



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
UNIDADE ARAXÁ**

LEANDRO DA SILVA RODRIGUES

**DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO MATEMÁTICO PARA
INTERPRETAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO E
PRIORIZAÇÃO DE RECURSOS COM A UTILIZAÇÃO DO MÉTODO
AHP**

ARAXÁ/MG

2016

LEANDRO DA SILVA RODRIGUES

**DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO MATEMÁTICO PARA
INTERPRETAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO E
PRIORIZAÇÃO DE RECURSOS COM A UTILIZAÇÃO DO MÉTODO
AHP**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Automação Industrial, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Automação Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Wanderley Alves Parreira

ARAXÁ/MG

2016

ATA DE APROVAÇÃO

LEANDRO DA SILVA RODRIGUES

**DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO MATEMÁTICO PARA
INTERPRETAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO E
PRIORIZAÇÃO DE RECURSOS COM A UTILIZAÇÃO DO MÉTODO
AHP**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Automação Industrial, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Automação Industrial.

Data de defesa perante a banca examinadora:

Araxá, 02 de dezembro de 2016.

Presidente e Orientador: Prof. Dr. Wanderley Alves Parreira

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Campus / Araxá

Membro Titular: Prof. Dr. Admilson Vieira da Costa

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Campus / Araxá

Membro Titular: Prof. Ms. Glaydson Keller de Almeida Ferreira

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Campus / Araxá

DEDICO ESTE TRABALHO

*A minha FAMÍLIA que esteve ao meu lado durante todos os momentos,
fortalecendo-me para que superasse todos os desafios.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus que sempre me deu conforto nos momentos de dificuldades e nunca deixou que eu parasse pelo caminho.

A minha família, em especial aos meus pais, pelos seus ensinamentos, educação e apoio incondicional e aos meus irmãos que mesmo distantes nunca deixaram de me incentivar para que eu persistisse em busca de meu objetivo.

A minha esposa, pela compreensão das minhas ausências, pelo seu amor, dedicação, paciência e companheirismo em todos os momentos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Wanderley Alves Parreira, primeiramente por ter aceito o convite em me orientar, pela sua sabedoria, confiança, dedicação ao desenvolvimento deste trabalho e por não deixar de acreditar em minha capacidade.

Ao meu amigo, Prof. Hermes Dias Godinho, pela sua grande colaboração com o desenvolvimento deste trabalho.

A Prof^a. Erica Araújo, pela sua fundamental participação na criação deste projeto e o incentivo.

A Coordenadora do Curso de Automação Cefet-MG – Campus Araxá – Renata Calciolari que não mediu esforços para que este trabalho pudesse ser concluído.

Aos Professores e amigos do Cefet-MG/Campus Araxá – por estarem presentes em minha luta diária para que eu pudesse chegar a este momento.

EPÍGRAFE

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.”

Albert Einstein

RESUMO

O processo de tomada de decisão para definição das estratégias de manutenção na maior parte das vezes requer a avaliação simultânea de vários fatores. Sendo os critérios independentes entre si, a possibilidade de analisá-los simultaneamente só se torna possível a partir do desenvolvimento de uma estrutura hierárquica. Este trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento matemático para a teoria criada pela PRO-ATIVO® Consultoria em Engenharia de Manutenção baseada na norma de manutenção FD X 60 000 da AFNOR *Federação Francesa de Normalização e Qualidade*. A utilização do método AHP permite uma análise multicritério de vários critérios simultaneamente, baseando-se na comparação de todos os critérios entre si. O planejamento e desenvolvimento do projeto foi realizado através da ferramenta DMAIC (Definir, Mensurar, Analisar, Melhorar e Controlar), que é uma das componentes do conjunto de práticas do Seis Sigma. Os resultados obtidos foram a validação do método matemático desenvolvido para a otimização dos recursos de manutenção e priorização dos equipamentos de acordo com a sua criticidade para o processo.

Palavras-chave: Análise multivariável. Estratégias de manutenção. AFNOR. AHP.

ABSTRACT

The decision-making process for the definition of maintenance strategies most often requires the simultaneous evaluation of several factors. Since the criteria are independent of each other, the possibility of simultaneously analyzing them is only possible through the development of a hierarchical structure. This work wants to present the mathematical development for the theory created by PRO-ATIVO® Consulting In Maintenance Engineering based on Maintenance standard FD X 60 000 by AFNOR *French Federation of Standardization and Quality*. The use of AHP allows for multicriteria analysis in the same time, based on the comparison between them. The planning and development of the project was done through the DMAIC tool (Define, Measure, Analyze, Improve and Control), which is one of the components of the Six Sigma practice set. The results obtained were the validation of the mathematical method developed for the optimization of the resources of maintenance and prioritization of the equipment according to its criticality for the process.

Keywords: Multivariable analysis. Maintenance of strategy. AFNOR. AHP.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Evolução da técnicas de manutenção.....	18
Figura 2 - Gerações da Manutenção.	19
Figura 3 - Tipos de manutenção.....	21
Figura 4 - Pilares de sustentação TPM.....	24
Figura 5 - Tempos indicativos de manutenção.	28
Figura 6 - Organização em níveis de hierarquia para os critérios.....	30
Figura 7 - Vantagens do método AHP	33
Figura 8 - Fases de DMAIC	35
Figura 9 - Fluxograma DMAIC	36
Figura 10 - Custo de manutenção	37
Figura 11 - Fluxograma de tomada de decisão	39
Figura 12 - Característica de falha.....	40
Figura 13 Hierarquia de critérios.....	44
Figura 14 - Classificação dos critérios de avaliação	44
Figura 15 - Classificação dos critérios - Escala Fundamental de Saaty	45
Figura 16 - Parametrização dos critérios de acordo com a escala de Saaty ..	46
Figura 17 - Definição dos equipamentos/conjuntos a serem avaliados	46
Figura 18 - Comparação par a par entre critérios	47
Figura 19 - Expressão cálculo índice de coerência	48
Figura 20 – Cálculo λ_{max}	48
Figura 21 - Cálculo da Razão de Coerência	49
Figura 22 – Avaliação de acordo com o critério de segurança	50
Figura 23 - Avaliação de acordo com o critério de qualidade	50
Figura 24 - Avaliação de acordo com o critério de regime de trabalho.....	51
Figura 25 - Avaliação de acordo com o critério de atendimento	51
Figura 26 - Avaliação de acordo com o critério de frequência	51
Figura 27 - Avaliação de acordo com o critério de custo	52
Figura 28 - Tela de resultados	52
Figura 29 - Cálculo Índice de Coerência.....	57
Figura 30 - Cálculo Razão de Coerência.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índice de Consistência Randômica.....	49
Tabela 2 - Julgamento dos critérios.....	56
Tabela 3 - Normalização dos autos vetores - matriz principal	57
Tabela 4 - Resultado razão de coerência	57
Tabela 5 - Análise critério de segurança.....	58
Tabela 6 - Análise critério de qualidade.....	58
Tabela 7 - Análise critério regime de trabalho	59
Tabela 8 - Análise critério atendimento.....	59
Tabela 9 - Análise critério frequência	59
Tabela 10 - Análise critério custo.....	59
Tabela 11 - Resultados por critérios	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Ganhos com a implantação do TPM.....	25
Quadro 2 – Tomadas de decisão.....	29
Quadro 3 - Escala fundamental de Saaty	31
Quadro 4 - Políticas de Manutenção	41
Quadro 5 – Políticas de Manutenção aplicáveis	42
Quadro 6 - Definição característica de falha equipamento A.....	53
Quadro 7 - Definição característica de falha equipamento B.....	54
Quadro 8 - Definição estratégia de manutenção equipamento C	55
Quadro 9 - Quadro demonstrativo de resultados.....	60
Quadro 10 – Definição da priorização dos recursos de manutenção	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AFNOR	Associação Francesa de Normalização e Qualidade
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
DF	Disponibilidade física
DMAIC	Definir, Mensurar, Analisar, Melhorar e Controlar
IC	Índice de consistência
IM&C	Consultoria IM&C <i>Company</i>
IR	Índice Randômico
JIPM	<i>Japan Institute of Plant Maintenance</i>
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i> (Tempo médio entre falhas)
MTTR,	<i>Mean Time To Repair</i> (Tempo médio de reparo)
PDCA	<i>Plan-Do-Check-Act</i>
PQCDSM	Produtividade, qualidade, custos, atendimento ao cliente, segurança e mora
RCM	<i>Reability Centered Maintenance</i>
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
TQW	<i>Total Quality Management</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	Desenvolvimento histórico da manutenção	17
2.2	Níveis de Manutenção.....	20
2.3	Tipos de Manutenção	20
2.4	Engenharia de Manutenção	21
2.5	TPM – <i>Total Productive Maintenance</i>	22
2.6	RCM – <i>Reability Centered Maintenace</i>	25
2.7.	Indicadores de manutenção	27
2.8.	Método AHP (<i>Analytic Hierarchy Process</i>).....	29
3	METODOLOGIA	34
3.1.	Planejamento	37
3.2.	Caracterização do problema	38
3.3.	Análise do problema.....	38
3.4.	Execução.....	38
3.5.	Aplicação método multicritério de decisão AHP	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	50
4.1.	Cálculo da priorização a partir de cada critério	50
4.2.	Interpretação dos resultados	52
4.3	Discussão.....	53
4.4	Análise Dos Resultados	61
5	CONCLUSÕES	63
	REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos tem-se observado um cenário de constantes alterações nos campos que se referem a manutenção industrial. Caracterizado principalmente, pelas grandes mudanças ocorridas durante o período da Revolução Industrial, quando houve o início da mecanização dos processos de fabricação, e em especial no período após a II Guerra Mundial, quando países como o Japão e Alemanha tiveram que reconstruir suas indústrias com poucos recursos, o setor de manutenção industrial passou a exercer uma função estratégica para as empresas.

Para os autores Kardec e Nascif (2009), estas constantes mudanças são consequências de fatores como:

- a) Aumento da diversidade de produtos;
- b) Projetos muito complexos
- c) Novas técnicas de manutenção
- d) Novos enfoques sobre a organização da manutenção e suas responsabilidades
- e) Importância da manutenção como função estratégica para melhoria dos resultados do negócio e aumento da competitividade das organizações.

O aumento da oferta de itens referentes a ferramentas, técnicas e outros recursos associados à práticas de manutenção possibilitou o grande desenvolvimento do setor, de forma que passou haver questionamentos sobre a aplicação de recursos corretos aos tipos de falhas existentes, e ainda, se as falhas estavam sendo reparadas e/ou eliminadas nos dentro dos períodos previstos, de forma que não pudessem danificar ainda mais os equipamentos.

Na análise de Trombeta (2016) o aumento das demandas de todos os tipos de mercadorias a partir de 1950, fez com que as empresas percebessem que não havia espaços para improvisações, ou mais especificadamente, “soluções paliativas”. Estas medidas paliativas em sua grande maioria eram prejudiciais aos equipamentos, pois além de não serem a forma correta de executar a manutenção, em alguns casos imputavam outras falhas aos equipamentos, provocando assim uma queda no vida útil dos equipamentos.

Segundo a Consultoria em Engenharia de Manutenção PRO-ATIVO® (2006) ao elaborar as rotinas de manutenção que serão seguidas para um determinado grupo de equipamentos, as estratégias de manutenção podem até coincidir. Contudo, deve ser levado em consideração todas as exceções de cada equipamento.

O modelo de dimensionamento das estratégias de manutenção a partir da criticidade tende a obedecer a nova demanda das áreas de manutenção da atualidade, onde busca-se que as intervenções nos equipamentos sejam dentro do menor tempo possível, com qualidade e resultados capazes de sanar e/ou amenizar as falhas e ainda associadas a um baixo custo.

O modelo adotado para a classificação dos equipamentos a partir de sua criticidade, significa que, para àqueles equipamentos que possuem uma maior relevância dentro dos processos que encontram-se inseridos os recursos sejam eles físicos, financeiros ou materiais serão direcionados, primeiramente, frente àqueles equipamentos que estiverem nas posições secundárias e menos expressivas dentro do processo. Neste caso significa que o grau de investimento e monitoramento nos equipamentos críticos serão maiores.

O setor de manutenção atualmente tem a maior parte de suas atividades conectadas através de redes de comunicação e automação, o que possibilita o controle destas, mesmo fora do local onde ocorram.

Avaliando o desenvolvimento do setor de manutenção sob a ótica financeira, ainda é possível encontrar países com poucos investimentos neste setor. No caso do Brasil, o percentual relativo ao PIB nacional investido na manutenção representa aproximadamente 4,60 % (ABRAMAN, 2013).

Os custos de manutenção tem-se elevado bastante nos últimos 10 anos, conforme acompanhado na figura 1. Ressalta-se que neste período foram adotadas novas metodologias com conceitos e ferramentas, que permitiram a manutenção a tornar-se mais eficiente, porém com um maior custo.

Embora não se veja o mesmo nível de transformação e desenvolvimento em todas as empresas ligadas a manutenção, em algumas tem-se observado intensificação nos investimentos das empresas para a adequação as melhores práticas do mercado, tudo isso para garantir que a qualidade e eficiência dos produtos e serviços atendam às necessidades do consumidor. Segundo (KARDEC, NASCIF, 2009):

Para se alcançar as metas planejadas, ou seja, ir da “Situação Atual” para a “Visão Futuro”, é preciso implementar, em toda a organização, um plano de ação suportado pelas melhores práticas, também conhecido como caminhos estratégicos. A questão fundamental, não é apenas conhecer quais são as melhores práticas mas, sobretudo, ter capacidade de liderar a sua implementação numa velocidade rápida.

Em sua publicação a consultoria (PRO-ATIVO®, 2006) diz que independentemente do nível de tecnologia disponível para aplicação na organização, para que haja uma maior eficácia do sistema de manutenção dos equipamentos, é necessário que os responsáveis pela manutenção dos equipamentos consigam identificar as características das falhas existentes e classificar os equipamentos quanto a sua criticidade para o processos. Através destes questionamentos verifica-se também a capacidade do sistema em priorizar os equipamentos para manutenção observando não somente um critério como custo ou prazo de manutenção, mas vários critérios simultaneamente. Para este trabalho deve ser considerada a hipótese de que ao existir uma necessidade de manutenção em vários equipamentos simultaneamente, deve haver um sistema capaz de direcionar quais equipamentos sejam priorizados, independentemente das pessoas que estejam realizando as análises.

O conhecimento humano em nenhum momento poderá ser substituído ou ignorado. Há muitos casos em que a definição de prioridade é feita intuitivamente tomando como base a experiência de empregados e as condições oferecidas pelo cenário. Contudo, para se evitar que situações como estas tornem-se cotidianas, é recomendável a formalização das criticidades e conhecimento das estratégias de manutenção para cada equipamento do processo de operação. Tomando como base este pressuposto o trabalho objetiva estabelecer a relação de prioridade entre os equipamentos que constituem um sistema de produção a partir de uma avaliação de multicritérios estabelecidos de acordo com a norma AFNOR FD X 60 000.

Tendo em vista o objetivo geral, foram traçado os seguintes os objetivos específicos:

- a) Estabelecer a criticidade dos equipamentos dentro de um determinado processo tomando como referência o fluxograma de classificação de criticidade da norma AFNOR FD X 60 000;
- b) Identificar as principais características de falhas de equipamentos que podem impactar no processo normal de produção;
- c) Estabelecer a relação de prioridade entre os critérios utilizados para definição da criticidade dos equipamentos aplicando o método de tomada de decisão por multicritérios AHP (*Analytic Hierarchy Process*);

d) Identificar a melhor estratégia de manutenção a ser aplicada nos equipamentos de acordo com a criticidade e característica de falha referenciando a norma AFNOR FD X 60 000.

Para a resolução do problema pretende-se desenvolver a interação entre um método matemático de análise de problemas baseado no princípio de análise hierárquica por multicritérios e um segundo método baseado apenas em decisões assumidas a partir da interpretação de fluxogramas de tomadas de decisões. Ao final deste processo espera-se a formação de um único método capaz de solucionar as questões pontuais do projeto através dos argumentos teóricos e com as validações numéricas. Diante do exposto considera-se a hipótese que se houver a classificação do equipamento de acordo com a sua criticidade, a identificação das características de falhas e a classificação das políticas de manutenção, será possível estabelecer uma priorização de recursos, como mão de obra e financeiro, além da redução do tempo de parada de produção indesejado devido à manutenção corretiva em equipamentos críticos.

O objeto de estudo deste trabalho será uma hipótese teórica, elaborada a partir de uma observação da realidade. Em vista a pouca disponibilidade de conteúdo nas literaturas acadêmicas, o desenvolvimento do trabalho encontra-se suscetível a erros devido a confiança das fontes de pesquisa. Espera-se corrigir estes desvios, respaldando-se pela busca de fontes de pesquisas em acervos técnicos e fontes bibliográficas que possam ter suas informações comprovadas.

Perante ao exposto, os assuntos aqui tratados foram organizados em capítulos, de forma a possibilitar uma melhor apresentação dos assuntos e resultados a serem admitidos. O *Capítulo 1* aqui iniciado referiu-se, de modo geral, ao contexto global do trabalho, guiando-se pela exposição do objetivo geral e específicos, a hipótese e justificativa.

Ao *Capítulo 2* coube a revisão literária e a fundamentação teórica para as proposições apresentadas no texto. Nesta etapa, foram apresentados os resultados das pesquisas bibliográficas e virtual realizadas acerca do problema proposto.

No *Capítulo 3* foi exposto o método utilizado durante o desenvolvimento do trabalho. Neste caso, a metodologia DMAIC foi crucial para que o planejamento e o desenvolvimento de todas as etapas pudessem ser concluídas com sucesso. O método DMAIC tem efeito no melhoramento de processos já existentes.

No *Capítulo 4* foram detalhados os resultados obtidos através do desenvolvimento do projeto. Nesta etapa, foram discutidos todos os procedimentos realizados na tentativa de interagir entre os processos.

Ao *Capítulo 5*, por fim, coube o espaço para registrar a conclusão obtida a partir dos exemplos criados no trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Desenvolvimento histórico da manutenção

De acordo com a literatura, o conceito de manutenção está ligado ao surgimento das primeiras atividades humanas, onde com o invento das ferramentas e equipamentos para lhe auxiliar em suas atividades este deparou-se com a necessidade de reparar seus equipamentos para que pudessem voltar as suas condições normais de trabalho. O fato é que o aparecimento das primeiras técnicas de manutenção surgiram com os pioneiros das máquinas e ferramentas, pressupondo-se ainda que estes não tinham conhecimento de tal responsabilidade. (VASCONSELOS, 2009)

O conceito de manutenção ganhou relevância durante o século XVIII juntamente a Revolução Industrial, onde surgiram os primeiros conceitos de produção e também se iniciou a inserção das máquinas nas linhas de produção. Como efeito destas mudanças houve o surgimento da necessidade para que houvesse alguém que fosse capaz de reparar os equipamentos e retorna-los as suas atividades, de forma que a função produção não fosse comprometida. Ressalta-se que durante este período a manutenção era basicamente corretiva, ou seja, reparo após a avaria. (VASCONSELOS, 2009)

Com a evolução dos processos industriais e o desenvolvimento de novas tecnologias e ferramentas aplicadas a manutenção (figura 1), houve um novo alinhamento das demandas mundiais em relação aos parâmetros de produção. Desde então tem-se buscado aperfeiçoar as práticas de manutenção, principalmente àquelas que resultam na melhoria das condições de produção. Esta, sempre foi uma necessidade humana, sempre produzir de uma forma mais rápida, barata e eficiente visando o lucro através da comercialização de sua produção.

Tendo em vista que os processos industriais também tiveram que ser alterados para se adequarem aos novos parâmetros e necessidades das economias mundiais, a manutenção industrial também sofreu alterações ao longo dos anos para que pudesse acompanhar o desenvolvimento dos novos projetos, sendo uma das principais alterações observadas ao longo deste período, a mudança em relação a sua concepção conceitual, uma vez que a manutenção antiga era entendida

simplesmente como manutenção corretiva e atualmente pode ser compreendida por diversas formas, entre elas, manutenção preventiva, preditiva, sistemática, etc.

De acordo com (TUBINO, 2000) atualmente as empresas se preocupam em obter o máximo do lucro em cima de seus recursos. Para isso devem elaborar processos produtivos que tornem os seus produtos eficientes ao máximo. Após a definição do processo é necessário administrar as operações inerentes à ele o que significa planejar e controlar os recursos utilizados no processo: mão-de-obra, capital, matéria-prima, ambiente de manufatura e máquinas.

Para que se possa obter os melhores resultados são necessários que haja um alinhamento entre as atividades de produção e manutenção, caso contrário não será possível a obtenção dos resultados, uma vez que as duas vertentes irão caminhar por trilhas diferentes.

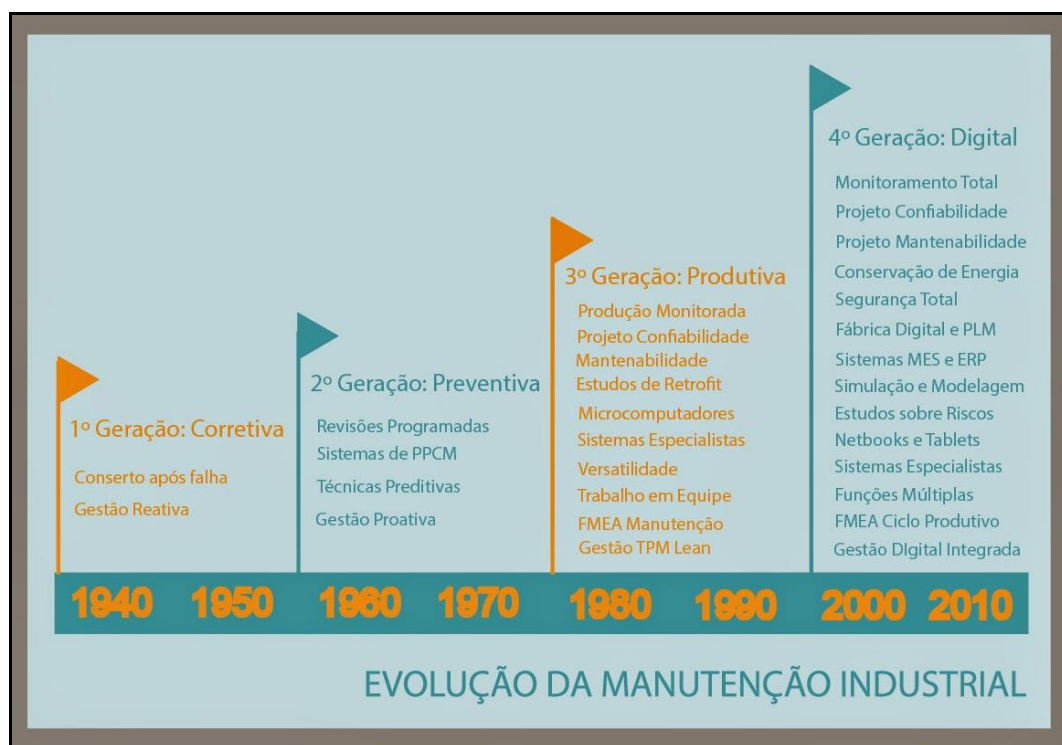


Figura 1 - Evolução da técnicas de manutenção.

Fonte: (GOMES, 2015)

Para Kardec e Nascif (2009) a evolução da manutenção pode ser compreendida em 4 gerações (figura 2):

- 1ª Geração - Período antes da Segunda Guerra Mundial quando a indústria ainda era pouco mecanizada. Equipamentos eram simples e em sua grande maioria superdimensionados. A manutenção era fundamentalmente corretiva não planejada.
- 2ª Geração - Período compreendido entre 1950 até 1970 logo após a Segunda Guerra Mundial. Caracterizada pela baixa disponibilidade de mão de obra para os trabalhos, aumento das demandas por todos os tipos de produtos. Início da mecanização das linhas de produção e do conceito de disponibilidade de equipamentos. Manutenção preventiva uma das principais características deste período.
- 3ª Geração - Iniciada a partir da década de 70. Caracterizada pelo aumento da mecanização e utilização dos recursos de automação nas linhas de produção. O uso da manutenção preditiva ganhou uma maior importância, assim como a confiabilidade passou a ser mais aplicada pela Engenharia de Manutenção. Uma característica determinante para esta geração foi a preocupação com as condições de segurança e meio ambiente.
- 4ª Geração – Caracterizada principalmente pelo desafio de reduzir ao menor número as falhas que ocorrem no início na operação da planta (falhas prematuras) e também manter uma taxa mínima de intervenção na planta, de forma que haja uma disponibilidade alta dos equipamentos. Há uma integração entre as áreas de manutenção, operação e engenharia na busca pela excelência. Existe uma preocupação constante com a segurança das pessoas e também com a preservação do meio ambiente.

EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO				
	Primeira Geração	Segunda Geração	Tercera Geração	Quarta Geração
Ano				
Aumento das expectativas em relação à Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> Conserto após falha 	<ul style="list-style-type: none"> Disponibilidade crescente Maior vida útil do equipamento 	<ul style="list-style-type: none"> Maior confiabilidade Maior disponibilidade Melhor relação custo-benefício Preservação do meio ambiente 	<ul style="list-style-type: none"> Maior confiabilidade Maior disponibilidade Preservação do meio ambiente Influir nos resultados do negócio Gerenciar os ativos
Visão quanto à falha do equipamento	<ul style="list-style-type: none"> Todos os equipamentos se desgastam com a idade e por isso, falham 	<ul style="list-style-type: none"> Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva de banheira 	<ul style="list-style-type: none"> Existência de 6 padrões de falhas (Nowland & Heap e Moubray) 	<ul style="list-style-type: none"> Reduzir drasticamente falhas prematuras dos padrões A e F (Nowland & Heap e Moubray)
Mudança nas técnicas de Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> Habilidades voltadas para o reparo 	<ul style="list-style-type: none"> Planejamento manual da manutenção Computadores grandes e lentos Manutenção Preventiva (por tempo) 	<ul style="list-style-type: none"> Monitoramento da condição Manutenção Preditiva Análise de risco Computadores pequenos e rápidos Softwares potentes Grupos de trabalho multidisciplinares Projetos voltados para a confiabilidade Contratação por mão de obra e serviços 	<ul style="list-style-type: none"> Aumento da Manutenção Preditiva e Monitoramento da Condição Minimização nas Manutenções preditiva e Corretiva não Planejada Análise de Falhas Técnicas de confiabilidade Manutenibilidade Engenharia de Manutenção Projetos voltados para confiabilidade, manutenibilidade e Custo do Ciclo de Vida Contratação por resultados

Figura 2 - Gerações da Manutenção.

Fonte: (KARDEC E NASCIF. p. 5)

2.2 Níveis de Manutenção

De fato, a prática da atividade de manutenção não é uma rotina simples e direta, fazendo com que na maioria das vezes haja a necessidade de integração de diferentes áreas e profissionais para a busca das soluções dos problemas.

Visto a amplitude das atividades de manutenção e a necessidade de integração de diferentes setores a *Association Française de Normalisation* em sua norma AFNOR FD X 60 000 (2002) defende que a manutenção se encontra dividida em cinco níveis, sendo cada nível responsável pelo desenvolvimento de uma etapa do processo de manutenção. Para cada nível é atribuído um responsável pela execução e/ou supervisão de determinada tarefa. Na sequência, descreve-se, detalhadamente, esses níveis, conforme a norma:

1º nível - Ajustagens simples, previstas pelo construtor, sem desmontagem do equipamento ou substituição de elementos acessíveis com toda a segurança.

Responsável: Operador.

2º nível - Reparações através de substituição de elementos *standard* previstos para esse efeito ou reparações menores de manutenção preventivas.

Responsável: Técnico habilitado. Em algumas situações, o operador.

3º nível - Identificação e diagnóstico das avarias, reparação por substituição de componentes funcionais, reparações mecânicas menores.

Responsável: Técnico especializado no local ou equipe de manutenção.

4º nível - Trabalhos importantes de manutenção curativa, corretiva ou preventiva.

Responsável: Equipe de manutenção.

5º nível - Trabalhos de renovação, de construção ou reparações importantes numa oficina central ou por subcontratação.

Responsável: Equipe completa de manutenção polivalente.

2.3 Tipos de Manutenção

Atualmente há duas formas aceitas para a classificação da manutenção quanto aos seus tipos. Em uma primeira classificação a manutenção preditiva é retirada da subdivisão da manutenção preventiva e integrada a divisão máxima do termo de manutenção. Desta forma, é compreendido que a manutenção é classificada em três grupos, sendo manutenção preventiva, manutenção preditiva e manutenção corretiva. Para este trabalho será adotada a segunda classificação de acordo com a norma AFNOR FD X 60 000, (figura 3), na qual o termo manutenção é dividido em dois grupos distintos (manutenção preventiva e manutenção corretiva), sendo a manutenção preditiva integrada a uma subdivisão do grupo da manutenção preventiva.

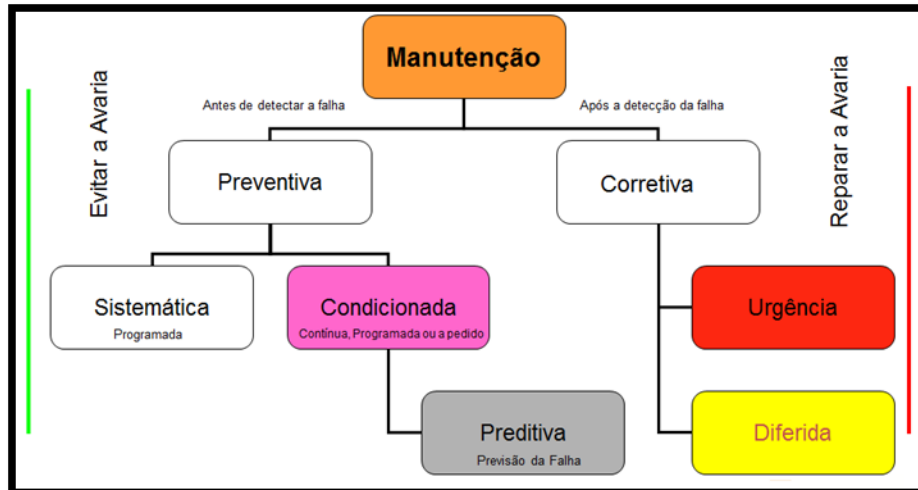


Figura 3 - Tipos de manutenção.

Fonte: Norma AFNOR FD X 60 000

Manutenção Preventiva

É a manutenção realizada em intervalos de tempo pré-determinados ou de acordo com critérios prescritos, com o objetivo de minimizar as avarias de um equipamento.

Manutenção Preventiva Sistemática

É a manutenção preventiva de natureza cíclica realizada mediante intervalos previstos de tempos de utilização ou em função do tempo.

Manutenção Preventiva Condicional ou Preditiva

É a manutenção preventiva executada no momento exato da identificação da avaria, ou seja, a partir do momento em que se passa a existir uma evidência experimental de avaria. Refere-se à manutenção por controle preditivo por conseguir a determinação exata do ponto no qual deve ser executada a manutenção.

Manutenção Corretiva

É o modo de manutenção de forma mais clara existente e o mais antigo tipo de manutenção. Sua principal característica está definida pela realização da ocorrência após avaliar o equipamento, cessando sua capacidade requerida de trabalho, ou seja, só é executada após a ocorrência da falha. É a forma mais cara de manutenção quando encarada do ponto de vista total do sistema.

Manutenção Corretiva Diferida

Manutenção em que a preparação do trabalho é feita após análise da avaria, quando a urgência o permite.

Manutenção Corretiva Urgência

É o tipo de manutenção executada após a ocorrência de avarias, sendo realizada, nesse caso, com o objetivo imediato de retorno do funcionamento das instalações ou equipamentos, ficando a resolução final da avaria adiada para um futuro em que o funcionamento das instalações/equipamentos não seja já tão crítico.

2.4 Engenharia de Manutenção

É o tipo de manutenção mais completo entre as demais formas de manutenção. Consiste em atividades voltadas para correção de falhas oriundas de

projetos e instalações, desenvolvimento de procedimentos e melhorias operacionais, visando o aumento da confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos. Ressalta-se que é um tipo de manutenção que requer altos investimentos, devido a necessidade de se trabalhar com uma mão de obra técnica qualificada e também com recursos de tecnologias avançadas. Segundo Araújo e Santos (2008), a Engenharia de Manutenção é uma nova concepção que constitui a segunda quebra de paradigma na manutenção, já que representa o abandono daquela rotina de quebras contínuas e passa-se a trabalhar com recursos que permitem procurar as causas das falhas. Como estas podem ser modificadas e também como que os equipamentos podem trabalhar de forma a garantir os melhores resultados de suas atividades. Cabe ainda ressaltar que trabalhar com a Engenharia de Manutenção significa interferir nos processos administrativos de forma a garantir os melhores resultados para a Gestão da manutenção, sejam estes de compra, estoque ou processos e também dar feedback ao projeto.

2.5 TPM – *Total Productive Maintenance*

Metodologia TPM teve sua origem registrada na década de 50 nos Estados Unidos, sendo naquela época conhecida também como manutenção preventiva. Entretanto, somente em 1970 é que a metodologia de TPM foi modificada e atualizada para o conceito atual. De acordo com Dutra (2016), a metodologia TPM é original do Japão no início da década de 1970, sendo mais precisamente do ano de 1971. Segundo o autor ainda esta metodologia já existia desde os tempos de 1950/1960 nas manutenções corretivas e 1960/1970 nas manutenções preventivas. O primeiro trabalho conduzido de acordo com metodologia TPM foi registrado na empresa Nippondenso uma importante fabricante de peças automotivas japonesa daquele período. Posteriormente, o trabalho foi estendido para as empresas Toyota, Nissan e Mazda.

Segundo o (JIPM-S, 2005 *apud* DUTRA, 2016), TPM pode ser definido como uma forma de gerenciamento que busca a eliminação contínua das perdas, obtendo a evolução permanente da estrutura pelo constante aperfeiçoamento das pessoas, dos meios de produção e da qualidade dos produtos e serviços. Ainda para Dutra (2016), TPM pode ser definido como métodos destinados a garantir que cada parte

do processo seja sempre capaz de cumprir sua função determinada sem que haja interrupção da produção, através da integração de pessoas, equipamentos e sistemas produtivos, ou seja, são procedimentos que garantam que os equipamentos mantenham suas funções conforme foram desenvolvidos para desempenhar.

Desta forma, o melhor significado para TPM passa a ser *Total Productive Maintenance*, *Total Productive Manufacturing*, ou, ainda, *Total Productive Management* de acordo com o (JIPM-S, 2005 *apud* DUTRA, 2016).

De acordo com o Dutra (2016), todos os trabalhos de implantação da metodologia de TPM devem ter como foco as cinco dimensões “PQCDSM” (produtividade, qualidade, custos, atendimento ao cliente, segurança e moral).

Para as instituições (IM&C INTERNACIONAL e JIPM JAPAN INSTITUTE OF PLANT MAINTENANCE, 2002 *apud* DUTRA, 2016), a metodologia TPM está sustentada por oito pilares após sua quarta geração. (ver figura 4)

1. Melhorias Individualizadas - Melhoria individual dos equipamentos para aumentar a eficiência;
2. Manutenção Autônoma - Elaboração de uma estrutura de manutenção autônoma realizada pelo operador;
1. Manutenção Planejada - Elaboração de uma estrutura de manutenção planejada do setor de manutenção;
2. Educação e Treinamento - Treinamento para a melhoria da habilidade do operador e do mantenedor;
3. Controle Inicial - Elaboração de uma estrutura de controle inicial do equipamento;
4. Manutenção da Qualidade - Manutenção com foco na melhoria da qualidade;
5. TPM Office - TPM Administrativo, Gerenciamento;
8. TPM ECO - Segurança, higiene e meio ambiente.

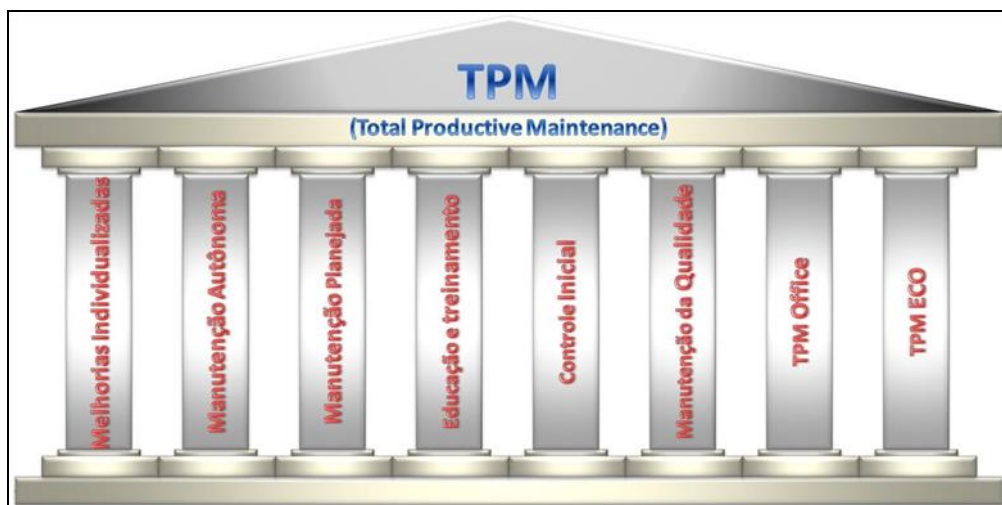


Figura 4 - Pilares de sustentação TPM.

Fonte: JIPM - JAPAN INSTITUTE OF PLANT MAINTENANCE

Os ganhos mensuráveis (ver quadro 01) pela implantação do TPM podem ser resumidos em 06 grupos distintos de acordo com o (DUTRA, 2016 *apud* JIPM - JAPAN INSTITUTE OF PLANT MAINTENANCE, 2002). Os ganhos são representados pelas suas iniciais, sendo elas respectivamente “PQCDSM”, conforme visto no quadro 01.

P	Produtividade	Aumento do índice operacional dos equipamentos; Aumento da produtividade de mão de obra; Otimização da mão de obra; Redução de paradas não planejadas;
Q	Qualidade	Melhoria da capacidade de processo; Redução do índice de refugo; Redução do índice de falha no processo; Redução do índice de retrabalho; Redução do nível de reclamações dos clientes.
C	Custos	Redução de custos industriais; Redução de horas em manutenção; Redução nos estoques de processo; Redução no consumo de energia; Redução no consumo de fluidos hidráulicos; Menor consumo de peças de reposição nas máquinas e equipamentos; Redução de trabalho.
D	Distribuição / Entrega	Redução de estoques de produtos acabados; Aumento no giro de estoque; Redução no índice de movimentação; Melhor confiabilidade nos prazos de entrega.
S	Segurança / Meio Ambiente	Redução de acidentes de trabalho; Redução de sujeiras e desperdícios; Economia de material e energia; Zero absteísmo por acidente; Redução do uso de material poluente; Zero ocorrência de contaminação do meio ambiente; Otimização no atendimento às exigências de proteção ambiental.
M	Moral / Motivação dos Funcionários	Aumento do número de sugestões de melhoria; Motivação para trabalhos em grupo; Aumento de grupos de trabalhos autônomos; Criação de uma "mentalidade" de melhoria contínua.

Quadro 1 - Ganhos com a implantação do TPM.

Fonte: (DUTRA, 2016)

2.6 RCM – *Reability Centered Maintenance*

Assim como o TPM, o método de RCM surgiu nos Estados Unidos. Entretanto, o RCM teve origem na década de 1960 dentro da indústria aeronáutica americana. De acordo com (OLSZEWSKI, 2010), o RCM surgiu na ocasião em que era exigido um reexame dos processos de manutenção cujo objetivo era o de obter segurança operativa nas aeronaves, aliado ao custo operacional das empresas.

A manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM) é um método estruturado para estabelecer a melhor estratégia de manutenção, com o objetivo de definir um processo sistemático de análise que garanta a confiabilidade e segurança da operação do equipamento com o menor custo possível. (AVELAR, 2013).

Os trabalhos de manutenção quando executados devem seguir algumas recomendações mínimas, de forma que, através destas recomendações, sejam mantidos padrões que possam atuar diretamente na redução das perdas potenciais, sejam elas por falhas ou por atrasos. De acordo com a metodologia do RCM todas as atividades inerentes as funções de manutenção e trabalhos de reparos devem ser executadas, contudo, cada equipamento deve receber um atendimento específico de acordo com a função representatividade dentro do processo, ou seja, os equipamentos devem ser agrupados em classes de prioridades e assim mantidos de acordo com as suas criticidades.

Segundo Nunes e Valadares (2002, p. 20) a aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade contribui para o aumento da eficiência do gerenciamento integrado das áreas técnicas e organizacionais, ao priorizar a disponibilidade operativa das instalações, a racionalização dos custos operacionais e a preservação dos ativos físicos no contexto operacional. Já em relação a sua gestão administrativa mostrou-se preocupada com as consequências das falhas para o meio ambiente e a segurança no trabalho. Desta forma proporcionou que mais profissionais pudessem participar das tomadas de decisão.

Para Moubray (1997), se o RCM for corretamente aplicado, contribui notavelmente para os resultados da Gestão de Manutenção. Entretanto, não cabe somente à equipe de manutenção a responsabilidade de conduzir o processo de RCM, uma vez que esta não possui capacidade técnica suficiente para responder os questionamentos referentes às funções, desempenho desejado, efeitos e consequências de falhas causados aos equipamentos. Por esta razão, o processo RCM deve ser aplicado por equipes multidisciplinares que incluem, pelo menos, um representante das áreas de manutenção, operação, engenharia, materiais, saúde, segurança, qualidade e meio ambiente.

De acordo com a Norma NBR 5462/1994, a definição de Confiabilidade seria: “Capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo”.

Para possibilitar o estudo e o gerenciamento do RCM todos os dados são acompanhados através dos indicadores de manutenção, sendo estes indicadores definidos pela Gestão de Manutenção e coordenação dos estudos de Confiabilidade.

Segundo Branco Filho (2006), índices ou indicadores de manutenção representam a relação entre valores e medidas, para avaliar situações atuais com situações anteriores, servindo assim, para medir o desempenho de metas estabelecidas.

Neste caso os principais indicadores utilizados são: MTBF, *Mean Time Between Failures* (Tempo médio entre falhas) e MTTR, *Mean Time To Repair* (Tempo médio de reparo), Confiabilidade Horizontal e gráficos/relatórios que apresentam diagnósticos dos equipamentos.

2.7 Indicadores de manutenção

Para Cabral (2006), um indicador serve para dar uma indicação sobre determinada característica ou acontecimento. De fato, a função dos indicadores é permitir aos gestores e líderes o acompanhamento das atividades que estão sob sua responsabilidade, dando-lhes a possibilidade de interferir no desenvolvimento do processo para a correção ou adequação dos parâmetros de acordo com as suas preferências.

A utilização dos indicadores de desempenho é vista como uma ferramenta estratégica de gestão, uma vez que nos dias atuais há uma grande variedade de indicadores disponíveis no mercado para serem adotados. Embora haja uma grande disponibilidade de indicadores para serem utilizados, é importante realizar um estudo preliminar da estrutura em que estes deverão serem implantados afim de se avaliar se estes são compatíveis as estruturas da organização.

A implantação dos indicadores utilizados pelo setor de manutenção deve estar relacionada aos aspectos que a empresa entenda que sejam importantes e agreguem valor à gestão do setor. Não se deve consumir recursos no levantamento e implantação de indicadores que não contribuirão no desenvolvimento das atividades de manutenção e conseqüentemente serão subutilizados. (VIANA, 2002).

De acordo com Dutra (2016):

A criação de indicadores e a apresentação em relatórios gerenciais facilitaram bastante a visualização e o melhor direcionamento dos atos de manutenção, desta forma faltava apenas a padronização destes para ter

condições de comparar essa imensa diversidade. É exatamente neste tocante que se introduz os chamados “Indicadores de Classe Mundial” ou ainda “Índices de Classe Mundial”.

Ainda segundo (DUTRA, 2016) os “Indicadores de Classe Mundial” ou “Índices de Classe Mundial” são sete, sendo eles:

- MTBF – (tempo médio entre falhas). Definido com o tempo médio entre a ocorrência de falhas.
- MTTR – (tempo médio de reparo). Indicado o tempo médio para que seja realizado o reparo de uma falha.
- TMPF – (tempo médio para falha). Consiste no tempo médio para ocorrência de uma falha.
- DF – (disponibilidade física) – Representa quanto tempo o equipamento esteve disponível para operação em relação ao período de tempo.
- Custo de manutenção por faturamento – Define a relação entre os gastos totais com manutenção e o valor do faturamento do negócio.
- Custo de manutenção por Valor de reposição – Relaciona o custo total com a manutenção de um dado equipamento com o custo total para a aquisição de uma nova peça.

A figura 5 representa ainda outros indicadores de manutenção.

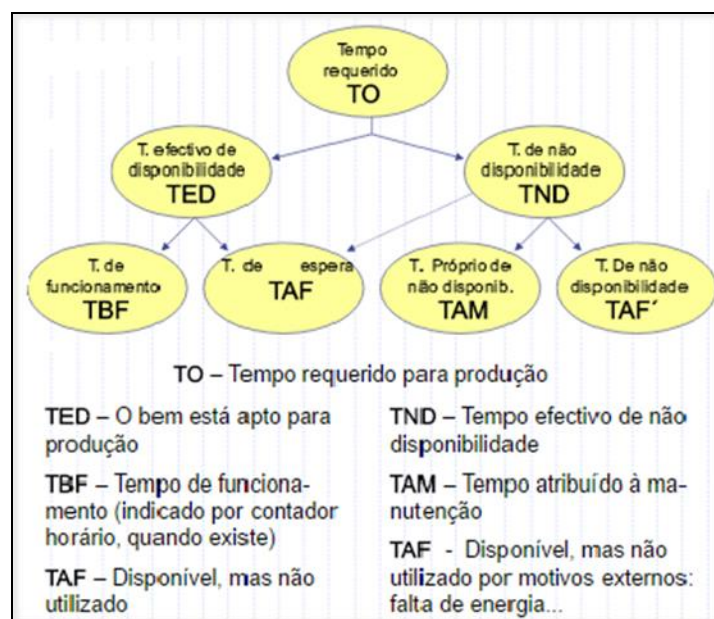


Figura 5 - Tempos indicativos de manutenção.

Fonte: Mounchy p.18

2.8 Método AHP (*Analytic Hierarchy Process*)

Desenvolvido na década de 1980 pelo professor Prof. Thomas L. Saaty, o método de tomadas de decisão multicritérios AHP - *Analytic Hierarchy Process* é um dos métodos mais conhecidos e aplicados para a solução de problemas com múltiplas variáveis.

Para Saaty (1991) o método AHP encontra-se baseado em três princípios do pensamento analítico:

- Construção de hierarquias: decomposição do problema em estruturas hierárquicas;
- Priorização: o julgamento das prioridades;
- Consistência lógica: avaliação do modelo construído quanto a sua consistência.

Ao trabalhar com o método AHP torna-se possível realizar a integração de três tipos de tomadas de decisão em um único procedimento, ou seja, as tomadas de decisões são integradas afim de encontrar uma solução ideal para o problema. De acordo com COSTA (2002) as tomadas de decisão podem ser classificadas de três modos (ver quadro 03):

Classificação quanto ao conhecimento dos desdobramentos futuros (cenários)	Decisão sob certeza	Quando se conhece com certeza os resultados futuros oriundos da decisão.
	Decisão sob incerteza	Quando o decisor desconhece a probabilidade de ocorrência dos cenários e, por conseguinte, não pode avaliar o risco da decisão adotada.
	Decisão sob risco	Quando o decisor consegue estimar a probabilidade de ocorrência dos cenários e, por conseguinte, pode avaliar o risco associado à decisão adotada.
Classificação quanto ao tipo de decisão	Escolha	Escolher uma alternativa dentre um conjunto de alternativas viáveis
	Classificação	Classificar um conjunto de alternativas em subconjuntos.
	Ordenação	Dados os elementos de um conjunto de alternativas, ordená-las segundo algum critério.
	Classificação ordenada	Classificar um conjunto de alternativas em subconjuntos ordenados, ou em classes de referência ordenadas.
	Priorização	Dados os elementos de um conjunto de alternativas, estabelecer uma ordem de prioridades para os elementos do mesmo.
Classificação quanto ao número de critérios considerados	Decisões monocritério	Quando a decisão encontrada busca maximizar a satisfação do decisor considerando um único critério de decisão.
	Decisões Multicritérios	Quando a decisão encontrada busca maximizar a satisfação do decisor considerando um conjunto de critérios de decisão simultaneamente.

Quadro 2 – Tomadas de decisão.

Fonte: Adaptado de Costa (2002)

Considerando ser humanamente impossível analisar vários critérios simultaneamente, define-se:

O AHP permite a construção de um modelo hierárquico de pesos e critérios para auxiliar na tomada de decisão. Além disso, em problemas complexos, por existir uma grande variedade de alternativas, não é humanamente possível analisar todas as soluções individualmente nem as comparar. Uma vez modeladas as preferências, critérios e pesos, o método AHP permite analisar muitas alternativas. (BLOG MUNDO PM 2012).

De acordo com Saaty (1980), a estruturação do método AHP é realizada em seis etapas, sendo elas: (I) Definição do problema, (II) Definição das alternativas, (III) Definição dos critérios relevantes para o problema de decisão, (IV) Avaliação das alternativas em relação aos critérios, (V) Avaliação relativa da importância de cada critério e por fim (VI) Determinação da avaliação global de cada alternativa.

Dada a definição do problema na etapa (I) conforme Saaty (1980), a etapa (II) inicia-se com a organização dos critérios em níveis hierárquicos e a definição das alternativas, de forma a tornar simples e rápida a compreensão do problema. A estrutura pode ser vista conforme a (figura 6).

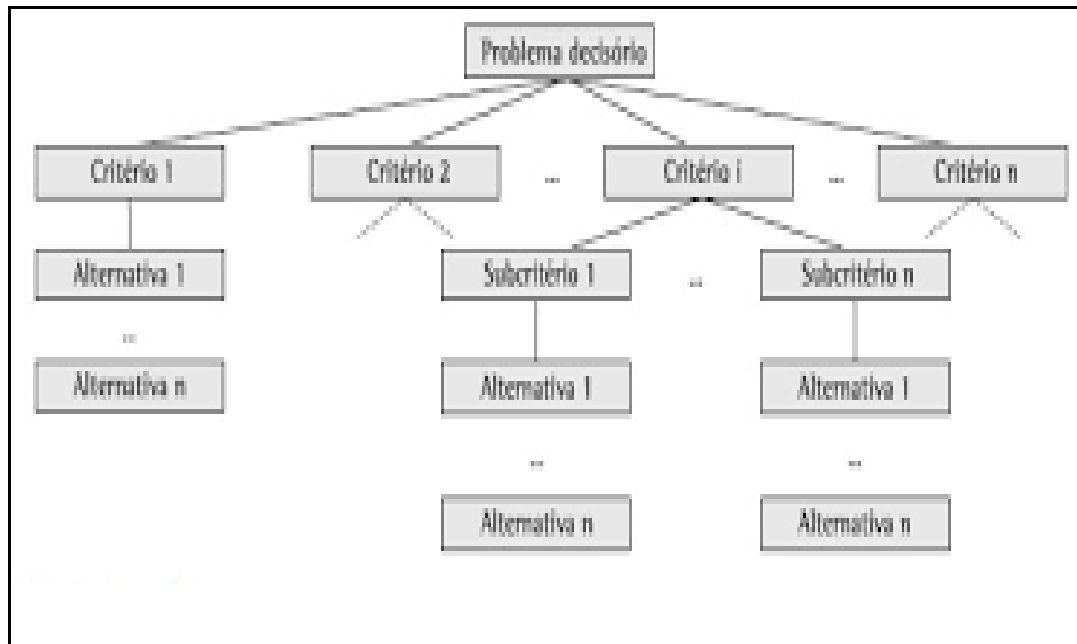


Figura 6 - Organização em níveis de hierarquia para os critérios.

Fonte: Ribeiro, Passos, Teixeira (2011)

A etapa (IV) compreende a comparação par a par dos critérios em avaliação, sendo a correspondência da preferência de cada julgamento representada conforme os valores estabelecidos pela Tabela de Saaty (Quadro 4).

Escala numérica	Escala Verbal	Explicação
1	Ambos elementos são de igual importância.	Ambos elementos contribuem com a propriedade de igual forma.
3	Moderada importância de um elemento sobre o outro.	A experiência e a opinião favorecem um elemento sobre o outro.
5	Forte importância de um elemento sobre o outro.	Um elemento é fortemente favorecido.
7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro.	Um elemento é muito fortemente favorecido sobre o outro.
9	Extrema importância de um elemento sobre o outro.	Um elemento é favorecido pelo menos com uma ordem de magnitude de diferença.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre as opiniões adjacentes.	Usados como valores de consenso entre as opiniões.
Incremento 0.1	Valores intermediários na graduação mais fina de 0.1.	Usados para graduações mais finas das opiniões.

Quadro 3 - Escala fundamental de Saaty

Fonte: Adaptado de Saaty (1980)

A comparação par a par realizada entre os critérios serve para determinar o grau de preferência de um critério sobre o outro. Quando não há preferência entre estes é atribuído o valor zero. Segundo Saaty (1991) o processo de priorização envolve explicitar julgamentos de questões de dominância de um elemento sobre outro quando comparados a uma prioridade. Desta forma o princípio básico a se seguir na criação dessa estrutura é sempre tentar responder a seguinte questão: posso comparar os elementos de um nível abaixo usando alguns ou todos os elementos no próximo nível superior como critérios ou atributos dos elementos do nível inferior?

Ainda segundo (SAATY, 1991) o método AHP oferece três maneiras de se obter a ordem das alternativas, sendo elas:

- Relativa - onde cada alternativa é comparada par a par com relação a um dado critério;
- Absoluta - onde as alternativas são classificadas numa escala de intensidade para um determinado critério;
- Benchmarking - onde uma alternativa conhecida é adicionada ao grupo de alternativas e as demais alternativas são comparadas a ela.

A etapas (V) e (VI) referente simultaneamente a avaliação relativa da importância de cada critério e a determinação da avaliação global de cada

alternativa são as últimas etapas do processo e por isso devem ser testadas e garantidas pelo tomador de decisão, de forma que não haja comprometimento do resultado de suas decisões.

O método AHP está ligado diretamente com o nível de conhecimento do decisor, uma vez que permite que o mesmo disponha de seus julgamentos e valores pessoais em suas análises, uma vez que estes valores são testados e avaliados durante a avaliação de sensibilidade do processo.

Para Oliveira (2007), a método AHP leva em consideração conhecimentos e experiências dos decisores, onde por meio da quantificação dos valores ponderados pelos mesmos, obtém-se os pesos para os fatores considerados. Após a sintetização dos julgamentos determina-se as prioridades das variáveis, tornando assim a análise qualitativa do problema, mais consistente.

Conforme Saaty (1991), a construção da hierarquia é uma abstração da estrutura de um sistema para estudar as interações funcionais de seus componentes e seus impactos no sistema total. Essa abstração pode tomar várias formas inter-relacionadas, todas descendentes de um objetivo geral, desmembrando-se nas forças influentes e até nas pessoas que influenciam essas forças.

Na construção do método cabe ao responsável pela tomada da decisão criar a hierarquia de critérios e definir os pesos, o que não permite o método AHP refletir uma representação da realidade. Entretanto, mesmo tendo estas características, o AHP tem como diferencial a possibilidade de conversão destas preferências humanas em grandezas numéricas, as quais trabalhadas podem ser utilizados nas tomadas de decisão. Uma vez construído, o AHP pode ser utilizado para a análise, comparação e priorização de alternativas de soluções.

Segundo Forman apud Castro *et al* (2005), o método AHP leva em conta experiências, percepções e intuições de uma maneira lógica e completa, permitindo que sejam feitas escalas de prioridades ou de pesos.

Para Saaty (1990), o método AHP apresenta nada menos que dez vantagens para que garantia de sua utilização. Conforme a figura 7, algumas dentre estas vantagens são:

- Simplificação da complexidade ao integrar abordagens dedutivas e sistêmicas para a simplificação de problemas;
- Estruturação Hierárquica – reflete a ordem natural da mente humana em distinguir elementos de um sistema em diferentes níveis e agrupa-los;
- Julgamento e consenso – o método não insiste no consenso, mas no resultado que represente a síntese derivada de diversos julgamentos.

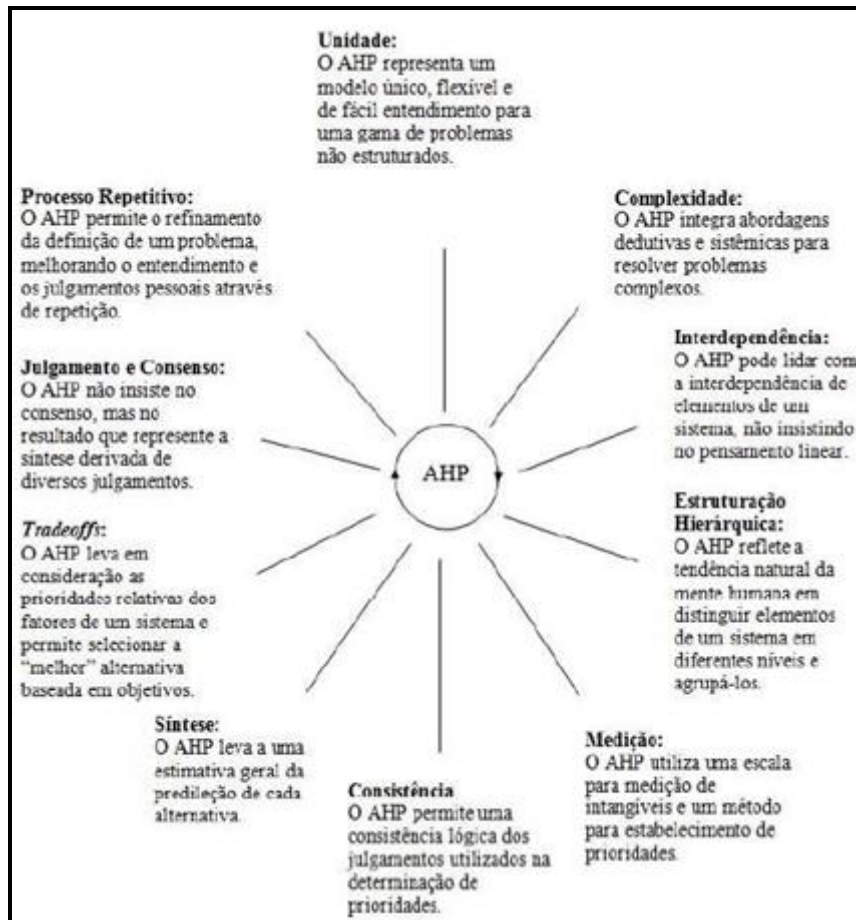


Figura 7 - Vantagens do método AHP

Fonte: Saaty (1990)

3 METODOLOGIA

O desenvolvimento do projeto primeiramente foi caracterizado por uma pesquisa classificada como exploratória quanto aos seus objetivos e bibliográfica e virtual quanto aos seus procedimentos técnicos.

Os estudos exploratórios, geralmente, são úteis para diagnosticar situações, explorar alternativas ou descobrir novas ideias. Esses trabalhos são conduzidos durante o estágio inicial de um processo de pesquisa mais amplo, em que se procura esclarecer e definir a natureza de um problema e gerar mais informações que possam ser adquiridas para a realização de futuras pesquisas conclusivas. Dessa forma, mesmo quando já existem conhecimentos do pesquisador sobre o assunto, a pesquisa exploratória também é útil, pois, normalmente, para um mesmo fato organizacional, pode haver inúmeras explicações alternativas, e sua utilização permitirá ao pesquisador tomar conhecimento, se não de todas, pelo menos de algumas delas. (ZIKMUND 2000)

De acordo com o (GIL, 2008) a pesquisa exploratória é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos. Entretanto, não se recomenda o uso de materiais oriundos da internet. Para este trabalho em vista as dificuldades para acesso aos bibliográficos em livros e outros meios impressos, foi considerada a utilização de materiais oriundos de meio eletrônico, antes porém, todas as suas credenciais devidamente avaliadas e certificadas para garantia da qualidade e confiança das informações.

O desenvolvimento do tema proposto para o projeto foi realizado tomando como base a metodologia DMAIC que é um componente básico do sistema Seis Sigma e tem como objetivo a melhoria de processos já existentes, focando-se no aumento da produtividade, redução dos custos e melhoria dos processos administrativos. O método foi desenvolvido pela fabricante Motorola durante a década de 1980, durante um de seus programas de TQW (*Total Quality Management*), que tinha como foco a redução das variações dos processos. (SILVEIRA, 2016).

O desenvolvimento da metodologia DMAIC é composta por 5 etapas (figura 8), e pode ser orientada de acordo com o fluxograma abaixo (figura 9):

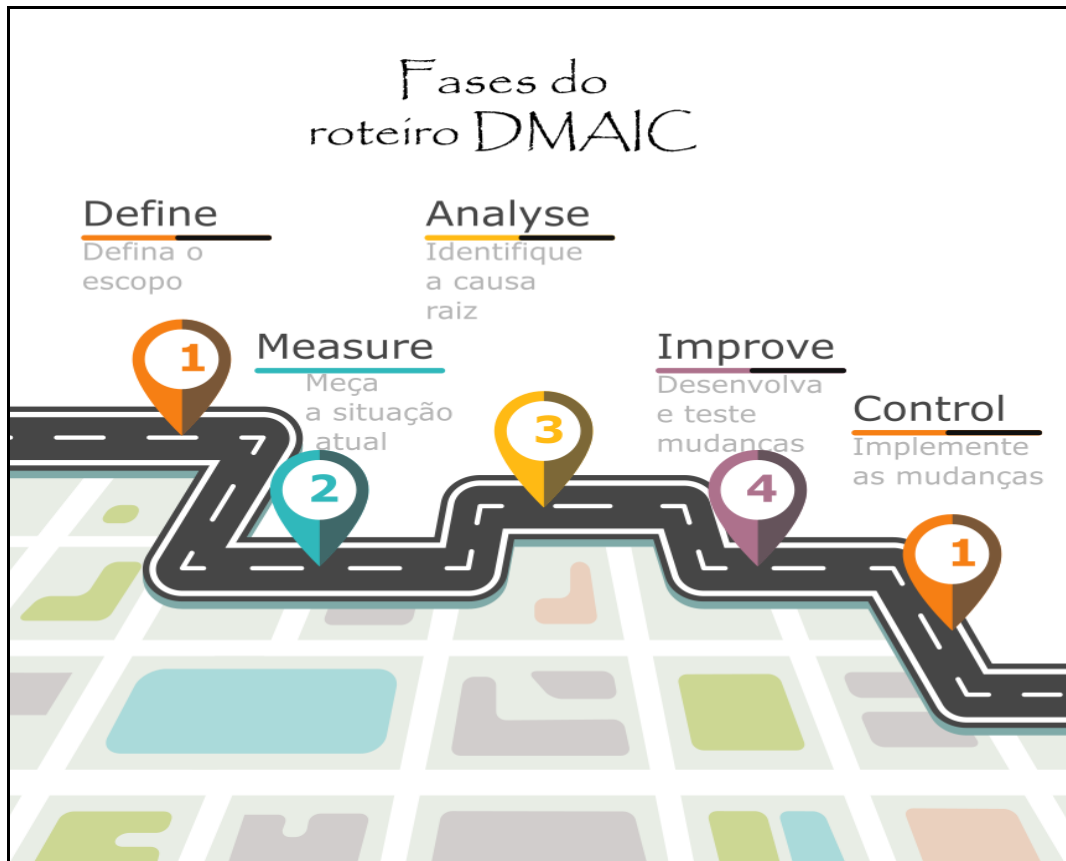


Figura 8 - Fases de DMAIC

Fonte: (PETENATE, 2013)

1º *Define* – (Define) - Nesta etapa é definido o escopo do projeto, quais são as oportunidades de melhorias e quais os pontos que deverão ser trabalhados. Ressalta-se nesta etapa a importância da utilização de KPI para o levantamento de dados quantitativos para a validação dos estudos a serem realizados.

2º *Measure* – (Medição) – É a fase em que é realizada a medição da condição atual. Com base nestes dados coletados nesta etapa é que serão realizadas as avaliações para identificar o tamanho do problema e quais são as estratégias a serem seguidas. Algumas das ferramentas utilizadas para estas medições são os gráficos de Pareto, gráficos de tendências e novamente o KPI's.

3º *Analyse* – (Análise) – A fase de análise envolve o processo de cruzamento dos dados coletados para a identificação das relações entre as causas e efeitos identificadas como problemas para a questão em estudo.

4º *Improve* – (Melhoria) - A fase da melhoria é a etapa destinada a implementação das melhorias identificadas através de medições e análises dos dados coletados. O principal documento desta fase é o plano de ação que deve ser criado para o gerenciamento das ações.

5º *Control* – (Controle) – É a última etapa do processo, é destinada ao controle e avaliação das melhorias implementadas. As melhorias após implementadas devem ser monitoradas e verificadas constantemente quanto aos seus resultados. Caso seja necessário devem ser revisadas para que os resultados sejam obtidos de acordo com as previsões.

(SILVEIRA, 2016)

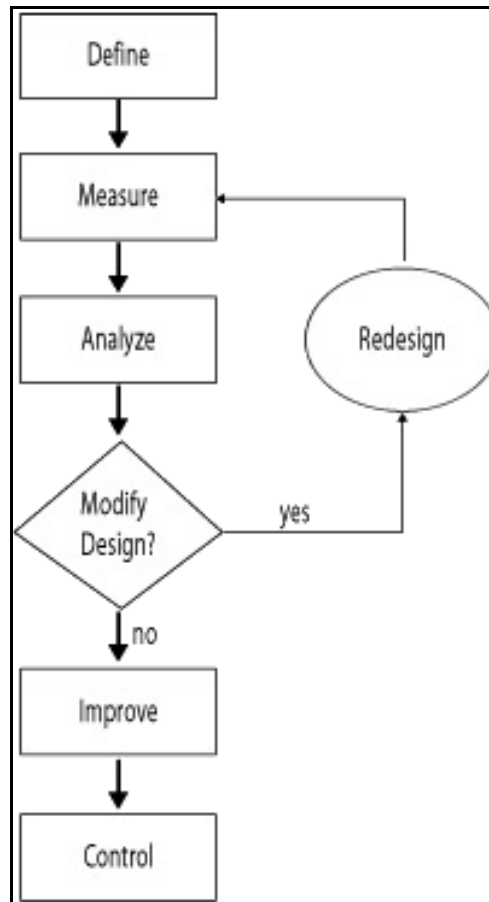


Figura 9 - Fluxograma DMAIC

Fonte: (ASQ, ASQ QUALITY PRESS, 2009, pp. 321–332)

Dentro do proposto para o trabalho a classificação dos equipamentos por meio da criticidade, a priorização dos recursos de manutenção e a verificação da melhor estratégia de manutenção de acordo com as características das falhas vão ao encontro das novas tendências do cenário econômico atual, onde prima-se pela busca incessante da redução dos custos operacionais simultaneamente ao aumento da produção.

Ao analisar a (figura 10) relativa a avaliação do tipo de manutenção no plano de custo x tempo de execução de manutenção, verifica-se que enquanto executado a manutenção do tipo preventiva, o custo de manutenção tende a ser menor ao longo do tempo de operação, ao passo que quando trabalha-se com a manutenção corretiva observa-se o cenário, de custos maiores ao longo do tempo decorrido de operação.

É válido ressaltar que com este projeto será possível avaliar qual a melhor estratégia de manutenção deverá ser aplicado para cada cenário, todavia, em linhas

gerais, a manutenção corretiva, reparo após a quebra, não é muito recomendada, haja vista que o fato de permitir que ocorra uma falha pode gerar outros problemas a serem gerenciados pelo sistema. Desta forma espera-se ao final do projeto torna-lo amplo e flexível, dando-o a possibilidade de instalação em diferentes setores da indústria de manutenção.

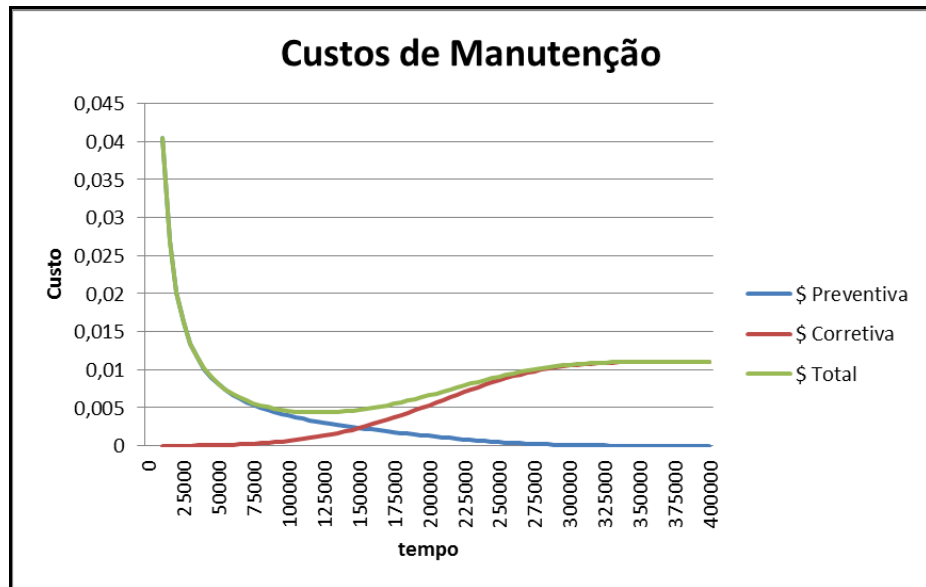


Figura 10 - Custo de manutenção

Fonte: (GOMES, 2014)

Abaixo serão apresentadas as etapas que propriamente descritas compuseram o desenvolvimento do trabalho.

3.1 Planejamento

O planejamento de qualquer empreendimento deve começar com um amplo estudo e avaliação dos riscos que podem ser adquiridos caso se queira seguir com o desenvolvimento do empreendimento. Não diferente desta linha, a etapa de planejamento foi uma etapa com bastante estudo e pesquisa relacionado aos temas propostos. Sendo assim, a etapa do planejamento tornou-se a etapa com o maior número de ações dentro do cronograma inicial do projeto, uma vez que se esperava ter um planejamento sólido e bastante confiável que pudesse proporcionar o desenvolvimento de um trabalho com grande qualidade técnica.

3.2 Caracterização do problema

A necessidade de implementar um sistema que seja capaz de priorizar um equipamento dentro de uma frota através do critério da criticidade e que ainda tenha capacidade de lhe indicar qual a melhor estratégia de manutenção a ser adotada de acordo com a característica da falha apresentada é um problema atualmente compartilhado dentro da estrutura de manutenção de algumas indústrias. Desta forma, esta demanda será definida como o problema a ser explorado.

3.3 Análise do problema

Atualmente existem alternativas que oferecem soluções para o problema acima. Entretanto, em nenhum destes a solução obtida é apresentada através de termos matemáticos, utilizando-se assim de apenas termos técnicos teóricos. A aplicação do método AHP para a validação matemática será de grande importância para que o projeto obtenha um maior respaldo quanto a sua aplicabilidade e também a sua credibilidade ao apresentar seus resultados.

3.4 Execução

3.4.1 Classificação dos equipamentos quanto a criticidade

A classificação dos equipamentos quanto a criticidade foi realizada de acordo com fluxograma de tomada de decisão elaborado pela PRO-ATIVO® Consultoria em Engenharia de Manutenção (FIGURA 11), onde os equipamentos são agrupados em três classes distintas de acordo com a sua representatividade para o processo.

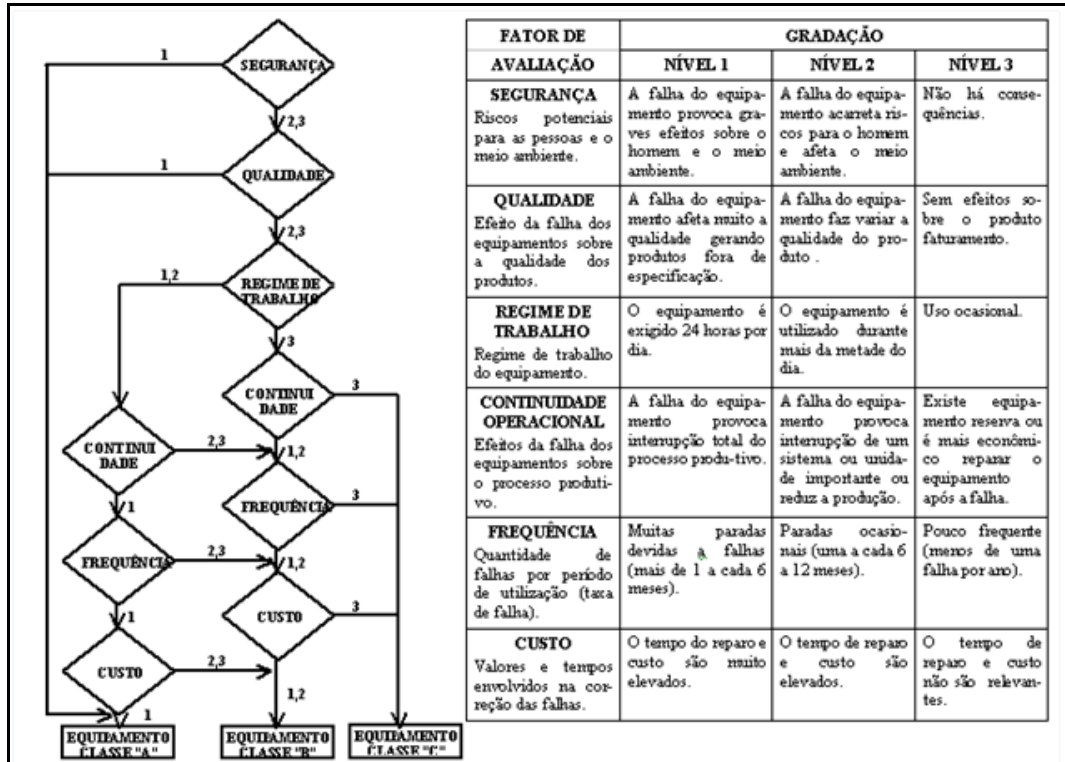


Figura 11 - Fluxograma de tomada de decisão

Fonte: PRO ATIVO (2006) **Classificação das características de falhas**

A classificação das falhas dos equipamentos constitui a segunda etapa do projeto. Entretanto, é uma etapa de grande importância, uma vez que o conhecimento total da característica da falha garantirá que seja aplicada a correta política de manutenção para o equipamento.

Tendo em vista que o reconhecimento do modo de falha é essencial para a qualidade e confiabilidade do projeto, define-se que a classificação da característica da falha deve ser realizada por uma equipe multidisciplinar dentro da organização, de modo que a falha seja avaliada em sua totalidade, avaliando-se todos os impactos que esta pode causar não somente na produção, mas também na segurança, meio ambiente, qualidade, etc.

Para o projeto foi adotada a classificação da falha de acordo com a (figura 12), onde a falha é inicialmente classificada em dois grupos, periódica (aquela que ocorre com intervalos de pré-definidos de tempos) ou aleatória (aquela que não se sabe quando poderá ocorrer). Posteriormente, as falhas periódicas são classificadas em falhas aleatórias do tipo de detecção fácil e/ou de custo baixo ou em falhas aleatórias de detecção difícil e/ou alto custo. Em relação as falhas do tipo aleatórias

estas são classificadas em aleatórias muito frequentes ou aleatórias pouco frequentes.

Dada a importância desta classificação ressalta-se que esta deve refletir as crenças da organização, uma vez que o conhecimento do modo de falha e a análise de efeitos é fundamental para o correto estabelecimento das políticas individuais de manutenção.

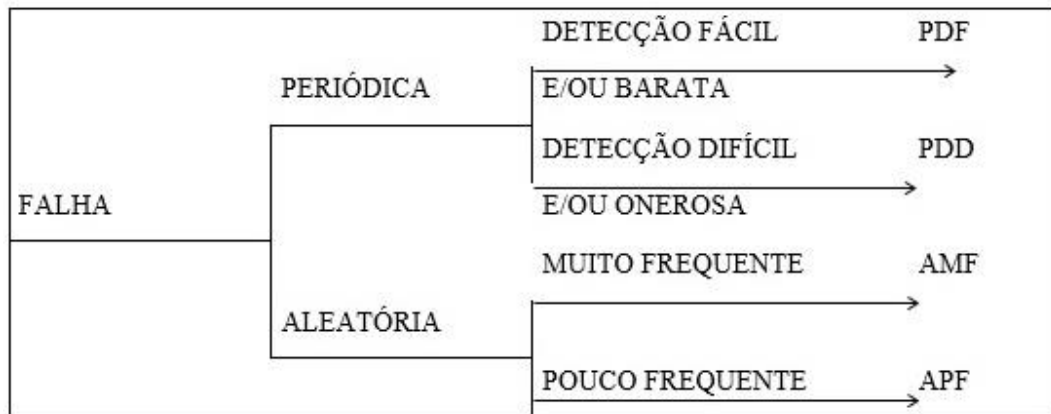


Figura 12 - Característica de falha

Fonte: PRO ATIVO® (2006)

3.4.3 Classificação das políticas de manutenção

A política de manutenção é a forma como são realizadas as intervenções nos equipamentos a partir do momento em que se identifica as necessidades de manutenção. Em entrelinhas, pode-se dizer que a política de manutenção refere-se ao modo como será realizado a intervenção no equipamento para sanar alguma falha detectada ou realizar alguma manutenção preventiva.

A utilização da correta política de manutenção permite reduzir custos e tempos de paradas de equipamentos, ao passo que o processo inverso pode provocar grandes danos potenciais. Ex: ao atuar corretivamente em um equipamento de classe A que demanda uma manutenção preventiva baseada no tempo, assume-se o risco de parar um equipamento por uma quebra com maiores consequências enquanto poderia parar este mesmo para simplesmente trocar um . Como já era de conhecimento que haveria a necessidade de troca e/ou reparo de

algum item após certo tempo, não justifica-se esperar a quebra do componente neste equipamento, visto que o mesmo tem grande impacto frente ao processo.

A planilha abaixo detalha quais os tipos de políticas de manutenção que são aplicáveis pela FD X 60 000. A planilha é composta de quatro letras sendo a letra A referente a manutenção preventiva baseada na condição, a letra B manutenção preventiva baseada no tempo, a letra E manutenção corretiva e a letra F melhoria.

Sendo assim, a estratégia de manutenção para cada equipamento consiste na escolha das políticas de manutenção mais adequadas para o equipamento, visualizando se estão claros os objetivos de: maior disponibilidade através do aumento da confiabilidade e manutenibilidade (MTBF máximo e MTTR mínimo, estáveis), maximização da vida útil e minimização dos custos. O quadro abaixo (quadro 05) apresenta as políticas preferenciais a serem utilizadas em função da característica das falhas, da classificação dos equipamentos e das circunstâncias inerentes à transitoriedade do processo de implantação da manutenção preventiva.

POLÍTICA DE MANUTENÇÃO	FORMA DE APLICAÇÃO	CÓDIGO	CARACTERÍSTICA
Preventiva	Baseada na condição	A	Manutenção planejada baseada no acompanhamento da condição ou desempenho do equipamento. Utilizada quando se dispõe de um parâmetro que permite o monitoramento da deterioração. Permite maximizar a vida útil dos componentes e a disponibilidade do equipamento.
	Baseada no tempo (periódica)	B	Manutenção planejada, com intervenções programadas com base em períodos de tempo pré-determinados, definidas a partir da probabilidade de ocorrência de falhas.
Corretiva	-	E	Política onde não são tomadas ações pré-determinadas para evitar a falha. A ênfase é dada para a correção eficiente do problema. Normalmente é utilizada com base na avaliação econômica.
Melhoria	-	F	Política onde a ênfase é atuar no processo de falha, evitando a sua reincidência. Visa ainda introduzir facilidades para a monitoração de parâmetros, estabilizar o processo de ocorrência de falha, aumentar o MTBF e o desempenho do equipamento.

Quadro 4 - Políticas de Manutenção

Fonte: PRO ATIVO® (2006)

3.4.4 Classificação dos equipamentos a partir da criticidade e característica de falha

A priorização dos equipamentos a partir da observação dos critérios de políticas de manutenção aplicáveis e características de falhas é apresentada no quadro 05, logo abaixo, de acordo com o projeto criado pela PRO ATIVO® – Consultoria em Engenharia de Manutenção.

CLASSE DO EQUI PAMENTO	CARACTERISTICA DA FALHA			
	PDF ←	PDD	APF ←	AMF
	POLITICAS DE MANUTENÇÃO APLICAVEIS			
A	A B ↑ E F	B F ↑ A E	A E ↑ F -	F A ↑ E -
B	A B ↑ E F	B F ↑ E -	E F ↑ - -	F E ↑ - -
C	A E ↑ F -	E F ↑ - -	E F ↑ - -	F E ↑ - -

Quadro 5 – Políticas de Manutenção aplicáveis

Fonte: PRO ATIVO® – Consultoria em Engenharia de Manutenção

Embora já exista um processo definido para a priorização dos equipamentos, nesta etapa do projeto que será proposto a aplicação do método AHP para a priorização dos equipamentos a partir de uma análise por multicritérios, de forma que as comparações entre as relações de prioridades possam ser revistas e comparadas par a par, uma vez que se acredita que a relação de prioridade de um critério sobre o outro não permanece constante ao longo de toda uma avaliação.

O modelo de classificação e priorização deste trabalho será apresentada a partir do próximo item, onde neste caso, será considerado a aplicação plena do método AHP, onde para a classificação das prioridades de manutenção será levado

em consideração uma análise por multicritérios, e não mais apenas as características das falhas e políticas de manutenção.

3.5 Aplicação método multicritério de decisão AHP

3.5.1 1º Passo – Conhecer o problema a ser estudado

O primeiro passo para que a aplicação do método AHP seja contundente é a definição do problema. Neste caso, é necessário apresentar aos julgadores o problema em questão que está sendo tratado. Para esta situação, o problema em estudo é a classificação de equipamentos por prioridades a partir da observação de vários critérios, tais como custo, segurança, tempo de reparo, etc. A partir destes critérios os equipamentos deverão ser classificados de acordo com a sua criticidade para o processo.

3.5.2 2º Passo – Criação da estrutura hierárquica

A funcionalidade do método AHP está ligada diretamente na forma como sua hierarquia é configurada, ou seja, a criação da estrutura hierárquica não pode ser realizada de qualquer modo, caso contrário haverá alteração nos resultados.

Para este estudo a criação da estrutura hierárquica (figura 13) consiste basicamente em três etapas, podendo, em outras situações, serem maiores ou menores. As etapas deste estudo são:

1º - Indicação do problema - O problema é identificado e colocado no primeiro nível da estrutura hierárquica para permitir que os estruturas referentes a sua análise possam ser criadas.

2º - Indicação dos critérios para observação – No segundo nível da hierarquia é indicado todos os critérios que deverão ser observados para a avaliação do problema. Deve ser considerado neste ponto, a possibilidade de todos os critérios serem comparados entre si.

3º - Indicação das opções que serão definidas como resultados – No último nível da hierarquia deve ser apresentado os possíveis resultados que poderão ser obtidos a partir da análise do problema em relação aos critérios do segundo nível.

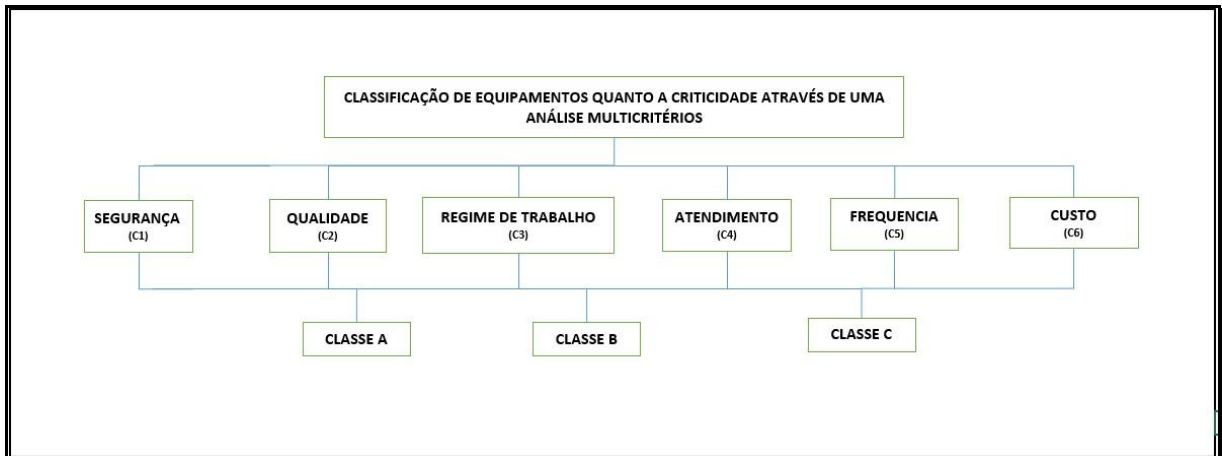


Figura 13 Hierarquia de critérios

Fonte: Dados da pesquisa

3.5.3 3º Passo – Parametrização dos critérios de avaliação

Nesta etapa os critérios que serão utilizados para a avaliação do problema foram classificados em três níveis, sendo o nível 1 de maior relevância, nível 2 média importância e o nível 3 de menor importância. (Ver figura 14)

A parametrização dos critérios é realizada de acordo com os critérios estabelecidos pelo autor do trabalho. Foi verificado neste caso os valores da graduação para garantir que haveria uma diferenciação entre as opções de escolha durante os julgamentos.

CLASSIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO				
CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO		GRADUAÇÃO		
		NÍVEL 1	NÍVEL 2	NÍVEL 3
C1 - SEGURANÇA	Riscos potenciais para o homem e o meio ambiente.	A falha do equipamento provoca graves efeitos sobre o homem e o meio ambiente.	A falha do equipamento acarreta riscos para o homem e afeta o meio ambiente.	Não há consequências.
C2 - QUALIDADE	Efeito da falha dos equipamentos sobre a qualidade do produto.	A falha do equipamento afeta muito a qualidade gerando produtos fora de especificação.	A falha do equipamento faz variar a qualidade do produto.	Sem efeitos sobre o produtos em faturamento.
C3 - REGIME DE TRABALHO	Regime de trabalho do equipamento	O equipamento é exigido 24 horas por dia.	O equipamento é exigido mais da metade do dia.	Uso ocasional
C4 - CONTINUIDADE OPERACIONAL (ATENDIMENTO)	Efeito da falha dos equipamentos sobre o processo produtivo.	A falha do equipamento provoca interrupção total do processo produtivo.	A falha do equipamento provoca interrupção de um sistema ou unidade importante ou reduz a produção.	Existe equipamento reserva ou é mais econômico reparar o equipamento após a falha.
C5 - FREQUENCIA	Quantidade de falhas por período de utilização (taxa de falha).	Muitas paradas devido a falhas (mais de 1 a cada 6 meses)	Paradas ocasionais (uma a cada 6 a 12 meses)	Pouco frequente (menos de uma falha por ano.)
C6 - CUSTO	Valores e custos envolvidos na correção das falhas.	O tempo de reparo e custos são muito elevados.	O tempo de reparo e custos são elevados	O tempo de reparo e custos não são relevantes .

Figura 14 - Classificação dos critérios de avaliação

Fonte: Dados da pesquisa

3.5.4 4º Passo – Apresentação da Escala Fundamental de Saaty

A Escala Fundamental de Saaty (1980) (figura 15) é a escala utilizada no método AHP para que o julgador tome como referência para as suas interpretações durante as comparações entre os critérios. O conhecimento desta escala, tão quanto de suas graduações é fundamental para a confiança dos resultados do processo.

Classificação de critérios segundo Escala Fundamental de Saaty		
NOTA	ESCALA VERBAL	EXPLICAÇÃO
1	Ambos elementos são de igual importancia.	Ambos elementos contribuem com a propriedade de igual forma
3	Moderada importancia de um elemento sobre o outro	A experiencia e a opinião favorecem um elemento sobre o outro
5	Fator importancia de um elemento sobre o outro	Um elemento é fortemente favorecido
7	Importancia muito forte de um elemento sobre o outro	Um elemento é muito fortemente favorecido sobre o outro
9	Extrema importancia de um elemento sobre o outro	Um elemento é favorecido pelo menos com uma ordem de magnitude de diferença.
2 - 4 - 6 - 8	Valores intermediários entres as opinioes adjacentes	Usados como valores de consenso entre as opiniões
Incremento 0,1	Valores intermediários na graduação mais fina de 0,1	Usados para graduações mais finas das opiniões.

Figura 15 - Classificação dos critérios - Escala Fundamental de Saaty

Fonte: Dados da pesquisa

3.5.5 5º Passo – Parametrização dos critérios de avaliação aos valores correspondes a Escala de Fundamental de Saaty

Tendo conhecimento da Escala Fundamental de Saaty, esta etapa contempla a parametrização dos critérios de avaliação de acordo com a Escala Fundamental de Saaty (figura 16), de forma que possibilite que os julgamentos possam ser realizados.

PARAMETRIZAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE ACORDO COM ESCALA DE SSATY							
CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO		ESCALAS DE CONVERSÃO					
		NIVEL 1	EQUIVALENCIA EM SAATY	NIVEL 2	EQUIVALENCIA EM SAATY	NIVEL 3	EQUIVALENCIA EM SAATY
C1 - SEGURANÇA	Riscos potenciais para o homem e o meio ambiente.	A falha do equipamento provoca graves efeitos sobre o homem e o meio ambiente.	(7) (9)	A falha do equipamento acarreta riscos para o homem e afeta o meio ambiente.	(3) (5)	Não há consequências.	[1]
C2 - QUALIDADE	Efeito da falha dos equipamentos sobre a qualidade do produto.	A falha do equipamento afeta muito a qualidade gerando produtos fora de especificação.	(7) (9)	A falha do equipamento faz variar a qualidade do produto.	(3) (5)	Sem efeitos sobre o produtos em faturamento.	[1]
C3 - REGIME DE TRABALHO	Regime de trabalho do equipamento	O equipamento é exigido 24 horas por dia.	(7) (9)	O equipamento é exigido mais da metade do dia.	(3) (5)	Uso ocasional	[1]
C4 - ATENDIMENTO	Efeito da falha dos equipamentos sobre o processo produtivo.	A falha do equipamento provoca interrupção total do processo produtivo.	(7) (9)	A falha do equipamento provoca interrupção de um sistema ou unidade importante ou reduz a produção.	(3) (5)	Existe equipamento reserva ou é mais econômico reparar o equipamento após a falha.	[1]
C5 - FREQUENCIA	Quantidade de falhas por período de utilização (taxa de falha).	Muitas paradas devido a falhas (mais de 1 a cada 6 meses)	(7) (9)	Paradas ocasionais (uma a cada 6 a 12 meses)	(3) (5)	Pouco frequente (menos de uma falha por ano.)	[1]
C6 - CUSTO	Valores e custos envolvidos na correção das falhas.	O tempo de reparo e custos são muito elevados.	(7) (9)	O tempo de reparo e custos são elevados	(3) (5)	O tempo de reparo e custos não são relevantes .	[1]

Figura 16 - Parametrização dos critérios de acordo com a escala de Saaty

Fonte: Dados da pesquisa

3.5.6 6º Passo – Definição dos equipamentos que deverão ser avaliados

Nesta etapa, são definidos os equipamentos que serão utilizados para serem avaliados durante a aplicação do método. (figura 17)

TABELA DE ENTRADA DE EQUIPAMENTOS					
EQUIPAMENTO	DESCRIÇÃO EQUIPAMENTO	SUBCONJUNTO	FUNÇÃO	FALHA	CLASSE
EQUIPAMENTO 1	BOMBA DE POLPA	MOTOR	ACIONAMENTO	SOBRECARGA	OPERACIONAL
EQUIPAMENTO 2	EMPILHADEIRA	PNEU	REPOSIÇÃO MATERIAL	PNEU FURADO	OPERACIONAL
EQUIPAMENTO 3	TORRE DE ILUMINAÇÃO	LAMPADAS	ILUMINAÇÃO PATIO	ILUMINAÇÃO QUEIMADA	SERGUANÇA

Figura 17 - Definição dos equipamentos/conjuntos a serem avaliados

Fonte: Dados da pesquisa

3.5.7 7º Passo – Comparação par a par entre os critérios de avaliação

A sétima etapa de aplicação do método consiste na comparação de cada critério de avaliação entre si, ou seja, é a fase da comparação par a par, de forma a estabelecer as relações de prioridades entre os critérios (figura 18). As equações que definem vetores de cada critério são apresentadas abaixo, sendo seus valores representados pela média geométrica de cada linha.

METODO AHP - METODO DE ANALISE MULTICRITERIO AHP - DEFINIÇÃO DO GRAU DE PRIORIDADE ENTRE OS CRITERIOS										
C1 - SEGURANÇA	ENTRADA DE DADOS	C2 - QUALIDADE	ENTRADA DE DADOS	C3 - REGIME DE TRABALHO	ENTRADA DE DADOS	C4 - ATENDIMENTO	ENTRADA DE DADOS	C5 - FREQUENCIA	ENTRADA DE DADOS	C6 - CUSTO
C1 X C2	3	C2 X C3	3	C3 X C4	5	C4 X C5	3	C5 X C6	3	
C1 X C3	3	C2 X C4	3	C3 X C5	3,00	C4 X C6	3			
C1 X C4	3	C2 X C5	3	C3 X C6	7					
C1 X C5	9	C2 X C6	4							
C1 X C6	9									

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1,00	3,00	3,00	3,00	9,00	9,00
C2	0,33	1,00	3,00	3,00	3,00	4,00
C3	0,33	0,33	1,00	5,00	3,00	7,00
C4	0,33	0,33	0,20	1,00	3,00	3,00
C5	0,11	0,33	0,33	0,33	1,00	3,00
C6	0,11	0,25	0,14	0,33	0,33	1,00
SOMA Σ	2,22	5,25	7,68	12,67	19,33	27,00

AUTO VETOR	AUTO VETOR NORMALIZADO
3,603	42,65%
1,817	21,51%
1,506	17,83%
0,765	9,05%
0,481	5,69%
0,276	3,27%
8,447	100,00%

λ-max	6,574
IC	0,115
Razão de Coerência	0,093

Figura 18 - Comparação par a par entre critérios

Fonte: Dados da pesquisa

Vetor [C1] = Média.Geométrica [linha C1] = [SEGURANÇA]

Vetor [C2] = Média.Geométrica [linha C2] = [QUALIDADE]

Vetor [C3] = Média.Geométrica [linha C3] = [REGIME DE TRABALHO]

Vetor [C4] = Média.Geométrica [linha C4] = [ATENDIMENTO]

Vetor [C5] = Média.Geométrica [linha C5] = [FREQUENCIA]

Vetor [C6] = Média.Geométrica [linha C6] = [CUSTO]

3.5.8 8º Passo – Cálculo da Razão de Coerência

A oitava etapa contempla o cálculo da razão de coerência, que por sua vez representa a verificação da validade dos julgamentos realizados, ou seja, se há concordância entre os valores definidos pelos julgadores ou se estes deverão ser corrigidos.

Para Taylor (2010) o fato do método AHP ser baseado em comparações paritárias definidas por tomadores de decisão que julgam suas preferências entre alternativas usando critérios diferentes, possibilita a ocorrência de inconsistências, ainda que estes, sejam conhecedores dos fatos que estejam julgando. A possibilidade de inconsistência aumenta ao passo que o número de comparações também é aumentado.

De acordo com Dutra e Fogliatto *apud* Saaty & Vargas (2001), deve haver uma tolerância definida dentro de padrões para o controle da inconsistência, uma vez que a inconsistência é inerente ao homem.

Para se definir o Índice de Consistência é utilizada a expressão 01, observada na (figura 19):

$$IC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)}$$

Figura 19 - Expressão cálculo índice de coerência

Fonte: Dados da pesquisa

Onde: n = ordem da matriz
 λ_{max} = autovalor máximo

O autovalor máximo encontrado através da expressão 02, pode ser acompanhado através da (figura 20).

$$\lambda_{max} = Tw$$

Figura 20 – Cálculo λ_{max}

Fonte: Dados da pesquisa

Onde: T = somatório das colunas das matrizes
 W = auto vetor normalizado para $\sum v_i = 1$

Para Alves e Alves, 2013 *apud* Saaty e Vargas (2001), a possibilidade de ocorrência de inconsistência diminui ao passo que se aumenta o número da ordem da matriz.

Definido o índice de consistência deve-se calcular a razão de coerência de modo que seja verificado a coerência dos valores atribuídos pelos julgadores. A razão da coerência exibida na (figura 21) é dada pela expressão 03, sendo a razão entre o índice de consistência (IC) e o índice randômico (IR), sendo este último valor definido por Saaty após realizar vários testes com matrizes quadradas de ordem n no Laboratório Nacional de Oak Ridge (EUA).

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

Figura 21 - Cálculo da Razão de Coerência

Fonte: Dados da pesquisa

Onde:

IC = Índice de consistência

IR = Índice de consistência randômica.

O Índice de Consistência randômico é fornecido através da tabela 01, sendo o valor encontrado verificado de acordo com a ordem da matriz quadrada que estiver sendo utilizada.

Ordem da matriz (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Valor de IR	0,00	0,00	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Tabela 1 - Índice de Consistência Randômica (Saaty, p.27)

Segundo (Rafaeli & Müller, 2007) quanto maior for o RC, maior será a inconsistência.

De acordo com a tabela 02, a consistência será determinada a partir das matrizes de ordem 3, ou seja, para toda matriz de ordem inferior a 3, os valores de RC serão nulos.

Por fim, de acordo com a teoria de Saaty (1991), cabe ressaltar que o valor de RC deve ser sempre menor que 0,1, caso contrário novos julgamentos devem ser realizados para corrigir a Razão de Coerência.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Cálculo da priorização a partir de cada critério

Nesta fase são realizadas as comparações par a par por equipamentos de acordo com cada critério. É válido observar a relação dos equipamentos com cada critério de forma que o julgamento represente a situação mais próxima da realidade, o qual é o objetivo proposto.

1ª Análise: Critério - SEGURANÇA					
SEGURANÇA	EQUIPAMENTO A	EQUIPAMENTO B	EQUIPAMENTO C	AUTO VETOR	AUTO VETOR NORMALIZADO
EQUIPAMENTO 1	1,00	5,00	3,00	2,466	65,06%
EQUIPAMENTO 2	0,20	1,00	3,00	0,843	22,25%
EQUIPAMENTO 3	0,33	0,33	1,00	0,481	12,68%
SOMA Σ	1,53	6,33	7,00	3,790	100,00%

Figura 22 – Avaliação de acordo com o critério de segurança

Fonte: Dados da pesquisa

2ª Análise: Critério - QUALIDADE					
QUALIADE	EQUIPAMENTO A	EQUIPAMENTO B	EQUIPAMENTO C	AUTO VETOR	AUTO VETOR NORMALIZADO
EQUIPAMENTO 1	1,00	7,00	7,00	3,659	76,62%
EQUIPAMENTO 2	0,14	1,00	3,00	0,754	15,79%
EQUIPAMENTO 3	0,14	0,33	1,00	0,362	7,59%
SOMA Σ	1,29	8,33	11,00	4,776	100,00%

Figura 23 - Avaliação de acordo com o critério de qualidade

Fonte: Dados da pesquisa

3ª Análise: Critério - REGIME DE TRABALHO					
REGIME DE TRABALHO	EQUIPAMENTO A	EQUIPAMENTO B	EQUIPAMENTO C	AUTO VETOR	AUTO VETOR NORMALIZADO
EQUIPAMENTO 1	1,00	7,00	5,00	3,271	73,19%
EQUIPAMENTO 2	0,14	1,00	4,00	0,830	18,57%
EQUIPAMENTO 3	0,20	0,25	1,00	0,368	8,24%
SOMA Σ	1,34	8,25	10,00	4,469	100,00%

Figura 24 - Avaliação de acordo com o critério de regime de trabalho

Fonte: Dados da pesquisa

4ª Análise: Critério - ATENDIMENTO					
ATENDIMENTO	EQUIPAMENTO A	EQUIPAMENTO B	EQUIPAMENTO C	AUTO VETOR	AUTO VETOR NORMALIZADO
EQUIPAMENTO 1	1,00	8,00	7,00	3,826	78,55%
EQUIPAMENTO 2	0,13	1,00	2,00	0,630	12,93%
EQUIPAMENTO 3	0,14	0,50	1,00	0,415	8,52%
SOMA Σ	1,27	9,50	10,00	4,871	100,00%

Figura 25 - Avaliação de acordo com o critério de atendimento

Fonte: Dados da pesquisa

5ª Análise: Critério - FREQUENCIA					
FREQUENCIA	EQUIPAMENTO A	EQUIPAMENTO B	EQUIPAMENTO C	AUTO VETOR	AUTO VETOR NORMALIZADO
EQUIPAMENTO 1	1,00	3,00	7,00	2,759	68,17%
EQUIPAMENTO 2	0,33	1,00	2,00	0,874	21,58%
EQUIPAMENTO 3	0,14	0,50	1,00	0,415	10,25%
SOMA Σ	1,48	4,50	10,00	4,047	100,00%

Figura 26 - Avaliação de acordo com o critério de frequência

Fonte: Dados da pesquisa

6ª Análise: Critério - CUSTO						
CUSTO	EQUIPAMENTO A	EQUIPAMENTO B	EQUIPAMENTO C	AUTO VETOR	AUTO VETOR NORMALIZADO	
EQUIPAMENTO 1	1,00	7,00	7,00	3,659	75,94%	
EQUIPAMENTO 2	0,14	1,00	4,00	0,830	17,22%	
EQUIPAMENTO 3	0,14	0,25	1,00	0,329	6,83%	
SOMA Σ	1,29	8,25	12,00	4,818	100,00%	

Figura 27 - Avaliação de acordo com o critério de custo

Fonte: Dados da pesquisa

4.2 Interpretação dos resultados (CONTROL)

Concluído todos os julgamentos par a par, é obtido o resultado final para o problema em análise. (figura 29). Cabe observar nesta etapa que aos critérios foram atribuídos alguns pesos, que são os valores utilizados para realizar a ponderação na escolha dos equipamentos. Quanto maior for o valor atribuído ao peso, maior será a sua importância para o julgamento.

ANÁLISE GERAL PARA IDENTIFICAÇÃO DE PRIORIDADES A PARTIR DE 6 CRITÉRIOS							
CRITÉRIO / ALTERNATIVAS	C1 - SEGURANÇA	C2 - QUALIDADE	C3 - REGIME DE TRABALHO	C4 - ATENDIMENTO	C5 - FREQUENCIA	C6 - CUSTO	VETOR DECISÃO
VETOR CRITÉRIO	42,65%	21,51%	17,83%	9,05%	5,69%	3,27%	1,000
EQUIPAMENTO 1	65,06%	76,62%	73,19%	78,55%	68,17%	75,94%	0,708
EQUIPAMENTO 2	22,25%	15,79%	18,57%	12,93%	21,58%	17,22%	0,192
EQUIPAMENTO 3	12,68%	7,59%	8,24%	8,52%	10,25%	6,83%	0,101

DEFINIÇÃO PRIORIZAÇÃO		
EQUIPAMENTO	CLASSIFICAÇÃO	PRIORIDADE
EQUIPAMENTO 1	1	EQUIPAMENTO A
EQUIPAMENTO 2	2	
EQUIPAMENTO 3	3	

Figura 28 - Tela de resultados

Fonte: Dados da pesquisa

4.3 Discussão

Em vista do exposto, abaixo, na tabela 02, são ilustradas as entradas do método AHP desenvolvido para este projeto. Neste caso, foram considerados os seis critérios da norma Afnor e como os critérios deveriam ser comparados entre si dentro do método AHP.

4.3.1 Análise da falha por equipamento

EQUIPAMENTO 1

Falha: Sobrecarga no motor

Conjunto: Bomba de polpa

Criticidade: A

Frequência de Falha: Periódica

Subconjunto: Motor

Tipo da Falha: Fácil Detecção

Característica da Falha: PDF

CLASSE DO EQUIPAMENTO	CARACTERÍSTICA DA FALHA			
	PDF ←	PDD ←	APF ←	AMF
	POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO APLICÁVEIS			
A	↑ A B E F	↑ B F A E	↑ A E F -	↑ F A E -
B	↑ A B E F	↑ B F E -	↑ E F - -	↑ F E - -
C	↑ A E F -	↑ E F - -	↑ E F - -	↑ F E - -

Quadro 6 - Definição característica de falha equipamento A

Fonte: Dados da pesquisa

EQUIPAMENTO 2

Falha: Rompimento correia do motor**Conjunto:** Empilhadeira**Subconjunto:** Motor**Criticidade:** B**Tipo da Falha:** Fácil Detecção**Frequência de Falha:** Periódica**Característica da Falha:** PDF

CLASSE DO EQUIPAMENTO	CARACTERÍSTICA DA FALHA			
	PDF ←	PDD ←	APF ←	AMF
	POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO APLICÁVEIS			
A	↑ A B E F	↑ B F A E	↑ A E F -	↑ F A E -
B	↑ A B E F	↑ B F E -	↑ E F - -	↑ F E - -
C	↑ A E F -	↑ E F - -	↑ E F - -	↑ F E - -

Quadro 7 - Definição característica de falha equipamento B

Fonte: Dados da pesquisa

EQUIPAMENTO 3

Falha: Queima de lâmpada**Conjunto:** Torre iluminação**Criticidade:** B**Frequência de Falha:** Pouco Frequente**Subconjunto:** Motor**Tipo da Falha:** Aleatória**Característica da Falha:** APF

CLASSE DO EQUIPAMENTO	CARACTERÍSTICA DA FALHA			
	PDF ←	PDD ←	APF ←	AMF
	POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO APLICÁVEIS			
A	↑ A B E F	↑ B F A E	↑ A E F -	↑ F A E -
B	↑ A B E F	↑ B F E -	↑ E F - -	↑ F E - -
C	↑ A E F -	↑ E F - -	↑ E F - -	↑ F E - -

Quadro 8 - Definição estratégia de manutenção equipamento C

Fonte: Dados da pesquisa

4.3.2 Análise de representatividade critério por critério

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	1,00	3,00	3,00	3,00	9,00	9,00
C2	0,33	1,00	3,00	3,00	3,00	4,00
C3	0,33	0,33	1,00	5,00	3,00	7,00
C4	0,33	0,33	0,20	1,00	3,00	3,00
C5	0,11	0,33	0,33	0,33	1,00	3,00
C6	0,11	0,25	0,14	0,33	0,33	1,00
SOMA Σ	2,22	5,25	7,68	12,67	19,33	27,00

Tabela 2 - Julgamento dos critérios

Fonte: Dados da pesquisa

Equações

Diagonal superior: Valor definido pelo julgador

Diagonal inferior = valor coluna = valor inverso da linha = $\frac{1}{\text{valor da linha}}$

4.3.3 Cálculo dos autos vetores

[C1] = Média.Geométrica [linha 1] = 3,603

[C2] = Média.Geométrica [linha 2] = 1,817

[C3] = Média.Geométrica [linha 3] = 1,506

[C4] = Média.Geométrica [linha 4] = 0,765

[C5] = Média.Geométrica [linha 5] = 0,481

[C6] = Média.Geométrica [linha 6] = 0,276

4.3.4 Normalização de Vetores

Autor vetor normalizado [C1] = Vetor [C1] / Vetor [total] = 3,603 / 8,447 = 0,426

Autor vetor normalizado [C2] = Vetor [C2] / Vetor [total] = 1,817 / 8,447 = 0,215

Autor vetor normalizado [C3] = Vetor [C3] / Vetor [total] = 1,506 / 8,447 = 0,178

Autor vetor normalizado [C4] = Vetor [C4] / Vetor [total] = 0,765 / 8,447 = 0,090

Autor vetor normalizado [C5] = Vetor [C5] / Vetor [total] = 0,481 / 8,447 = 0,056

Autor vetor normalizado [C6] = Vetor [C6] / Vetor [total] = 0,276 / 8,447= 0,032

VETOR CRITÉRIO	AUTO VETOR	AUTO VETOR NORMALIZADO
C1	3,603	42,65%
C2	1,817	21,51%
C3	1,506	17,83%
C4	0,765	9,05%
C5	0,481	5,69%
C6	0,276	3,27%
SOMA Σ	7,444	100%

Tabela 3 - Normalização dos autos vetores - matriz principal

Fonte: Dados da pesquisa

4.3.5 Cálculo da razão de coerência

λ_{\max}	6,574
IC	0,115
Razão de Coerência	0,093

Tabela 4 - Resultado razão de coerência

Fonte: Dados da pesquisa

- 1º - Cálculo do λ_{\max} = o valor é resultado da multiplicação entre a matriz 1 (somatório dos critérios) pela matriz 2 (matriz principal de julgamentos)
- 2º - Cálculo IC (Índice de coerência) = cálculo realizado através da fórmula.

$$IC = \frac{(\lambda_{\max} - 6)}{(6 - 1)} = 0,115$$

Figura 29 - Cálculo Índice de Coerência

Fonte: Dados da pesquisa

- 3º Cálculo da razão de coerência =

$$RC = \frac{IC}{1,24} = 0,093$$

Figura 30 - Cálculo Razão de Coerência

Fonte: Dados da pesquisa

Obs.: RC consistente, pois $RC < 0,1$.

4.3.6 Análise de equipamentos a partir de cada critério

- 1º passo - É realizado a comparação dos equipamentos a partir da observação de cada critério.
- 2º passo – São calculados os autos vetores e normalizados conforme o passo 4.6.2 e 4.6.3.

4.3.7 Análise com base no critério de segurança

SEGURANÇA	EQUIPAMENTO A	EQUIPAMENTO B	EQUIPAMENTO C	AUTO VETOR	AUTO VETOR NORMALIZADO
EQUIPAMENTO 1	1,00	5,00	3,00	2,466	65,06%
EQUIPAMENTO 2	0,20	1,00	3,00	0,843	22,25%
EQUIPAMENTO 3	0,33	0,33	1,00	0,481	12,68%
SOMA Σ	1,53	6,33	7,00	3,790	100,00%

Tabela 5 - Análise critério de segurança

Fonte: Dados da pesquisa

4.3.8 Análise com base no critério Qualidade

QUALIADE	EQUIPAMENTO A	EQUIPAMENTO B	EQUIPAMENTO C	AUTO VETOR	AUTO VETOR NORMALIZADO
EQUIPAMENTO 1	1,00	7,00	7,00	3,659	76,62%
EQUIPAMENTO 2	0,14	1,00	3,00	0,754	15,79%
EQUIPAMENTO 3	0,14	0,33	1,00	0,362	7,59%
SOMA Σ	1,29	8,33	11,00	4,776	100,00%

Tabela 6 - Análise critério de qualidade

Fonte: Dados da pesquisa

4.3.9 Análise com base no critério Regime de trabalho

REGIME DE TRABALHO	EQUIPAMENTO A	EQUIPAMENTO B	EQUIPAMENTO C	AUTO VETOR	AUTO VETOR NORMALIZADO
EQUIPAMENTO 1	1,00	7,00	5,00	3,271	73,19%
EQUIPAMENTO 2	0,14	1,00	4,00	0,830	18,57%
EQUIPAMENTO 3	0,20	0,25	1,00	0,368	8,24%
SOMA Σ	1,34	8,25	10,00	4,469	100,00%

Tabela 7 - Análise critério regime de trabalho
Fonte: Dados da pesquisa

4.3.10 Análise com base no critério Atendimento

ATENDIMENTO	EQUIPAMENTO A	EQUIPAMENTO B	EQUIPAMENTO C	AUTO VETOR	AUTO VETOR NORMALIZADO
EQUIPAMENTO 1	1,00	8,00	7,00	3,826	78,55%
EQUIPAMENTO 2	0,13	1,00	2,00	0,630	12,93%
EQUIPAMENTO 3	0,14	0,50	1,00	0,415	8,52%
SOMA Σ	1,27	9,50	10,00	4,871	100,00%

Tabela 8 - Análise critério atendimento
Fonte: Dados da pesquisa

4.3.11 Análise com base no critério Frequência

FREQUENCIA	EQUIPAMENTO A	EQUIPAMENTO B	EQUIPAMENTO C	AUTO VETOR	AUTO VETOR NORMALIZADO
EQUIPAMENTO 1	1,00	3,00	7,00	2,759	68,17%
EQUIPAMENTO 2	0,33	1,00	2,00	0,874	21,58%
EQUIPAMENTO 3	0,14	0,50	1,00	0,415	10,25%
SOMA Σ	1,48	4,50	10,00	4,047	100,00%

Tabela 9 - Análise critério frequência
Fonte: Dados da pesquisa

4.3.12 Análise com base no critério Custo

CUSTO	EQUIPAMENTO A	EQUIPAMENTO B	EQUIPAMENTO C	AUTO VETOR	AUTO VETOR NORMALIZADO
EQUIPAMENTO 1	1,00	7,00	7,00	3,659	75,94%
EQUIPAMENTO 2	0,14	1,00	4,00	0,830	17,22%
EQUIPAMENTO 3	0,14	0,25	1,00	0,329	6,83%
SOMA Σ	1,29	8,25	12,00	4,818	100,00%

Tabela 10 - Análise critério custo
Fonte: Dados da pesquisa

4.3.13 Análise da prioridade a partir dos autos vetores normalizados

Neste item são apresentados os coeficientes de representatividade de cada critério para os equipamentos. É a partir desta tabela que será definida a priorização dos recursos.

CRITÉRIOS	C1 - SEGURANÇA	C2 - QUALIDADE	C3 - REGIME DE TRABALHO	C4 - ATENDIMENTO	C5 - FREQUENCIA	C6 - CUSTO	VETOR DECISÃO
VETOR CRITÉRIO	42,65%	21,51%	17,83%	9,05%	5,69%	3,27%	
EQUIPAMENTO 1	65,06%	76,62%	73,19%	78,55%	68,17%	75,94%	0,708
EQUIPAMENTO 2	22,25%	15,79%	18,57%	12,93%	21,58%	17,22%	0,192
EQUIPAMENTO 3	12,68%	7,59%	8,24%	8,52%	10,25%	6,83%	0,101

Tabela 11 - Resultados por critérios

Fonte: Dados da pesquisa

4.3.14 Painel de resultado

DEFINIÇÃO PRIORIZAÇÃO		
EQUIPAMENTO	CLASSIFICAÇÃO	PRIORIDADE
EQUIPAMENTO 1	1	
EQUIPAMENTO 2	2	EQUIPAMENTO 1
EQUIPAMENTO 3	3	

Quadro 9 - Quadro demonstrativo de resultados

Fonte: Dados da pesquisa

4.4 Análise Dos Resultados

Para o exemplo 01 quando é referenciado o equipamento 1, a melhor estratégia de manutenção a ser adotada no caso da característica de falha apresentada é a manutenção preventiva baseada na condição, haja vista que o acompanhamento da condição do motor poderá identificar outras anomalias caso estas venham acontecer. A situação menos recomendada para o caso seria uma melhoria, pois neste caso haveria a necessidade de utilizar de recursos que ora poderiam ser empenhados em outros setores.

Para o caso do equipamento B, a manutenção preventiva baseada na condição também é a mais recomendada, uma vez que o monitoramento da condição da correia pode ser realizado facilmente dia a dia, evitando-se neste caso uma troca prematura de componente ou uma quebra desnecessária do equipamento sem que o componente seja substituído. O cenário menos recomendado é a manutenção de melhoria, que seria uma implantação de um sistema capaz de monitorar a condição da correia, entretanto neste caso, o gasto com este recurso seria desnecessário, uma vez que através de uma inspeção visual é possível identificar a condição do equipamento.

Para o equipamento C, a substituição das lâmpadas após a queima é o mais recomendado, entretanto, caso aumente a frequência de queima das lâmpadas deve-se executar o cenário menos recomendado que é a melhoria do sistema de iluminação, pois poderá estar havendo alguma falha de componente ou no sistema de iluminação.

Tendo em vista as sugestões apresentadas pela planilha de Estratégia de Manutenção de forma que sejam tomadas medidas para priorizar os equipamentos de maior criticidade, de forma que a falha seja minimizada ou sanada, e considerando que os três eventos ocorram em momentos distintos, a priorização dos eventos ocorrerá na seguinte ordem:

CLASSE DO EQUIPAMENTO	CARACTERÍSTICA DA FALHA			
	PDF ←	PDD ←	APF ←	AMF
	POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO APLICÁVEIS			
A	↑ A B E F	↑ B F A E	↑ A E F -	↑ F A E -
B	↑ A B E F	↑ B F E -	↑ E F - -	↑ F E - -
C	↑ A E F -	↑ E F - -	↑ E F - -	↑ F E - -

Quadro 10 – Definição da priorização dos recursos de manutenção

Fonte: Dados da pesquisa

Exemplo 01: Classe A, PDF, Níveis # A>B>E>F então prioridade # 01

Exemplo 02: Classe B, PDF, Níveis A>B>E>F então prioridade # 02

Exemplo 03: Classe B, APF, Níveis E>F então prioridade # 03

Entretanto, considerando a hipótese que os eventos ocorram de modo simultâneo a priorização deverá ocorrer a partir do primeiro nível, ou seja, a partir da característica da falha e da criticidade do equipamento, onde a classe A e característica de falha tipo PDF (periódica fácil detecção) será prioritária. A classificação para os eventos neste caso ocorreria da seguinte forma:

Exemplo 01: Tipo de falha - PDF – Criticidade - A

Exemplo 02: Tipo de falha - PDF – Criticidade - B

Exemplo 03: Tipo de falha - APF – Criticidade - B

5 CONCLUSÕES

Através do estudo proposto foi possível verificar e comprovar que a associação do método matemático AHP ao método de priorização de recursos de manutenção desenvolvido pela PRO-ATIVO® - Consultoria em Engenharia de Manutenção é possível, considerando que aplicação matemática concedeu a possibilidade de quantificar os resultados obtidos a partir das escolhas que anteriormente não eram possíveis, uma vez que se era adotado um método apenas teórico.

A satisfação com os resultados obtidos não se limitam apenas a possibilidade de quantificar os resultados, mas também atingem a vertente de que com o trabalho foi possível criar simulações de forma a obter as melhores condições dos equipamentos, ou ainda, simular em quais condições um equipamento será prioritário em relação ao outro, o que de certa forma possibilita que eventos futuros possam ser prevenidos.

Tomando como referência os objetivos definidos para o trabalho, pode-se dizer que todos eles foram atingidos de acordo com o esperado, uma vez que após a validação da aplicabilidade da metodologia do AHP, não foi avaliado os resultados que esta poderia possibilitar ao trabalho.

O processo de priorização de recursos ou demandas dentro de um determinado processo qualquer em seu cotidiano na maioria das vezes é realizado tomando como base um único critério, seja ele o custo de operação, o tempo de reparo ou o impacto na segurança. No entanto, com o desenvolvimento do método que possibilitou a interação entre o AHP e a norma AFNOR, pode ser observado que esta tomada de decisão com apenas um critério pode não refletir totalmente a realidade, uma vez que o critério não permanece soberano sobre o outro durante todo o processo de avaliação.

O método de tomada de decisões baseado em análises por multicritérios é então uma forma de relacionar simultaneamente duas ou mais variáveis que podem interferir no desempenho da função de um equipamento e assim estudá-las de modo isolado, de forma que estas não impeçam que o equipamento possa maximizar os seus resultados.

Por fim, através deste projeto pode ser revisado o mapa de diretrizes para Gestão de Manutenção o qual é um alinhamento de como devem ser geridas as

políticas de diversas áreas que integram a Gestão da Manutenção. Estas políticas, se aplicadas corretamente podem trazer grandes resultados para as empresas, uma vez que ao classificar os equipamentos em três classes distintas classes A, B e C e definir alguns parâmetros como política de estoque, política de manutenção e Engenharia de Manutenção para estes, as empresas passam a ter melhores condições de planejar as ações e reduzir o número de situações indesejadas como acidentes de trabalhos, paradas de equipamentos não planejadas e aumento de custos de produção.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994.

ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção – **A situação da manutenção no Brasil** – 28º Congresso Brasileiro de Manutenção. Salvador. 2013.

AFNOR - *Association Française de Normalisation* – **FD X 60 000: Manutenção Industrial. 2002**

ALVES, X.R.J, ALVES, M.J. **Definição de localidade para instalação industrial com o apoio do método de análise hierárquica**. ITA, São José dos Campos.2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132015000100013. Acesso em: 30 setembro 2016.

ARAÚJO, Igor Mateus de; SANTOS, Crisluci Karina Souza. **Manutenção elétrica industrial**. Disponível em: <http://www.dee.ufrn.br>. Acesso em: 24/07/2016.

ASQ. **The define measure analyze improve control (DMAIC) process**. 2016. Disponível EM <http://asq.org/learn-about-quality/six-sigma/overview/dmaic.html>. Acesso: 03/11/2016.

ATIVO®, PRO. **Planejamento da Estratégia de Manutenção**. 2006.

AVELAR, G. **Manutenção Centrada na Confiabilidade, RCM**. Disponível em: <http://engeman.com.br/pt-br/artigos-tecnicos/manutencao-centrada-na-confiabilidade/>. Acesso em 24/11/2016.

BRANCO FILHO, Gil. **Indicadores e Índices da Manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2006.

COSTA, Helder Gomes. **Introdução ao método de análise hierárquica: análise multicritério no auxílio à decisão**. Niterói: H.G.C., 2002.

DUTRA, C.C. FOGLIATTO,S,F. **Operacionalização do processo analítico hierárquico usando matrizes incompletas de comparações pareadas**. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul – DEPROT. Acesso em: 14/12/2016.

DUTRA, Thiago. **A importância da Engenharia de Manutenção no Planejamento Estratégico das Empresas**. Disponível em: <http://engenharianodiaadia.blogspot.com.br/2011/09/importancia-da-engenharia-de-manutencao.html>. Acesso em: 24/07/2016

DUTRA, Thiago. **Definições e Objetivos do TPM (*Total Productive Maintenance*)**. Disponível em: <http://brasilenghariaademanutencao.blogspot.com.br/2012/11/definicoes-e-objetivos-do-tpm-total.html>. Acesso em: 24/07/2016

DUTRA, Thiago. **Indicadores de Manutenção de Classe Mundial**. Disponível em: <http://brasilenghariaademanutencao.blogspot.com.br/2013/07/indicadores-de-manutencao-de-classe.html>. Acesso em 24/11/2016.

DUTRA, Thiago. **Os 8 Pilares do TPM**. Disponível em: <http://brasilenghariaademanutencao.blogspot.com.br/2012/11/definicoes-e-objetivos-do-tpm-total.html>. Acesso em: 24/07/2016

DUTRA, Thiago. **TPM, Total Productive Maintenance, origem e história**. Disponível em: <http://brasilenghariaademanutencao.blogspot.com.br/2012/10/tpm-total-productive-maintenance-origem.html>. Acesso em: 24/07/2016

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOMES, Pedro. **Contabilidade – O dia a dia da manutenção**. Disponível em: <http://profissionaltech4.blogspot.com.br/2014/02/contabilidade-o-dia-dia-da-manutencao.html>. Acesso em: 25/11/2016.

GOMES, Pedro. **O Panorama e a evolução do processo de manutenção industrial na década de 2000 a 2010**. Disponível em: <http://profissionaltech6.blogspot.com.br/2015/02/o-panorama-e-evolucao-do-processo-de.html>. Acesso em: 23/11/2016.

KARDEC, Alan; NASCIF, Julio. **Manutenção – Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, Petrobras, 2009.

MOUNCHY, F. **A Função Manutenção**. São Paulo: Durban, 1987.

MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance**. New York: Industrial Press Inc., 1997.

NUNES, E. L.; VALLADARES, A. **Potencialidades da MCC para a gestão integrada da manutenção e da mudança de organizações**. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção Curitiba – PR, 23 a 25 de outubro de 2002.

OLSZEWSKI, R. **RCM Success Starts with CMMS**. Disponível em: http://www.maintenanceworld.com/Articles/.../RCM_Success_CMMS.pdf. Acesso em: 24/07/2016.

PETENATE, M. **O que é o roteiro do DMAIC No Lean Six Sigma**, 2013. Disponível em: <http://www.escolaedti.com.br/roteiro-dmaic/>. Acesso em: 03/11/2016.

RAFAELI, L. MÜLLER, J.C. **Estruturação de um índice consolidado de desempenho utilizando o AHP, 2007**. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/gp/v14n2/12.pdf>. Acesso em: 23/10/2016:

RIBEIRO, S,L. PASSOS, C,A. TEIXEIRA, G,M. **Seleção de tecnologias de comunicações no exército brasileiro utilizando os métodos multicritério de análise hierárquica, TODIM e software Sapiens.** Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132012000100009. Acesso em: 23/11/2016.

SAATY, T. L. ***The Analytic Hierarchy Process and Health Care Problems.*** New York: McGraw-Hill. 1980.

SAATY, T.L.: **Método de Análise Hierárquica.** Tradução e Revisão por Wainer da Silveira e Silva. São Paulo. Ed. McGraw-Hill 1991.

SILVEIRA, B. C. **DMAIC: definir, mensurar, analisar, melhorar e controlar.** Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/dmaic-definir-mensurar-analisar-melhorar-controlar/>. Acesso em 11/12/2016.

TAYLOR, B. W. ***Introduction to management Science.*** 10.ed. New Jersey. 2010. Pearson-Prentice Hall.

TROMBETA, Alessandro. **A Quarta Geração da Manutenção.** Disponível em <https://www.linkedin.com/pulse/quarta-gera%C3%A7%C3%A3o-da-manuten%C3%A7%C3%A3o-me-alessandro-trombeta-mba>. Acesso em: 24/11/2016.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Manual de Planejamento e controle da produção.** São Paulo: Atlas, 2000.

VASCONSELOS, Pedro Miguel Ribeiro. **“Sistema de Gestão de Ativos e Manutenção – Máximo”.** 2009, 70f. Tese de mestrado – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, FEUP, 2009.

ZIKMUND, W. G. ***Business research methods.*** 5. ed. Fort Worth, TX: Dryden,2000.

RIBEIRO, S,L. PASSOS, C,A. TEIXEIRA, G,M. **Seleção de tecnologias de comunicações no exército brasileiro utilizando os métodos multicritério de análise hierárquica, TODIM e software Sapiens.** Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132012000100009. Acesso em: 23/11/2016.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process and Health Care Problems.** New York: McGraw-Hill. 1980.

SAATY, T.L.: **Método de Análise Hierárquica.** Tradução e Revisão por Wainer da Silveira e Silva. São Paulo. Ed. McGraw-Hill 1991.

SANJINES, E, R, G. **Manual de la Gestión del Mantenimiento Industrial.** Real Academia Española, Vigésima primera edição.

SANTOS, L.V, CARDOSO, C.S, SOUZA, C.P.A. **Definições e Conceitos da Área de Pesquisa Operacional.** IV ENCONTRO DE ENGENHARIAS DE PRODUÇÃO AGROINDUSTRIAL. 2010. Campo Mourão. FECILCAM, 2010.

SILVA, D.M.R.: **Aplicação do método AHP para avaliação de projetos industriais.** Rio de Janeiro. Prova título de Mestrado, PUC-RIO.

SILVA, R. M; BELDERRAIN, M, N.: **Considerações sobre métodos de decisão multicritério.** Instituto Tecnológico de Aeronáutica

SILVEIRA, B. C. **DMAIC: definir, mensurar, analisar, melhorar e controlar.** Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/dmaic-definir-mensurar-analisar-melhorar-controlar/>. Acesso em 11/12/2016.

SOUZA, D, I; MÜLLER, D, M; FRACASSI, M, A; ROMEIRO, B, S. **Manual de orientações para projetos de pesquisa.**

TAYLOR, B. W. **Introduction to management Science.** 10.ed. New Jersey. 2010. Pearson-Prentice Hall.

TROMBETA, Alessandro. **A Quarta Geração da Manutenção**. Disponível em <https://www.linkedin.com/pulse/quarta-gera%C3%A7%C3%A3o-da-manuten%C3%A7%C3%A3o-me-alessandro-trombeta-mba>. Acesso em: 24/11/2016.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Manual de Planejamento e controle da produção**. São Paulo: Atlas, 2000.

VASCONSELOS, Pedro Miguel Ribeiro. “**Sistema de Gestão de Ativos e Manutenção – Máximo**”. 2009, 70f. Tese de mestrado – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, FEUP, 2009.

XAVIER, J. N. **Indicadores de Manutenção**. Minas Gerais, n. 13, p.01-14. Disponível em: <<http://w.manter.com.br/>> Acesso em: 30/09/2016

XAVIER, J.N. **Manutenção: Tipos e tendências**. Disponível em: <http://engeman.com.br/pt-br/artigos-tecnicos/manutencao-tipos-e-tendencias/print/>. Acesso em: 24/07/2016.

ZIKMUND, W. G. **Business research methods**. 5. ed. Fort Worth, TX: Dryden,2000.