



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA

LUDOVIC TRUBERT JUNIOR

**A CLASSIFICAÇÃO CRÍTICA DE EQUIPAMENTOS EM UM SISTEMA
TRANSPORTADOR DE LONGA DISTÂNCIA VISANDO O APOIO À GESTÃO DA
MANUTENÇÃO**

FORTALEZA

2018

LUDOVIC TRUBERT JUNIOR

A CLASSIFICAÇÃO CRÍTICA DE EQUIPAMENTOS EM UM SISTEMA
TRANSPORTADOR DE LONGA DISTÂNCIA VISANDO O APOIO À GESTÃO DA
MANUTENÇÃO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção Mecânica do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Teixeira Mâsih

FORTALEZA

2018

LUDOVIC TRUBERT JUNIOR

A CLASSIFICAÇÃO CRÍTICA DE EQUIPAMENTOS EM UM SISTEMA
TRANSPORTADOR DE LONGA DISTÂNCIA VISANDO O APOIO À GESTÃO DA
MANUTENÇÃO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção Mecânica do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção Mecânica.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rogério Teixeira Mâsih
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À minha mãe, Edna, que dedicou toda
sua vida ao sucesso de outrem.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao Universo, que conspirou para que eu pudesse chegar até aqui.

À minha mãe, que mesmo que eu escrevesse todas as palavras do mundo, não seriam suficientes para demonstrar meu reconhecimento.

À minha família, por todo o apoio essencial à minha formação.

Aos poucos amigos que fiz durante meu bacharelado, graças. Obrigado Bárbara, Juliana e Noélia, por todo o suporte e motivação para vencer esta fase da vida. Sem vocês, tenho certeza, teria sido muito mais difícil.

Ao Jorge, responsável por todo meu amparo emocional, muito obrigado.

Ao Silas, gratidão infinita por sua amizade sempre tão leal.

Aos amigos do projeto Cheiro Verde, a minha gratidão pelo crescimento pessoal e profissional que obtive durante todas as nossas reuniões.

Por fim, muitas pessoas passam por nossa vida para nos ensinar a não ser como elas e, para todas estas, o meu mais sincero agradecimento. Vocês são uma parte fundamental do meu ser. Muito, muito obrigado.

“Veni, vidi, vici.”

Julio César

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de classificação crítica de equipamentos para apoiar as decisões da gestão da manutenção. O estudo foi desenvolvido em um sistema transportador de longa distância, responsável pela movimentação de um determinado produto a granel. O método para classificação crítica utilizado nesta presente análise foi aplicado na empresa com embasamento teórico dos temas pertinentes à função manutenção e focou no completo conhecimento de todas as particularidades do conjunto produtivo – estreitando a relação dos profissionais envolvidos. Foram empregadas técnicas quantitativas e qualitativas na metodologia e o estudo classifica-se como uma pesquisa aplicada. O conhecimento da criticidade dos equipamentos era um tema pouco abordado na empresa e a manutenção era realizada com embasamento empírico, havendo a necessidade de se estabelecer a padronização das operações. Como solução, foi realizado um estudo profundo do sistema, suas peças e comportamento operacional para, então, quantificar os dados colhidos e estabelecer critérios de avaliação. Como resultado, foi reconhecido que 26% dos dispositivos presentes no transportador de correias são tidos como muito importante (merecendo maior atenção durante a rotina de manutenção), 63% têm criticidade mediana ao sistema e 11% são pouco importantes e geram baixos impactos se uma falha ocorrer. Conclui-se que a classificação crítica dos equipamentos é uma ferramenta essencial à gestão da manutenção.

Palavras-chave: Classificação; Criticidade; Manutenção; Gestão da Manutenção; Planejamento da Manutenção.

RÉSUMÉ

Ce document présente un exemple d'étude et classification critique des équipements pour soutenir les décisions de gestion de la maintenance. L'étude a été développée dans un système de convoyeur longue distance, responsable pour la manipulation d'un produit en vrac. La méthode de la classification critique utilisée ici a été appliquée chez une entreprise, avec la base théorique des thèmes pertinentes pour la maintenance et se concentre sur la connaissance de toutes les particularités du système productif – rétrécissant la relation des professionnels impliqués. Des techniques quantitatifs et qualitatifs ont été employées dans la méthodologie et l'étude est classée comme une recherche appliquée. La connaissance de la criticité des équipements a été un thème peu discuté dans l'entreprise et la maintenance a été effectuée avec la base empirique, donc il est si nécessaire d'établir la normalisation des opérations. Comme une solution, a été réalisée une étude approfondie du système, leurs parties et le comportement opérationnel pour, alors, quantifier les données collectées et établir des critères d'évaluation. En conséquence a été reconnu que 26% des appareils présents sur le système de convoyeur sont considérés comme très importants (méritant plus d'attention pendant la routine de maintenance), 63% sont une criticité moyenne au système et 11% sont peu importants et gèrent impacts faibles si un échec se produit. Il est conclu que la classification critique des équipements est un outil essentiel à la gestion de la maintenance.

Mots clés : Classification ; Criticité ; Maintenance ; Gestion de la Maintenance ; Planification de la Maintenance.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Abraman	Associação Brasileira de Manutenção
DOI	<i>Digital Object Identifier</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
ENEGEP	Encontro Nacional de Engenharia de Produção
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
IBM	<i>International Business Machines</i>
MCC	Manutenção Centrada em Confiabilidade
MDT	<i>Mean Down Time</i>
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
MTBM	<i>Mean Time Between Maintenance</i>
MTTR	<i>Mean Time to Repair</i>
NBR	Norma Brasileira
PCM	Planejamento e Controle da Manutenção
Petrobras	Petróleo Brasileiro S.A.
Rs	Confiabilidade Total
TCX	Transportador de Correia
TMDR	Tempo Médio de Reparo
TMEF	Tempo Médio Entre Falhas
TMEM	Tempo Médio Entre Manutenções
TMP	Tempo Médio de Paralisação
TMPR	Tempo Médio para Reparos

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.....	36
Equação 2.....	37
Equação 3.....	37
Equação 4.....	38
Equação 5.....	39
Equação 6.....	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – As quatro gerações da manutenção.....	26
Figura 2 – Fluxograma das etapas da pesquisa de campo.....	52

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Tempo de operação <i>versus</i> tempo ocioso.....	66
Gráfico 2 – Dispersão da pontuação total dos itens avaliados.....	67
Gráfico 3 – Porcentagem dos itens ABC.....	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Custo da manutenção versus faturamento bruto.....	18
Quadro 2 – Composição dos custos de manutenção no Brasil.....	19
Quadro 3 – Componentes da TCX.....	55
Quadro 4 – Componentes e subsistemas.....	57
Quadro 5 – Parâmetros de classificação por criticidade.....	60
Quadro 6 – Classificação ABC.....	65
Quadro 7 – Quantitativo de itens ABC.....	69
Quadro 8 – Item <i>versus</i> tipo de manutenção.....	71

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Contextualização.....	16
1.2 Objetivos.....	17
1.2.1 Objetivo Geral.....	17
1.2.2 Objetivos Específicos.....	17
1.3 Justificativa.....	18
1.4 Metodologia.....	20
1.5 Estrutura do Trabalho.....	21
2 GERÊNCIA DA MANUTENÇÃO.....	23
2.1 Conceitos básicos e a evolução da gestão da manutenção.....	23
2.2 Os tipos de manutenção.....	27
2.2.1 Manutenção corretiva.....	27
2.2.2 Manutenção preventiva.....	29
2.2.3 Manutenção preditiva.....	30
2.2.4 Manutenção de melhoria.....	31
2.3 Formas de atuação da manutenção.....	33
2.3.1 Manutenção centralizada.....	33
2.3.2 Manutenção descentralizada.....	34
2.4 Indicadores da manutenção.....	35
2.4.1 Disponibilidade.....	36
2.4.2 Confiabilidade.....	38
2.4.3 Taxa de falhas.....	40
2.5 O planejamento e controle da manutenção (PCM).....	41

2.5.1 A elaboração do PCM.....	43
2.6 A classificação de itens de acordo com a criticidade.....	45
2.7 Resultados alcançados por outros pesquisadores.....	47
3. PESQUISA DE CAMPO.....	51
3.1. Descrição da empresa.....	51
3.2 Descrição do processo produtivo.....	52
3.3 Etapas da pesquisa.....	52
Etapa 1: Caracterizar os equipamentos.....	53
Etapa 2: Identificar os subsistemas.....	53
Etapa 3: Definir os parâmetros de criticidade.....	53
Etapa 4: Pontuar e classificar os itens de modo ABC.....	53
Etapa 5: Definir as estratégias de manutenção.....	54
3.4 Resultados obtidos.....	54
Etapa 1: Caracterizar os equipamentos.....	54
Etapa 2: Identificar os subsistemas.....	56
Etapa 3: Definir os parâmetros de criticidade.....	58
Etapa 4: Pontuar e classificar os itens de modo ABC.....	64
Etapa 5: Definir as estratégias de manutenção.....	69
3.5 Considerações finais sobre a pesquisa de campo.....	72
4. CONCLUSÕES.....	73
5. REFERÊNCIAS.....	75

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo inicial abordam-se os principais elementos introdutórios que norteiam o presente trabalho. São levadas em consideração informações pertinentes que justificam a importância da temática abordada aqui, bem como os objetivos e uma explanação do ambiente que em que a análise está fixada. Fazem parte ainda da composição deste capítulo a metodologia empregada no estudo, a estrutura da pesquisa e uma breve contextualização apresentada em sequência.

1.1 Contextualização

Com o passar dos séculos, a história conta a relação íntima do homem com a máquina. As organizações passaram e passam por diversos processos contínuos de desenvolvimento e aprimoramento de sua capacidade produtiva – objetivo esse que, muitas vezes, é alcançado com o investimento na capacidade do maquinário e sua máxima disponibilidade a fim de servir a seus investidores. Os projetos dos dispositivos industriais estão cada vez mais modernos e funcionais, e esta evolução data desde muito antes da primeira Revolução Industrial, ocorrida entre os séculos XVIII e XIX.

A partir da revolução supracitada, a maneira de produzir sofreu um grande processo de mecanização, gerando uma redução do tempo de processamento e transformação dos produtos acabados. Com o aumento da oferta dos produtos, também se aumentou a demanda, e a sociedade contemporânea beneficia-se a todo instante de novas tecnologias. Correias transportadoras podem ser citadas como um modelo de sistema aprimorado com o passar dos anos. Estes equipamentos nasceram em paralelo com a história fabril e sua evolução está intimamente ligada à progressão das demandas que a Revolução Industrial gerou na sociedade como um todo.

Manter os ativos de uma empresa, que estão cada mais tecnológicos e avançados, é uma tarefa de responsabilidade do gestor de manutenção, o qual terá de preservar a capacidade necessária para que o sistema trabalhe como planejado. É de extrema importância que os altos investimentos empregados pelo (s) acionista (s) sejam correspondidos às expectativas e previsões realizadas para o retorno do capital empregado. Além disso, este movimento de conservação dos apetrechos industriais se dá pela elevada competitividade observada no mercado durante anos,

o que faz com que as empresas procurem diversas alternativas para garantir sua vigência nos negócios – redução de custos e elevação dos resultados.

Aliado ao que foi citado anteriormente, todos os profissionais envolvidos na função manutenção devem, então, conhecer profundamente o sistema produtivo que se tem em mãos por completo. Este entendimento traz inúmeros benefícios às pessoas que atuam na área da manutenção, como, por exemplo, a disponibilidade e importância dos equipamentos. Faz-se necessário o conhecimento dos itens mais frágeis e sensíveis ao sistema, os que apresentam falhas ou os que demandam peças sobressalentes. Logo, o presente trabalho tem como finalidade buscar resposta para a seguinte pergunta: “quais são os equipamentos mais críticos e que merecem mais atenção em um sistema transportados de longa distância?”

1.2 Objetivos

O presente tópico fará uma abordagem de todos os objetivos que guiam o estudo elaborado neste trabalho – sendo divididos por objetivo geral e objetivos específicos.

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um método capaz de identificar os equipamentos críticos em um sistema transportador de longa distância visando a tomada de decisão para a gestão da manutenção.

1.2.2 Objetivos específicos

São eles:

- a) Descrever o sistema produtivo de maneira a compreender todo o seu funcionamento;
- b) Colher e analisar os dados presentes no histórico da manutenção, manuais do projeto e conhecimento empírico dos profissionais que trabalham no sistema transportador;
- c) Aplicar a classificação crítica de cada item, a fim de identificar os mais importantes e definir a maneira que a manutenção irá atuar no equipamento – se de maneira corretiva, preventiva ou preditiva.

1.3 Justificativa

O presente estudo mostra-se de relevante importância ao verificar-se o comportamento da função manutenção nas empresas. No Brasil, segundo a Abraman (Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos), em 2013, as empresas que responderam à pesquisa sobre a situação da manutenção no país apontaram uma média para custos com a manutenção de quase 5% do faturamento bruto somente para manter seus ativos. Os resultados da pesquisa são demonstrados no Quadro 1 abaixo:

Quadro 1: Custo da manutenção *versus* faturamento bruto.

Ano	Custo total da manutenção / Faturamento bruto
2013	4,69 %
2011	3,95 %
2009	4,14 %
2007	3,89 %
2005	4,1 %
2003	4,27 %
2001	4,47 %
1999	3,56 %
1997	4,39 %
1995	4,26 %
Média	4,2 %

Fonte: Adaptado de Abraman (2013)

Observa-se no Quadro 1 apresentado acima que os custos para manter os itens em pleno funcionamento estão apresentando investimentos crescentes pelas empresas e que os itens do sistema produtivo estão sendo encarados de forma mais criteriosa para que os esforços sejam focados objetivando uma atuação focada no que interessa realmente.

A associação também publicou, no mesmo ano, um rateio com a composição dos custos de manutenção das empresas, tendo seus dados apresentados no Quadro 2 a seguir:

Quadro 2: Composição dos custos de manutenção no Brasil.

Ano	Composição dos custos de manutenção (%)			
	Pessoal	Material	Serviços contratados	Outros
2013	34,02	21,96	27,5	16,52
2011	31,13	33,35	27,03	8,48
2009	31,09	33,43	27,27	8,21
2007	32,35	30,52	27,2	9,93
2005	32,53	33,13	24,84	9,5
2003	33,97	31,86	25,31	8,86
2001	34,41	29,36	26,57	9,66
1999	36,07	31,44	23,68	8,81
1997	38,13	31,1	20,28	10,49
1995	35,46	33,92	21,57	9,05
Média	33,92	31,01	25,13	9,95
Desvio padrão	2,24	3,5	2,55	2,41

Fonte: Adaptado de Abramam (2013).

Desta forma, estudo do corrente trabalho justifica-se por contribuir no desenvolvimento do setor de manutenção, atividade esta que demonstra tanto evolução e que sua estratégia recebe cada vez mais atenção por parte dos gestores. Desta forma, a classificação dos itens de acordo com a criticidade mostra-se como uma ferramenta de suma importância para estruturar, consolidar e integrar todo o comportamento de um sistema produtivo, independente de sua área de atuação.

1.4 Metodologia

Segundo Silva e Menezes (2015, p. 20), “Pesquisa é um conjunto de ações, propostas para encontrar a solução para um problema, que têm por base procedimentos racionais e sistemáticos.

De acordo com Prodanov e Freitas (2013, p. 42), pesquisa científica pode ser definida como a elaboração de um estudo, sendo ele planejado e com o seu método de abordagem da problemática o fator determinante que descreve o ponto de vista científico da perquirição. Para os autores, “A pesquisa sempre parte de um problema, de uma interrogação, uma situação para a qual o repertório de conhecimento disponível não gera resposta adequada.”

Para Silva e Menezes (2015), as pesquisas podem ser classificadas quanto:

- a) à natureza;
- b) à forma de abordagem do problema;
- c) aos objetivos; e
- d) aos procedimentos técnicos.

Quanto à natureza, o trabalho aqui exposto classifica-se como uma pesquisa aplicada, uma vez que esta tem como objetivo “[...] gerar conhecimentos para aplicação prática [...]” Para as autoras, uma pesquisa caracterizada como aplicada deve envolver verdade, fatos e interesses ao estudo realizado para que os resultados sejam eficazes.

Quanto a maneira como o problema é abordado, Silva e Menezes (2015, p. 20) classificam as pesquisas científicas como quantitativa e qualitativa. A pesquisa quantitativa leva em consideração todos os fatores quantificáveis, gerando números opiniões para estudar o contexto da investigação. A linha de análise quantitativa necessita utilizar-se de técnicas estatísticas. Ainda segundo as autoras, uma produção científica pode se enquadrar como qualitativa quando “[...] há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser trazido em números.” A tendência é que o pesquisador se utilize de sua indução para a realização de análises.

O presente trabalho pode ser caracterizado como quantitativo e qualitativo. Um misto que traduz a sua forma de abordagem do problema. Isso ocorre, pois, muitos

parâmetros são gerados a partir de análises abstratas e, algumas vezes, ponderado de acordo com o *feeling* dos profissionais envolvidos na função manutenção.

Para a caracterização da investigação quanto aos objetivos, este trabalho é tido como uma pesquisa descritiva, uma vez que ela tem como foco a classificação de uma população e o estabelecimento de relações entre algumas variáveis. Para Gil (1991, apud Silva e Menezes, 2015, p. 21), a pesquisa descritiva envolve a utilização de técnicas para a coleta de dados que seguem um padrão, seja através de questionário ou observação sistemática.

Por fim, Gil (1991, apud Silva e Menezes, 2015, p. 21) faz uma tipificação das pesquisas de acordo com os procedimentos técnicos e que são enquadrados a este trabalho. A presente produção científica é tida como uma pesquisa bibliográfica - já que foi elaborada seguindo material já publicado, livros, artigos científicos, dissertação e monografia foram utilizados. O trabalho também é classificado como pesquisa documental (construída a partir de material sem tratamento analítico), e como estudo de caso (pesquisa de campo), já que “[...] envolve o estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos de maneira que permita o seu amplo e detalhado conhecimento.”

Para Prodanov e Freitas (2013, p. 48), “A pesquisa científica é uma atividade humana, cujo objetivo é conhecer e explicar os fenômenos, fornecendo respostas às questões significativas para a compreensão da natureza.” É com base nesta definição e na classificação apresentada anteriormente que este trabalho fixará sua metodologia de estudo, com sua disposição analisada em seguida.

1.5 Estrutura do trabalho

Em linhas gerais, o presente trabalho encontra-se estruturado em 04 (quatro) capítulos, sendo estes construídos conforme descrição abaixo:

- Primeiro capítulo (01): traz uma introdução aos assuntos que serão tratados no decorrer desta pesquisa. É constituído pela contextualização, objetivo geral, objetivos específicos, justificativa, metodologia empregada no estudo e, por fim, a descrição da estrutura do trabalho;

- Segundo capítulo (02): apresenta em seu conteúdo uma revisão bibliográfica que tem como finalidade o embasamento teórico das análises práticas realizadas neste trabalho. Aborda os seguintes temas: conceitos básicos e a evolução da gestão da manutenção, os tipos de manutenção existentes (corretiva, preventiva, preditiva e a manutenção de melhoria), as diferentes formas de atuação da manutenção, principais indicadores da manutenção, o planejamento e controle da manutenção e sua elaboração, a classificação de equipamentos de acordo com a criticidade em um sistema e alguns resultados alcançados por outros pesquisadores apresentados em diversos documentos;
- Terceiro capítulo (03): aborda em seu conteúdo a pesquisa de caso realizada neste trabalho, bem como a aplicação dos conceitos expostos no capítulo anterior;
- Quarto capítulo (04): trata da apresentação dos resultados obtidos após todo o estudo supracitado realizado, alinhado a recomendações para trabalhos futuros.

2. GERÊNCIA DA MANUTENÇÃO

Segundo Xenos (2014, p. 46),

Nossa sociedade tem dependido dos produtos e serviços gerados por processos cada vez mais mecanizados e automatizados. Este fenômeno pode ser observado em praticamente todos os ramos de atividade, em que o trabalho humano tem sido gradualmente substituído pelo trabalho das máquinas.

O trecho acima traduz bem a importância cada vez mais latente de uma boa gestão da manutenção. Gerir os ativos responsáveis por toda a produção de um sistema é um trabalho constante e que exige muita dedicação; uma vez que muitas empresas têm a disponibilidade de seus equipamentos como uma meta a ser batida em resposta ao investimento realizado pelos acionistas, por exemplo.

Para Fogliatto e Ribeiro (2009, p. 242), “A missão da manutenção no contexto organizacional deve estar alinhada com as estratégias da produção - os métodos [...] da manutenção serão diferentes, conforme a estratégia de produção priorize: custo, qualidade, flexibilidade, serviços ou entrega.”

O presente capítulo irá abordar os conceitos principais necessários para um profissional de manutenção consolidar seu conhecimento, resultando em melhores tomadas de decisões. Técnicas e métodos de estudo da gestão serão apresentados e analisados, em paralelo à tipologia da manutenção e a necessidade de entender a complexidade do sistema.

2.1 Conceitos básicos e a evolução da gestão da manutenção

Para a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 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 possa desempenhar uma função requerida”. (NBR-5462, 1994).

Xenos (2014, p.18) reflete que as atividades de manutenção existem para impedir a deterioração dos equipamentos e instalações, causada pelo uso e desgaste natural. O autor fala ainda que esta deterioração se manifesta de muitas formas –

desde a aparência visual ruim de itens do sistema produtivo até perdas de desempenho, fabricação de produtos de baixa qualidade e poluição ambiental.

Slack, Chambers e Johnston (2009, p. 610) contribuem com o estudo do tema quando afirmam que manutenção “é como as organizações tentam evitar as falhas cuidando de suas instalações físicas.”

Os referidos autores ressaltam ainda que os benefícios da manutenção são bastante significativos e cita alguns: segurança otimizada; maior qualidade dos produtos acabados; maior confiabilidade do sistema; custos operacionais reduzidos (já que inúmeros elementos de tecnologia de processo trabalham com mais eficiência quando recebem manutenção periodicamente); maior tempo de vida para processo e ‘valor residual’ mais alto (equipamentos bem mantidos são, na maioria das vezes, mais fáceis de vender no mercado). Os três autores comentam ainda que em operações como centrais de eletricidade, hotéis e refinarias petroquímicas, as atividades de manutenção serão responsáveis por uma grande parte do tempo, da atenção e dos recursos dos gestores de produção – uma vez que a produção tende à continuidade.

Kardec e Nascif (2009, p. 01) trazem um interessante histórico sobre a evolução das atividades de manutenção. A obra registra que a manutenção passa por mais mudanças do que qualquer outra atividade. Estas mudanças, que se registram com mais força dos últimos 30 anos até a atualidade, dão-se por conta do crescente número e diversidade dos itens físicos (instalações, equipamentos, etc.) que têm de ser mantidos; projetos mais elaborados; técnicas inovadoras; novas responsabilidades da manutenção; e principalmente a importância desta atividade como função estratégica para melhoria dos negócios e aumento da competitividade das organizações.

Kardec e Nascif (2009, p. 02-04) dividem a evolução da manutenção em quatro grandes gerações:

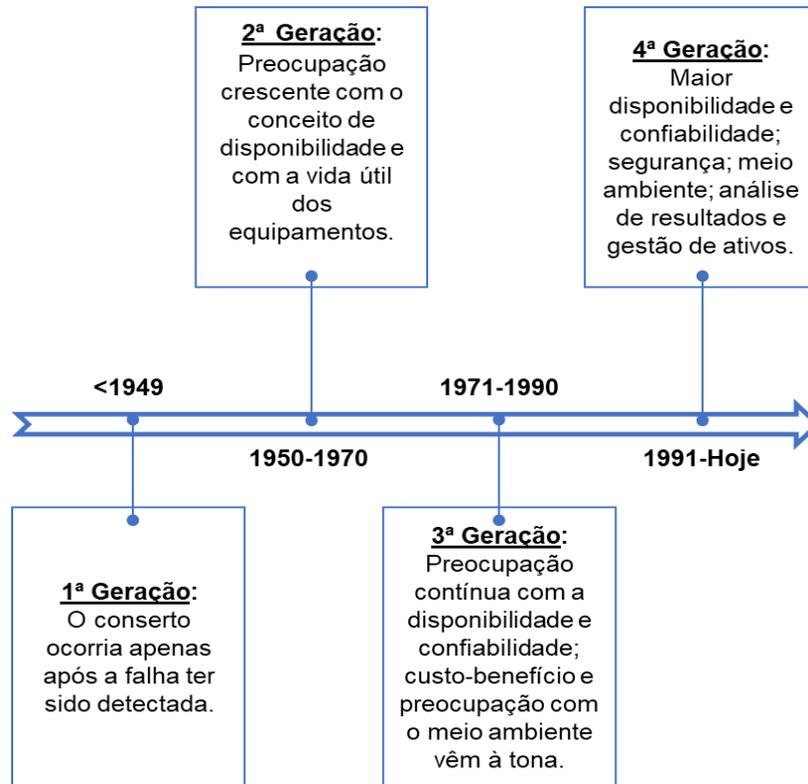
- 1ª Geração - Durante a primeira geração (anterior à Segunda Guerra Mundial), as indústrias eram pouco mecanizadas, equipamentos simples e, em sua maioria, superdimensionados. Esta primeira grande época da

manutenção foi marcada pelo uso restrito de uma manutenção corretiva não planejada – pouca gestão das ações.

- 2ª Geração - Em sequência, os autores exploram a segunda geração da manutenção, entre os anos 1950 e 1970 (após a Segunda Guerra Mundial). Os impactos e transformações da guerra maximizaram as demandas pela sociedade por variados tipos de produtos. A consequência foi um aumento da mecanização, da complexidade das instalações industriais e a diminuição do contingente de mão de obra. As empresas passaram a se preocupar mais com a necessidade de elevar a produtividade, com confiabilidade e disponibilidade máxima do sistema. Aqui se desenvolve a total dependência da indústria pelo bom funcionamento das máquinas.
- 3ª Geração - A terceira geração da manutenção teve início partindo da década de 1970 até meados de 1990, com a aceleração do processo de mudança. Segundo Kardec e Nascif (2009), a terceira geração trouxe consigo a consolidação da confiabilidade e disponibilidade dos setores produtivos e o conceito e utilização da manutenção preditiva foi reforçado. O avanço da informática observado nesta época possibilitou a utilização de computadores como grande ferramenta e o desenvolvimento de *softwares* para o planejamento, controle e acompanhamento dos serviços de manutenção.
- 4ª Geração - Por fim, as expectativas em relação à manutenção existentes na terceira geração continuam a influenciar na quarta geração. O grande desafio da manutenção para esta nova era é minimizar as falhas prematuras dos equipamentos. Com o objetivo de realizar cada vez menos intervenções na planta, as atividades de manutenção preditiva e monitoramento de condições de equipamentos são cada vez mais utilizadas na quarta geração da manutenção.

A seguir, a Figura 1 traz um resumo sobre as quatro geração da manutenção.

Figura 1: As quatro gerações da manutenção.



Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2009, p. 05).

Segundo Xenos (2014, p. 20), atualmente, anseia-se que as atividades de manutenção tenham um escopo bem mais abrangente do que só manter as condições básicas dos equipamentos. Por diversas ocasiões, apenas realizar a manutenção de itens acaba se tornando insuficiente, sendo então necessário inserir melhorias que proporcionem a otimização da produtividade. Esta busca por melhoria contínua deve fazer parte do trabalho de todos os equipamentos e que, segundo o autor, desta forma torna-se possível segregar as atividades de manutenção em dois tipos: atividades de manutenção e atividades de melhoria. A diferença entre esses dois tipos é que as atividades de manutenção são ações tomadas durante a rotina para prevenir e/ou corrigir anomalias ou falhas nos equipamentos da produção e as atividades de melhoria visam otimizar as condições originais de operação de equipamentos, impactando de forma positiva no desempenho e confiabilidade – com a incorporação de modificações no seu projeto original.

De acordo com Kardec e Nascif (2009, p. 11), a manutenção deve estar voltada para o cumprimento das estratégias e resultados empresariais da organização. A

função manutenção deve ser eficiente e eficaz para que os equipamentos estejam sempre disponíveis para operação, minimizando ao máximo a probabilidade de uma parada de manutenção não planejada.

Com base no exposto, é possível definir manutenção como um conjunto de atividades realizadas a fim de manter um ativo com capacidade de operação constante. Tais atividades são subdivididas visando a adequação da realidade ao sistema produtivo em que está sendo trabalhado. Em sequência, a tipologia da manutenção será abordada.

2.2 Os tipos de manutenção

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2009, p. 610), “as atividades de manutenção de uma organização consistem em uma combinação de três abordagens básicas para cuidar de suas instalações.” Apesar da abordagem dos autores prever apenas três tipos de manutenção, conforme supracitado, outros autores trazem em suas obras quatro tipos básicos de manutenção.

Os principais tipos de manutenção levados em consideração neste trabalho são: manutenção corretiva, manutenção preventiva, manutenção preditiva e a engenharia de manutenção ou melhoria da manutenção.

Para Kardec e Nascif (2009, p. 36), os diferentes tipos de manutenção devem ser considerados como políticas de manutenção, “[...] desde que a sua aplicação seja o resultado de uma definição gerencial ou política global da instalação, baseada em dados técnico-econômicos.”

2.2.1 Manutenção corretiva

Modalidade mais primitiva de todas, de acordo com Slack, Chambers e Johnston (2009, p. 611), a manutenção corretiva significa “[...] deixar as instalações continuarem a operar até que quebrem. O trabalho de manutenção é realizado somente após a falha ter ocorrido.”

A Associação Brasileira de Normas Técnicas define este tipo de manutenção como a “manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida.” (NBR-5462, 1994).

Xenos (2014, p. 23) afirma que a manutenção corretiva é realizada após a ocorrência de falha. *A priori*, o autor fala que a escolha por este método deve levar em consideração diversos fatores econômicos. Devem ser verificados os custos envolvidos ao conserto do defeito no lugar de tomar medidas preventivas. A avaliação de perdas por paradas na produção não planejadas deve estar alinhada com os custos reais, pois uma manutenção corretiva poderá sair bem mais cara do que se o defeito tivesse sido previsto e reparado com antecedência.

O referido autor diz ainda que existem vários fatores a ser considerados ao optar-se pela manutenção corretiva, sendo os seguintes: verificar a viabilidade técnica e econômica de se realizar ações preventivas; verificar se as falhas ocasionam paradas abruptas da produção e o tempo destas interrupções e seus impactos; a política de peças reserva e o conserto dos componentes danificados. Xenos (2014, p. 23) faz um comentário ainda mais pertinente quando afirma a importância de se ressaltar que, se a manutenção corretiva for a escolhida por ser mais vantajosa, não é correto conformar-se com a ocorrência de falhas como sendo um evento já aguardado e, logo, natural. De acordo com Xenos (2014), “um aspecto fundamental, mesmo no caso da manutenção corretiva, é se esforçar para identificar precisamente as causas fundamentais da falha e bloqueá-las, evitando sua reincidência.”

Segundo Kardec e Nascif (2009, p. 36), a manutenção corretiva “[...] é a atuação para a correção da falha ou do desempenho menor que o esperado.” Ao realizar uma determinada atuação em um item do sistema que esteja defeituoso ou com um desempenho diferente do esperado, está se fazendo a manutenção corretiva. Para os autores, este tipo de manutenção não deve ser associado à manutenção de emergência e, de acordo com os mesmos, “convém observar que existem duas condições específicas que levam à manutenção corretiva: desempenho deficiente apontado pelo acompanhamento das variáveis operacionais; ocorrência da falha.” Durante este estudo, aponta-se ainda a divisão deste tipo de manutenção em duas classes: a manutenção corretiva não planejada (correção da falha realizada de maneira aleatória) e manutenção corretiva planejada (correção do desempenho menor que o esperado, partindo de uma decisão gerencial - pela atuação em função de controle preditivo ou pela escolha de operar até que o defeito ocorra). (KARDEC; NASCIF, 2009, p. 36).

2.2.2 Manutenção preventiva

A ABNT traz em sua NBR 5462 a definição de manutenção preventiva. Para a Associação Brasileira, este tipo de atividade caracteriza-se como “manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.” (NBR-5462, 1994).

De acordo com Slack, Chambers e Johnston (2009, p. 611), a manutenção preventiva tem por finalidade a eliminação ou a redução da probabilidade de uma falha acontecer (seja pela realização de limpeza, lubrificação, substituição e/ou verificação de itens). Esse controle é realizado durante intervalos pré-planejados.

Kardec e Nascif (2009, p. 39-40) acreditam que a manutenção preventiva é a atividade realizada com a finalidade de reduzir ou evitar um dano em um equipamento ou a queda em seu desempenho, seguindo um planejamento elaborado com antecedência e respeitando intervalos de tempo. Os autores levantam ainda uma reflexão sobre o não fornecimento de dados para o planejamento da manutenção pelos fabricantes dos equipamentos; além da influência no sistema das condições operacionais e ambientes. Por um lado, a manutenção preventiva gera um conhecimento prévio das ações (proporcionando condições gerenciais das atividades e recursos), por outro lado este tipo de intervenção promove a retirada do equipamento para a execução dos serviços preventivos.

Os autores supracitados apontam ainda uma desvantagem relacionada à manutenção preventiva: possível introdução de defeitos que antes não existiam nos equipamentos devido a erros humanos, falha na política de itens reserva, falhas durante paradas e partidas do sistema, contaminações inseridas no sistema de lubrificação, etc.

Para Xenos (2014, p. 24), a manutenção preventiva pode ser classificada como “o coração das atividades de manutenção.” Esta envolve diversas atividades sistêmicas (como inspeções, troca de peças e reformas), deve ser feita de maneira periódica e ser a principal forma de manutenção de qualquer empresa. Durante sua análise, o autor compara a manutenção preventiva e corretiva.

O autor afirma que a manutenção preventiva é mais cara, uma vez que as peças são trocadas antes mesmo de atingirem seus limites de vida, entretanto, a frequência da ocorrência de falhas cai bastante – impactando na disponibilidade dos equipamentos e em sua confiabilidade. “Sem uma boa manutenção preventiva, as falhas tendem a aumentar e ocupar todo o tempo do pessoal de manutenção.” (XENOS, 2014, p. 24)

2.2.3 Manutenção preditiva

Conforme Kardec e Nascif (2009, p. 43), a manutenção preditiva é a primeira quebra do paradigma da função manutenção – quanto mais se intensifica, mais o conhecimento tecnológico trabalha para desenvolver novos itens que possibilitem avaliar as instalações e os sistemas produtivos em funcionamento. O objetivo desta atividade, para os autores, é a prevenção de falhas nos maquinários ou sistemas através assistência contínua dos parâmetros, permitindo que os itens estejam em plena operação durante o máximo de tempo possível – a manutenção preditiva consegue prever as circunstâncias dos equipamentos.

A ABNT publicou em sua NBR 5462 que a manutenção preditiva (ou controlada) “[...] permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a [...] preventiva e diminuir a [...] corretiva.” (NBR-5462, 1994).

Os Kardec e Nascif (2009, p. 43), definem ainda a manutenção preditiva como “a atuação realizada com base em modificações de parâmetro de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática.” Entende-se, então, que o papel deste tipo de intervenção é privilegiar a disponibilidade dos itens, uma vez que suas atividades ocorrem durante o funcionamento produtivo.

Xenos (2014, p. 25) reconhece que a manutenção preditiva é o tipo mais dispendioso de todas as outras formas de manutenção – se avaliarmos apenas os custos envolvidos, pois os componentes são substituídos antes de chegarem aos seus limites de vida útil. Por utilizar tecnologia bastante avançada, a manutenção preditiva é tratada de forma diferente pelas empresas.

Segundo Xenos (2014, p. 25),

A tecnologia disponível atualmente permitiu o desenvolvimento de dezenas de técnicas de manutenção preditiva, algumas caras e sofisticadas. [...]. Mesmo assim, as empresas também devem praticar a manutenção preditiva, que é um método de manutenção bastante simples e eficaz e traz bons resultados.

Kardec e Nascif (2009) apontam a existência de algumas condições necessárias para se empregar a manutenção preditiva, sendo elas: os equipamentos têm de permitir o monitoramento; os equipamentos, sistemas ou instalações devem ser dignos desse tipo de ação – já que os custos envolvidos são elevados; as falhas devem ser originadas de causas que tenham a possibilidade de ser monitoradas e sua evolução acompanhada; deve-se estabelecer um programa de rastreamento, estudo e diagnóstico. Por fim, a manutenção produtiva é entendida como o método que melhor oferece resultados com relação à produção – pois intervém pouco na fábrica. Para Kardec e Nascif (2009, p. 43), “É fundamental que a mão de obra da manutenção responsável pela análise e diagnóstico seja bem treinada - não basta medir; é preciso analisar os resultados e formular diagnósticos. “

Slack, Chambers e Johnston (2009, p. 611) também definem a manutenção preditiva ao afirmarem que ela “visa realizar manutenção somente quando as instalações precisarem dela. Por exemplo, em equipamentos de processamento contínuo [...] – a manutenção preditiva pode monitorar continuamente as vibrações de um equipamento.”

2.2.4 Manutenção de melhoria

Este quarto tipo de manutenção abordado neste capítulo muitas vezes não é citado em obras literárias. Alguns autores chamam ainda a manutenção de melhoria de engenharia de manutenção, com significado semelhante. Este é o caso de Kardec e Nascif (2009, p. 46) que definem a engenharia de manutenção como a segunda quebra de paradigma da manutenção – caracterizando sua prática como uma mudança cultural das organizações. Para os dois, a engenharia de manutenção deve aplicar o *benchmark* continuamente, buscando sempre pelas técnicas mais modernas, com todo o seu padrão atrelado ao “[...] nível da manutenção do Primeiro Mundo”.

Essa quarta modalidade simboliza o fim dos consertos frequentes, a busca pelas causas-raízes das falhas, a modificação dos problemas corriqueiros, a otimização dos padrões do sistema e a interferência técnica dos projetos originais.

Xenos (2014, p. 25-26) diz que a melhoria é outro importante método da manutenção – ou “*kaizen* dos equipamentos”. De origem japonesa, este termo consiste na realização de melhorias e tem como foco a otimização contínua dos sistemas. Para o autor, no tocante da manutenção, “[...] praticar o ‘*kaizen*’ dos equipamentos significa melhora-los gradativamente e continuamente para além de suas especificações originais.” Isso deve ser aplicado para que os itens não retornem apenas às suas condições iniciais após defeito detectado, faz-se necessário a realização de *upgrades* “[...] alterando conforme necessário, seu projeto, seus padrões de operação e manutenção.” (XENOS, 2014, p. 26)

Apesar de existirem diversas formas de atuar no ramo da manutenção, não existe nenhum tipo de manutenção que seja melhor que o outro e isso fica evidenciado por Kardec e Nascif (2009, p. 53):

Em qualquer planta ou instalação sempre haverá lugar para os diversos tipos de manutenção. O tipo de manutenção a ser adotado é uma decisão gerencial e está baseado nos seguintes fatores: a) importância do equipamento no ponto de vista: operacional, segurança pessoal, segurança da instalação, meio ambiente; b) dos custos envolvidos: no processo, no reparo/substituição, nas consequências da falha; c) na oportunidade; d) na capacidade de adequação do equipamento/instalação favorecer a aplicação deste ou daquele tipo de manutenção (adequabilidade do equipamento).

Por fim, Slack, Chambers e Johnston (2009) não abordam em sua obra a quarto tipo de manutenção supracitado, porém afirmam que as distintas abordagens para a manutenção de equipamentos são convenientes para circunstâncias diferentes. A estratégia empregada para a manutenção corretiva é trabalhar até quebrar. A manutenção preventiva é utilizada quando os custos envolvidos com uma falha não planejada são inviáveis e quando o dano não é aleatório.

Já a estratégia da manutenção preditiva, para os autores (2009, p. 612), “é usada quando a atividade de manutenção é dispendiosa, seja devido ao custo da manutenção em si, seja devido à interrupção da produção causada pela atividade de manutenção.” A maioria das operações em um sistema de produção trabalha com uma combinação de todas as abordagens estudadas anteriormente.

2.3 Formas de atuação da manutenção

A manutenção pode vir apresentada basicamente de duas formas gerais de organização: centralizada ou descentralizada.

2.3.1 Manutenção centralizada

Branco Filho (2008, p. 61) definiu a manutenção centralizada como uma forma de desenvolvimento da manutenção. O autor acredita haver situações em que a melhor estrutura oferecida se encontra no modelo centralizado, uma vez que os mecânicos e eletricitas partem todos do mesmo local de trabalho para qualquer ponto da fábrica e retornam também para o mesmo lugar após a conclusão dos trabalhos para realizarem a prestação de contas dos serviços e a retirada de novas instruções.

Fogliatto e Ribeiro (2009, p. 242) afirmam que a manutenção centralizada engloba as atividades planejadas por apenas um setor ou departamento, que devem atender a todos os domínios da unidade produtiva. De forma geral, este modelo de organização da manutenção centralizam os locais de guarda e disponibilização de ferramentas e as peças sobressalentes são estocadas em um almoxarifado central.

Branco Filho (2008, p. 61) crê que as vantagens para este tipo de instalação são inúmeros, sendo as principais: a mão de obra permanece agrupada por especialidades (resultando na maior facilidade em realizar o traslado e possuir mão de obra suficiente para responder a maioria das demandas); melhor resposta às demandas imprevistas; com equipes centralizadas se torna mais fácil e ágil a obtenção de autorização para contratar especialistas mais caros; reduz-se a probabilidade de emprego de mão de obra subcontratada; torna-se mais fácil comprar peças, equipamentos e ferramentas de apoio; entre outros.

As desvantagens de instalações de manutenção centralizadas são: muito tempo utilizado pelos colaboradores para realizar deslocamento pelos setores das fábricas até o ponto que o serviço será realizado (diminuindo a eficiência); o tempo para finalizar as atividades rotineiras pode ser bem maior; o tempo de resposta também pode crescer; a supervisão acaba se tornando mais complicada e fraca; entre outros. (BRANCO FILHO, 2008, p. 61).

2.3.2 Manutenção descentralizada

Já a manutenção descentralizada é distinta por Fogliatto e Ribeiro (2009, p. 242) como sendo uma divisão da fábrica por zonas e cada uma dispõe de um time de manutenção, com áreas próprias de trabalho, ferramentas e peças de reposição. Fogliatto e Ribeiro (2009) dizem ainda ser “[...] possível organizar a manutenção combinando essas modalidades (por exemplo, centralizando o planejamento e o setor de suprimento, mas descentralizando equipes e áreas de trabalho, etc.).”

Para Branco Filho (2008, p. 64) a meta da organização da manutenção descentralizada é responder de forma mais rápida às demandas oriundas de instalações industriais que ocupam uma grande área ou que possui em sua planta equipamentos e processos muito distintos entre si. O autor pontua as vantagens de instalações descentralizadas: em primeiro lugar, o tempo de traslado dos funcionários partindo da oficina ao local onde o serviço irá ser efetuado vai ser reduzido; em sequência, esta modalidade possibilita resposta ágil à solicitação de intervenções; a supervisão ganha facilidade e controle; o planejamento dos serviços torna-se mais simples (já que envolve apenas um setor; o time de manutenção absorve um melhor entendimento dos requisitos operacionais; os consertos são mais rápidos; entre outros. As desvantagens de um modelo descentralizado também são expostas, por exemplo: flexibilidade baixa; tendência a contratar mais mão-de-obra; possível compra de equipamentos idênticos; entre outros.

De acordo com Branco Filho (2008, p. 59-60),

Parte integrante e inerente de todo e qualquer estudo sobre as atitudes de uma gerência de manutenção, é a compreensão de como a turma de manutenção está distribuída bem como de que modo toda a estrutura hierárquica funciona dentro da organização de sua manutenção. [...]. As organizações de manutenção, além do plano hierárquico e funcional podem ter sua característica organizacional principal determinada por necessidades físicas e geográficas. [...] Ao escolher e optar por um tipo de instalação ou de administração, ao fazer o organograma ou o ‘layout’ da fábrica devemos considerar se quer centralizar ou se quer descentralizar.

Branco Filho (2008, p. 64) afirma ainda que, em muitas organizações, a forma de atuação da manutenção é mista. O autor acredita que esta modalidade combina as vantagens das instalações centralizadas e descentralizadas.

Um dos papéis da gestão da manutenção é definir as formas de atuação que serão adotadas durante o dia-a-dia, visando responder à altura as demandas que as operações de um sistema produtivo geram.

2.4 Indicadores da manutenção

A gestão da manutenção necessita acompanhar diversos indicadores para mensurar e gerir a evolução de suas atividades. Tais componentes de avaliação estão intimamente atrelados a ocorrência de falhas operacionais, logo, permitem analisar como um sistema produtivo encontra-se e guia as decisões da operação de acordo com metas traçadas. Os principais indicadores abordados neste tópico serão: disponibilidade, confiabilidade e taxa de falhas.

Antes da apresentação dos três parâmetros expostos acima, é de fundamental importância o estudo e entendimento do significado do termo falhas.

Falha é definida por Kardec e Nascif (2009, p. 108-109) como “[...] a cessação da função de um item ou incapacidade de satisfazer a um padrão de desempenho previsto.” Os autores dizem que o número de falhas impacta na avaliação de um equipamento, quanto maior for o número de falhas menor será a confiabilidade destes componentes - o aumento da confiabilidade traz melhores resultados para clientes e usuários finais. Para os dois autores, quando um item de um sistema não desempenha suas funções de acordo com o previsto, esta situação é apontada como uma falha e a mesma representa grandes impactos em toda a unidade operacional, como por exemplo: “[...] interrupção da produção; operação em regime instável; queda na quantidade produzida; deterioração ou perda da qualidade do produto; perda da função de comando ou proteção.” (KARDEC e NASCIF, 2009, p. 108-109)

De acordo com Xenos (2014, p. 67), falha “É a diminuição total ou parcial da capacidade de uma peça, componente ou máquina de desempenhar a sua função durante um período [...], quando o item deverá ser reparado ou substituído.” Segundo o autor, a falha acarreta um comportamento de natureza indisponível do sistema.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) consolida a definição central desta reflexão quando traz em sua NBR 5462 de 1994 a seguinte definição para falha: “Término da capacidade de um item desempenhar a função requerida.

Notas: a) Depois da falha, o item tem uma pane. b) A ‘falha’ é um evento; diferente de ‘pane’ que é um estado. c) Este conceito, [...], não se aplica a itens compostos somente por *software*.”

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2009, p. 599), são diversas as causas responsáveis pela falha de um equipamento. A falha pode ser “causada pelo projeto ruim ou a má manutenção de alguém, por uma falha na entrega, por erro de alguém na gestão dos programas de fornecimento e por erro de um cliente, ou pela falha de alguém em fornecer instruções adequadas.” Para os três autores, existem três maneiras de se mensurar as falhas: “taxas de falhas (com que frequência uma falha ocorre), confiabilidade (a probabilidade de uma falha ocorrer) e a disponibilidade (o período útil disponível para a operação.”

2.4.1 Disponibilidade

Fogliatto e Ribeiro (2009, p. 236) abrem o estudo deste ponto com a seguinte afirmação: “A disponibilidade avalia o percentual do tempo que é efetivamente utilizado para a produção.” Os autores definem ainda mais profundamente a disponibilidade ao afirmar que esta é “[...] a capacidade de um item, mediante manutenção apropriada, desempenhar sua função requerida em um determinado instante de tempo ou em um período de tempo predeterminado.”

Slack, Chambers e Johnston (2009, p. 603) fornecem registros sobre este tipo de indicador. Para os três autores, disponibilidade pode significar o grau em uma determinada operação está com condições de trabalhar – não se pode levar em consideração equipamentos que estejam indisponíveis após falha detectada ou durante procedimentos de reparo depois do dano. Em outras palavras, a disponibilidade é indicada para avaliar o tempo de operação total, excluindo o tempo de impacto gerado pela falha e pode ser interpretada através da seguinte equação:

$$Disponibilidade = \frac{TMEF}{(TMEF + TMDR)} ; \quad (1)$$

Onde:

TMEF = Tempo médio entre falhas da produção;

TMDR = Tempo médio de reparo (conhecido como MTTR, vindo do inglês *mean time to repair* – tempo médio necessário para reparar um componente ou a produção, contado a partir do momento exato em que o defeito é detectado até o período em que o item estará operando novamente.

A ABNT classifica a disponibilidade em sua NBR 5462 como a: “Capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante [...], levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos estejam assegurados.” A norma traz ainda a informação de que o termo “disponibilidade” deve ser encarado como uma medida do desempenho de disponibilidade. (NBR-5462, 1994).

Disponibilidade, do inglês *availability*, para Kardec e Nascif (2009, p. 112), pode ser classificada em três tipos: disponibilidade inerente (*inherent availability*), disponibilidade técnica (*achieved availability*) e disponibilidade operacional (*operational availability*). A disponibilidade inerente é apresentada com a seguinte fórmula:

$$\text{Disponibilidade inerente} = \frac{TMEF}{(TMEF + TMPR)} \times 100 ; \quad (2)$$

Onde:

TMEF = Tempo médio entre falhas (traduzido do inglês MTBF – *mean time between failures*);

TMPR = Tempo médio para reparos (do inglês MTTR – *mean time to repair*). De acordo com Kardec, “O termo ‘inerente’ [...] implica o fato de somente se levar em conta o tempo de reparo, excluindo do TMPR todos os demais tempos. [...] A sigla TMPR na disponibilidade inerente leva em consideração apenas as manutenções corretivas.”

Em sequência, os autores citados anteriormente definem a disponibilidade técnica (ou disponibilidade obtida) através de equação apresentada em sequência:

$$\text{Disponibilidade técnica} = \frac{TMEM}{(TMEM + TMPRativo)} \times 100 ; \quad (3)$$

Onde:

TMEM = Tempo médio entre manutenções (traduzido do inglês MTBM – *mean time between maintenance*);

TMPRativo = Tempo médio para reparos, corretivos e/ou preventivos (do inglês *MTTRactive – mean time to repair active*). “TMPR” na disponibilidade obtida não considera os possíveis tempos de logística, esperas, atrasos, etc., entretanto inclui as manutenções corretivas e preventivas.

Por fim, a terceira possibilidade de interpretação de disponibilidade é conhecida como ‘operacional’. Termo traduzido do inglês *operational availability*, Kardec e Nascif (2009) acreditam que esta modalidade representa a real avaliação da disponibilidade e qual realmente interessa à empresa. O dois expressam a disponibilidade operacional de acordo com a equação abaixo:

$$\text{Disponibilidade operacional} = \frac{TMEM}{(TMEM + TMP)} \times 100; \quad (4)$$

Onde:

TMP significa tempo médio de paralisações (do inglês MDT – *mean down time*) – “inclui o TMPR e todos os demais tempos: espera, atrasos, paradas para manutenções preventivas ou inspeções, deslocamentos e outros [...]” (Kardec e Nascif, 2009, p. 112).

2.4.2 Confiabilidade

Segundo a ABNT, confiabilidade é a “Capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições específicas, durante um intervalo de tempo. Nota: O termo confiabilidade é usado como uma medida de desempenho de confiabilidade.” (NBR-5462, 1994).

Kardec e Nascif (2009, p. 106) se aproximam bastante do que a norma técnica já caracteriza. Para os dois, confiabilidade (do inglês *reliability*) pode ser definida como

“[...] a probabilidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições definidas de uso durante um intervalo de tempo estabelecido.”

Fogliatto e Ribeiro (2009, p.05) também trazem uma análise sobre o termo confiabilidade. Os autores acreditam que sua definição está intimamente associada às operações e procedimentos bem-sucedidos durante o dia-a-dia em um sistema de produção – “[...] na ausência de quebras ou falhas.” Para eles, as definições de confiabilidade e qualidade acabam por diversas vezes a serem confundidas, porém diferem entre si pois a confiabilidade recebe a influência do variante tempo enquanto qualidade recebe a descrição estática de um componente.

Slack, Chambers e Johnston (2009, p. 602) oferecem uma análise sobre a confiabilidade e seu papel na gestão da manutenção. Segundo os autores, a confiabilidade tem a capacidade de mensurar as habilidades intrínsecas ao sistema produtivo de desempenhar as funções em concordância com o que se é arquitetado durante determinado intervalo de tempo. Foi relevantemente ressaltado pelos autores o seguinte comentário: “Se os componentes de um sistema forem todos interdependentes, uma falha em um componente individual pode causar a falha de todo o sistema.”

O estudo demonstra a importância deste estudo para este trabalho mais especificamente, uma vez que se tratar de um sistema transportador de longa distância. Slack, Chambers e Johnston (2009, p. 602) ensinam que para se calcular a confiabilidade de todo o sistema, deve-se levar em consideração a confiabilidade de todos os itens interdependentes, com n componente. Logo, a confiabilidade total, R_s , é dada por:

$$R_s = R_1 \times R_2 \times R_3 \times \dots \times R_n ; \quad (5)$$

Onde:

R_1 = Confiabilidade do item 1;

R_2 = Confiabilidade do item 2;

R_3 = Confiabilidade do item 3; etc.

Slack, Chambers e Johnston (2009, p. 602) concluem então que “[...] quanto maior o número de componentes interdependentes de um sistema, tanto menor será sua confiabilidade.”

Por essa razão, fica clara a necessidade de avaliar sempre a disponibilidade de todos os equipamentos como um só, tanto pela equação apresentada acima quanto pelo controle e acompanhamento contínuo para que os parâmetros estejam sempre alinhados.

2.4.3 Taxa de falhas

Segundo Kardec e Nascif (2009, p. 111), “Taxa de falhas é definida como o número de falhas por unidade de tempo. Usualmente é expressa em unidades de falha por milhão de horas.” Os escritores trazem em sua obra conjunta uma fórmula matemática para de calcular a taxa de falha (λ):

$$\text{Taxa de falhas } (\lambda) = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de falhas}}{\text{N}^{\circ} \text{ de horas de operação}} ; \quad (6)$$

Para Xenos (2014, p. 68), são identificadas inúmeras causas possíveis para ocorrência de falhas nos equipamentos de um sistema produtivo. O autor pontua, o que são segundo ele, as três maiores famílias de causas para falhas:

- Ausência de resistência de um componente (característica considerada do próprio equipamento – resultante de deficiências de projeto, erros na especificação técnica de itens, etc.);
- Uso inadequado (sobrecarregar equipamentos podem impactar na geração de falhas);
- Manutenção inadequada dos equipamentos (quando as ações preventivas tomadas pelo setor de manutenção não são suficientemente eficazes na prevenção da deterioração dos componentes.

Para Slack, Chambers e Johnston (2009, p. 600),

A taxa de falhas (TF) é calculada com o número de falhas em um período de tempo. [...]. Por exemplo, a segurança de um aeroporto pode ser medida em termos do número de falhas dividido por seu tempo de funcionamento. A taxa

de falhas pode ser medida como uma porcentagem do número total de produtos testados ou como o número de falhas no tempo: $TF = \frac{n^{\circ} \text{ de falhas}}{n^{\circ} \text{ total de produtos testados}}$; ou; $TF = \frac{n^{\circ} \text{ de falhas}}{\text{tempo de operação}}$.

Os referidos autores compartilham da mesma opinião de Xenos (2014) e acreditam que “As falhas na produção podem ocorrer por razões diferentes.” Algumas destas causas são originadas de dentro da produção (uma vez que o desenvolvimento seu projeto é passível de uma má execução ou ainda pela falha da mão de obra). Outras falhas são ocasionadas por imperfeições do material ou das informações colhidas e algumas tantas falhas também são ocasionadas por ações dos clientes.

Entende-se então que, dependendo do sistema produtivo em que se trabalhe, muitos tipos de manutenção podem ser utilizados durante a rotina de atividades, desta forma, faz-se necessária a organização das ações que serão executadas de forma organizada e planejada. Os indicadores estudados neste tópico (disponibilidade, confiabilidade e taxas de falhas) são uma importante ferramenta para a tomada de decisão dos profissionais da gestão da manutenção.

2.5 O planejamento e controle da manutenção (PCM)

Segundo Xenos (2014, p. 30), o planejamento da manutenção deve ser compreendido como as “[...] as ações de preparação dos serviços de manutenção preventiva, que define quando as ações serão executadas.” Para o autor, o PCM tem como finalidade a distribuição das intervenções de manutenção de acordo com os turnos de trabalho; deve prever a mão de obra necessária para execução dos serviços; materiais e ferramentas necessários para não haver perda de tempo com possíveis peças esquecidas. De acordo com o autor, “O planejamento das ações preventivas permite o dimensionamento correto destes recursos, dando previsibilidade ao processo de manutenção.”

Slack, Chambers e Johnston (2009, p. 283) definem a abrangência do termo ‘planejamento’. Aponta-se que a formalização de eventos futuros e previstos seja a denominação de planejamento - porém um plano não tem a capacidade de garantir que uma previsão vá realmente se consolidar. Por complemento, os autores definem também controle e o tem como “o processo de lidar com [...] variações.” O controle

pode ser compreendido como a necessidade de rever sempre os planos elaborados, uma vez que sempre precisarão ser refeitos e repensados a curto prazo. “Também pode significar que será preciso fazer uma ‘intervenção’ na operação para trazê-la de volta aos ‘trilhos’.” (Os grifos são dos autores)

Kardec e Nascif (2009, p. 69) fazem um breve levantamento do histórico dos sistemas de planejamento e controle da manutenção no Brasil. Segundo eles, até meados de 1970 o PCM das grandes empresas era elaborado completamente de maneira manual. Após o início desta década, houve a introdução e uso de enormes máquinas, muitas vezes os computadores eram IBM, e que tinham seu uso limitado à utilização das empresas mais ricas e com maiores capacidades de investimento. Em 1964 foi desenvolvido o primeiro programa de computador voltado para a manutenção e foi desenvolvido no estado do Rio de Janeiro para utilização da Petrobras na Refinaria de Duque de Caxias. Os autores dizem que “O primeiro *software* para planejamento e controle da manutenção rotineira foi desenvolvido por Furnas Centrais Elétricas no ano de 1970.” O certo é que os sistemas informacionais só ganharam mais espaço e importância para a gestão da manutenção, uma vez que um programa bem desenvolvido tem a capacidade de integrar todos os dados necessários para uma melhor tomada de decisão.

Para Xenos (2014, p. 171),

O planejamento e a padronização são as bases para melhorar o gerenciamento da manutenção. Bem aplicados, eles garantem a confiabilidade das ações preventivas e corretivas e a previsibilidade dos recursos necessários – mão de obra e peças de reposição. Como resultado desta maior previsibilidade, torna-se possível gerenciar o orçamento da manutenção com maior precisão e sem grandes surpresas, ao contrário do que acontece atualmente com muitas empresas.

Toda grande empresa possui um planejamento e controle da manutenção (PCM) bem definido de seus ativos, sejam eles tangíveis ou não. Manter peças, componentes, sistemas e equipamentos funcionando perfeitamente e correspondendo às suas especificações é o grande desafio da função manutenção. Esta importante atividade possui uma grande responsabilidade de planejar seus serviços e performance de acordo com a capacidade e recursos da unidade de negócios.

2.5.1 A elaboração do PCM

Fogliatto e Ribeiro (2009, p. 242) acreditam que a manutenção planejada direciona a empresa à reestruturação do setor de manutenção. Em seu livro, algumas informações são pontuadas e que devem ser considerados durante a elaboração dos planos de manutenção, como exemplo: o tipo de manutenção que será realizado e onde será realizado; as formas de atuação da função manutenção; a estrutura funcional que a empresa a adota; a gestão de sobressalentes; os custos envolvidos; a política de lubrificação do maquinário; o acesso digitalizado disponível; entre outros.

Para Xenos (2014, p. 172), “[...] um plano de manutenção consiste de um conjunto de ações preventivas e de datas para a sua execução. Em outras palavras, um plano de manutenção é simplesmente um calendário de ações preventivas.”

Kardec e Nascif (2009, p. 70-78) detalharam a estrutura do sistema de controle de manutenção. Segundo os autores, os “processos que compõem a estrutura do controle e planejamento da manutenção” mais relevantes são:

- a) Processamento das demandas de serviço: considerada o *input* do sistema – os serviços da manutenção têm de ser solicitados por meio de um registro formal;
- b) Planejamento dos serviços: nomeada como uma das etapas mais importantes do estudo, normalmente responde com o detalhamento do serviço, microdetalhamento, orçamento dos serviços, facilitação de serviços, etc.;
- c) Programação dos serviços: define os serviços que irão ser realizados no turno seguinte e de acordo com as prioridades já conhecidas conciliando com os recursos disponíveis;
- d) Gerenciamento da execução dos serviços: acompanhamento de todos os processos da manutenção – controle de *back-log*;
- e) Registro das atividades e recursos utilizados: manter os sistemas informacionais sempre atualizados do que foi e do que será utilizado;
- f) Gerenciamento dos equipamentos: histórico dos equipamentos bem conhecidos;

g) Administração da carteira de serviços: *follow up* e análise dos orçamentos, cumprimento dos prazos, tempos médios de manutenção, índices de atendimento, estrutura da carteira de serviços, ocupação da mão de obra, entre outros;

h) Gestão dos padrões e procedimentos de serviço;

i) Gerenciamento dos recursos: mão de obra, peças, ferramentas, estoques, etc.

Xenos (2014, p. 172-173) considera que a construção do PCM não deve ser uma atividade complicada, principalmente quando as atividades de manutenção preventiva já são conhecidas. Segundo o autor, “Estas ações devem estar definidas nos padrões de manutenção. [...], os padrões de manutenção devem conter, [...], instruções [...] sobre o que inspecionar, reformar [...], com que frequência, por que e como [...] devem ser executadas.” Xenos (2014) traz ainda a informação que em casos em que os equipamentos sejam novos dentro do sistema produtivo, o PCM elaborado para estes levará em consideração as informações contidas em suas respectivas especificações técnicas (normalmente oferecidas pelos fabricantes) e manuais de manutenção – até que se crie intimidade com o maquinário e entenda suas necessidades rotineiras. O autor afirma ainda que “[...] sempre será possível elaborar os planos de manutenção com base na experiência prática acumulada pelas equipes de manutenção ao longo do tempo.” (XENOS, 2014, p. 173)

Segundo Kardec e Nascif (2009, p. 69), o controle de manutenção tem como papel a harmonização dos processos que são integrados na manutenção. O PCM identifica os serviços a serem realizados, quando serão executados, os recursos necessários, tempo necessário, custo envolvido, materiais aplicados, máquinas que sofrerão intervenção, dispositivos e ferramentas necessários à execução dos serviços. Para Kardec, o controle da manutenção permite ainda que ocorra o “[...] nivelamento de recursos; programação de máquinas operatrizes ou de elevação de carga; registro para consolidação do histórico e alimentação dos sistemas especialistas; e priorização adequada dos trabalhos.”

Vale ressaltar a importância de um PCM ser elaborado de forma concisa e focada na melhoria contínua. Um bom gestor de manutenção deve elaborar suas atividades de manutenção a fim de manter o sistema sempre funcionando com

perfeição. Como foi observado com o estudo acima, todos os equipamentos merecem atenção das ações da manutenção, entretanto cada um possui sua particularidade, fazendo-se necessário o conhecimento dos principais equipamentos que receberão maior atenção durante a rotina de manutenção e enquadrar como prioridade as ações realizadas nestes ativos.

2.6 A classificação de itens de acordo com a criticidade.

Dando início ao estudo deste tópico, é preciso compreender o conceito de item. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas, “Qualquer parte, componente, dispositivo, subsistema, unidade funcional, equipamento ou sistema que possa ser considerado individualmente” pode ser classificado como um item. A norma aponta ainda que pessoas podem eventualmente serem considerados itens.

Para Fogliatto e Ribeiro (2009, p. 242), “A classificação dos equipamentos leva em consideração sua importância. A importância é definida analisando quais as linhas de produto que dependem do equipamento, se é um [...] gargalo, [...], o tempo médio de reparo, [...] a consequência de uma falha nesse equipamento.” Os autores (2009, p. 101) acreditam ainda que “A importância de um componente em um sistema é função de sua confiabilidade no momento da análise e de sua posição no sistema.”

Uma das etapas proposta por Branco Filho (2008, p. 131) durante a implantação da manutenção preventiva é a classificação dos equipamentos, que é desenvolvida pelo autor da obra com a seguinte exclamação:

Os equipamentos deverão ser classificados dentro de sua importância operacional. Será usado o critério de prioridade na implantação para os equipamentos mais importantes no processo. Aqueles que não podem falhar ou onde a falha ou a indisponibilidade causará maiores problemas, e em sequência estender o estudo para todos os demais que existirem, usando o critério de importância da função que ele desempenha, como ensinado pela [...] Manutenção Centrada em Confiabilidade.

Ribeiro (2009, p. 05) acredita que a criticidade tem a capacidade de sinalizar “[...] o quanto um equipamento pode ser decisivo dentro de um contexto operacional de uma unidade[...].” O autor diz ainda que a criticidade de um componente informa o

quanto este item e uma falha associada ao mesmo podem comprometer o bom funcionamento de um processo.

Xenos (2014, p. 49) reafirma a importância de alinhar as metas da manutenção com o aumento da utilização dos equipamentos na produção, a redução das falhas destes itens e o aumento da vida útil de cada um. O autor acredita que estas metas só estarão concretamente alcançáveis quando o planejamento da manutenção estiver elaborado e correspondendo bem às necessidades da empresa. Xenos (2014) contribui para a explanação da importância da necessidade de classificação dos equipamentos em um sistema produtivo quando diz que “O primeiro passo é classificar os equipamentos existentes quanto à sua importância no sistema de produção, definir a forma mais adequada e a frequência da manutenção para cada equipamento e [...] executar a manutenção conforme planejado. “

De acordo com Branco Filho, (2008, p. 130), identificar os equipamentos “é parte fundamental da montagem de um sistema de planejamento e controle da manutenção, [...], para que o sistema reconheça sobre o que nós estamos trabalhando. [...] deveremos estabelecer alguns critérios para esta identificação.

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009, p. 101-102), é imprescindível identificar as deficiências de equipamentos em um sistema com vários componentes. Para Fogliatto, a identificação e classificação de equipamentos “[...] pode ser feita através de medidas quantitativas da importância dos componentes, em termos de suas confiabilidades. [...] engenheiros de manutenção podem estabelecer uma lista de prioridades para a inspeção preventiva destes componentes.”

Conforme Ribeiro (2009, p. 06), ao indicar os parâmetros de criticidade de um item, “[...] a definição de sua valoração deve-se utilizar critérios de prioridade que podem ser selecionados de acordo com a importância dos equipamentos [...]” O autor afirma que os critérios de priorização são utilizados com o objetivo de determinar quais equipamentos serão atendidos previamente e porquê.

Fogliatto e Ribeiro (2009, p. 102), acreditam que existem quatro principais métodos para definir a importância de componentes dentro de um sistema, sendo elas: Birnbaum; importância crítica (do inglês *criticality importance*); Vesely-Fussel; e

potencial de melhoria. Não há a intenção do estudo destes métodos ser aprofundado neste trabalho.

Desta forma, a elaboração deste trabalho toma como base este importante passo durante a elaboração do PCM: a identificação e classificação dos equipamentos de acordo com a criticidade de cada um. A intenção será enquadrar os principais equipamentos no PCM com mais propriedade e objetividade durante as ações planejadas.

2.7 Resultados alcançados por outros pesquisadores

Neste tópico serão abordados os estudos e os resultados que alguns pesquisadores obtiveram na aplicação de metodologia para classificar equipamentos em sistemas produtivos de acordo com a criticidade de cada item. Serão expostas pesquisas nacionais e internacionais a fim de compreender como outros profissionais atuam frente à esta necessidade de completo conhecimento de todos os componentes que se têm em mãos.

Ribeiro (2009, p. 7-8) utilizou-se de estratégia de identificação e classificação de equipamentos de acordo com a criticidade (focando nos critérios de sustentabilidade) e, em seus resultados obtidos, apontou que o processo de classificar os itens aportou muitos benefícios para a gestão, e deu como exemplo os seguintes: nivelamento do conhecimento técnico e operacional, o maior suporte aos profissionais da manutenção (operação e engenharia), o completo conhecimento dos equipamentos e do sistema como um todo, um PCM mais efetivo e confiável. O autor disse ainda que o resultado desta ação possibilitou também uma melhor visibilidade dos aspectos de qualidade e custos envolvidos com muito mais sustentabilidade do negócio.

Ribeiro (2009) aplicou a metodologia de priorização de equipamentos seguindo diversos pontos. O trabalho foi realizado para o emprego em usinas hidrelétricas e termelétricas de um grande grupo atuante na geração de energia e os critérios que o autor levou em consideração para sua realidade foram: a importância do equipamento no ponto de vista da manutenção (“elementos ‘vitais e únicos’”); a importância do item no ponto de vista da qualidade (“equipamentos que impactam diretamente na

qualidade de geração e operação”); importância dos itens segundo o ponto de vista da segurança ambiental e do trabalho. Esta pesquisa fora apresentada e discutida durante seminário internacional na cidade de Bogotá, Colômbia, e a ferramenta da classificação de maquinário identificado no sistema foi fundamental para otimização dos planos de manutenção preventiva e preditiva nas usinas.

O segundo caso a ser estudado foi escrito por Baran, Trojan e Sola (2013) que apresentaram contribuição em um Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP) ao compartilhar pesquisa descritiva englobando o desenvolvimento de uma metodologia aplicada na redução de falhas no sistema produtivo com a finalidade de aumentar a confiabilidade da função manutenção. Os autores contribuíram para este estudo ao expor que realizaram escolha de componentes críticos para o funcionamento da empresa e as atividades de manutenção foram baseadas e elaboradas de acordo com o contexto operacional de cada item e os impactos que as falhas poderiam gerar no todo.

O estudo dos autores foi realizado em um desbobinador de alumínio. Segundo Baran, Trojan e Sola (2013, p. 9-11), o processo analisado “é responsável por 17% das quebras de máquina no processo de Laminação, onde 41% desse percentual são resultantes de falhas relacionadas ao Subsistema de Controle de Tensão.”

A metodologia empregada pelos autores foi a seguinte: inicialmente, fora formada um time responsável pela realização das análises, implantação e execução da manutenção centrada na confiabilidade. Esta equipe foi formada contendo técnicos de manutenção, se de segurança e alguns engenheiros mecânicos. O time definiu a abrangência do projeto, considerando parâmetros críticos como segurança operacional, impactos operacionais e econômicos. Os sistemas estudados escolhidos pertencem a um Sistema de Controle de Tensão e todos os sistemas que interagem com ele. Dados de manutenção, operação e projeto foram colhidos e a verificação de atualizações dos itens também foram conferidas. Foram identificados “[...] os limites do sistema, com suas entradas, saídas, descrição de funções, dispositivos de proteção e [...] detalhes técnicos, resultando na criação dos diagramas funcionais do sistema.” Por fim, os componentes são classificados conforme sua criticidade dentro do sistema, conforme o impacto de suas falhas nos critérios apresentados. Os

parâmetros utilizados para esta classificação foram: segurança; qualidade; meio ambiente; tempo médio entre falhas; custo de reparo.

O terceiro resultado prático estudado neste tópico foi escrito por dois autores internacionais. Chelbi e Kadi (2002) publicaram estudo que focou em uma abordagem de multicritérios para a classificação de itens em um sistema produtivo. O estudo foi publicado no *Journal of Decision Systems*. No trabalho, os autores afirmam que a problemática de natureza criteriosa acaba sendo muito conflituosa para a função manutenção. Para conservar um sistema de gestão e visando o acompanhamento da manutenção, a pesquisa teve como finalidade a classificação de equipamentos de produção segundo ordem de prioridade – e apontou esta ferramenta como sendo muito útil.

Segundo Chelbi e Kadi (2002, p. 03), a elaboração das intervenções da manutenção e do planejamento dos recursos necessários à esta execução deve ter em mente a realização de bons trabalhos de manutenção corretiva e preventiva e, para isso, deve compreender com profundidade as características e a importância que cada equipamento exerce em um sistema produtivo – sobretudo quando este equipamento é único e exerce funções para uma variedade de outros maquinários. Neste quadro supracitado, os autores afirmam que “os equipamentos devem ser organizados por ordem de prioridade decrescente visando orientar os esforços da equipe de manutenção encarregada de mantê-los.” (CHELBI e KADI, 2002, p. 03, tradução nossa).

O trabalho desenvolvido pelos referidos autores contempla doze equipamentos pertencentes à uma indústria tunisiana que fabrica embalagens flexíveis. A máquina 1 (M1) é uma impressora de sete cores; a máquina 2 (M2) é uma impressora de seis cores; a máquina 3 (M3) é uma laminadora sem solvente; a máquina 4 (M4) é uma laminadora com solvente; as máquinas 5, 6 e 7 (M5, M6 e M7) são cortadoras; a máquina 8 (M8) é uma plastificadora; as máquinas 9 e 10 (M9 e M10) são caldeiras; as máquinas 11 e 12 (M11 e M12) são equipamentos de refrigeração e responsáveis pela alimentação das impressoras.

Segundo Chelbi e Kadi elaboraram uma lista de oito parâmetros de criticidade em colaboração direta com os técnicos, engenheiros e profissionais envolvidos com a manutenção. Os critérios são: taxa de falhas; sobressalentes; importância para a

gama de produção; tempo de operação; custos de manutenção; tempo médio de reparo; taxa de produtos defeituosos e segurança. Cada critério recebeu uma determinada pontuação (ou peso) – chegou-se aos valores através de reuniões com todos os envolvidos pela avaliação; em sequência, os 100 pontos totais foram distribuídos entre os diferentes critérios para as diferentes máquinas.

Como resultado, os autores apontaram a elaboração eficiente de um sistema de gestão da manutenção para os equipamentos e seguindo a ordem de prioridade de cada um. Segundo os referidos autores, foi elaborado ainda um documento para cada máquina (com todas as informações pertinentes, e o planejamento dos períodos de intervenção e inspeção de cada componente foi alinhado com as necessidades da empresa. (CHELBI e KADI, 2002, p. 23, tradução nossa).

Fogliatto e Ribeiro (2009, p. 242) encerram o estudo deste capítulo com uma reflexão interessante:

Os tipos de manutenção envolvem, basicamente, a manutenção corretiva, a manutenção preventiva e a manutenção preditiva. [...]. As formas básicas de organização da manutenção são: centralizadas ou descentralizadas. [...] A estrutura funcional adotada pode ser em linha (com hierarquia única que define o que deve ser feito), matricial (com duas frentes de autoridade: uma funcional e outra técnica) ou mista (apoiada na formação de times responsáveis por um setor).

A gestão das atividades de manutenção envolve a classificação dos equipamentos, a programação das atividades e a definição de padrões de trabalho. A gestão das peças de reposição é essencial para evitar que a falta de peças implique longos tempos de parada de linha.

A gestão dos custos de manutenção tem como objetivo maximizar os benefícios da manutenção atendendo o orçamento anual estabelecido.

A gestão da lubrificação dos equipamentos envolve estabelecer a periodicidade das atividades, o que deve ser feito e quem é o responsável pela tarefa. O apoio do *software* para a gestão da manutenção constitui um aspecto fundamental para agilizar e aprimorar as atividades de planejamento.”

Está cada vez mais claro que a gestão da manutenção deve buscar sempre diferentes abordagens para realizar uma melhoria contínua de seus processos e a classificação dos equipamentos, para consolidar o conhecimento de todo o sistema, é uma medida fundamental a ser tomada.

3. PESQUISA DE CAMPO

Após abordagem e análise dos tópicos teóricos relevantes no capítulo anterior, será realizada uma pesquisa de campo a fim de aplicar a metodologia de classificação ABC de equipamentos. Esta pesquisa irá catalogar os itens que compõem um sistema transportador de longa distância, acordando com a criticidade de cada um, e organizando-os de maneira sequencial para elaboração do planejamento da manutenção.

Objetivando o completo entendimento do sistema produtivo, este trabalho pretende consolidar o conhecimento das particularidades dos itens para, a partir disso, elencar quais destes receberão manutenção corretiva, que receberão manutenção preventiva e quais receberão manutenção preditiva.

3.1. Descrição da empresa

O presente trabalho será desenvolvido em uma empresa responsável pelo transporte e armazenamento de um determinado produto a granel. Toda a movimentação desta carga é realizada através de um sistema transportador de longa distância - esteiras do tipo tubular. A atuação desta empresa é local e sua função resume-se apenas na realização deste transporte e guarda.

Por se tratar de um sistema muito complexo e específico, a unicidade do empreendimento impossibilita a identificação desta unidade de negócios e de sua localização exata no território nacional. Os dados técnicos são protegidos, bem como sua forma de atuação e estratégias.

Todos os valores apresentados no trabalho, aqui presente, sofreram alterações proporcionais, a fim de manter os dados reais em sigilo. A manipulação proporcional dos valores estudados não acarreta em danos ao desenvolvimento do estudo e sua classificação e disposição final permanecerão similares ao que foi obtido na empresa durante projeto realizado.

3.2 Descrição do processo produtivo

O produto transportado pelas esteiras é descarregado diretamente no sistema. O transportador estudado mede aproximadamente três quilômetros de extensão e que leva o material do local de descarregamento até seu destino: o cliente interno.

Como abordado anteriormente, o sistema produtivo é único e sua singularidade necessita de um acompanhamento íntimo de sua operação e manutenção. Logicamente, por se tratar de um sistema interligado, o seu funcionamento se torna contínuo e leiaute em linha, ou seja, caso uma falha seja detectada, ela terá capacidade de interromper toda a produção – dependendo, obviamente, de sua dimensão.

A empresa realiza cotidianamente manutenção corretiva, preventiva e, dependendo do componente, também é realizada a manutenção preditiva. A função manutenção é organizada de maneira centralizada – seus operadores e técnicos de manutenção partem para suas atividades de um mesmo ponto de apoio.

3.3 Etapas da pesquisa

Neste tópico, se descrevem as etapas planejadas para consolidação das metas definidas no início deste capítulo: a classificação e priorização de equipamentos em um sistema produtivo. As etapas da pesquisa seguem o fluxo apresentado na Figura 2, a seguir:

Figura 2: Fluxograma das etapas da pesquisa de campo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Etapa 1: Caracterizar os equipamentos

Esta primeira etapa tem por finalidade realizar uma representação das características pertinentes dos equipamentos. A exposição das informações será feita através de uma descrição detalhada do sistema e de seu funcionamento – levando em consideração os itens com maior participação na execução do transporte do material pela correia. Ao final desta etapa, será elaborado um quadro com informações dos dispositivos centrais que serão utilizadas nas etapas seguintes, com a finalidade de identificar e selecionar os subsistemas que serão analisados e seus respectivos itens.

Etapa 2: Identificar os subsistemas

A segunda etapa deste procedimento tem como foco principal o desmembramento dos equipamentos apresentados anteriormente (etapa 1). Os itens serão listados de acordo com projeto físico original, desenhos técnicos do sistema e visitas periódicas ao transportador acompanhadas por profissionais experientes da área de manutenção. Concluindo-se esta etapa, será possível construir um quadro com todos os subsistemas vitais para o pleno funcionamento dos equipamentos – segregados de acordo com os sistemas centrais do maquinário.

Etapa 3: Definir os parâmetros de criticidade

Nesta terceira etapa, será realizado levantamento dos pontos mais críticos para o funcionamento de cada item que compõe o sistema. Os tópicos estarão alinhados à estratégica da manutenção da empresa e serão definidos a partir de reuniões de gestores e diretoria. Visando a definição dos parâmetros que serão considerados para cada item, esta etapa fixará os valores totais referentes à criticidade de um item no todo. Para este procedimento, faz-se necessária uma grande participação dos técnicos e operadores, já que estes possuem profundo conhecimento empírico do maquinário.

Etapa 4: Pontuar e classificar os itens de modo ABC

A presente etapa busca trabalhar com os subsistemas apresentados na etapa 2. Os mesmos receberão pontuação individual de acordo com os critérios e pesos atribuídos após conclusão da etapa 3. Será elaborada uma matriz com a pontuação de cada parâmetro elencado como de importância considerável para a consolidação

da criticidade dos componentes. Ao final desta etapa, e com base na pontuação de cada parâmetro e seus respectivos somatórios, será possível classificar se um item é muito importante (A) para o sistema como um todo, se tem importância intermediária (B) ou se o mesmo pode ser entendido como pouco importante (C). A classificação será atribuída da seguinte maneira:

- A – Urgência no atendimento;
- B – Situação intermediária;
- C – Pouco importante com poucas ações empregadas.

Etapa 5: Definir as estratégias de manutenção

A última etapa deste estudo de caso irá trabalhar com base na classificação ABC dos equipamentos feita na etapa anterior. Será definido, então, o tipo de manutenção que será empregado em cada um dos itens. Como consequência, estes componentes serão enquadrados no planejamento de manutenção com propriedade e alinhados às demandas do transportador. Ao fim desta etapa, serão identificados os itens que receberão manutenção preditiva e/ou preventiva (itens A), apenas preventiva (itens B) ou apenas corretiva (itens C).

3.4 Resultados obtidos

Etapa 1: Caracterizar os equipamentos

Analisando nesta primeira fase, o estudo se dedica ao entendimento das características pertinentes em um trecho do sistema transportador de longa distância. O transportador de correias X (TCX) é composto por um compartimento elétrico e climatizado que conta com equipamentos de alta tensão e que, por sua vez, alimentam os transformadores. Existem ainda outros componentes de alta tensão que são responsáveis pela alimentação de dois motores de dimensões distintas (responsáveis pela movimentação de toda a esteira tubular). Vale ressaltar que os dois motores possuem alguns *encoders* que auxiliam no monitoramento das operações. Alguns outros equipamentos importantes funcionam à uma tensão de 380 volts e que contam com alguns capacitores – estes equipamentos são classificados pela equipe como itens auxiliares, mas ainda assim bastante representativos para o todo. O sistema de 380 volts possui uma enorme máquina rotativa de eixo vertical.

A TCX possui diversos sensores distribuídos em todo o seu trajeto. São detectores de desalinhamento, de fissura em sua estrutura e botões de segurança que desativam totalmente a máquina em casos de emergência. Os dois motores com dimensões distintas supracitados contam com detectores de temperatura, sensores de velocidade, sensores de acionamento e monitoramento dos componentes eletromecânicos que lhe integram.

O sistema conta ainda com um conjunto de baterias com a finalidade de que caso ocorra uma queda de energia, mantém-se, então, os circuitos e disjuntores em operação. Os equipamentos estão protegidos por vários captosres instalados na área externa da edificação. Existe, no local das instalações, um sistema de detecção e combate a possíveis incêndios. A seguir, no Quadro 3, os sistemas que compõem a TCX são apresentados.

Quadro 3: Componentes da TCX.

TCX	
Componentes	Correia (01 item)
	Componentes de alta tensão (07 itens)
	Sistema de acionamento (19 itens)
	Equipamentos 380V (05 itens)
	Comando / Automação (06 itens)
	Total = 38 itens.

Fonte: Adaptado da empresa (2018).

A presente etapa e a próxima foram elaboradas de acordo com verificação de todos os desenhos técnicos da TCX disponíveis, manuais entregues pelos fabricantes, *checklists*, entre outros. Foram realizadas inspeções e visitas em campo de maneira constante e acompanhadas por operadores e funcionários antigos e experientes.

O próximo passo desse estudo será a realização do desmembramento de todos os sistemas centrais que compõe o transportador de correia, para assim aprofundar a análise de todos os itens que influenciam no sistema produtivo.

Etapa 2: Identificar os subsistemas

Dando continuidade ao estudo, a atual etapa pretende entender a complexidade do funcionamento do sistema. Após avaliação de toda a documentação técnica disponibilizada, foi possível listar os subsistemas que integram o transportador de correia. O equipamento 'correia' possui apenas um item em seu subsistema – trata-se da esteira em que o material a ser movimentado é depositado. Em sequência, foi possível verificar que os itens que compõem o 'sistema de alta tensão', sendo 07 (sete) ao todo. Estes são: 05 (cinco) chaves seccionadoras, responsáveis pelo isolamento de algumas partes do sistema elétrico; e 02 (dois) disjuntores – que também realizam um papel importante para a proteção das instalações eletromecânicas.

O 'sistema de acionamento' da TCX conta com 19 (dezenove) subitens. Existe 01 (um) potente Trafo, que mantém as tensões e o isolamento do sistema de forma adequada; 02 (dois) disjuntores; 02 (dois) retificadores, que alteram a corrente alternada em contínua; (02) dois inversores, que convertem a corrente contínua em alternada; 02 (dois) motores com dimensões e potências diferentes e que são responsáveis pela força aplicada para acionar e manter a TCX em funcionamento; 02 (dois) acoplamentos, que mantêm a conexão dos motores; 02 (dois) redutores de velocidade; 02 (dois) acoplamentos para os redutores citados anteriormente; 03 (três) tambores rotativos; e 01 (um) conjunto de rolamentos tensores.

Os equipamentos que compõem o 'sistema 380V' são subdivididos em 05 (cinco) itens, sendo eles: 01 (um) Trafo com metade da capacidade do Trafo que é utilizado no sistema de acionamento supracitado; 01 (um) guincho; 01 (uma) máquina rotativa de eixo vertical; 01 (um) compressor para adequação da pressão do referido sistema; e 01 (um) exaustor, que responsável pela circulação de ar da instalação.

Por fim, os itens que fazem parte do 'sistema de comando/automação' são responsáveis pelo controle da máquina pelo homem. Nele são feitos os ajustes e leituras, focando na compreensão da situação do transportador durante funcionamento. Os componentes que estão presentes nesse sistema são: 01 (um) controlador lógico programável, que comanda e monitora o dispositivo; 01 (um) conjunto de sensores de desalinhamento e fissura da correia; 01 (um) botão de segurança; 01 (um) sensor para leitura da massa do material recebido para transporte;

e 01 (um) sensor para leitura da velocidade da correia. Abaixo, no Quadro 4, são apresentados todos os sistemas e subsistemas que forma a TCX e suas respectivas siglas, que serão empregadas futuramente.

Quadro 4: Componentes e subsistemas.

TCX		
Componentes	Correia (01 item)	
	Esteira (EX01)	
	Componentes de alta tensão (07 itens)	
	Seccionadora 1 (SEC1)	
	Seccionadora 2 (SEC2)	
	Seccionadora 3 (SEC3)	
	Disjuntor 1 (DJ01)	
	Seccionadora 4 (SEC4)	
	Disjuntor 2 (DJ02)	
	Seccionadora 5 (SEC5)	
	Sistema de acionamento (19 itens)	
	Trafo G (TRFG)	
	Disjuntor 3 (DJ03)	
	Disjuntor 4 (DJ04)	
	Retificador G (RETG)	
	Retificador M (RETM)	
	Inversor G (INVG)	
	Inversor M (INVM)	
	Motor G (MOTG)	
	Motor M (MOTM)	
	Acoplamento G (ACPG)	
	Acoplamento M (ACPM)	
	Redutor G (REDG)	
	Redutor M (REDM)	
	Acoplamento G1 (ACP1)	
	Acoplamento M2 (ACP2)	
	Tambor G (GTAM)	
	Tambor M (MTAM)	
Rolamentos tensores (ROTE)		
Tambor K (TK00)		

Equipamentos 380V (05 itens)	
	Trafo M (TMRA)
	Guincho 1 (GUI1)
	Máquina rotativa de eixo vertical (MREV)
	Compressor 1 (CO01)
	Exaustor 1 (EO01)
Comando / Automação (06 itens)	
	Controlador programável (COPE)
	Sensor desalinhamento e fissura (DEFI)
	Botão de emergência (BOTE)
	Sensor de temperatura (SEN0)
	Sensor de balança (SEM1)
	Sensor de velocidade (SEV1)
Total = 38 itens.	

Fonte: Adaptado da empresa (2018).

Conhecendo bem todos os itens que trabalham em conjunto para tornar realidade o serviço realizado pela TCX, pode-se então atuar de maneira mais objetiva na elaboração e definição dos parâmetros que são críticos nos componentes para a função manutenção. Os critérios deverão englobar todas as necessidades detectadas e particularidades que todos os subitens possuem nos sistemas do transportador, alinhado o máximo possível à realidade. Foram 05 (cinco) componentes desmembrados resultando em 38 subsistemas merecedores de atenção.

Etapa 3: Definir os parâmetros de criticidade

Sabendo então dos itens que se têm em mãos, é possível traçar o próximo passo do estudo: compreender o sistema e ter em mente os parâmetros de criticidade que são realmente importantes para esta pesquisa. Considera-se importante fazer a nomeação destes parâmetros para a função manutenção, pois este procedimento gera impacto também no conhecimento da disponibilidade dos itens com o levantamento do histórico no sistema informatizado que é utilizado na empresa, nos custos envolvidos à manutenção e nas ações necessárias que foram e que devem continuar a ser tomadas para aproveitar o tempo ocioso do equipamento com a execução da manutenção. Um bom planejador deve saber com detalhes quantas

horas o sistema lhe dispõe para realização das atividades da manutenção do ativo e uso consciente dos recursos disponíveis.

Com base na coleta dos dados que foram apresentados em reuniões entre os profissionais envolvidos no estudo, chegou-se a um consenso de que os subsistemas devem ser classificados em acordo com os seguintes âmbitos:

1. Produção;
2. Qualidade;
3. Custos;
4. Segurança e meio ambiente.

A pontuação indicada para cada critério tem 04 (quatro) níveis diferentes. Cada parâmetro pode acumular 03 (três), 05 (cinco), 09 (nove) ou 11 (onze) pontos, dependendo do que se está avaliando – com matriz proposta apresentada abaixo. A pontuação segue proporção acordada durante discussões e participação de profissionais da manutenção e é apresentada no Quadro 5, a seguir.

Quadro 5: Parâmetros de classificação por criticidade.

PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE ACORDO COM SUA IMPORTÂNCIA (TCX)							
ASPECTOS	ELEMENTOS	PONTUAÇÃO			PARÂMETROS		
1. PRODUÇÃO	1.1	FREQUÊNCIA DE EVENTOS DE FALHAS	11	0	5	3	11 pts. - Mais de 10 falhas/ mês 05 pts. - De 6 a 10 falhas/ mês 03 pts. - Menos de 6 falhas/ mês
	1.2	TEMPO MÉDIO DE REPARO	11	9	5	3	11 pts. - Maior que 4 horas por falha 09 pts. - Maior que 2 horas por falha 05 pts. - Entre 1 e 2 horas por falha 03 pts. - Menos que 1 hora por falha
	1.3	REGIME OPERACIONAL	11	9	0	3	11 pts. - Maior que 70% 09 pts. - Entre 50 e 70% 03 pts. - Menor que 50%
	1.4	ITENS RESERVAS	11	0	5	0	11 pts. - Sem sobressalentes 06 pts. - Com sobressalentes
2. QUALIDADE	2.1	IMPACTO NA QUALIDADE DO PRODUTO ACABADO	0	9	0	3	09 pts. - Com impacto 03 pts. - Sem impacto
3. CUSTOS	3.1	CUSTO DE MANUTENÇÃO	11	9	5	3	11 pts. - Maior que R\$ 150.000,00 09 pts. - Maior que R\$ 50.000,00 06 pts. - Maior que R\$ 20.000,00 03 pts. - Igual ou menor que R\$ 20.000,00
4. SEGURANÇA	4.1	IMPACTO DA FALHA AO MEIO AMBIENTE	11	0	5	3	11 pts. - Danos graves 06 pts. - Danos moderador 03 pts. - Baixos danos/ sem danos
	4.2	IMPACTO DA FALHA NA SAÚDE DO HOMEM	11	0	5	3	11 pts. - Danos graves ao homem 06 pts. - Danos com risco ao homem 03 pts. - Sem danos

Fonte: Adaptado da empresa (2018).

Para o âmbito da produção (1), foram escolhidos 04 (quatro) critérios para embasar o estudo. O primeiro deles, frequência de eventos de falhas (1.1), teve seus dados e informações retirados dos arquivos internos da empresa. Detentora de um sistema ERP (*Enterprise Resource Planning*), a unidade de negócios possui todas as suas informações integradas e em rede. O histórico da execução de atividades de manutenção é um exemplo de uma informação extraída da base de dados. Durante

esta análise, o conhecimento técnico e rotineiro da equipe de manutenção foi fundamental, estes profissionais muito contribuíram com características e condições específicas dos equipamentos e seu comportamento. Os pesos acordados para este critério foram: soma-se 11 pontos caso o item venha a apresentar mais de 10 falhas por mês; 05 (cinco) pontos para o item que apresentar de 06 (seis) a 10 falhas por mês; e apenas 03 (três) pontos para o item que apresentar menos de 06 (seis) falhas por mês.

O segundo tópico apontado na esfera da produção foi o tempo médio de realização de reparos de itens (1.2). Essa informação também foi retirada do sistema informacional. A empresa realiza a apropriação de horas no sistema ERP dos serviços realizados por seus técnicos a partir de ordens de serviços emitidos e trabalha com a medida homem-hora. A experiência do time da manutenção também foi importantíssima para a compreensão do tempo médio de reparo. A pontuação proposta para a classificação deste parâmetro tem quatro possibilidades: 11 (onze) pontos – quando, para um item, utiliza-se mais de 04 (quatro) horas em média para realizar reparo em uma falha; 09 (nove) pontos – quando o tempo médio de reparo se encontra entre 02 (duas) e 04 (quatro) horas para um componente, 05 (cinco) pontos – quando um item toma entre 01 (uma) e 02 (duas) horas para cada reparo; e 03 (três) pontos – quando o tempo médio de reparo de um item fica abaixo de 60 minutos.

O terceiro parâmetro da produção é o regime operacional do sistema (1.3). Considerando-se um mês com aproximadamente 30 dias e 01 (um) dia com 24 horas, faz-se uma pequena multiplicação e tem-se que um mês possui 720 horas. Os dados e pontuação atribuídos a este tópico foram desenvolvidos seguindo os procedimentos e modos de operação da empresa. Foram verificados os dados fornecidos pela projetista do equipamento e interação com a equipe de manutenção para fazer o levantamento do índice de operação. Com base nos dados fornecidos no início deste parágrafo, é possível desenvolver a pontuação para avaliação do parâmetro 1.3. O item computará 11 (onze) pontos se seu regime operacional for maior que 70% em um mês, será somado 09 (nove) pontos ao item que obtiver tempo de operação entre 50 e 70% em um mês, e serão atribuídos 03 (três) pontos para o equipamento que operar menos que 50% em um mês.

Finalizando a habilidade produção (1) pelos equipamentos, o quarto critério proposto para análise foram os itens que possuem peças reserva no almoxarifado (1.4). A empresa mantém um controle rígido do seu estoque e essa informação foi coletada em seus dados informatizados. Algumas visitas também foram praticadas ao local de estocagem para conferência dos itens em reserva, para constatação física das informações retiradas do sistema ERP. Todos os itens verificados foram revisados e a quantidade informada no sistema digital correspondeu ao que estava disposto no estoque. A pontuação atribuída recebeu apenas uma classificação binária – com 11 (onze) pontos computados aos itens sem peças reserva e 06 (seis) pontos para os componentes que possuem peças sobressalentes.

No âmbito da qualidade (2) foi ressaltado apenas um item de verificação: o impacto na qualidade do produto acabado (2.1). Estas informações foram desenvolvidas em acordo com as condições operacionais da TCX durante as visitas em campo e seguindo os manuais fornecidos pelas fabricantes do referido transportador. Como o produto acabado trata-se do material transportado, uma vez que a empresa é responsável por um serviço, a avaliação para este parâmetro encontrou apenas duas possibilidades de verificação: se existem impactos no produto (nove pontos somados) ou se não existem impactos (três pontos somados).

Na esfera dos custos (3) foi destacado o único ponto 3.1 – custos da manutenção. Com informações colhidas juntamente ao time da manutenção, os valores são estimativas dos custos para reparo dos equipamentos. Considera-se também os custos envolvidos com homem-hora e logística de envio e recepção de sobressalentes. Não foram considerados quaisquer valores referentes a possíveis paradas de produção ocasionadas por falhas e nem a aquisição de itens novos (apenas reparo). Se o elemento no estudado no tópico 3.1 (custos da manutenção) for maior que R\$ 150.000,00, o equipamento analisado receberá 11 (onze) pontos; se maior que R\$ 50.000,00 o item recebe 09 (nove) pontos; se maior que R\$ 20.000,00 o equipamento computa 06 (seis) pontos; caso o custo do reparo seja igual ou menor que R\$ 20.000,00, o item recebe 03 (três) pontos. Os valores foram estimados com base em histórico contratual de serviços prestados por terceiros para reparo de peças e os custos envolvidos nesta intervenção. Os dados não foram autorizados para publicação.

Ao nível da segurança (4), são pontuados dois tópicos para avaliação. Sendo eles: o impacto da falha ao meio ambiente (4.1) e o impacto da falha na saúde do homem (4.2). Para o primeiro ponto, foram realizadas estimativas de acordo com as informações operacionais do sistema e condições verificadas durante visita de campo. O item que apresentar danos graves ao meio ambiente em decorrência de falhas recebe 11 pontos em sua classificação, o item que apresentar danos moderados recebe 06 (seis) pontos e os componentes que apresentarem baixos danos ou nenhum dano ao meio ambiente receberão 03 (três) pontos. Para o parâmetro 4.2 (segurança do homem), os dados obtidos foram colhidos da mesma maneira que o parâmetro 4.1, supracitado. A pontuação atribuída foi a mesma: falhas que ocasionam danos graves ao homem pontuam o item com 11 pontos, itens que oferecem danos moderados à saúde do homem recebem 06 (seis) pontos e danos baixos/ nenhum dano pontuam o equipamento com 03 (três) pontos.

Após realizada a classificação e distribuição de pesos dos critérios pertinentes de um item, torna-se possível a segregação de itens por classes: A, B ou C. Os itens respeitarão a seguinte classificação:

- A – Itens que obtiverem pontuação final maior que 52 serão considerados com altos riscos operacionais envolvidos e capacidade de paralisar completamente as operações;
- B – Componentes que obtiverem pontuação entre 42 e 52 (total) terão classificação crítica secundária – riscos operacionais medianos, com capacidade de reduzir a capacidade produtiva;
- C – Itens com pontuação final menor que 42 são tidos, então, como sem grandes problemas para as operações, são itens considerações facilmente trocados.

Com os parâmetros e pontuação definidos nesta etapa, torna-se possível a aplicação do método de classificação dos equipamentos ABC. O limite de pontuação obedece um espaço de 10 (dez) pontos entre as categorias e foi acordado em diversas reuniões com o pessoal da manutenção. Os itens utilizando são os mesmos subsistemas apresentados na etapa 2.

Etapa 4: Pontuar e classificar os itens de modo ABC

Após uma análise preliminar, foi verificado a necessidade de tomar conhecimento de alguns dados antes de preencher o quadro com a avaliação. Por exemplo, o tempo de operação em que o maquinário estava empregado. O serviço do transporte não acontece durante todo o mês. Estima-se que a demanda por este serviço ocorra durante 21 dias. Tomando como base 24 horas em um dia e 30 dias o mês, conclui-se que o transportador opere durante 70% de 720 horas (mês). São em média 504 horas de operações mensais – com o sistema sendo utilizado por inteiro e em constância.

Todos os dados encontrados e apresentados nesta pesquisa foram colhidos em campo e extraídos de um banco de dados integrado da empresa. O Quadro 6, a seguir, traz o preenchimento dos critérios com seus respectivos resultados:

Quadro 6: Classificação ABC

		1.Produção				2.Qualidade	3.Custos	4.Segurança		CLASSIFICAÇÃO	
		1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	3.1	4.1	4.2	TOTAL	ABC
CORREIA	ITEM										
	EX01	5	11	9	5	3	11	11	11	66	A
COMPON. DE ALTA TENSÃO	ITEM										
	SEC1	5	11	9	11	3	3	3	11	56	A
	SEC1	5	11	9	11	3	3	3	11	56	A
	SEC3	5	11	9	11	3	3	3	11	56	A
	DJ01	5	11	9	11	3	5	3	11	58	A
	SEC4	5	11	9	11	3	3	3	11	56	A
	DJ02	5	11	9	11	3	5	3	11	58	A
SEC5	5	11	9	11	3	3	3	11	56	A	
SISTEMA DE ACIONAMENTO	ITEM										
	TRFG	5	11	9	11	3	5	3	11	58	A
	DJ03	5	11	9	11	3	5	3	5	52	B
	DJ04	5	11	9	11	3	5	3	5	52	B
	RETG	5	11	9	5	3	5	3	5	46	B
	RETM	5	11	9	5	3	5	3	5	46	B
	INVG	5	11	9	5	3	5	3	5	46	B
	INVM	5	11	9	5	3	5	3	5	46	B
	MOTG	5	11	9	5	3	9	3	5	50	B
	MOTM	5	11	9	5	3	9	3	5	50	B
	ACPG	5	11	9	5	3	3	3	5	44	B
	ACPM	5	11	9	5	3	3	3	5	44	B
	REDG	5	11	9	5	3	5	3	5	46	B
	REDM	5	11	9	5	3	5	3	5	46	B
	ACP1	5	11	9	5	3	3	3	5	44	B
	ACP2	5	11	9	5	3	3	3	5	44	B
	GTAM	5	11	9	5	3	3	3	5	44	B
	MTAM	5	11	9	5	3	3	3	5	44	B
	ROTE	5	11	9	5	3	3	3	5	44	B
TK00	5	11	9	5	3	3	3	5	44	B	
EQUIPAMENTOS 380V	ITEM										
	TMRA	5	9	9	11	3	5	3	5	50	B
	GUI1	5	5	9	11	3	3	3	5	44	B
	MREV	5	5	9	11	3	3	3	5	44	B
	CO01	5	5	9	11	3	3	3	5	44	B
EO01	5	9	9	11	3	3	3	5	48	B	
COMANDO / AUTOMAÇÃO	ITEM										
	COPE	5	11	9	5	3	9	3	3	48	B
	DEFI	5	3	9	5	3	3	3	3	34	C
	BOTE	5	3	9	5	3	3	3	11	42	A*
	SEN0	5	3	9	5	3	3	3	3	34	C
	SEM1	5	3	9	5	3	3	5	5	38	C
SEV1	5	3	9	5	3	3	3	3	34	C	

Fonte: Adaptado da empresa (2018).

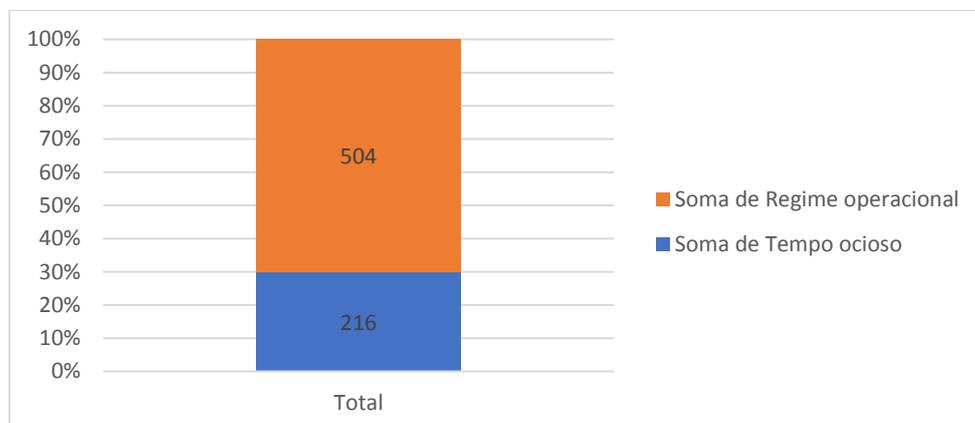
Uma primeira observação importante a se fazer é com relação ao item BOTE (botão de emergência). Mesmo que o dispositivo não tenha acumulado os pontos mínimos necessários para ser classificado como 'A', a decisão de catalogar o botão de emergencial como item prioritário encontra-se alinhada à cultura organizacional da empresa, uma vez que esta preza pela saúde de seus colaboradores, entendendo que em qualquer emergência o equipamento deve estar apto a parar todo o transportador.

O Quadro 6 representa todos os parâmetros elencados na etapa anterior desta pesquisa. A produção (1) teve seus quatro tópicos pontuados, com ressalva ao item 1.1 (frequência de eventos de falhas), onde todos os itens obtiveram 05 (cinco) pontos – não ultrapassando o número de 10 falhas por mês. O tópico 1.2 (TMDR) traz, além da pontuação total por componente, o tempo em horas (à esquerda) do que é utilizado para executar um reparo em cada subitem da TCX.

No item 1.3 (regime operacional), todos receberam pontuação 09 (nove), uma vez que, conforme apresentado no início desta etapa, o sistema opera a 70% do tempo disponível em um mês. Como o sistema opera em continuidade e integração, o entendimento do tempo foi adotado para todos os outros subitens. É interessante verificar a disponibilidade das peças reserva em estoque (1.4) para reposições possíveis. Vários itens tornam-se críticos por não possuírem peças sobressalentes.

O Gráfico 1 ilustra a utilização do tempo disponível por mês (720 horas no total), do tempo operacional (504 horas) e do tempo ocioso e disponível para a execução da manutenção (216 horas).

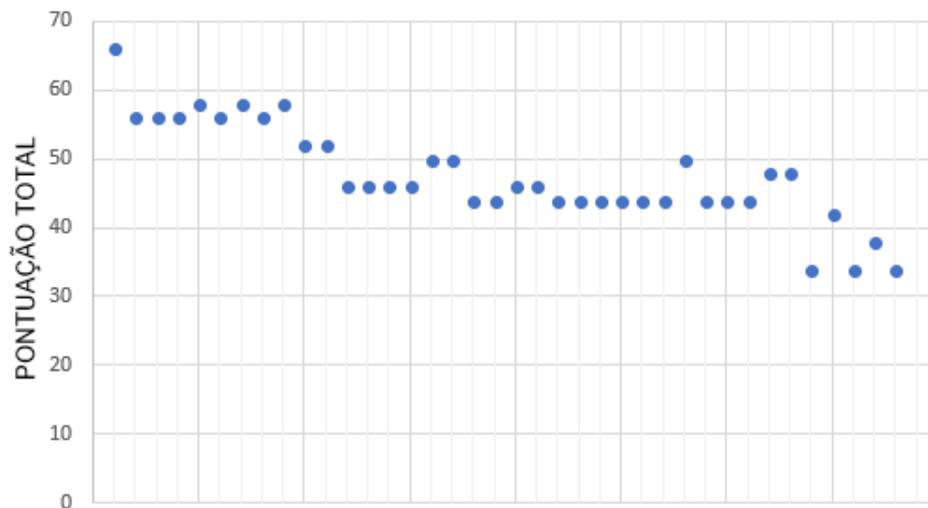
Gráfico 1: Tempo de operação *versus* tempo ocioso.



Fonte: O autor (2018).

A qualidade (2) apresentou em seu tópico 2.1 (qualidade do produto acabado) mesma pontuação já que todos os itens operam em conjunto para que o transporte do material venha a se tornar uma realidade. Para os custos (3) o item considerado mais oneroso foi a correia (com algumas centenas de metros de extensão), enquanto os outros itens do sistema receberam pontuação distinta – possibilitando a caracterização dos custos da manutenção (3.1) de todo o sistema. O item 4.1 (impacto da falha ao meio ambiente) do tópico de segurança (4) tem uma grande semelhança de pontuação, com ressalva para o item correia, que recebeu pontuação máxima, e o sensor da balança que apresentou pontuação mediana. A seguir apresenta-se Gráfico 2 com dispersão de todos os 38 itens e suas respectivas novas finais.

Gráfico 2: Dispersão da pontuação total dos itens avaliados.



Fonte: O autor (2018).

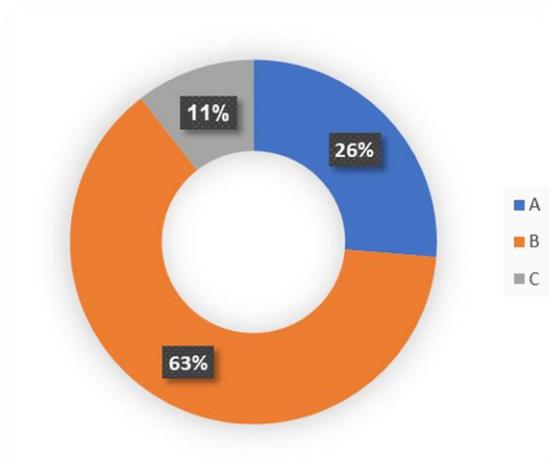
Após a atribuição dos pontos para cada critério, soma-se todos os parâmetros de um item para classifica-lo como A, B ou C. Foram considerados 10 itens classificados como A (prioritários) 26% dos itens analisados. Das 10 amostras, 09 (nove) somaram nota final maior que 52 pontos, obedecendo aos critérios condicionais de pontuação apresentados no penúltimo parágrafo da etapa anterior. Um item foi classificado como A sem a pontuação necessária, trata-se do botão de emergência (BOTE). Por convenção, este dispositivo recebeu classificação de prioridade máxima uma vez que o mesmo é responsável pela interrupção total do sistema em caso de acidente. Vale ressaltar que o referido subitem recebeu pontuação máxima no quesito

4.2 (impacto da falha na saúde do homem) e, tendo o compromisso de respeitar e alinhar a função de manutenção à política de segurança da empresa, este item receberá grande atenção por parte da turma de manutenção.

A maior quantidade de itens foi classificada como criticidade B (pontuação final entre 42 e 52 pontos). São 24 itens considerados com criticidade mediana para o sistema como um todo, ou 63% dos itens. Dispostos em um nível situacional intermediário, os itens B recebem uma certa atenção da equipe de manutenção, porém com sua verificação é compatível com o tempo disponível e obedecerá à uma fila de atendimento.

Como comentado anteriormente, a sistemática de um transportador de correias funciona de forma contínua e integrada e talvez isso justifique a pouca ocorrência de itens com criticidade C. Ao todo, apenas 04 (quatro) itens receberam pontuação final abaixo de 42 (11%) – estes componentes receberão pouca ou nenhuma atenção da equipe de manutenção durante a rotina de atividades, uma vez que só sofrerão intervenção quando uma falha ocorrer. Abaixo segue gráfico demonstrando a distribuição dos ABC de acordo com a porcentagem de cada um dos níveis.

Gráfico 3: Porcentagem dos itens ABC.



Fonte: O autor (2018).

Após a coleta, classificação e apresentação dos dados acima, será possível então focar os esforços para os itens considerados primordiais no sistema. Em posse dessas informações, será possível ordenar os itens que receberão manutenção corretiva, preventiva e/ou preditiva.

Etapa 5: Definir as estratégias de manutenção

Tomando como base as definições apresentadas no capítulo 2 deste trabalho, pretende-se agora tomar algumas decisões com relação ao tipo de manutenção que será utilizado para cada um dos itens do sistema. O quadro 7 traz total dos itens ABC:

Quadro 7: Quantitativo de itens ABC.

Itens	Quantidade
A	10
B	24
C	04
Total	38

Fonte: O autor (2018).

Tidos como os mais importantes itens do sistema, todos os equipamentos classificados como A deverão receber uma maior atenção de toda a equipe de manutenção. Para os itens A, faz-se necessária a adoção de manutenção preditiva e preventiva. Nenhum dos equipamentos A possui peças sobressalentes disponíveis no estoque, logo, esta problemática torna muito mais emergente as tratativas para estes equipamentos – uma possível falha deve ser detectada com o máximo de antecedência possível para que esses subsistemas não parem de operar, impactando em toda a produção. Deve-se buscar as melhores técnicas de manutenção preditiva para aplicar nestes dez itens prioritários.

Por conveniência, os itens classificados como B receberão uma atenção rotineira por parte dos profissionais da manutenção. A falhas envolvidas a estes itens representam um impacto mediano para todo o sistema, mas pertinente de todo modo. A necessidade de realizar acompanhamentos e inspeções nestes itens acaba se tornando uma tarefa importante e que deve estar no dia-a-dia dos profissionais. Os componentes com criticidade B receberão atividades de manutenção preventiva e, obviamente, corretivas com a falha for detectada.

Por fim, os itens considerados menos importantes receberam classificação C dentro do sistema produtivo. Para o transportador de correia, uma falha ocorrida em um item C não deve ser motivo de preocupação, uma vez que defeitos detectados nestes equipamentos não têm poder de para o transporte do material, interferir na qualidade do produto acabado e são considerados de fácil substituição. Estes itens

recebem menos atenção dos profissionais da manutenção e as ações previstas para serem realizadas nestes componentes sempre serão corretivas. Só haverá intervenção na TCX para os itens C quando estes chegarem até o fim da vida útil e entrarem em colapso. Abaixo é apresentado Quadro 8 que contém cada um dos 38 itens da TCX, com sua respectiva classificação e a sinalização de qual tipo de manutenção irá atuar no componente.

Quadro 8: Item *versus* tipo de manutenção.

Item	Pontuação total	Classificação	Manutenção preditiva	Manutenção preventiva	Manutenção corretiva
EX01	66	A	X	X	
SEC1	56	A	X	X	
SEC1	56	A	X	X	
SEC3	56	A	X	X	
DJ01	58	A	X	X	
SEC4	56	A	X	X	
DJ02	58	A	X	X	
SEC5	56	A	X	X	
TRFG	58	A	X	X	
DJ03	52	B		X	
DJ04	52	B		X	
RETG	46	B		X	
RETM	46	B		X	
INVG	46	B		X	
INVM	46	B		X	
MOTG	50	B		X	
MOTM	50	B		X	
ACPG	44	B		X	
ACPM	44	B		X	
REDG	46	B		X	
REDM	46	B		X	
ACP1	44	B		X	
ACP2	44	B		X	
GTAM	44	B		X	
MTAM	44	B		X	
ROTE	44	B		X	
TK00	44	B		X	
TMRA	50	B		X	
GUI1	44	B		X	
MREV	44	B		X	
CO01	44	B		X	
EO01	48	B		X	
COPE	48	B		X	
DEFI	34	C			X
BOTE	42	A*	X	X	
SEN0	34	C			X
SEM1	38	C			X
SEV1	34	C			X

Fonte: Adaptado da empresa, 2018.

As informações contidas no Quando 8 permitem, enfim, compreender com profundidade os anseios e necessidades que cada item da TCX possui. Agora, os

profissionais da manutenção sabem exatamente quais itens incluir durando o planejamento das atividades de manutenção. O setor toma ciência do tempo que possui para realizar as intervenções e quais são as atividades que deverão ser executadas, os recursos disponíveis, ferramentas necessárias, mão-de-obra demandada e um direcionamento maior do que é preciso ser feito. Assim, pode-se afirmar que a confiabilidade de todo o sistema também será otimizada.

3.5 Considerações finais sobre a pesquisa de campo

Com a conclusão pesquisa de campo realizado e apresentado neste trabalho, é possível entender exatamente quais ações precisam ser tomadas no dia-a-dia da empresa. Os dados encontrados tornam-se muito úteis para o planejamento e a programação da função manutenção.

Durante o tempo ocioso da TCX, a equipe conseguirá prever exatamente quais atividades serão disponibilizadas para a execução das atividades, quais os recursos necessários, ferramentas, mão de obra e tempo disponível. Com o conhecimento da criticidade atribuída para de cada item, também se tem como benefício o conhecimento de todo o sistema transportador e suas peculiaridades – empregando os esforços necessários e compatíveis para cada um dos 38 itens estudados aqui. É possível compreender o porquê da maioria dos itens serem considerados como importantes ou muito importantes - 89% dos itens são A ou B. Conforme mencionado anteriormente, a TCX trabalha de maneira contínua e completamente integrada, logo, não existirão falhas pequenas. Vale salientar que um mesmo equipamento pode contar em sua rotina com mais de um tipo de manutenção executada, já que diversos fatores são considerados, como: tempo de parada do maquinário, impactos ambientais, danos ao homem e os custos de manutenção.

Pode-se afirmar, então, que o estudo do sistema produtivo contribui com grandes vantagens competitivas e estratégicas. A identificação, análise e classificação de um item traz os benefícios de tornar os profissionais cada vez mais íntimos ao sistema, resultado em tomadas de decisão mais ágeis e certeiras, alto impacto na diminuição das taxas de falha, aumento da disponibilidade e confiabilidade do sistema; mantendo todos os parâmetros constantemente controlados.

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou o questionamento “quais são os equipamentos mais críticos e que merecem mais atenção em um sistema transportados de longa distância?” como ponto inicial do estudo.

Com a finalidade de estudar, classificar criteriosamente e compreender melhor todos os equipamentos de um sistema produtivo, este trabalho objetiva a análise de todos os itens de uma determinada máquina. Focando, principalmente, na consolidação do conhecimento de um conjunto produtor que desempenha funções singulares, as informações foram compartilhadas com toda a equipe de manutenção e focam em uma melhor tomada de decisão e estratégia. Pode-se, então, concluir que o objetivo acima foi atingido com satisfação.

Foram apresentados conceitos básicos e pertinentes à gestão da manutenção, bem como um breve histórico da evolução desta função. Os pontos levantados foram selecionados a integrar este trabalho pois contribuem para uma melhor ambientação do leitor. Foi apresentado, durante a pesquisa de campo, uma breve descrição do serviço realizado pela empresa e seu processo produtivo para introduzir o espaço em que o estudo foi executado.

Os tipos de manutenção e a elaboração do PCM e sua importância foram explanados neste trabalho, mais precisamente no referencial bibliográfico. Os conceitos supracitados, então, foram alinhados diretamente às necessidades reais dos profissionais de manutenção de uma certa empresa. Estes tópicos foram utilizados para otimizar os resultados da classificação crítica dos equipamentos.

De fato, o sistema produtivo foi descrito de maneira e entender todo o funcionamento integrado – atingindo, assim, o primeiro objetivo específico desta produção. Também foram colhidos e analisados os dados de comportamento de todo o maquinário. Manuais de projeto e de equipamentos foram analisados, histórico de operação e o conhecimento empírico dos profissionais da manutenção foram muito importantes ao realizar a definição dos parâmetros de classificação dos equipamentos. O segundo objetivo específico foi atingido.

Por fim, neste trabalho, a classificação crítica de cada um dos dispositivos do sistema produtivo foi aplicada. Todos os itens críticos foram classificados como A, B

ou C, quantificados e a estratégia de manutenção para cada um dos itens foi traçada. O estudo foi capaz de compreender quais itens necessitam de manutenção corretiva, quais os que precisam de manutenção preventiva e os que necessitam de uma manutenção preditiva. Com isso, será capaz de elaborar um bom planejamento e controle da manutenção – buscando também as técnicas mais viáveis para cada subsistema do transportador de correia.

Assim, conclui-se que o método empregado neste estudo é capaz de apoiar algumas das necessidades de um bom profissional da manutenção, aumentando o conhecimento e a intimidade da equipe com o sistema. Os objetivos foram completamente alcançados, evidenciando a viabilidade deste estudo.

Para estudos futuros, aconselha-se a utilização da classificação ABC para emprego de um estudo e análise dos modos de falha (FMEA), para melhoria de um sistema por parte da engenharia de manutenção.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS. **Documento nacional: resultados 2013.** Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/sidebar/documento-nacional/resultado-2013>>. Acesso em: 20 maio 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

BARAN, Leandro Roberto; TROJAN, Flavio; SOLA, Antônio V. Herrero. Manutenção centrada em confiabilidade (MCC) aplicada na redução das falhas funcionais em um sistema de tensionamento. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 33., Salvador. **Anais.** Salvador: ENEGEP, 2013. p. 9-11.

BRANCO FILHO, Gil. **A organização, o planejamento e o controle da manutenção.** 1. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.

CHELBI, Anis; KADI Daoud Ait. Une approche multicritère. *In Journal of Decision Systems.* DOI 10.3166/jds.11.91-108, 2002. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/254245764>>. Acesso em: 22 abril 2018.

FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Confiabilidade e manutenção industrial.** 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

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

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico.** 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RIBEIRO, Giovani Costa. A importância dos critérios de sustentabilidade na definição da criticidade dos equipamentos analisados sob a ótica de RCM 2. *In: SEMINARIO INTERNACIONAL: MANTENIMIENTO EM SISTEMAS ELÉCTRICOS*, 2., Bogotá. **Anais.** Bogotá, Colômbia: SIMSE, 2009, p. 5-8.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

XENOS, Harilaus Georgius. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. 2. ed. Nova Lima: Falconi, 2014.