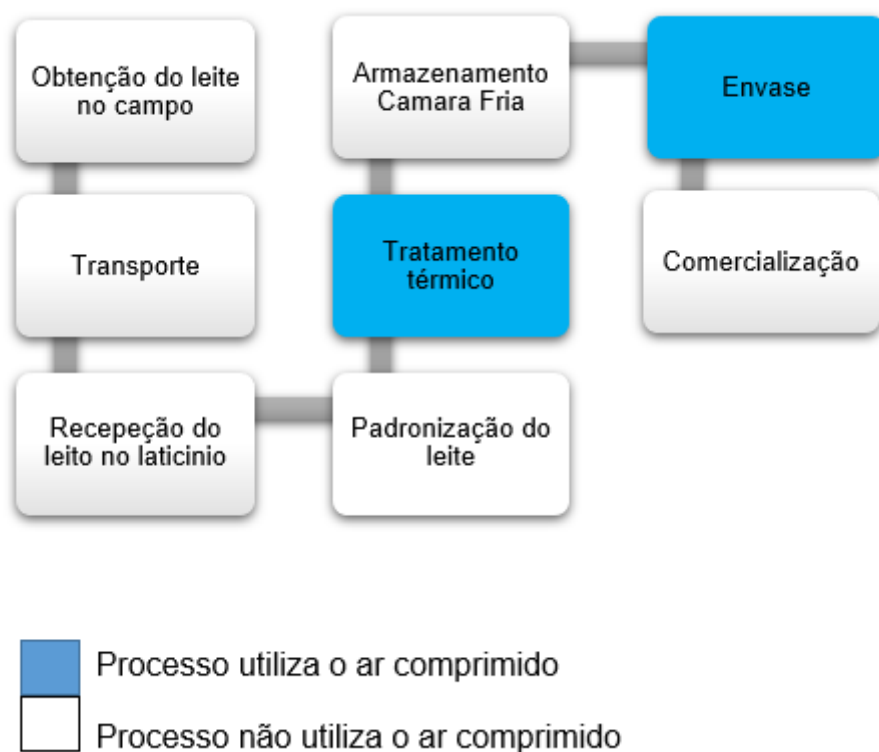


Figura 17- Beneficiamento do leite
 Fonte: Autoria própria

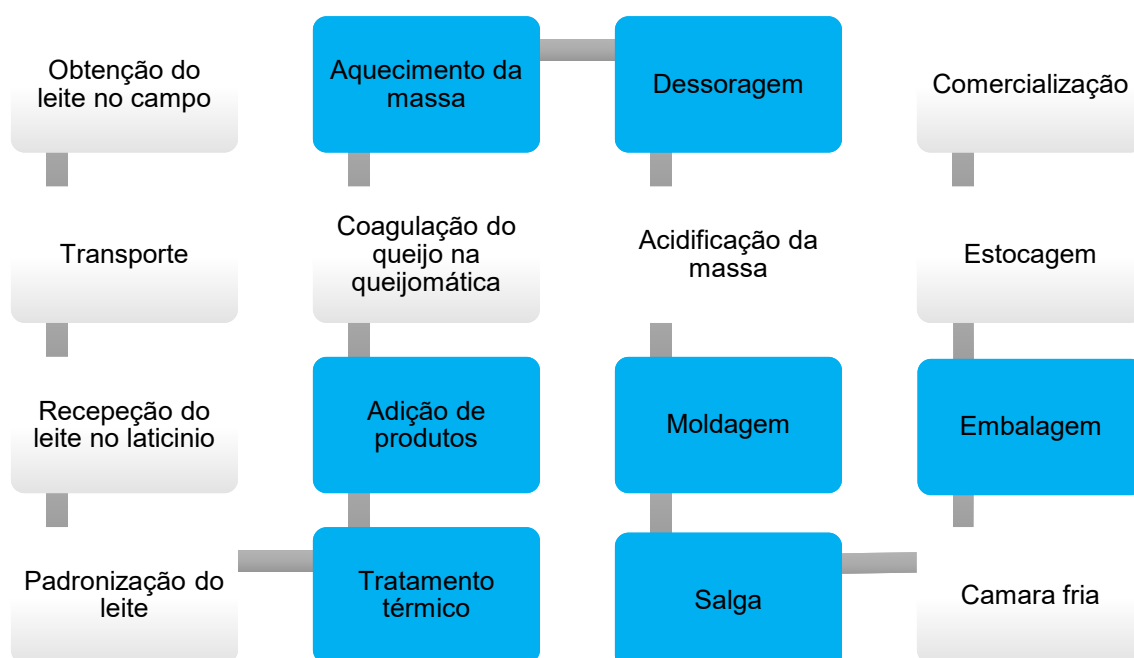
Etapa	Processo
Obtenção de leite no campo	Coleta do leite armazenado nos resfriadores nas propriedades rurais.
Transporte	Transporte realizado através de caminhões das propriedade rurais até a Industria.
Recepção do leite no laticínio	Análise do leite contido no caminhão, e aprovado é transferido para os tanques de expansão.
Padronização do leite	O leite é classificado quando a porcentagem de gordura contido no mesmo.
Tratamento térmico	Tratamento térmico ou pasteurização consiste em um tratamento térmico do leite, com a finalidade de destruir todo meio microbiano contido no mesmo.

Etapa	Processo
Armazenamento	O produto é mantido m tanques de expansão com temperatura controlada.
Envase	São envasados nos recipientes comercialização.
Comercialização	Transporte do produto final até o comércio final.
Obtenção de leite no campo	Coleta do leite armazenado nos resfriadores nas propriedades rurais.
Transporte	Transporte realizado através de caminhões das propriedade rurais até a Industria.
Recepção do leite no laticínio	Análise do leite contido no caminhão, e aprovado é transferido para os tanques de expansão.
Padronização do leite	O leite é classificado quando a porcentagem de gordura contido no mesmo.
Tratamento térmico	Tratamento térmico ou pasteurização consiste em um tratamento térmico do leite, com a finalidade de destruir todo meio microbiano contido no mesmo.
Armazenamento	O produto é mantido m tanques de expansão com temperatura controlada.
Envase	São envasados nos recipientes comercialização.
Comercialização	Transporte do produto final até o comércio final.

Quadro 8: Etapas do processo produtivo do Leite

Fonte: Aatoria própria

O beneficiamento do leite como produto final está estruturado com cada particularidade do processo descrito no Quadro 8 supracitado. Já o leite beneficiado pela indústria também destina-se a fabricação do queijo mussarela, que pode ser compreendido através da Figura 18.



- Processo utiliza o ar comprimido
- Processo não utiliza o ar comprimido

Figura 18 - Produção do queijo mussarela
Fonte: Autoria própria

O beneficiamento do queijo como produto final está estruturado com cada particularidade do processo descrito no Quadro 9.

Processo	Utilização do ar comprimido
Obtenção de leite no campo	Coleta do leite armazenado nos resfriadores nas propriedades rurais.
Transporte	Transporte realizado através de caminhões das propriedade rurais até a Industria.
Recepção do leite no laticínio	Análise do leite contido no caminhão, e aprovado é transferido para os tanques de expansão.

Processo	Utilização do ar comprimido
Padronização do leite	O leite é classificado quando a porcentagem de gordura contido no mesmo.
Tratamento térmico	Tratamento térmico ou pasteurização consiste em um tratamento térmico do leite, com a finalidade de destruir todo meio microbiano contido no mesmo.
Adição de Produtos	Quando o produto passa pela pasteurização ele entra na queijomática e recebe a adição de alguns produtos como: cloreto de cálcio, fermento láctico e a quimosina
Coagulação do queijo	O queijo permanece então na queijomática para Coagulação e filetagem.
Aquecimento da massa	Mantem-se aquecido a uma temperatura de 35°C á 42°C
Dessoragem	É liberado o soro liberado pela massa
Acidificação da massa	Os produtos são mantidos por duas horas em locais apropriados para adquirir acidez satisfatória ao processo.
Moldagem	Processo em que as peças são colocadas em moldes e prensados
Salga	Os produtos são imersos em tanques de água com sal e mantidos pelo período de 16 á 20 horas com água e sal na proporção de 20% de sal.
Câmara Fria	Resfriamento do produto
Embalagem	Corte do produto e filetagem
Estocagem	Mantido em câmara fria até o carregamento.
Comercialização.	Transporte do produto final em caminhões resfriados até o comércio final.

Quadro 9 - Processo de beneficiamento do queijo como produto final

Fonte: Autoria própria

A utilização do ar comprimido está inserido em diversas etapas do processo produtivo sendo na produção do queijo ou no beneficiamento do leite pode ser observado nas figuras 19 e 20. Sendo que a única fonte de geração deste ar comprimido é o compressor de ar do estudo de caso em questão. O ar comprimido atua na automação da planta sendo melhor observado a função em cada processo conforme o quadro 10.

Processo	Utilização do ar comprimido
Tratamento térmico	Atuação de válvulas para liberação de vapor.
Envase	Atuação de válvulas para liberação e dosagem do produto.
Adição de produtos	Atuação de válvulas para adição e dosagem dos produtos a serem adicionados.
Aquecimento da massa	Atuação de válvulas para liberação de vapor.
Dessoragem	Atuação de válvulas rotativas que liberam o soro.
Moldagem	Atuação de cilindros pneumáticos para prensa e molde.
Salga	Atuação de válvulas para adição e dosagem dos produtos a serem adicionados.
Embalagem	Atuação na secagem das embalagens, dosagem e pesagem dos produtos.

Quadro 10: Utilização do ar comprimido

Fonte: Autoria própria

Os eventos de falhas nesse ativo, que ocasionarem a interrupção do seu funcionamento, interferem no processo produtivo da planta da indústria.

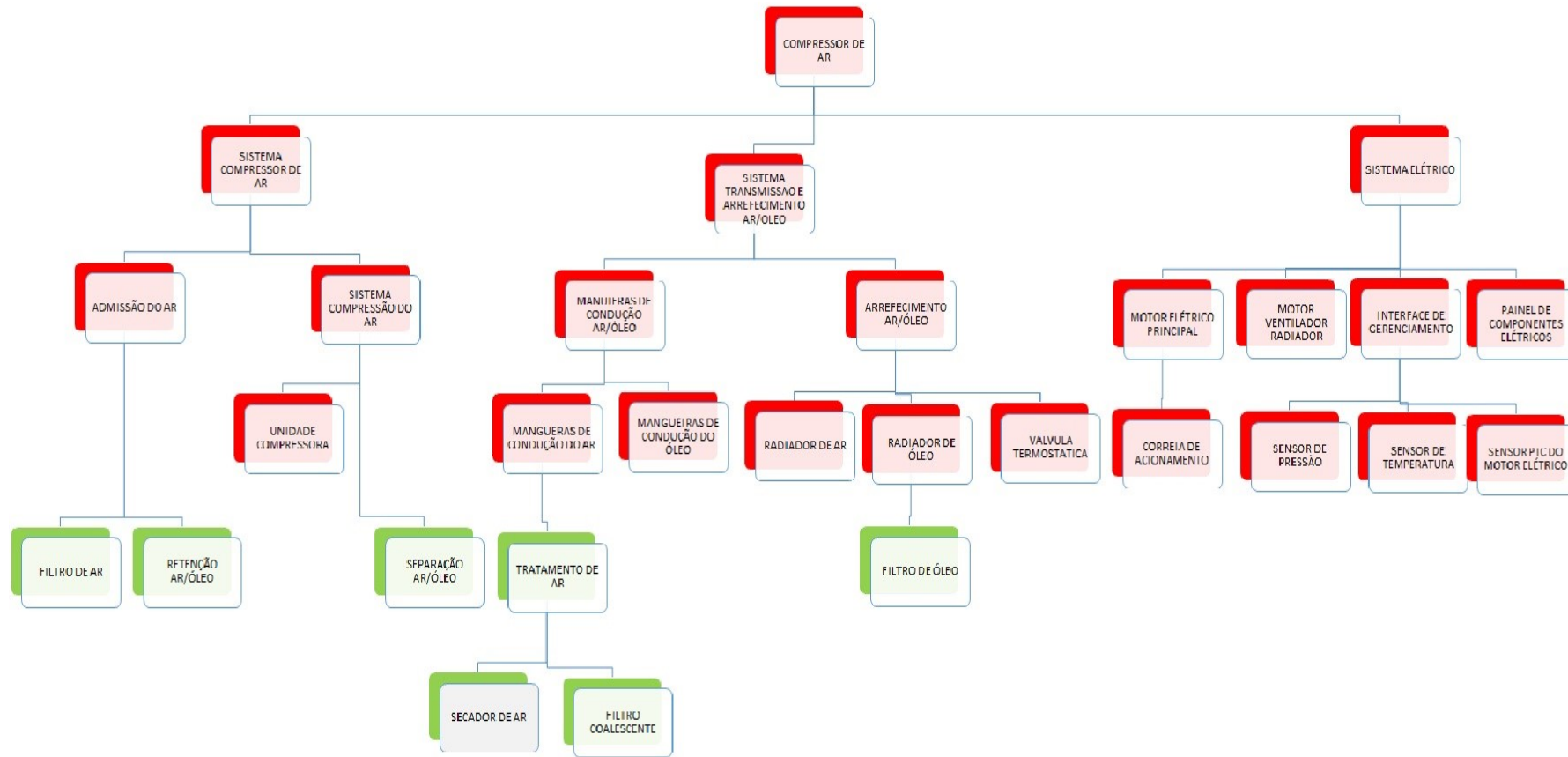
Porém se o sistema de ar comprimido ficar inoperante a automação que o mesmo realiza pode ser realizada manualmente, em contra partida isto acarreta muita demora no processo produtivo gerando altos custos na produção.

Portanto a aplicação dos métodos decisórios para priorizar atividades preventivas e preditivas no compressor de ar justifica-se por.

- I. As ocorrências de falhas no compressor podem ocasionar paradas imprevistas da planta industrial gerando custos de improdutividade.
- II. Equipamento possui mais de um evento de falha de ordem corretiva desde seu Startup, evento incomum a equipamentos de mesma capacidade produtiva.
- III. O seu mecanismo de funcionamento não possui backup ativo e/ou passivo, sendo toda a linha de funcionamento em série, o qual necessita-se de atenção, pois pode gerar gargalos.
- IV. As ocorrências de falhas negligenciadas podem gerar riscos à saúde do consumidor final.

O Compressor de ar estudado, enquadrasse nos modelos de compressores rotativos de parafuso, fabricado no ano de 2016. Modelo SRP 4015 Flex ADS (Ar direto com secador de ar), Potência motora principal 15Hp, Série 4000, pressão de carga 6.5 Bar, Pressão de Alívio 7.5 Bar, Fabricante SCHULZ S.A.

Para observação e controle dos pontos críticos em relação a geração de falhas, estrutura-se a árvore funcional da figura 19, para compreensão do mecanismo de compressão de ar presente no compressor.



NIVEIS DE CRITICIDADE

INTERFEREM NO FUNCIONAMENTO

NÃO INTERFERE NO FUNCIONAMENTO

Figura 19: Arvore Funcional compressor

Fonte: Autoria própria

O compressor do estudo de caso possui uma árvore funcional com três sistemas principais, os quais são divididos em 27 subsistemas. Sendo que 20 destes sistemas possuem nível extremo de criticidade, ou seja, ocorrendo falhas podem acarretar problemas no funcionamento do compressor de ar por não possuírem backup ativo/ou passivo.

Na figura 20 pode-se observar o sistema compressor de ar, com os seus principais componentes em destaque, servindo para uma melhor compreensão.

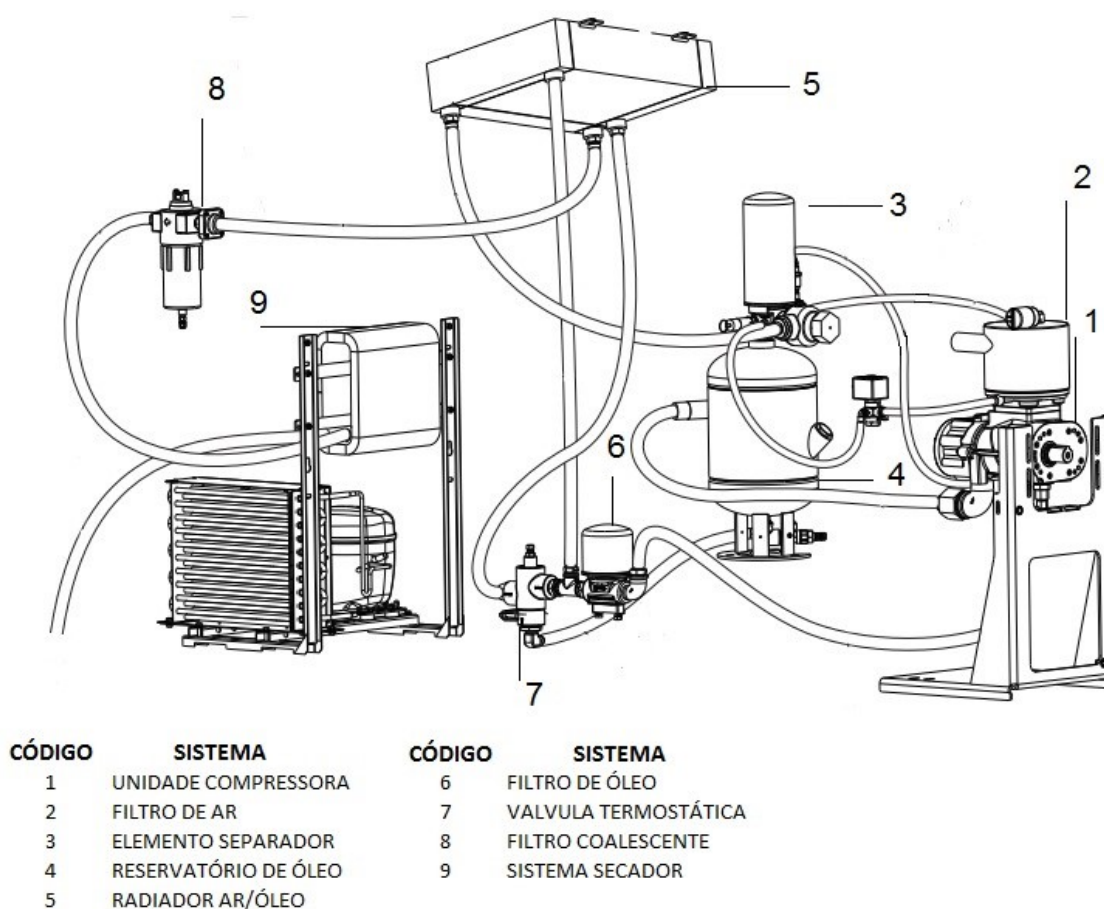


Figura 20- Sistema compressor de ar
Fonte: Adaptado de Schulz manual de treinamento básico.

O sistema de funcionamento deste compressor é compreendido da seguinte maneira. O ar comprimido é admitido pelo filtro de ar, aonde a unidade compressora realiza o trabalho de compressão do ar juntamente com o óleo após o ar e óleo são transportados sobre certa pressão até o elemento separador.

O elemento separador é responsável pela desagregação do ar contido no óleo, o óleo é então submetido a passar pela válvula termostática, a qual possui a função de designar o óleo quando possuir uma temperatura superior a 82°C a passar pelo radiador para seu resfriamento, e então o óleo é filtrado pelo filtro de óleo para remoção de impurezas e assim voltar ao sistema.

O Ar comprimido após a passagem pelo elemento separador, percorre o sistema chegando ao radiador para resfriamento, e em seguida é submetido a passar pelo secador de ar, responsável por retirar todo condensado de água e óleo contido no mesmo, tornando assim o ar comprimido livre de impurezas.

Na figura 20 está representado o sistema de compressão ar/óleo sendo observado que o sistema não possui nenhum tipo de backup, todos os subsistemas tornam-se uma espécie de gargalo na produção.

As altas temperaturas de trabalho por excesso de produção e tempo ininterrupto de funcionamento em carga tornam o compressor ainda mais vulnerável a falhas. A figura 21 representa um compressor do mesmo modelo ao estudado.



Figura 21: Compressor modelo 4015

Fonte: Autoria própria

4.3 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Para que possa ser tratadas as falhas estrutura-se o histórico de falhas do compressor de ar rotativo de parafuso desde o período da sua instalação em Janeiro de 2017 até de Outubro 2019. A Tabela 02 mostra o histórico de falhas correspondente ao período.

(Início)

TAG	DESCRIÇÃO DO TAG	SUBSISTEMA	OS	DESCRIÇÃO DA OS	DATA
COMP-001	Compressor 1	Compressor de ar	1	Partida técnica e instalação compressor de ar	18/01/2017
COMP-001/SIAR	Sistema de arrefecimento compressor 1	Sistema de arrefecimento ar/óleo	2	Manutenção preventiva, primeiras 300 horas de operação /troca de filtro de óleo primeiras 300 horas	21/02/2017
COMP-001/SIAR	Sistema de arrefecimento compressor 1	Sistema de arrefecimento ar/óleo	3	Compressor desarmando por temperatura/troca de válvula termostática, compressor aquecendo acima do normal	25/06/2017
COMP-001/SICOM	Sistema compressor de ar compressor 1	Sistema compressor de ar	4	Substituição do cilindro difusor, filtro de óleo e filtro de ar.: motivo. Anel de vedação da retenção de admissão rompeu entrou no sistema de compressão, acabou sendo retido pelo filtro de óleo. Por consequência o óleo subiu e acabou danificando o filtro de ar	14/09/2017
COMP-001/SICOM	Sistema compressor de ar compressor 1	Sistema compressor de ar	5	Substituição do conjunto cilindro difusor e reparo da retenção itens com defeito.	18/09/2017

(Continua)

TAG	DESCRIÇÃO DO TAG	SUBSISTEMA	OS	DESCRIÇÃO DA OS	DATA
COMP-001/SIAR	Sistema de arrefecimento compressor 1	Sistema de arrefecimento ar/óleo	6	Compressor desarmando por temperatura; nível baixo de óleo	18/09/2017
COMP-001/SICOM - COMP-001/SIAR	Sistema de arrefecimento compressor 1 -sistema compressor de ar compressor 1	Sistema de arrefecimento ar/óleo e sistema compressor de ar	7	Manutenção preventiva troca dos elementos filtro de ar, filtro de óleo e óleo.	25/10/2017
COMP-001/SICOM	Sistema compressor de ar compressor 1	Sistema compressor de ar	8	Compressor com vazamento de óleo: substituir selo de vedação da unidade	15/01/2018
COMP-001/SIAR	Sistema de arrefecimento compressor 1	Sistema de arrefecimento ar/óleo	9	Troca de filtro de óleo horas ultrapassadas	10/04/2018

(Continua)

TAG	DESCRIÇÃO DO TAG	SUBSISTEMA	OS	DESCRIÇÃO DA OS	DATA
COMP-001/SIAR	Sistema de arrefecimento compressor 1	Sistema de arrefecimento ar/óleo	10	Substituir mangueira de transmissão de óleo, completar nível de óleo	17/05/2018
COMP-001/SICOM - COMP-001/SIAR	Sistema de arrefecimento compressor 1 -sistema compressor de ar compressor 1	Sistema de arrefecimento ar/óleo e sistema compressor de ar	11	Manutenção preventiva, substituição filtro de óleo, elemento separador e óleo.	13/06/2018
COMP-001/SICOM - COMP-001/SIAR	Sistema de arrefecimento compressor 1 -sistema compressor de ar compressor 1	Sistema de arrefecimento ar/óleo e sistema compressor de ar	12	Manutenção preventiva, substituição filtro de óleo e filtro de ar.	13/08/2018
COMP-001/SIAR	Sistema de arrefecimento compressor 1	Sistema compressor de ar	13	Compressor não carrega, troca conjunto cilindro difusor e limpeza do radiador ar/óleo.	06/09/2018

(Continua)

TAG	DESCRIÇÃO DO TAG	SUBSISTEMA	OS	DESCRIÇÃO DA OS	DATA
MP-001/SICOM - COMP-001/SIAR	Sistema de arrefecimento compressor 1 -sistema compressor de ar compressor 1	Sistema de arrefecimento ar/óleo e sistema compressor de ar	15	Manutenção preventiva, substituição do filtro de ar, filtro de óleo, elemento separador e óleo.	07/12/2018
COMP- 001/SICOM - COMP-001/SIAR	Sistema de arrefecimento compressor 1 -sistema compressor de ar compressor 1	Sistema de arrefecimento ar/óleo e sistema compressor de ar	16	Manutenção preventiva, substituição do filtro de ar, filtro de óleo e óleo.	20/02/2019
COMP- 001/SICOM - COMP-001/SIAR	Sistema de arrefecimento compressor 1 -sistema compressor de ar compressor 1	Sistema de arrefecimento ar/óleo e sistema compressor de ar	17	Manutenção preventiva, substituição filtro de ar filtro de óleo, elemento separador e óleo.	16/05/2019

(Fim)

TAG	DESCRIÇÃO DO TAG	SUBSISTEMA	OS	DESCRIÇÃO DA OS	DATA
COMP-001/SICOM - COMP-001/SIAR	Sistema de arrefecimento compressor 1 -sistema compressor de ar compressor 1	Sistema de arrefecimento ar/óleo e sistema compressor de ar	18	Manutenção preventiva, substituição do filtro de ar, filtro de óleo e óleo.	29/07/2019
COMP-001/SISTELE	Sistema elétrico compressor 001	Motor elétrico principal	19	Compressor não produz ar, substituição das correias de transmissão.	10/08/2019

Tabela 2: Histórico de falhas**Fonte: Autoria própria**

Subsistema	Frequência (f)	TTR total(h)
Sistema de arrefecimento ar/óleo	6	42,5
Compressor de ar	1	4
Sistema compressor de ar	5	3,5
Motor elétrico principal	1	1

Tabela 3: Frequência de falhas por subsistema

Fonte: Autoria própria

A Tabela 3 apresenta as falhas que ocasionaram parada do equipamento para intervenção, agrupadas por subsistemas. Sendo melhor compreendido na figura 22 os sistemas em que mais ocorreram falhas.

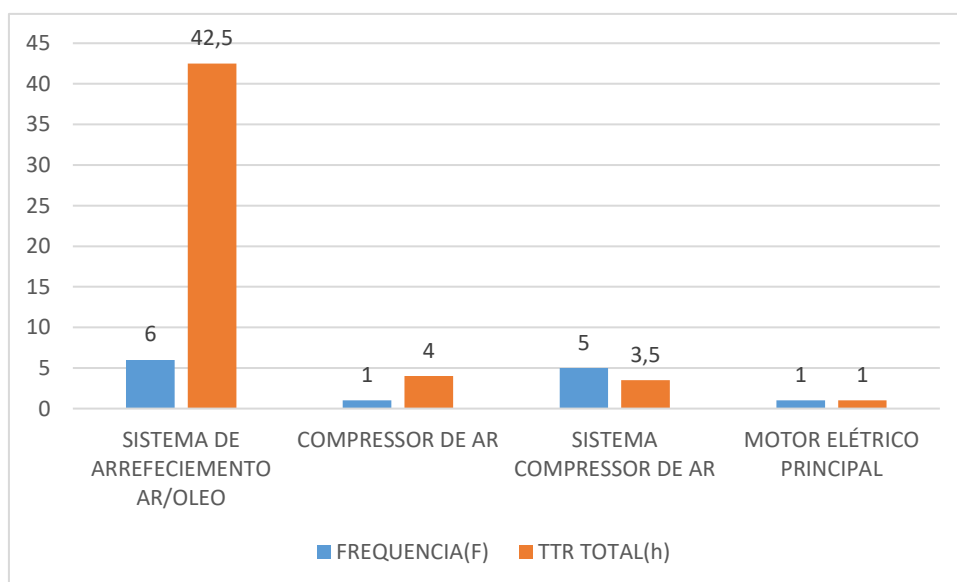


Figura 22 - Tempo total de reparo x frequência

Fonte: Autoria própria

Com base na tabela 3, pode-se observar que a maior frequência de falhas ocorreu no sistema de arrefecimento de ar/óleo ocasionando um tempo total de reparo de 42,5 horas. Enquanto ocorreram outras sete paradas com tempo inferior a 8,5 horas.

4.4 TRATATIVA DOS DADOS PARA REALIZAÇÃO DO COPRAS E DO PROMETHEE.

Para a aplicação dos métodos COPRAS e PROMETHEE e para montar a matriz de decisão utilizou-se como base as instruções de manutenção preventiva conforme manual do fabricante dos compressores rotativos Schulz. Estas instruções podem ser observadas no Quadro 11.

Plano preventivo compressor	Descrição da atividade preventiva	Falha associada a não realização da atividade preventiva
Diário	Verificar as indicações na interface	Falha por temperatura. (Os 3, os 16, os 17)
Semanal	Verificar nível de restrição de ar	Falha no carregamento
Semanal	Verificar tensão e estado das correias	Ruptura das correias (Os 19)
Semanal	Verificar nível de óleo	Falha por temperatura (Os 6, os 8, os 10)
Semanal	Verificar nível de restrição elemento separador ar/óleo	Contaminação da rede pneumática
Mensal	Limpeza do radiador e condensador	Falha por temperatura (Os 13)
Mensal	Verificar a existência de vazamentos de óleo	Falha por temperatura (Os 8, os 10)
Semestral	Reaperto de conexões e parafusos	Falha no carregamento

Plano preventivo compressor	Descrição da atividade preventiva	Falha associada a não realização da atividade preventiva
Anual	Inspecionar a válvula de segurança	Falha por sobre pressão
Anual	Substituir elemento filtro coalescente	Falha por sobre pressão
1000 horas	Substituir filtro de ar	Falha no carregamento (Os 3, os4, os7, os 16)
1000 horas	Substituir filtro de óleo	Falha por temperatura (Os 4, os 7, os 9, os 16)
1000 horas	Reapertar as conexões elétricas	Curto-circuito do sistema elétrico
1000 horas	Limpeza do compressor	Falha por temperatura
1000 horas	Verificar nível de restrição do filtro coalescente	Falha por sobre pressão
3000 horas	Substituir elemento separador ar/óleo	Falha no carregamento
3000 horas	Verificar a condição das mangueiras	Falha por temperatura
4000 horas	Trocar óleo lubrificante	Falha por temperatura (Os 4, os 7, os 16)

Quadro 11- Instruções de manutenção preventiva
Fonte: Manual compressores Schulz 2002

Foram definidas seis variáveis para cada tipo de manutenção listadas abaixo. Com o intuito de maximizar ou minimizar quanto a importância relativa de cada item.

As variáveis definidas foram:

- Lucro cessante se realizada a manutenção preventiva; o seu objetivo é de maximizar os índices por quanto menor o lucro cessante melhor para o empresa.

- Lucro cessante de corretiva: da mesma forma que o lucro cessante se realizada a preventiva o seu objetivo também é de maximizar os índices.
- Tempo de TTR para a preventiva; tem por objetivo maximizar os índices pois quanto menor o TTR maior será o tempo disponível para produção.
- Tempo máximo de TTR para corretiva; também possui objetivo de maximizar os índices pois parte de uma ordem de hipótese de quanto menor o tempo de reparo, maior será o seu tempo disponível.
- Nível de segurança para o meio ambiente e segurança dos colaboradores. Por se tratar de uma variável qualitativa, foi atribuído valores para quantificar o risco de segurança e/ou impacto no meio ambiente durante a execução da atividade de manutenção, sendo 1 - Alto impacto, 2 - Impacto moderado, 3- Impacto fraco e 4 - Não há impacto.
- Risco de contaminação das linhas pneumáticas. Por também se tratar de uma variável qualitativa, atribuiu-se valores para quantificar o risco de contaminação das linhas pneumáticas que transportam o ar comprimido dentro da fábrica caso ocorra a falha, sendo 1 – Alto risco, 2 – Risco moderado, 3 – Risco mínimo e 4 – Não há risco.

Os pesos decisores foram definidos através de alguns aspectos sendo eles: em função dos dados de custo com manutenções ao longo do tempo, entrevista com os gestores da fábrica e operadores, dados relacionados ao meio de instalação e histórico de falhas. Ficaram estabelecidos os pesos da seguinte maneira: Foi definido o peso de 0,1 equivalente a 10% para as variáveis relacionadas a manutenção preventiva, pois ela teoricamente gera o menor impacto relativo a indústria pois o seu valor de TTR é menor do que a corretiva e seu lucro cessante também é menor do que a corretiva. Já o peso maior de 0,2 ou 20% foi definido para as quatro variáveis restantes, as quais teoricamente geram um impacto maior a indústria, sendo duas variáveis ligadas ao meio ambiente, segurança dos colaboradores e qualidade do ar distribuído o processo produtivo. E as outras duas variáveis ligadas diretamente ao lucro cessante da empresa quando é necessário a intervenção corretiva, que gera maior TTR.

A tabela 4 e 5 mostra a matriz de decisão por COPRAS e PROMETHEE devidamente preenchida com todos os dados para realização dos cálculos.

(Início)							
COPRAS							
Estudo de caso: priorização de atividades preventivas e preditivas							
Matriz de decisão							
		MAX	MAX	MAX	MAX	MIN	Min
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
Alternativas; onde: a_{ij} = desempenho (valor da alternativa(i) sobre o critério (j))		Lucro cessante se realizada a manutenção preventiva (R\$)	Lucro cessante de corretiva (R\$)	Tempo de ttr para preventiva (h)	Tempo máximo de ttr para corretiva caso ocorra a falha (h)	Nível de segurança para o meio ambiente e segurança dos colaboradores	Se ocorrer a falha qual o risco de contaminação das linhas pneumáticas.
A1	Verificar as indicações na interface	244,44	17.599,68	0,0833	6	4	3
A2	Verificar nível de restrição de ar	244,44	4.399,92	0,0833	1,5	4	4
A3	Verificar tensão e estado das correias	0	4.399,92	0	1,5	3	4
A4	Verificar nível de óleo	0	17.599,68	0	6	3	4
A5	Verificar nível de restrição elemento separador ar/óleo	244,44	4.399,92	0,0833	1,5	1	2

(Continua)

COPRAS

Estudo de caso: priorização de atividades preventivas e preditivas

Matriz de decisão

Alternativas; onde: a_{ij} = desempenho (valor da alternativa(i) sobre o critério (j))	MAX	MAX	MAX	MAX	MIN	Min	
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	
	Lucro cessante se realizada a manutenção preventiva (R\$)	Lucro cessante de corretiva (R\$)	Tempo de ttr para preventiva (h)	Tempo máximo de ttr para corretiva caso ocorra a falha (h)	Nível de segurança para o meio ambiente e segurança dos colaboradores	Se ocorrer a falha qual o risco de contaminação das linhas pneumáticas.	
A6	Limpeza do radiador e condensador	0	1.466,64	0	0,5	4	4
A7	Verificar a existência de vazamentos de óleo	977,76	17.599,68	0,5	6	1	3
A8	Reaperto de conexões e parafusos	0	17.599,68	0	6	2	4
A9	Inspecionar a válvula de segurança	488,88	17.599,68	0,0833	6	1	4
A10	Substituir elemento filtro coalescente	0	5.866,56	0	2	1	1

(Continua)

COPRAS

Estudo de caso: priorização de atividades preventivas e preditivas

Matriz de decisão

Alternativas; onde: a_{ij} = desempenho (valor da alternativa(i) sobre o critério (j))	MAX	MAX	MAX	MAX	MIN	Min	
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	
	Lucro cessante se realizada a manutenção preventiva (R\$)	Lucro cessante de corretiva (R\$)	Tempo de ttr para preventiva (h)	Tempo máximo de ttr para corretiva caso ocorra a falha (h)	Nível de segurança para o meio ambiente e segurança dos colaboradores	Se ocorrer a falha qual o risco de contaminação das linhas pneumáticas.	
A11	Substituir filtro de ar	0	4.399,92	0	1,5	4	3
A12	Substituir filtro de óleo	0	4.399,92	0	1,5	3	1
A13	Reapertar as conexões elétricas	0	11.733,12	0	4	4	4
A14	Limpeza do compressor	0	5.866,56	0	2	4	3
A15	Verificar nível de restrição do filtro coalescente	244,44	2.933,28	0,0833	1	2	1
A16	Substituir elemento separador ar/óleo	0	2.933,28	0	1	1	1

(Fim)							
COPRAS							
Estudo de caso: priorização de atividades preventivas e preditivas							
Matriz de decisão							
		MAX	MAX	MAX	MAX	MIN	Min
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
Alternativas; onde: a_{ij} = desempenho (valor da alternativa(i) sobre o critério (j))		Lucro cessante se realizada a manutenção preventiva (R\$)	Lucro cessante de corretiva (R\$)	Tempo de ttr para preventiva (h)	Tempo máximo de ttr para corretiva caso ocorra a falha (h)	Nível de segurança para o meio ambiente e segurança dos colaboradores	Se ocorrer a falha qual o risco de contaminação das linhas pneumáticas.
A17	Verificar a condição das mangueiras	1.466,64	17.599,68	0,5	6	1	4
A18	Trocar óleo lubrificante	0	17.599,68	0	6	3	4
	Peso decisor	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2
	Soma	3.911,04	175.996,80	1,4165	60	46	54

Tabela 4: Matriz de decisão COPRAS

Fonte: Autoria própria

(Início)

PROMETHEE II

Estudo de caso: priorização de atividades preventivas e preditivas

Matriz de decisão

		Max	Max	Max	Max	Min	Min
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
Alternativas; onde: a_{ij} = desempenho (valor da alternativa(i) sobre o critério (j))		Lucro cessante se realizada a manutenção preventiva (R\$)	Lucro cessante de corretiva (R\$)	Tempo de ttr para preventiva (h)	Tempo máximo de ttr para corretiva caso ocorra a falha (h)	Nível de segurança para o meio ambiente e segurança dos colaboradores	Se ocorrer a falha qual o risco de contaminação das linhas pneumáticas.
A1	Verificar as indicações na interface	244,44	17.599,68	0,0833	6	4	3
A2	Verificar nível de restrição de ar	244,44	4.399,92	0,0833	1,5	4	4
A3	Verificar tensão e estado das correias	0	4.399,92	0	1,5	3	4
A4	Verificar nível de óleo	0	17.599,68	0	6	3	4
A5	Verificar nível de restrição elemento separador ar/óleo	244,44	4.399,92	0,0833	1,5	1	2

(Continua)

PROMETHEE II							
Estudo de caso: priorização de atividades preventivas e preditivas							
Matriz de decisão							
Alternativas; onde: a_{ij} = desempenho (valor da alternativa(i) sobre o critério (j))	Max	Max	Max	Max	Min	Min	
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	
	Lucro cessante se realizada a manutenção preventiva (R\$)	Lucro cessante de corretiva (R\$)	Tempo de ttr para preventiva (h)	Tempo máximo de ttr para corretiva caso ocorra a falha (h)	Nível de segurança para o meio ambiente e segurança dos colaboradores	Se ocorrer a falha qual o risco de contaminação das linhas pneumáticas.	
A6	Limpeza do radiador e condensador	0	1.466,64	0	0,5	4	4
A7	Verificar a existência de vazamentos de óleo	977,76	17.599,68	0,5	6	1	3
A8	Reaperto de conexões e parafusos	0	17.599,68	0	6	2	4
A9	Inspecionar a válvula de segurança	488,88	17.599,68	0,0833	6	1	4

(Continua)

PROMETHEE II							
Estudo de caso: priorização de atividades preventivas e preditivas							
Matriz de decisão							
Alternativas; onde: a_{ij} = desempenho (valor da alternativa(i) sobre o critério (j))	Max	Max	Max	Max	Min	Min	
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	
	Lucro cessante se realizada a manutenção preventiva (R\$)	Lucro cessante de corretiva (R\$)	Tempo de ttr para preventiva (h)	Tempo máximo de ttr para corretiva caso ocorra a falha (h)	Nível de segurança para o meio ambiente e segurança dos colaboradores	Se ocorrer a falha qual o risco de contaminação das linhas pneumáticas.	
A10	Substituir elemento filtro coalescente	0	5.866,56	0	2	1	1
A11	Substituir filtro de ar	0	4.399,92	0	1,5	4	3
A12	Substituir filtro de óleo	0	4.399,92	0	1,5	3	1
A13	Reapertar as conexões elétricas	0	11.733,12	0	4	4	4
A14	Limpeza do compressor	0	5.866,56	0	2	4	3
A15	Verificar nível de restrição do filtro coalescente	244,44	2.933,28	0,0833	1	2	1
A16	Substituir elemento separador ar/óleo	0	2.933,28	0	1	1	1

(Fim)

PROMETHEE II							
Estudo de caso: priorização de atividades preventivas e preditivas							
Matriz de decisão							
Alternativas; onde: a_{ij} = desempenho (valor da alternativa(i) sobre o critério (j))	Max	Max	Max	Max	Min	Min	
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	
	Lucro cessante se realizada a manutenção preventiva(R\$)	Lucro cessante de corretiva (R\$)	Tempo de ttr para preventiva (h)	Tempo máximo de ttr para corretiva caso ocorra a falha (h)	Nível de segurança para o meio ambiente e segurança dos colaboradores	Se ocorrer a falha qual o risco de contaminação das linhas pneumáticas.	
A17	Verificar a condição das mangueiras	1.466,64	17.599,68	0,5	6	1	4
A18	Trocar óleo lubrificante	0	17.599,68	0	6	3	4
	Máximo	1466,64	17599,68	0,5	6	4	4
	Mínimo	0	1466,64	0	0,5	1	1
	Max - min	1466,64	16133,04	0,5	5,5	3	3
	W(weight)=peso	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2

Tabela 5: Matriz de decisão PROMETHEE

Fonte: Autoria própria

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todas as manutenções preventivas foram realizadas conforme orientação do fabricante por meio de manual. A base de dados construída desde o período de start up que foi em 2017 até os últimos relatórios de 2019, relatórios obtidos a partir da base de dados da empresa terceirizada que presta serviço.

Observou-se um grande problema quanto ao tempo total de reparo do ativo, pois o mesmo necessita de uma equipe terceirizada para prestar serviço, pois os técnicos da empresa não são capacitados a realizar manutenções neste ativo.

Portanto o tempo total de reparo acaba sendo maior pelo tempo de deslocamento até o local, do que propriamente a manutenção a ser realizada.

Foi indicado a empresa a capacitação de um técnico para que possa realizar atividades básicas de manutenção preventiva e até mesmo algumas corretivas que possam ser resolvidas sem muito conhecimento específico do ativo.

Conforme as matrizes de decisão elaboradas, foram realizados os cálculos e obtidos os resultados de COPRAS e PROMETHEE para priorização das atividades preventivas e preditivas a serem executadas.

O quadro 15 mostra a priorização das atividades por meio do COPRAS. O qual teve como resultado a verificação da condição das mangueiras como principal manutenção a ser priorizada, seguido da verificação da existência de vazamentos e a inspeção da válvula de segurança.

Classificação geral COPRAS		
A17	Verificar a condição das mangueiras	1
A7	Verificar a existência de vazamentos de óleo	2
A9	Inspeccionar a válvula de segurança	3
A1	Verificar as indicações na interface	4
A10	Substituir elemento filtro coalescente	5
A8	Reaperto de conexões e parafusos	6
A16	Substituir elemento separador ar/óleo	7

Classificação geral COPRAS		
A5	Verificar nível de restrição elemento separador ar/óleo	8
A18	Trocar óleo lubrificante	9
A4	Verificar nível de óleo	9
A15	Verificar nível de restrição do filtro coalescente	11
A13	Reapertar as conexões elétricas	12
A2	Verificar nível de restrição de ar	13
A12	Substituir filtro de óleo	14
A14	Limpeza do compressor	15
A3	Verificar tensão e estado das correias	16
A11	Substituir filtro de ar	17
A6	Limpeza do radiador e condensador	18

Quadro 12: Ranking geral obtido através do COPRAS

Fonte: A autoria própria

O quadro 16 mostra a classificação obtido por meio do PHOMETHEE. O método teve por resultado de priorização a substituição do elemento separador, por conseguinte a substituição do elemento do filtro coalescente e na sequência verificação do nível de restrição do filtro coalescente.

Classificação geral PROMETHEE		
A16	Substituir elemento separador ar/óleo	1
A10	Substituir elemento filtro coalescente	2
A15	Verificar nível de restrição do filtro coalescente	3
A5	Verificar nível de restrição elemento separador ar/óleo	4
A12	Substituir filtro de óleo	5
A6	Limpeza do radiador e condensador	6
A3	Verificar tensão e estado das correias	7
A11	Substituir filtro de ar	7
A14	Limpeza do compressor	9
A2	Verificar nível de restrição de ar	10
A9	Inspecionar a válvula de segurança	11
A13	Reapertar as conexões elétricas	12

Classificação geral PROMETHEE		
A8	Reaperto de conexões e parafusos	13
A7	Verificar a existência de vazamentos de óleo	14
A4	Verificar nível de óleo	15
A18	Trocar óleo lubrificante	15
A1	Verificar as indicações na interface	17
A17	Verificar a condição das mangueiras	18

Quadro 13: Ranking geral obtido através do PROMETHEE
Fonte: Autoria própria

De acordo com resultados obtidos por meio dos dois métodos observa-se que eles não possuem o mesmo resultado de ranqueamento. O método COPRAS retornou com a priorização de atividades referentes aos critérios ligados a custo e tempo total para reparo, este método remeteu ao histórico de falhas que tem relação ao óleo lubrificante e por consequência o aumento da temperatura.

O método PROMETHEE mostrou a priorização de atividades referentes aos critérios de: nível de segurança e contaminação do meio ambiente e o risco de contaminação das redes pneumáticas.

O Quadro 17 mostra a falha primária e secundária ou até mesmo a consequência agregada que pode ser evitada quando realizado o plano de manutenção corretamente.

Ação preventiva		Falha primaria caso não ocorra a preventiva	Falha secundaria caso não ocorra a preventiva	Consequência agregada
A1	Verificar as indicações na interface	A	B	-
A2	Verificar nível de restrição de ar	B	-	-
A3	Verificar tensão e estado das correias	C	B	F
A4	Verificar nível de óleo	A	-	-
A5	Verificar nível de restrição elemento separador ar/óleo	-	-	D
A6	Limpeza do radiador e condensador	A	B	-
A7	Verificar a existência de vazamentos de óleo	A	H	E

	Ação preventiva	Falha primaria caso não ocorra a preventiva	Falha secundaria caso não ocorra a preventiva	Consequência agregada
A8	Reaperto de conexões e parafusos	B	A	E
A9	Inspecionar a válvula de segurança	G	-	F
A10	Substituir elemento filtro coalescente	G	-	D
A11	Substituir filtro de ar	B	-	-
A12	Substituir filtro de óleo	A	H	-
A13	Reapertar as conexões elétricas	J	-	-
A14	Limpeza do compressor	A	-	-
A15	Verificar nível de restrição do filtro coalescente	G	-	D
A16	Substituir elemento separador ar/óleo	B	-	D
A17	Verificar a condição das mangueiras	A	I	E
A18	Trocar óleo lubrificante	A	H	-

A	Falha por sobre temperatura	D	Contaminação da rede pneumática	G	Falha por sobre pressão
B	Falha no carregamento	E	Contaminação do meio ambiente	H	Quebra do sistema mecânico
C	Ruptura das correias	F	Segurança dos colaboradores	I	Vazamentos nas vedações
				J	Curto-circuito do sistema elétrico
	Falhas que não interferem no funcionamento				
	Falhas que interferem no funcionamento				

Quadro 14- Falhas associadas a falta de manutenção preventiva
Fonte: Autoria própria

5.1 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS MÉTODOS COPRAS E PROMETHEE.

Utilizou-se a análise de sensibilidade nos métodos COPRAS e PROMETHEE substituindo os pesos decisores de cada critério para observar se existe relação com outro peso atribuído.

Os pesos atribuídos foram alterados conforme o resultado de cada um dos métodos. Para o método COPRAS as alternativas escolhidas para alteração dos pesos foram; Lucro cessante de manutenção preventiva alterando seu peso de 0,1 para 0,2; TTR de preventiva alterado o peso de 0,1 para 0,2; Lucro cessante se ocorrer a corretiva de 0,2 para 0,1 e TTR de corretiva de 0,2 para 0,1.

E no método PROMETHEE os pesos alterados foram aqueles que poderiam estar demonstrando uma tendência a sua escolha que são: nível de segurança para o meio ambiente e segurança dos colaboradores e o risco de contaminação das linhas pneumáticas, foram alterados de 0,2 para 0,1 e os demais critérios ficaram equiparados com 0,2.

A alteração no COPRAS teve o intuito de observar se os pesos atribuídos para a manutenção preventiva forem maiores, desconsiderando uma ação corretiva, a priorização das atividades seria alterada.

O resultado com o ranking das atividades utilizadas pelo COPRAS pode ser observado na tabela 6.

Classificação geral COPRAS (análise de sensibilidade)		
A11	Substituir filtro de ar	1
A15	Verificar nível de restrição do filtro coalescente	2
A8	Reaperto de conexões e parafusos	3
A9	Inspeccionar a válvula de segurança	4
A14	Limpeza do compressor	5
A17	Verificar a condição das mangueiras	6
A4	Verificar nível de óleo	7
A3	Verificar tensão e estado das correias	8
A7	Verificar a existência de vazamentos de óleo	9
A1	Verificar as indicações na interface	10
A16	Substituir elemento separador ar/óleo	11

Classificação geral COPRAS (análise de sensibilidade)		
A6	Limpeza do radiador e condensador	12
A12	Substituir filtro de óleo	13
A2	Verificar nível de restrição de ar	14
A13	Reapertar as conexões elétricas	15
A10	Substituir elemento filtro coalescente	16
A18	Trocar óleo lubrificante	17
A5	Verificar nível de restrição elemento separador ar/óleo	18

Tabela 6: Ranking COPRAS (Análise de sensibilidade)

Fonte: Autoria própria

Pode-se observar que atribuindo pesos maiores as alternativas relacionadas a preventiva a classificação geral muda, porém as atividades que devem ser priorizadas continuam ocupando as primeiras colocações, a mudança se dá porque agora a priorização passa a ser em atividades relacionadas diretamente a ações preventivas que não atentam-se ao histórico de falhas e também não se direciona a realizar a manutenção preventiva para evitar futuras manutenções corretivas.

A tabela 7 apresenta o ranking gerado pela análise de sensibilidade aplicada no método PROMETHEE.

Classificação geral PROMETHEE		
A16	Substituir elemento separador ar/óleo	1
A6	Limpeza do radiador e condensador	2
A12	Substituir filtro de óleo	3
A10	Substituir elemento filtro coalescente	4
A15	Verificar nível de restrição do filtro coalescente	5
A5	Verificar nível de restrição elemento separador ar/óleo	6
A11	Substituir filtro de ar	7
A3	Verificar tensão e estado das correias	8
A14	Limpeza do compressor	9
A2	Verificar nível de restrição de ar	10
A13	Reapertar as conexões elétricas	11
A8	Reaperto de conexões e parafusos	12
A4	Verificar nível de óleo	13
A18	Trocar óleo lubrificante	13

Classificação geral PROMETHEE		
A1	Verificar as indicações na interface	15
A9	Inspecionar a válvula de segurança	16
A7	Verificar a existência de vazamentos de óleo	17
A17	Verificar a condição das mangueiras	18

Tabela 7: Ranking PROMETHEE (Análise de sensibilidade)
Fonte: Autoria própria

Com o novo ranqueamento (priorização pela criticidade) se verifica que as primeiras posições ainda são ocupadas por atividades que visam a segurança do meio ambiente e dos colaboradores e o risco de contaminação das linhas pneumáticas, as mudanças de posições ocorreu pela ponderação de pesos maiores em outros critérios, mesmo assim não foi o suficiente para ocorrer mudanças drásticas de posição na priorização geral.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivos a realização dos métodos multicritérios COPRAS e PROMETHEE para priorização de atividades referente a manutenção preventiva e preditiva de um compressor de ar rotativo SRP4015 com base no histórico de falhas (período de 2017- 2019).

Para que o estudo fosse então realizado estruturou-se a árvore funcional do compressor com toda a sua estrutura mecânica de produção do ar comprimido e parte de arrefecimento, também semiestruturou o mapeamento do processo produtivo da indústria.

Os dois métodos de decisão aplicados: COPRAS e PROMETHEE, mostraram através dos resultados obtidos que podem ser usados como ferramentas auxiliaadoras do setor de manutenção na priorização de atividades.

Os dois métodos possuem diferentes modos de realizar os cálculos, por este motivo não pode-se ser montado um novo plano de manutenção preventiva mesclando os dois resultados. Deve-se realizar o novo plano de manutenção com base em um dos MCDM's porém o outro pode ser realizado para efeito de comparação a linha de resultados oferecido pelo primeiro método.

Com base na experiência profissional e entrevista com gestores da planta de laticínio em estudo, a priorização de atividades de manutenção preventiva e preditiva foi obtida pelo método COPRAS

Conclui-se através dos resultados fornecidos pelos métodos MCDM que o método COPRAS é o mais correto a ser utilizado no momento pois uma preocupação atual do setor da manutenção é com a sua disponibilidade operacional e no momento não está acontecendo a contaminação das linhas pneumáticas e nem existindo o risco de contaminação do meio.

Ainda com base no quadro 18, o modo de falha com maior número de aparições é por sobre temperatura e o método COPRAS resultou na priorização de atividades que podem inibir o surgimento deste modo de falha

Através dos métodos decisórios Multicritérios COPRAS e PROMETHEE pode-se ser observado que o plano de manutenção atualmente empregado na

preventiva do compressor rotativo SRP4015 conforme o manual, não está sendo eficaz neste momento.

Com isto foi elaborado um novo plano de manutenção com base no resultado do COPRAS e assim priorizou-se algumas atividades preventivas e preditivas anteriormente negligenciadas.

Assim, a aplicação de métodos decisórios no auxílio a gestão de manutenção se mostra eficaz para conferir maior confiabilidade na tomada de decisão, e a assim estrutura políticas mais assertivas a ativos industriais, contribuindo para garantia de confiabilidade e disponibilidade e operacional, conjuntamente com segurança aos funcionários e redução dos riscos de agressão ao meio ambiente durante a execução das tarefas de manutenção.

Uma política de manutenção assertiva também contribui para a otimização de recurso humanos, materiais e financeira, reduzindo: a probabilidade de ocorrência de falhas, a intervenção de manutenção e conseqüente troca de peças, o tempo de reparo e os custos com manutenção em geral, promovendo produtividade a indústria e maior faturamento.

6.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para melhoria no processo de manutenção do compressor em estudo se recomenda para trabalhos futuros:

- I. Análise do histórico de falhas, pois o mesmo apresenta um número elevado de falhas por excesso de temperatura. Recomenda-se um estudo futuro, após implantado o novo plano de manutenção preventiva e preditiva, com acompanhamento da temperatura do compressor, se há necessidade de substituição do ativo instalado por um de maior capacidade ou manutenção e/ou melhoria do plano de manutenção;
- II. Aplicação de outros Métodos Decisórios Multicritérios para maior consistência na priorização de atividades de manutenção.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Adiel T. de; FERREIRA P.; CAVALCANTE, Cristiano V. **A Review of Multicriteria and Multiobjective Models in Maintenance and Reliability Problems.** IMA Journal of Management Mathematics, 2015.p.249-271.

ALMEIDA, Paulo S. de. **Gestão da manutenção: aplicada as áreas industrial, predial e elétrica.** Érica. São Paulo, 2017.

ANIMAH, Isaac et al. **Selection of the most suitable life extension strategy for ageing offshore assets using a life-cycle cost-benefit analysis approach.** Journal of Quality in Maintenance Engineering, 2018.

ASSIS, Edilson M et al. **Generalized q-Weibull model and the bathtub curve.** International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 30 Iss 7 pp. 720 – 736. 2016.

BAUSYS, Romualdas; ZAVADSKAS, Edmundas K. **Multicriteria decision making approach by vikor under interval neutrosophic set environment.** Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research, Lithuania, 2008.

BEKAR, Ebru T.; ÇAKMAKCI Mehmet; KAHRAMAN Cengiz **Fuzzy COPRAS method for performance measurement in total productive maintenance: a comparative analysis.** Journal of Business Economics and Management, 2016.

BELINELLI, Marjorie, M. **Desenvolvimento de método para seleção de política de lubrificação de máquinas centrada em confiabilidade: aplicação na indústria alimentícia.** 2015. 315F. Tese (Doutorado/ Engenharia) – Escola politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo 2015.

BELTON, Valerie; STEWART, Theodor J. **Multiple Criteria Decision Analysis.** Springer, USA, 2002.

BERNARDES, Ednilson; JUNIOR, Jorge, M; NAKANO, Davi N. **Pesquisa qualitativa em engenharia de produção e gestão de operações.** Atlas, 2019.

BOUYSSOU, Denis; MARCHANT, Thierry; PIRLOT, Marc; TSOUKIÀS, Alexis, VINCKE, Philippe. **Evaluation and Decision Models with Multiple Criteria.** International Series in Operations Research & Management Science. Vol. 86. Berlin. 2006.

BRANS, Jean P.; MARESCHAL, Bertrand. **Prométhée-gaia: une méthodologie d'aide à la décision en présence de critères multiples.** statistique et mathématiques appliquées. Bruxelles,2002. p.163-195

BROWN, Robert J.; YANUCK, Rudolph R. **Introduction to Life Cycle Costing - The Fairmont Press, Inc. e Prentice-Hall. USA, 1985.**

CAPES, 2009. Documento de área 2009. Engenharias III. Disponível em:<https://www.capes.gov.br/images/stories/download/avaliacao/ENGIIII_%2022jun10b.pdf>. Acesso em: Maio de 2019.

CAVALCANTE, Cristiano A. V; DE ALMEIDA, Adiel T. **MODELO MULTICRITÉRIO DE APOIO A DECISÃO PARA O PLANEJAMENTO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA UTILIZANDO PROMETHEE II EM SITUAÇÕES DE INCERTEZA**. Pesquisa Operacional, v.25, n.2, p.279-296. 2005.

CAVALCANTE, Cristiano A. V; FERREIRA, Rodrigo J. P; DE ALMEIDA, Adiel T. **A preventive maintenance decision model based on multicriteria method PROMETHEE II integrated with Bayesian approach**. Journal of Management Mathematics. 2008.

CHAREONSUK, Chaichan; NAGARUR Nagen; TABUCANON Mario T. **A multicriteria approach to the selection of preventive maintenance intervals**. International journal of production economics. 1996.

CHATTERJEE, Prasenjit; MANIKRAO, Vijay Athawale CHAKRABORTY, Shankar, **Materials selection using complex proportional assessment and evaluation of mixed data methods**. Materials and Design, India, 2010.

COSTA, Marislaine C.; REZENDE, Rayane C. M.; LOPES Cassia, dos Santos; DA SILVA, Dessyrre A. P; DA SILVA, Rodrigo H. Plano de manutenção em um laticínio. In: **XXXII encontro nacional de engenharia de produção**. Abepro, 2015, Fortaleza.

DHILLON, Balbir S. **Engineering maintenance: a modern approach**. cRc press, 2002.

DHILLON, Balbir S. **Maintainability, maintenance, and reliability for engineers**. CRC press, 2006.

FIALHO, Arivelto B. **Automação pneumática: Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos**. Érica, 2003.

FIALHO, Arivelto B. **Automação Pneumática: Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos**. 2 ed. Érica-Editora. São Paulo, 2003.

FIALHO, Arivelto B. **Automação Hidráulica: Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos**. 6. ed. São Paulo, SP: Érica, 2011. p.289

FIALHO, Arivelto B. **Automatismos pneumáticos: princípios básicos, dimensionamentos de componentes e aplicações práticas**. 1. ed. São Paulo, SP: Érica, 2015. p.112

FILHO, José C. F. de A. CURY, Marcus, V. Q. **Análise de projetos de investimento**. Fundação Getúlio Vargas. Rio de Janeiro, 2018.

FOGLIATTO, Flávio Sanson; DUARTE, José Luís Ribeiro. **Confiabilidade e manutenção industrial** – Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

GEBARIN, Sabrin. **The Basics of Food-grade Lubricants** .Machinery Lubrication, 2009. Disponível em: < <https://www.machinerylubrication.com/Read/1857/food-grade-lubricants-basics> >. Acesso em: Maio de 2019.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas v. 5, 2010.

GUIMARAES, Leonardo M.; NOGUEIRA, Cássio F.; SILVA, Margarete D. B. da. Manutenção industrial: implementação da manutenção produtiva total (tpm). **Revista e-xacta**. Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 175-197, 2012.

HENN, Érico A. L. **Máquinas de fluido**. 3. ed. UFSM. Santa Maria.2012.

HORA, Henrique R. M; COSTA Helder G. **Proposta de um método multicritério para escolha múltipla**. Production, v. 25, n. 2, p. 441-453. 2015.

JIM, Girard. **The Continuing Evolution of Food-Grade Lubricants** .Machinery Lubrication, 2002. Disponível em: <https://www.machinerylubrication.com/Read/366/food-lubes>. Acesso em: Maio de 2019.

KAKLAUSKA, Habil A.; ZAVADSKAS, Edmundas K. PASTATŲ SISTEMOTECHNINIS VERUNIMAS. **Statyba** p.91.Technika, 1996.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção - Função Estratégica**. Segunda edição. Rio de Janeiro: QualityMark, 2001.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: função estratégica**. 3. ed. Qualitymark, Petrobras. Rio de Janeiro, 2009.

KEENEY, Ralph, L.; GREGORY, Robin, S. **Selecting Attributes to Measure the Achievement of Objectives**. Operations research Vol. 53, No. 1, p. 1–11. 2005.

KOBBACY, Khairy A. H.; MURTHY, Prabhakar. **Complex system maintenance handbook**. Springer Science & Business Media. 2008.

LEEMIS, Lawrence M. **Reliability; Probabilistic models and statistical methods**. Cliffs: Prentice-Hall. Englewood, 1995. p.319.

LEITE, IGOR M. S.; FREITAS, Felipe F. T. Análise comparativa dos métodos de apoio multicritério a decisão: ahp, electre e promethee. In: **XXXII encontro nacional de engenharia de produção**. Abepro, 2012, Bento Gonçalves.

LOPES Yuri G.; ALMEIDA Adiel T. Promethee-s: um método de sobre classificação para apoio multicritério a decisão em situação de incerteza. In: **Simpósio brasileiro de pesquisa operacional**, 2014, Salvador.

MACHUCA, Carmen M.; MOE, Øyvind; EBERSPACHER, Joerg, JAEGER Monika; GLADISCH Andreas. **Service cost model and cost comparative Studies**. Emerald Group Publishing Limited. 2009.

MALCZEWSKI, Jacek; RINNER, Claus. **Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science**. Springer, New York, 2015.

MARTTUNEN, Mika; LIENERT, Judit; BELTON, Valerie. **Structuring problems for Multi-Criteria Decision Analysis in practice: A literature review of method combinations**. European Journal of Operational Research. 2017.

MOBLEY, R. Keith. **An introduction to predictive maintenance**. Butterworth-Heinemann, 2002.

MOBLEY, R. Keith. **Maintenance Engineering Handbook**. 8 ed. McGraw-Hill Education. New York, 2014.

MULLINER, Emma; MALYS, Naglis; MALIENE, Vida. **Comparative analysis of MCDM methods for the assessment of sustainable housing affordability**. Omega

PANCHOLI, Nilesh; BHATT Mangal. **FMECA based maintenance planning through COPRAS-G and PSI**. Journal of Quality in Maintenance Engineering. 2018.

PEREIRA, Mário J. **Engenharia de Manutenção: Teoria e prática**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2009.

PEREIRA, Mário J. **Técnicas Avançadas de Manutenção**. 1.ed. Rio de Janeiro. Ciência Moderna, 2010. 80 p.

PODVEZKO, Valentinas. **The Comparative Analysis of MCDA Methods SAW and COPRAS**. Inzinerine Ekonomika, Vilnius, 2011.

PRODANOV, Cleber C; FREITAS, Ernani C. de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. Feevale. Novo Hamburgo, 2013.

RODRIGUES, Ivanildo de L. **Mudanças estruturais e resultados bancários no mercado de varejo**. 2017. 91f. Dissertação (Mestrado/ Economia) – Escola de economia de São Paulo da fundação Getúlio Vargas, São Paulo 2017.

SCHULZ COMPRESSORES. Treinamento técnico e comercial: **Tratamento e Aplicação do Ar Comprimido**. Joinville, 2002.

SEIF, Javad; RABBANI, Masoud. **Ciclo de vida baseado em componentes custando em decisões de substituição**. Revista de Qualidade em Engenharia de Manutenção. Vol. 20 Edição: 4, p. 436-452. 2014.

SELIM, Hasan; GONCA Mualla Y.; BALAMAN, Şebnem Y. **A Dynamic Maintenance Planning Framework Based on Fuzzy TOPSIS and FMEA: Application in an International Food Company**. Quality and Reliability Engineering International. 2015.

SILVA, Vanessa B. De S.; MORAIS, Danielle, C. O uso do PROMETHEE II para priorizar alternativas para preservação de bacia hidrográfica: estudo de caso realizado na bacia do rio Jaboatão. In: **XXXII encontro nacional de engenharia de produção**. Abepro, Pernambuco, 2008.

STEFANO, Nara, M.; FILHO, Nelson, C.; VERGARA, Lizandra, G. L.; DA ROCHA, Rodrigo, U. G. **COPRAS (Complex Proportional Assessment): State of the Art Research and its Applications**. IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS, VOL. 13, NO. 12 p.3899- 3906. 2015.

STEWART, Harry L. **Pneumática & Hidráulica**. 3. ed. São Paulo. Hemus, 2002.

STIER, Richard F. **In preventive maintenance, little things mean a lot**. 2010 .Disponível em: <https://www.foodengineeringmag.com>. Acesso em: Maio de 2019.

VALENTE, Roberta de O. A.; VETTORAZZI, Carlos A. **Comparação entre métodos de análise de sensibilidade, empregados na tomada de decisão com a avaliação multicriterial**. Revista Scientia Foretalis. Piracicaba, v. 37, n. 82, p. 197-211. 2009.

VALOIS, Último de; ALMEIDA, Adiel Teixeira de. **Modelo de apoio à decisão multicritério para terceirização de atividades produtivas baseado no método SMARTS**. Production., São Paulo, v. 19, n. 2, p. 249-260. 2009.

VERRI, Luiz. A. **Gerenciamento pela Qualidade Total na Manutenção Industrial: Aplicação Prática**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2007.p. 128.

VINCKE, Philippe. **Multicriteria decision- aid**. John Wiley & Sons. Londres, 1992.

Volume 59, Part B, p. 146-156. 2016.

ZHONG Shuya; PANTELOUS Athanasius A.; GOH Mark; ZHOU Jian. **A reliability-and-cost-based fuzzy approach to optimize preventive maintenance scheduling for offshore wind farms**. Mechanical Systems and Signal Processing. 2019.