

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ARTHUR SILVEIRA LIMA

**DEFINIÇÃO DA MELHOR POLÍTICA DE MANUTENÇÃO PARA GESTÃO E
OTIMIZAÇÃO DE MAQUINÁRIO CENTRADA NA CONFIABILIDADE:
ESTUDO EM UMA EMPRESA DO SETOR DE TRANSPORTES**

JUIZ DE FORA

2014

ARTHUR SILVEIRA LIMA

**DEFINIÇÃO DA MELHOR POLÍTICA DE MANUTENÇÃO PARA GESTÃO E
OTIMIZAÇÃO DE MAQUINÁRIO CENTRADA NA CONFIABILIDADE:
ESTUDO EM UMA EMPRESA DO SETOR DE TRANSPORTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Faculdade de Engenharia da Universidade
Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial
para a obtenção do título de Engenheiro de
Produção.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Malheiros Monteiro Filho

JUIZ DE FORA

2014

ARTHUR SILVEIRA LIMA

**DEFINIÇÃO DA MELHOR POLÍTICA DE MANUTENÇÃO PARA GESTÃO E
OTIMIZAÇÃO DE MAQUINÁRIO CENTRADA NA CONFIABILIDADE:
ESTUDO EM UMA EMPRESA DO SETOR DE TRANSPORTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Faculdade de Engenharia da Universidade
Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial
para a obtenção do título de Engenheiro de
Produção.

Aprovada em dia de mês de ano.

BANCA EXAMINADORA

D.Sc., Roberto Malheiros Monteiro Filho
Universidade Federal de Juiz de Fora

D.Sc., Roberta Resende Zagha
Universidade Federal de Juiz de Fora

D.Sc., Luiz Henrique Dias Alves
Universidade Federal de Juiz de Fora

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que de forma diretamente ou indiretamente fizeram parte do meu aprendizado, particularmente nessa última parte da minha graduação tiveram função vital na mesma:

À Deus, por me manter confiante, seguro no desenvolvimento do meu trabalho e na minha vida.

Aos meus pais, Luiz Sérgio e Denisi, que sempre estiveram ao meu lado, me auxiliando com palavras de apoio e incentivo.

Ao meu irmão, Victor, pelo apoio à pesquisa do tema e por ser um modelo de comprometimento com os estudos.

À minha namorada, Duda, pelo apoio, muitas vezes me ajudando a encontrar o melhor caminho para o meu trabalho, além do incentivo da busca constante da realização do melhor.

Ao meu orientador, Roberto Malheiros, por me passar com maestria os conhecimentos referentes ao trabalho e me ajudar a criar um senso crítico do meu próprio trabalho.

Ao professor Luiz Henrique, pelo apoio no tema e pela imensa paciência em passar seus conhecimentos nas áreas de manutenção.

Por fim aos meus amigos e colegas de sala, que me ajudaram tanto na parte técnica quanto na parte pessoal, sendo pessoas fundamentais para me guiar durante todos esses processos mencionados.

RESUMO

Com o aumento da competitividade entre as organizações, áreas antes relegadas à segundo plano, ficam cada vez mais em evidência e mostram a cada dia mais, como que as mesmas são parte fundamental no aumento da competitividade das organizações. A manutenção é um exemplo dessas áreas, sendo então necessário fazer um estudo para a definição da melhor maneira de fazer a sua gestão. O trabalho vem a explicar uma metodologia estruturada para a definição da melhor metodologia de gestão da manutenção, levando em consideração as estratégias e restrições da organização. Para essa definição são feitas análises centradas na confiabilidade de modo a tornar as escolhas cada vez mais quantitativas e assim tornar mais fácil para o gestor da manutenção, além de assegurar em números que a metodologia escolhida é a mais adequada. A aplicação da metodologia evidenciada é feita em uma empresa do setor de transportes.

Palavras-chave: Gestão da Manutenção, Confiabilidade, Transportes.

ABSTRACT

With the increase of the competitive among the companies, some parts of the company, that were left behind, are day and day gaining more importance, especial when we start to understand that those parts are important in the company competitive aspects. Maintenance is an example of those types of areas that are being more and more studied so we can define the best maintenance police. As there are many types of polices, it is necessary to use a methodology that furnishes us information to be used in the definition of the police that is best for the company, considering its strategies. To create this definition is used analysis that are based on the systems reliability, to make sure that this types of decisions are based more and more on numbers, taking of the equation the qualitative factor. When we make these types of arrangement, it is easier for the manager to make a correct decision. This methodology is applied in a transportation company.

Keywords: Maintenance Polices, Reliability, Transportation Company

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Qualificação do Pessoal da Manutenção	13
Figura 2 –Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção.....	18
Figura 3: Mapa Mental da Estratégia de Importância da Manutenção.....	22
Figura 4:Curva da Banheira	23
Figura 5: Aplicação dos Recursos na Manutenção	25
Figura 6: Manutenção Corretiva Não Planejada	27
Figura 7: Manutenção Preventiva.....	28
Figura 8: Manutenção Preditiva	31
Figura 9: Principais Indicadores de Desempenho Utilizados.....	32
Figura 10: OEE.....	38
Figura 11: Metodologia Estruturada para Definição da Metodologia de Gestão da Manutenção mais Aderente à Situação da Organização.....	48
Figura 12: Sistema de Arrefecimento.....	50
Figura 13: Cabine	51
Figura 14: Direção.....	51
Figura 15: Freios	52
Figura 16: Hidráulico	52
Figura 17: Lataria	53
Figura 18: Motor	53
Figura 19:Pneus.....	54
Figura 20: Suspensão.....	55
Figura 21: Tomada de Força	55
Figura 22: Gráfico: Custo Total Manutenção 3 Eixos	56
Figura 23: Gráfico: Custo Total Manutenção TOCO.....	56
Figura 24: Histograma - Intervenções Realizadas na Tomada de Força do Caminhão TOCO	60
Figura 25: ProbabilityPlot - Distribuição Normal.....	61
Figura 26: ProbabilityPlot - Distribuição Lognormal	61
Figura 27: ProbabilityPlot - Distribuição Lognormalde 3 Parâmetros.....	62
Figura 28: ProbabilityPlot - Distribuição Gamma	62
Figura 29: ProbabilityPlot - Distribuição Gamma de 3 Parâmetros.....	63
Figura 30: ProbabilityPlot - Distribuição Exponencial	63

Figura 31: ProbabilityPlot - Distribuição Exponencial de 2 Parâmetros	64
Figura 32: ProbabilityPlot - Distribuição Weibull	64
Figura 33: ProbabilityPlot - Distribuição Weibull de 3 Parâmetros	65
Figura 34: ProbabilityPlot - Distribuição Logistic	65
Figura 35: ProbabilityPlot - Distribuição Loglogistic	66
Figura 36: ProbabilityPlot - Distribuição Loglogistic de 3 Parâmetros	66
Figura 37: Exemplo de Relatório da Preditiva	73
Figura 38: Comparação dos Gastos Totais - Manutenções Preventivas X Preditivas	76
Figura 39: Exemplo de Pesquisa de Satisfação	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Cronograma de Trabalho.....	20
--	----

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Disponibilidade Operacional	33
Equação 2: Retrabalho.....	34
Equação 3: Backlog.....	35
Equação 4: MTBF	35
Equação 5: MTTR.....	36
Equação 6: Disponibilidade.....	37
Equação 7: SEE	39
Equação 8: Qualidade.....	39
Equação 9: Produtividade.....	39
Equação 10: Confiabilidade	41
Equação 11: Equações Distribuição Exponencial	41
Equação 12: Equações Distribuição WEIBULL	42
Equação 13: Equações Distribuição Gamma	43
Equação 14: Equações Distribuição Lognormal	43
Equação 15: Teste de ANDERSON-DARLING.....	44
Equação 16: Custo Espera da Peça.....	45
Equação 17: Custos Totais para Manter o Item no Estoque.....	45
Equação 18: Custo da Falta do Componente.....	47
Equação 19: Custo por Km rodado	56
Equação 20: RPN	59
Equação 21: Calculo do ID	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Evolução da Manutenção	24
Tabela 2: Veículos Componentes da Frota Estudada	49
Tabela 3: RPN para o Caminhão TOCO	59
Tabela 4: P-Valor para cada Distribuição	67
Tabela 5: Tabela referenciando ID com a faixa de Quilometragem	68
Tabela 6: Compilação dos Custos da Manutenção Preventiva.....	72
Tabela 7: Custos Atrelados à Manutenção Preditiva.....	74
Tabela 8: Comparação dos Custos das Manutenções Preventivas e Preditivas	76

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

OS – Ordem de Serviço

HH – HomensHora

ERP – *Enterprise Resource Planning*

MTBF – *Mean Time toFailure* OU Tempo Médio Para Falhar

MTTR – *Mean Time toRepair* OU Tempo Médio para Falhar

RPN – *RiskPriorityNumber* OU Número De Prioridade De Risco

FMEA – *FailureModeandEffectAnalysis* OU Analise do Modo e do Efeito de Falha

OEE – *Overall EquipmentEffectiveness* OU Eficiência Global dos Equipamentos

SEE – *System EquipmentEffectiveness* OU Eficiência Global do Sistema

RCM – *ReliabilityCenteredMaintenance* OU Manutenção centrada na confiabilidade

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	14
1.2 JUSTIFICATIVA.....	14
1.3 ESCOPO DO TRABALHO	15
1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS.....	16
1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA	17
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	19
1.7 CRONOGRAMA.....	20
2. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 MANUTENÇÃO.....	21
2.2 MANUTENÇÃO CORRETIVA	26
2.3 MANUTENÇÃO PREVENTIVA.....	28
2.4 MANUTENÇÃO PREDITIVA.....	29
2.5 INDICADORES DE DESEMPENHO DA MANUTENÇÃO.....	32
2.5.1 CUSTOS	32
2.5.2 FREQUÊNCIA DE FALHAS	32
2.5.3 SATISFAÇÃO DO CLIENTE	33
2.5.4 DISPONIBILIDADE OPERACIONAL	33
2.5.5 RETRABALHO	34
2.5.6 BACKLOG	34
2.5.7 TEMPO MÉDIO PARA FALHAR (MTBF)	35
2.5.8 TEMPO MÉDIO PARA REPARAR (MTTR)	36
2.6 DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES DE ESTUDO.....	37
2.7 RCM (RELIABILITY cENTERED MAINTENANCE OU MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE)	40
2.7.1 CONFIABILIDADE.....	40
2.7.2 DEFINIÇÃO RCM	40
2.7.3 DEFINIÇÃO DOS VALORES DE CONFIABILIDADE	40
2.8 DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE USADAS NA ANÁLISE DE FALHAS.....	41
2.8.1 DISTRIBUIÇÃO EXPONENCIAL.....	41

2.8.2	DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL.....	42
2.8.3	DISTRIBUIÇÃO GAMMA.....	43
2.8.4	DISTRIBUIÇÃO LOGNORMAL	43
2.9	TESTES DE ADERÊNCIA.....	44
2.9.1	TESTE DE ANDERSON-DARLING	44
2.10	GESTÃO DE ESTOQUE DE PEÇAS	44
2.10.1	GESTÃO DE ESTOQUE DA CORRETIVA.....	45
2.10.2	GESTÃO DE ESTOQUE DA PREVENTIVA	46
2.10.3	GESTÃO DE ESTOQUE DA PREDITIVA.....	46
2.11	CUSTOS ATRELADOS ÀS METODOLOGIAS DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO.....	46
2.12	DEFINIÇÃO DE UMA METODOLOGIA ESTRUTURADA PARA ANÁLISE DA MELHOR METODOLOGIA DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO.....	47
3.	<u>APLICAÇÃO</u>	<u>49</u>
3.1	MAQUINÁRIO ESTUDADO	49
3.2	DIVISÃO DOS CAMINHÕES EM SISTEMAS	50
3.3	CÁLCULO DOS INDICADORES DA FROTA.....	56
3.3.1	CÁLCULO DOS CUSTOS	56
3.3.2	CÁLCULO DA DISPONIBILIDADE OPERACIONAL.....	57
3.3.3	MTBF	57
3.3.4	MTTR.....	57
3.3.5	DEFINIÇÃO DE PRIORIDADE DE ESTUDO	57
3.3.6	DEFINIÇÃO DA CONFIABILIDADE E PREMISSAS DO ESTUDO RCM	60
3.3.7	GESTÃO DO ESTOQUE DE PEÇAS	68
3.3.8	CUSTOS ATRELADOS ÀS MANUTENÇÕES.....	69
4.	<u>RESULTADOS.....</u>	<u>75</u>
5.	<u>CONCLUSÃO.....</u>	<u>78</u>
6.	<u>ANEXO.....</u>	<u>79</u>
7.	<u>REFERÊNCIAS</u>	<u>80</u>

1. INTRODUÇÃO

A manutenção centrada na confiabilidade é uma metodologia ainda muito pouco usada quando se compara com outras metodologias (ABRAMAN, 2011). Apesar de inúmeros trabalhos a tratarem como a metodologia de gestão de manutenção do futuro, segundo o relatório da ABRAMAN, as manutenções corretivas e preventivas ainda representam grande parte das manutenções nas empresas, sendo as duas somando 64,57% do total.

Ainda segundo o estudo da ABRAMAN, há um aumento da qualificação da mão-de-obra facilitando, assim, a implantação de metodologias mais complexas, mas que geram mais resultados, tanto financeiramente quanto na disponibilidade e qualidade do maquinário, e consequente aumento da qualidade do produto final. Mostrada pela figura 1.

ANO	Qualificação do Pessoal de Manutenção %				
	Nível Superior	Técnico Nív. Méd	MOB Qualif.	MOB Não Qualif.	Não Qualif.
2011	8,76	17,00	40,79	7,56	25,89
2009	8,36	16,94	38,88	8,34	27,48
2007	8,70	18,25	40,46	6,72	25,87
2005	7,06	16,07	36,05	7,91	32,91
2003	7,20	14,85	40,62	4,94	32,39
2001	7,64	14,81	38,72	7,63	31,20
1999	7,08	13,35	38,06	6,77	34,74
1997	6,18	14,78	40,63	8,07	30,34
1995	6,65	13,52	17,15	8,81	53,87

Figura 1: Qualificação do Pessoal da Manutenção
Fonte: ABRAMAN, 2011 (adaptado)

A manutenção centrada na confiabilidade, quando aplicada de forma correta, muda de forma completa as relações dos problemas apresentados pelos sistemas e componentes, para que os mesmos mantenham sempre um nível alto de resultados, operacionalmente. Essa metodologia ainda permite a inserção de novos sistemas ou componentes com grande eficiência, velocidade, confiabilidade e precisão (MOUBRAY,1991)

Com o aumento da utilização da tecnologia nos setores produtivos, principalmente com a inserção dos ERPs (NIGEL&SLACK,2009), facilita-se a implantação da manutenção centrada na confiabilidade, principalmente no controle e análise dos dados.

Com esse grande leque de oportunidades que se abre, o trabalho visa, faz o estudo de uma metodologia estruturada de análise da situação atual de uma empresa do setor de

transportese assim consegue, baseando-se nas técnicas da manutenção centrada na confiabilidade, uma definição da melhor política de gestão da manutenção.

Com a aplicação observa-se uma melhora no desempenho operacional na área de custos, com reduções de até 14% nos custos de manutenção de um dos sistemas mecânicos do caminhão.

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As empresa necessitam de vantagens competitivas para poderem se estabelecer no mercado, cada vez mais competitivo. Alguns objetivos de desempenho que influenciam diretamente, tanto como qualificadores, quanto como ganhadores de pedidos são: custo; qualidade; rapidez; confiabilidade; flexibilidade (produtos/serviços); flexibilidade (composto mix); flexibilidade (volume e/ou entrega). (NIGEL&SLACK,2009).

A manutenção está diretamente ligada a vários desses objetivos, podendo os influenciar tanto positiva quanto negativamente. Dito isso, é evidente a importância que uma implementação de uma metodologia condizente com as estratégias da empresa e com a realidade da mesma é de vital importância para a perpetuação do negócio.

Com a metodologia estruturada e a definição da melhor política de manutenção, item vital para as empresas, pode ser estudado de forma estruturada, gerando impactos até mesmo na perpetuação dos resultados, sendo assim de primária importância para o bom desempenho da organização.

1.2 JUSTIFICATIVA

Os estudos referentes à utilização correta das políticas de manutenção vêm se mostrando como uma forma para a geração de ganhos para as organizações, principalmente aquelas que trabalham com altas utilizações de maquinário e baixa margem para subproduções.

Com um estudo mais detalhado das aplicações das políticas de manutenção, principalmente calcando-se nos preceitos da confiabilidade, geram uma metodologia estruturada para a definição e aplicação prática em organizações.

Nos trabalhos analisados pelo autor há ainda uma lacuna entre as diferentes metodologias que podem ser usadas, a análise dos custos atrelados a essas, a aplicação e análise de priorização de trabalhos nas organizações. Por experiência própria, tanto em empresas que

possuem manutenção como peça vital para seu funcionamento, como em empresas do setor de transportes, observa-se que a falta de uma metodologia estruturada faz com que a maioria não consiga definir de forma otimizada a política a ser usada e assim não consegue a devida utilização dos recursos produtivos.

Nota-se ainda, que pela alta demanda da produção, a manutenção possui um papel renegado a segundo plano, muitas vezes dando preferência a manutenção corretiva não planejada, não por se tratar da metodologia mais adequada à organização e aos sistemas produtivos analisados, mas sim pela sua praticidade e baixa necessidade de planejamento.

A manutenção ainda, na maioria das empresas, tem o papel apenas de “apagar incêndios”, ou seja, apenas conserta-se aquilo que está quebrado, sem a consciência ou a preocupação, na maioria dos casos, de efetivamente fazer ajustes e análises periódicas, isto sim o ideal para a constante otimização do maquinário disponível.

Estudar os custos dessa renegação fez com que o autor tivesse grande interesse de expandir seus conhecimentos nessa área para desenvolver algo que pudesse traduzir os prejuízos com o não planejamento da manutenção dentro das organizações.

1.3 ESCOPO DO TRABALHO

O trabalho calcar-se-á na pesquisa e desenvolvimento de uma metodologia estruturada e a mesma após validação de sua aplicabilidade, foi aplicado no caso de uma empresa do setor de transportes, mais especificamente no setor de transportes de cargas fracionadas.

Somente serão estudados os componentes mecânicos dos sistemas, isto é, toda a parte eletrônica não será analisada pelo fato de seu comportamento markoviano.

Um processo estocástico é considerado markoviano quando a ocorrência de um estado futuro depende somente do presente, não dos eventos passados. (TAHA, 2008)

A base de dados utilizada é de uma unidade que utiliza a manutenção corretiva em conjunto com a preventiva, o que é uma boa base pelo fato de ter-se a real confiabilidade dos sistemas no ambiente em que essa unidade está inserida e com o trabalho realizado na mesma. A base de dados a ser trabalhada é a de 2008 a 2013 e pelo grande número de ocorrências e pela constância, nesses períodos, dos paradigmas de transportes.

As análises de falha utilizadas neste trabalho são as previamente identificadas pela empresa. Para a análise da não qualidade, serão usados os custos gerados pela máquina ou sistema analisado.

Toda a análise de quais itens deve ser abordada na manutenção preditiva serão também disponibilizados pelo setor técnico da empresa. Esses dados são frutos de um estudo feito pela empresa identificando a partir das principais causas raízes, como controlar através das preditivas para mitigar o problema.

Os tempos das intervenções também são dados, em que os mesmos serão utilizados pelo autor, para fazer as análises de custos atrelados às intervenções. O cálculo do lucro cessante da operação a ser usado será o fornecido pela organização, específico para esta unidade.

Para efeito de trabalho, não será abordado as interações entre diferentes sistemas da máquina, e como essas influenciam os valores de confiabilidades uma das outras. Serão analisados somente sistemas isolados.

Para o intervalo da manutenção preventiva não será realizado o cálculo do intervalo ótimo para a realização da mesma. Pela empresa fornecedora do maquinário já possuir um setor responsável por esse tipo de tratamento da informação, serão usados os planos de manutenção disponibilizados nos manuais das máquinas.

O trabalho irá abordar desde a escolha de qual sistema do caminhão será estudado primariamente, até a completa análise das políticas de manutenção e a definição de uma por período de tempo a ser utilizada de modo a maximizar a utilização dos recursos.

1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS

O objetivo do trabalho é a elaboração de uma metodologia estruturada para a análise da melhor forma de gestão da manutenção a ser aplicada, centrada na confiabilidade e nos custos atrelados, e levando em consideração a aderência da política da manutenção com as estratégias e planos da organização.

Com o desenvolvimento do trabalho, obteve-se uma metodologia estruturada aplicável em uma gama de empresas muito grande, não deixando de abordar os pontos cruciais para a definição da política de manutenção.

Com a aplicação da metodologia consegue-se a diminuição dos gastos com a manutenção, grande parte em longo prazo, além da melhora da disponibilidade do maquinário, sem prejudicar o seu funcionamento e sua vida útil. Essa aplicação deve, também, adequar-se as estratégias da empresa sem apresentar um peso nos custos totais da operação.

Vislumbrando-se, ainda tornar mais comum o estudo da manutenção com uma vertente quantitativa e sempre buscando a otimização dos recursos, principalmente financeiros, para com isso aumentar a utilização das devidas políticas de manutenção pelas organizações e fazer com que o maquinário brasileiro tenha uma melhor utilização.

1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA

O estudo, quanto a sua natureza, é aplicado por seu interesse prático, isto é, os resultados aqui desenvolvidos serão empregados, efetivamente na prática diária das empresas.

Ao analisar os objetivos da pesquisa, entende-se que é uma pesquisa explicativa. Esse tipo de pesquisa é caracterizado por: “visa identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Aprofunda-se o conhecimento da realidade porque explica a razão, o “porquê” das coisas.” (TURRIONI & MELLO, 2012)

Para a forma de abordar o problema, o estudo em pauta, pode ser descrito pelo seu caráter de pesquisa combinada. Essa averiguação caracteriza-se pela composição dos resultados qualitativos e quantitativos, que segundo TURRIONI & MELLO são qualificados por:

- *“A pesquisa quantitativa considera que tudo pode ser quantificável, o que significa traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las. Requer o uso de recursos e de técnicas estatísticas (percentagem, média, moda, mediana, desvio padrão, coeficiente de correlação, análise de regressão, etc.).*
- *A pesquisa qualitativa considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números. A interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicas no processo de pesquisa qualitativa. Não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas. O ambiente natural é a fonte direta para coleta de dados e o pesquisador é o instrumento-chave. É descritiva. Os pesquisadores tendem a analisar seus dados indutivamente. O processo e seu significado são os focos principais de abordagem.”*

Os métodos utilizados para desenvolver o trabalho foram: Soft System Methodology e Modelagem e Simulação. Esses métodos são caracterizados por TURRIONI & MELLO, como:

- “O SSM auxilia a formulação e estruturação do pensamento sobre os problemas em situações complexas. Seu princípio está na construção de modelos conceituais (baseados no entendimento das atividades humanas) e na comparação desses modelos com o mundo real.
- A modelagem e simulação é empregada quando se deseja experimentar, através de um modelo, um sistema real, determinando-se como este sistema responderá a modificações que lhe são propostas”

A Figura 2 mostra as metodologias da pesquisa, demarcada as características desse estudo.

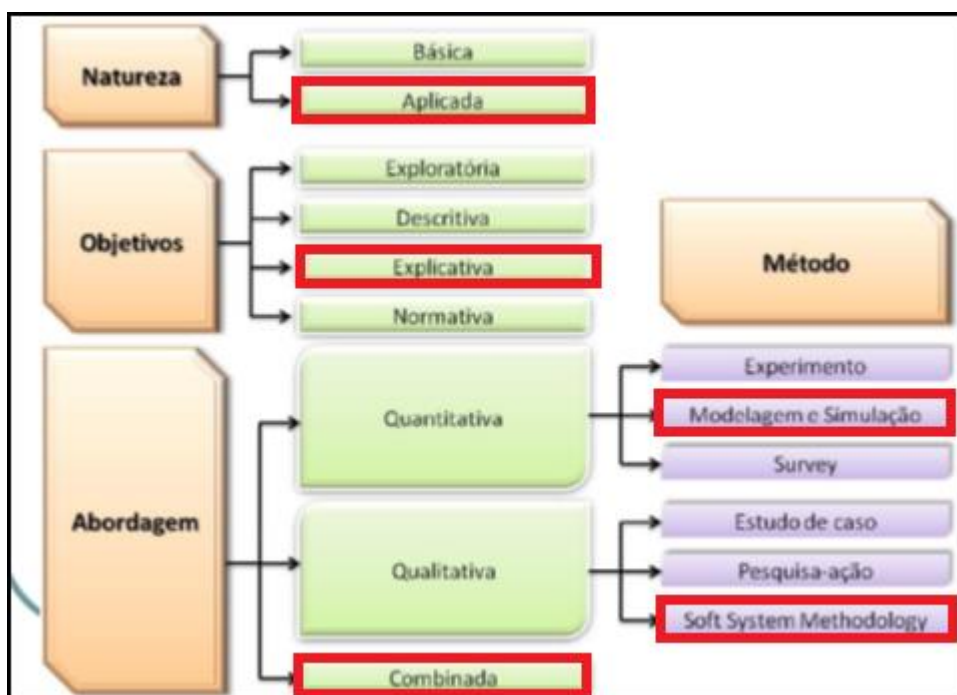


Figura 2 –Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção
Fonte: Miguel, 2010 (Adaptado)

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para melhor explicar os conhecimentos adquiridos ao estudar os conceitos relativos aos objetivos do trabalho, o autor escolheu dividir o trabalho nas seguintes partes.:

Capítulo 1 – Introdução:

Nesse capítulo são explanados as considerações iniciais do trabalho, a justificativa de sua realização, o escopo seguido, a metodologia que embasa todo o trabalho, uma rápida definição da estrutura desenvolvida e o cronograma acompanhado para o desenvolvimento do trabalho como um todo, desde o estudo até a aplicação da metodologia desenvolvida.

Capítulo 2 – Referência Bibliográfica:

Desenvolve-se a revisão bibliográfica, em que são feitos os estudos relacionados à manutenção e os tipos mais comuns de metodologias de gestão da manutenção; indicadores usados na mensuração do desempenho da manutenção; análise das variáveis a serem consideradas na definição das áreas ou sistema a serem priorizados no estudo; metodologia de análise de falhas; manutenção centrada na confiabilidade; distribuições de probabilidade passíveis de serem usadas na análise de falhas; gestão de estoque de peças; custos atrelados à aplicação das metodologias; definição do intervalo ótimo para a manutenção; e uma metodologia estruturada para a escolha do melhor tipo de gestão da manutenção.

Capítulo 3 – Aplicação:

Discorre-se sobre a aplicação da metodologia desenvolvida em uma empresa do setor de transportes. Desde o estudo da revisão bibliográfica até a aplicação do modelo para a definição da política de gestão da manutenção mais adequada.

(No) Capítulo 4 – Resultados:

Serão apresentados os resultados decorrentes da aplicação da metodologia realizada no capítulo 3. Nesse capítulo serão expostos os problemas encontrados, assim como os pontos positivos. Por fim será realizada uma análise dos resultados obtidos, se os mesmos são coerentes com a teoria abordada e com as estratégias da organização estudada.

Capítulo 5 – Conclusão:

Será feito uma análise de toda a metodologia, aplicação e resultado, sendo como saída desse capítulo uma análise da aplicação da metodologia proposta assim como os próximos passos para a pesquisa avançar e melhorar a metodologia proposta.

1.7 CRONOGRAMA

Itens \ Meses quinzenas	Outubro		Novembro		Dezembro		Janeiro		Fevereiro		Março		Abril		Maio		Junho	
	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a
1 - Revisão Bibliográfica																		
2- Proposição de uma Metodologia Estruturada																		
2 – Análise dos Dados																		
3 – Aplicação da Metodologia Proposta																		
6 – Testes e Simulações de Aplicação																		
7 – Análise dos Resultados																		
8 – Elaboração do Relatório																		

Quadro 1 – Cronograma de Trabalho

Fonte: Elaborado pelo autor

2. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

2.1 MANUTENÇÃO

Nos últimos 20 anos a manutenção tem mudado drasticamente, talvez das disciplinas de gestão é a que mais modificou-se. As mudanças se dão basicamente aos avanços nos equipamentos e usos crescentes da informática o que acarreta a melhoria de desempenho. Designs mais complexos, novas técnicas de manutenção e mudanças no papel da manutenção dentro das organizações, foram cruciais para essa transformação de papel. (MOUBRAY,1997).

Nas empresas com o devido foco na manutenção os responsáveis, por esse setor ou item, adotaram uma postura de rápida aderência às novas formas de manter os equipamentos. Isso se dá principalmente pelo aumento da conscientização da relação da manutenção e a qualidade, além da crescente cobrança para o aumento da confiabilidade e da disponibilidade de máquinas e equipamentos. Mesmo com essas alterações, os custos continuam sendo altamente controlados e sempre se objetivando a sua redução. (KARDEC&NASCIF,2001).

Segundo a NBR 5462-1994, manutenção é: “Combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida” (NBR 5462-1994).

Manutenção ainda possui um conceito bem amplo, como definido por (BRITO, 2005):

“Manutenção industrial pode ser definida como o conjunto de ações que permitem manter ou controlar o estado original de funcionamento de um equipamento ou bem. De outra forma, pode-se definir manutenção como o conjunto das ações destinadas a garantir o bom funcionamento dos equipamentos, através de intervenções oportunas e corretas, com o objetivo de que esses mesmos equipamentos não avariem ou baixem seus rendimentos e, no caso de tal suceder, que a sua reparação seja efetiva e a um custo global controlado. De forma mais abrangente, poderemos dizer que manutenção de um equipamento ou bem é um conjunto de ações realizadas ao longo da vida útil desse equipamento ou bem, de forma a manter ou repor a sua operacionalidade nas melhores condições de qualidade, custo e disponibilidade, de uma forma segura.”

. Ainda segundo (KARDEC & NASCIF,2001):

“A manutenção deve contribuir para o atendimento do programa de produção, maximizando a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos e instalações dos órgãos operacionais, otimizando os recursos disponíveis com qualidade e segurança e preservando o meio ambiente”

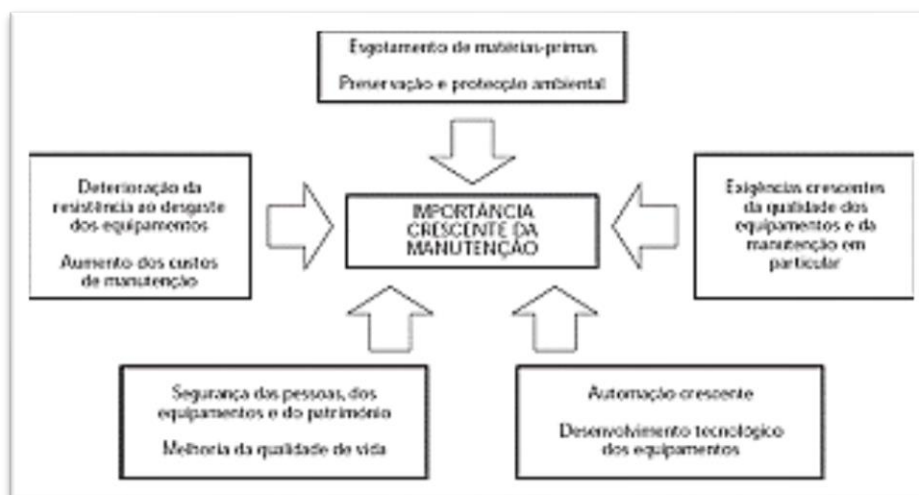


Figura 3: Mapa Mental da Estratégia de Importância da Manutenção
Fonte: KARDEC & NASCIF, 2001

Muitas empresas estão cada vez mais engajadas nos preceitos da manutenção, como mostra a figura 3, algumas até elaborando uma política específica para a área da manutenção. Por exemplo, a política da manutenção da Petrobras é:

“Contribuir para o entendimento do programa de produção, maximizando a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos e instalações dos órgãos operacionais, otimizando os recursos disponíveis com qualidade e segurança, a fim de preservar o meio-ambiente e contribuir para a continuidade do desenvolvimento do refino.”
PETROBRAS, 1997

Quando se fala de manutenção de sistemas mecânicos, fala-se de modos de prevenir que os desgastes naturais da peça tornem-se fraturas ou modificações de suas propriedades de modo que os requisitos de funcionamento dessa peça sejam atendidos. Para entender melhor as fases de um desgaste, usa-se o conceito da curva da banheira, mostrada na figura 4. (KARDEC & NASCIF, 2001)

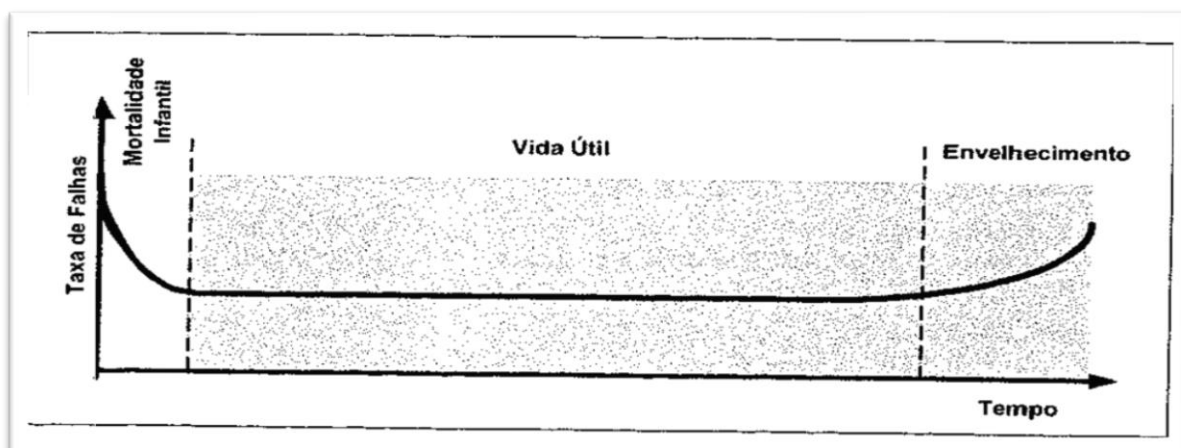


Figura 4: Curva da Banheira
Fonte: KARDEC&NASCIF, 2001

Segundo KARDEC&NASCIF, 2001:

“1) MORTALIDADE INFANTIL - Há grande incidência de falhas por componentes com defeitos de fabricação ou deficiências de projeto. Essas falhas também podem ser oriundas de problemas de instalação.

2) VIDA ÚTIL - A taxa de falhas é sensivelmente menor e relativamente constante ao longo do tempo. A ocorrência de falhas decorre de fatores menos controláveis, como fadiga ou corrosão acelerada, fruto de interações dos materiais com o meio. Assim, sua previsão é mais difícil.

3) ENVELHECIMENTO OU DEGRADAÇÃO - Há um aumento na taxa de falhas decorrente do desgaste natural, que será tanto maior quanto mais passar o tempo.”

Pode-se ver uma evolução na manutenção, sendo que a cada etapa que passa a mesma ganha cada vez mais importância dentro das organizações e cada vez mais usando tecnologia, explanada na tabela 1.

EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO				
	Primeira Geração	Segunda Geração	Terceira Geração	Quarta Geração
Ano	1940 1950	1960 1970	1980 1990	2000 2010
Aumento das expectativas em relação à Manutenção	• Conserto após a falha	• Disponibilidade crescente • Maior vida útil do equipamento	• Maior confiabilidade • Maior disponibilidade • Melhor relação custo-benefício • Preservação do meio ambiente	• Maior confiabilidade • Maior disponibilidade • Preservação do meio ambiente • Segurança • Influir nos resultados do negócio • Gerenciar os ativos
Visão quanto à falha do equipamento	• Todos os equipamentos se desgastam com a idade e, por isso, falham	• Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira	• Existência de 6 padrões de falhas (Nowlan & Heap e Moubray) Ver Capítulo 5	• Reduzir drasticamente falhas prematuras dos padrões A e F (Nowlan & Heap e Moubray) Ver Capítulo 5
Mudança nas técnicas de Manutenção	• Habilidades voltadas para o reparo	• Planejamento manual da manutenção • Computadores grandes e lentos • Manutenção Preventiva (por tempo)	• 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	• Aumento da Manutenção Preditiva e Monitoramento da Condição • Minimização nas Manutenções Preventiva 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

Tabela 1: Evolução da Manutenção
Fonte: KARDEC&NASCIF,2001

Segundo o relatório da ABRAMAN (ABRAMAN 2011), a divisão da aplicação dos recursos na manutenção é dividida por (figura 5):

Aplicação dos Recursos na Manutenção (%)				
Ano	Manutenção Corretiva	Manutenção Preventiva	Manutenção Preditiva	Outros
2009	29,85	38,73	13,74	17,68
2007	25,61	38,78	17,09	18,51
2005	32,11	39,03	16,48	12,38
2003	29,98	35,49	17,76	16,77
2001	28,05	35,67	18,87	17,41
1999	27,85	35,84	17,17	19,14
1997	25,53	28,75	18,54	27,18
1995	32,80	35,00	18,64	13,56
Hh (serviços de manutenção) / Hh (total de trabalho)				

Figura 5: Aplicação dos Recursos na Manutenção
Fonte: ABRAMAN, 2011

Observa-se que entre as técnicas acima utilizadas a que teve um aumento significativo foi a manutenção preventiva, sendo a principal metodologia de gestão da manutenção aplicada atualmente.

2.2 MANUTENÇÃO CORRETIVA

Segundo a NBR 5462-1994, manutenção corretiva é: “a manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida”, ou seja, a manutenção corretiva é aquela que se espera primeiro a falha para então realizar uma intervenção e fazer com que o item volte a desempenhar a função para a qual o mesmo foi desenhado.

Essa manutenção segue uma lógica simples: Se está funcionando não se deve mexer. Muitas vezes essas quebras podem acarretar em danos a outros componentes, além de gerar interrupções não programadas às atividades da organização.

A manutenção corretiva possui duas condições específicas para ocorrer: uma pane do equipamento; ou um decréscimo do desempenho de uma das variáveis de funcionamento do equipamento. (KARDEC&NASCIF,2001)

Pode-se dividir ainda as manutenções corretivas em dois tipos distintos, no que tange a preparação da organização: corretiva não programada e corretiva programada.

A manutenção não programada também é conhecida como emergencial. Nesse tipo de manutenção não há preparação para a realização do serviço, ou seja, a organização não se antevê ao evento e assim ao ocorrer a mesma deve fazer todas as operações necessárias. Ou seja, o gatilho do processo é a própria falha (KARDEC&NASCIF, 2001).

Esse tipo de manutenção ainda é extremamente comum e muito utilizado. Normalmente essa manutenção implica em altos gastos com perdas de produção, qualidade e custos indiretos à manutenção exacerbados. (KARDEC&NASCIF,2001)

Como não há uma política de antever os problemas, nem de se preparar para os mesmos, a empresa tem altos gastos com compras emergenciais e paradas não programadas da produção. (KARDEC&NASCIF,2001)

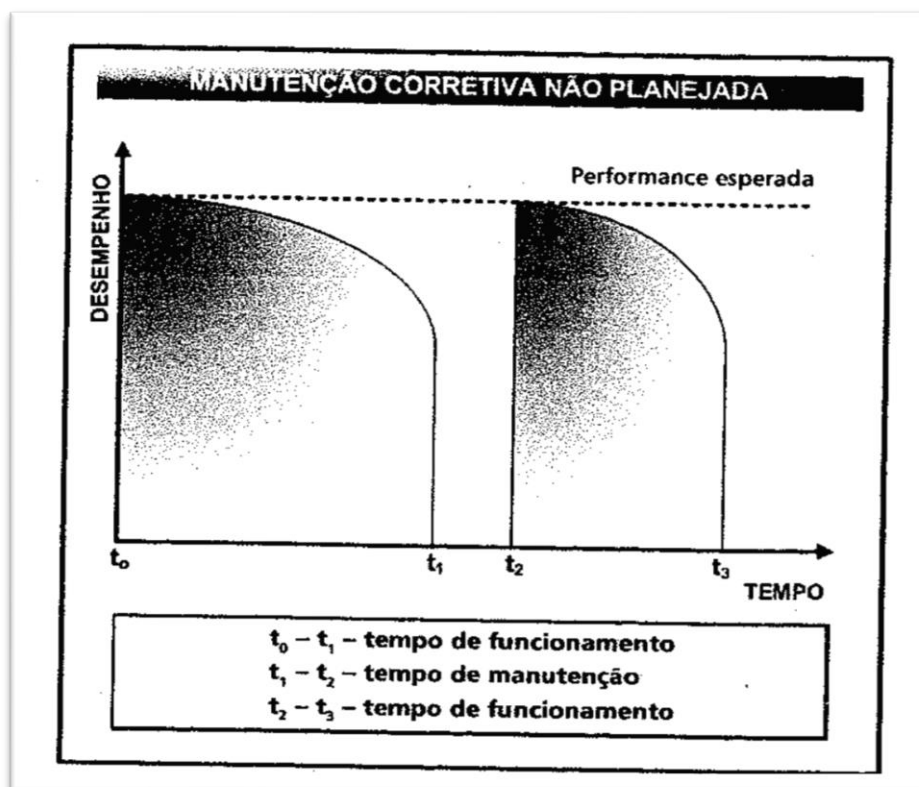


Figura 6: Manutenção Corretiva Não Planejada
Fonte: KARDEC&NASCIF,2001

A manutenção corretiva planejada também possui a característica de atuar somente após a falha ou ao decréscimo do desempenho das variáveis controladas (exemplificada pela figura 6).

A diferença, nesse caso, se dá no âmbito que ao saber que a peça está no final de sua vida útil, a organização começa a se preparar para fazer as trocas, realizando, por exemplo, a compra do item ou mesmo deixando uma equipe de sobreaviso, caso haja a falha é possível a substituição dessa peça sem que venha a prejudicar a operação da unidade inteira.

Na manutenção corretiva planejada tem-se um aumento nos custos de preparo (estoque e preparação da equipe), mas, em contra partida tem-se uma diminuição nos custos com as paradas e surpresas dos equipamentos, pois desta forma as mesmas ficam minimizadas.

Apesar de aparentar desdém da empresa ao utilizar essa política, quando se tem altos custos com outras metodologias ou mesmo uma reengenharia, ou tem-se componentes que seguem uma distribuição de Markov (não dependem do passado para determinar a probabilidade de quebra no momento presente) não se consegue tornar as outras metodologias de gestão da manutenção viáveis do ponto de vista econômicos. Um exemplo de componentes que seguem uma distribuição de Markov são os equipamentos eletrônicos.

2.3 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

A manutenção preventiva é caracterizada pela troca ou análise com intervalos pré-acordados (pode ser de tempo, ciclo, etc). A mesma é destinada para reduzir a probabilidade de falha ou perda de desempenho de um item. (NBR 5462-1994)

Esse tipo de manutenção busca evitar a ocorrência das falhas, como o próprio nome explana. (KARDEC&NASCIF, 2001)

Essa metodologia faz com que os custos de falha, tanto de sistemas quanto de componentes, sejam minimizados, principalmente se for levado em conta o fato que a metodologia estabelece uma faixa que se considera ótimo a aplicação da manutenção preventiva. (KARDEC&NASCIF, 2001) (será feito um estudo mais aprofundado nesse quesito no item 2.11)

Durante a faixa ótima de manutenção preventiva tem-se uma baixa chance de ocorrência de falhas, o que não nos assegura que o item não vá falhar, porém as chances de ocorrência ficam minimizadas.

Na aplicação da metodologia ainda se tem a ocorrência das manutenções corretivas, mas essas ficarão restritas aos itens que tiveram uma falha prematura ou foram expostos à esforços não programados, ou ainda que apresentam algum problema de fabricação (figura 7).

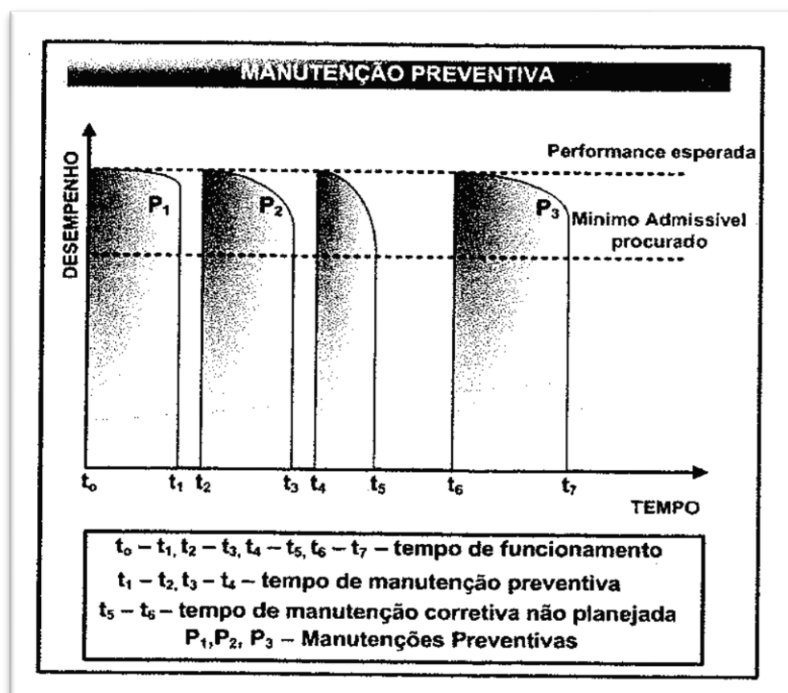


Figura 7: Manutenção Preventiva
Fonte: KARDEC&NASCIF, 2001

Segundo (KARDEC&NASCIF,2001) os seguintes fatores devem ser levados em consideração para a adoção dessa política de manutenção:

- “Quando não é possível a manutenção preditiva;
- Aspectos relativos com a segurança pessoal ou da instalação que tornam mandatória a intervenção, normalmente para substituição de componente;
- Aspectos relacionados com a segurança pessoal e operacional;
- Redução de custos pelo acompanhamento constante das condições dos equipamentos, evitando intervenções desnecessárias;
- Manter os equipamentos operando, de modo seguro, por mais tempo.”

Atualmente essa política é a mais utilizada dentre as organizações, principalmente para itens como óleos e lubrificantes e outros itens que devem ser trocados para manter a vida útil de outros componentes, com desempenho nos níveis aceitáveis.

Quando há a manutenção preventiva de itens como lubrificantes evita-se que ocorram danos causados principalmente pela presença de partículas com uma dureza acima do material, podendo ser fator para o desgaste prematuro de peças e componentes mecânicos mais caros.

Além desse fato, tem-se ainda que com a manutenção preventiva não se espera a ocorrência da falha e não há danos a outros componentes que poderiam ser afetados caso ocorresse uma falha nesse sistema.

2.4 MANUTENÇÃO PREDITIVA

A manutenção preditiva, também chamada de manutenção controlada, é definida pela NBR 5462-1994, como:

“Manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.”

A manutenção preditiva, conhecida como manutenção sob condição ou com base no estado do equipamento, busca através do constante monitoramento de condições pré-estabelecidas para prever sua condição. Outra característica é o aumento da disponibilidade do equipamento, pois a manutenção só é realizada quando um dos parâmetros de desgastes

apresentarem uma baixa em um nível pré-determinado, e essas análises ocorrem com a máquina em funcionamento.(KARDEC&NASCIF, 2001).

O termo associado a esse tipo de manutenção é predizer. Sempre analisar as variantes que possam influenciar ou evidenciar uma possível falha ou queda acelerada do desempenho do equipamento e aí sim intervir, diz-se então que essa intervenção é uma manutenção corretiva planejada. (KARDEC&NASCIF, 2001)

Quando se discute sobre manutenção preditiva a primeira palavra que nos vem à mente é uso de alta tecnologia e altos custos atrelados. Segundo KARDEC&NASCIF (2001), podem-se definir dois tipos de custos envolvidos na manutenção preditiva:

- “O acompanhamento periódico através de instrumentos/ aparelhos de medição e análise não é muito elevado e quanto maior o progresso na área de microeletrônica, maior a redução dos preços. A mão de obra envolvida não apresenta custo significativo, haja vista a possibilidade de acompanhamento, também, pelos operadores.
- A instalação de sistemas de monitoramento contínuo online apresenta um custo inicial relativamente elevado. Em relação aos custos envolvidos, estima-se que o nível inicial de investimento é de 1% do capital total do equipamento a ser monitorado e que um programa de equipamentos bem gerenciado apresenta uma relação de custo/benefício de 1/5.”

Essa metodologia de gestão da manutenção é a que apresenta melhores resultados práticos, uma vez que somente será realizada a intervenção quando for estritamente necessário, isto é, o componente será usado ao máximo e as quebras serão minimizadas, pois os elementos de uma falha ou queda da produtividade e qualidade estão sendo controlado através de indicadores e sensores específicos (figura8).

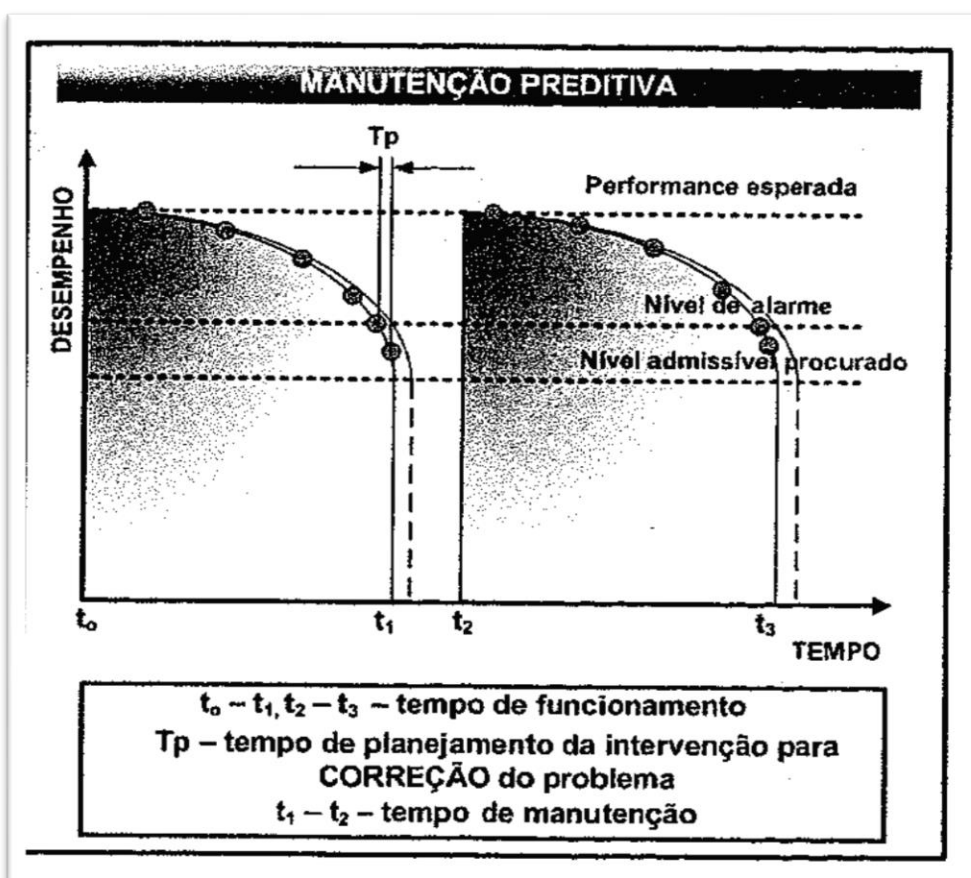


Figura 8: Manutenção Preditiva
 Fonte: KARDEC&NASCIF,2001

2.5 INDICADORES DE DESEMPENHO DA MANUTENÇÃO

Segundo o relatório da ABRAMAN (2011), as organizações atualmente utilizam-se dos seguintes indicadores (mostrado na figura 9 acrescidos de suas proporções):

Principais Indicadores de Desempenho Utilizados (Graus de Importância - GI)									GI 2009
Tipos	1995	1997	1999	2001	2003	2005	2007	2009	
Custos	26,21	26,49	26,32	25,91	21,45	21,96	20,33	18,98	2
Frequencia de Falhas	17,54	12,2	14,24	16,22	11,66	12,17	9,75	9,81	6
Satisfação dos Clientes	13,91	11,01	11,76	11,86	8,62	8,11	8,93	9,38	7
Disponibilidade Operacional	25,2	24,7	22,6	23,24	19,58	19,81	18,51	20,68	1
Retrabalho	9,07	5,65	8,36	8,96	6,06	6,68	3,97	5,33	8
Backlog	8,07	6,55	8,98	10,41	9,32	6,92	11,57	10,02	5
Não Utilizam	-	2,09	2,79	1,22	1,63	0,72	0,33	1,07	9
TMPF (MTBF)	-	-	-	-	11,89	11,69	14,21	12,79	3
TMPR (MTTR)	-	-	-	-	9,56	11,46	11,74	11,94	4
Outros Indicadores	-	11,31	4,95	2,18	0,23	0,48	0,66	0	10

Figura 9: Principais Indicadores de Desempenho Utilizados
Fonte: ABRAMAN 2011 (adaptado)

A seguir cada um dos indicadores será analisado e suas metodologias de cálculos expostas.

2.5.1 Custos

É o indicador mais simples, mas um dos que mais chamam a atenção da alta direção, até mesmo pela atividade fim da maior parte delas, que é realizar as atividades, principalmente aquelas que não agregam valor ao seu produto, com um menor gasto possível.

Esse indicador pode ser um indicador global, dado pela soma de todos os desembolsos atrelados à manutenção em um período de tempo. Como pode ser desmembrado para cada equipamento ou subconjunto de equipamentos. Mesmo assim continua sendo sempre a soma de todos os desembolsos com a manutenção em um determinado período.

2.5.2 Frequência de falhas

Assim como o anterior o indicador frequência de falhas possui uma metodologia bem simples de controle. É composto pela soma de falhas apresentadas por todas as máquinas, um subconjunto das mesmas ou por equipamento ou sistema, em um determinado período pré-acordado.

Pela simplicidade desses indicadores muitas vezes são os mais utilizados pelas organizações, pois passam informações vitais para a organização controlar seus ativos.

2.5.3 Satisfação do Cliente

Quem determina qualidade é o cliente, dizendo se está (boa) **bom** ou ruim. Apesar de ser um conceito aparentemente fácil de ser definido, quando perguntado para um cliente, dificilmente, o mesmo será capaz de defini-la. Entretanto, pode-se definir qualidade como a adequação de um produto ou serviço às necessidades, satisfazendo as expectativas e exigências do cliente. (ALMEIDA, 1995).

Fazer a mensuração do “quão bom” foi um serviço é bem mais complexo que fazer essa análise de produtos tangíveis, uma vez que os serviços são processos vivenciados, muitas vezes subjetivamente, que agrega os conceitos de produção e consumo simultaneamente. Por ser uma atividade de contato direto com o cliente, esse contato se torna crítico na determinação da satisfação do cliente para/com o serviço prestado. (GRÖNROOS, 1995).

Quando se fala de clientes para a manutenção fala-se, muitas vezes de clientes internos da organização, isto é, todas as áreas e setores que necessitam da atuação direta ou indiretamente para poder realizar suas atividades sem comprometimento de produtividade, e qualidade cumprindo os prazos pré-definidos.

Para obter a satisfação dos clientes é necessária a aplicação de questionários para levantar informações que possam impactar na satisfação dos mesmos com o serviço de manutenção prestado. Um exemplo de formulário usado para levantar esses dados, é exposto no anexo 1.

Após a aplicação dos questionários podem ser feitos análises sobre a satisfação dos clientes quanto ao sistema completo de manutenção, equipes específicas ou até partes do processo da manutenção. Essas informações devem ser usadas para avançar a cada dia mais o sistema de manutenção da empresa

2.5.4 Disponibilidade operacional

Disponibilidade pode ser entendida como a fração do tempo que o equipamento ou sistema está desempenhando a função para o qual o mesmo foi proposto. (MONCHY, 1989). Isto é, para controlar a disponibilidade operacional deve-se fazer o seguinte cálculo:

$$\text{Disponibilidade Operacional} = \frac{\sum \text{horas disponiveis para produção}}{\sum \text{horas totais}}$$

Equação 1: Disponibilidade Operacional

Segundo a NBR 5462-1994, disponibilidade pode ser definida como:

“Capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados.”

De acordo com o item 2.1 muitas empresas usam esse indicador em sua missão para a área de manutenção, mostrando o quão importante é a manutenção assegurar que os equipamentos estejam disponíveis para a produção, em condições de ser operado, pelo maior tempo possível, isto é, gerando valor para o sistema como um todo.

2.5.5 Retrabalho

Como o próprio nome diz, é uma atividade que deve ser refeita de modo a deixar o serviço ou produto com a qualidade e atendendo aos requisitos que possuía anteriormente. A maioria dos retrabalhos pode ser evitada se houver um cumprimento de procedimentos e a constante inspeção dos itens.

Na área de manutenção retrabalho é visto como a geração de um novo atendimento ou o reprocesso de algum item ou serviço que foram realizados anteriormente, onde ambos possuem o mesmo objetivo final (recolocar o equipamento ou sistema em modo operante). É considerado retrabalho quando o item a ser trocado ou reparado for necessário ser retrocado ou reparado mais uma vez pelo fato da primeira intervenção não ter sido feita com sucesso.

Esse indicador é medido como:

$$Retrabalho = \frac{\sum \text{serviços executados com o mesmo fim no mesmo equipamento}}{\sum \text{serviços executados}}$$

Equação 2: Retrabalho

Esse indicador é de nível operacional, por conseguir mostrar o quão eficaz é o setor de manutenção.

2.5.6 Backlog

É um indicador para o tomador de decisão saber quanto tempo será necessário para que as ordens de serviço sejam atendidas, levando em consideração o número de homens /hora que tem disponível e o número total de horas que as OS levarão para serem atendidas.

Esse indicador ajuda o tomador de decisão a programar as manutenções de modo a não criar um ambiente de sobrecarga, e ainda o auxilia a determinar a necessidade de terceirização ou de contratação extra.

Esse indicador pode ser dado em número de dias, número de semanas, número de meses, etc.. Depende somente da unidade indexadora escolhida. Por exemplo: 84 hh/mês disponíveis dará um backlog em número de meses.

O indicador é mensurado como:

$$Backlog = \frac{\sum \text{numero de horas homens necessarios para executar todas as OS}}{\sum \text{Numero de horas homens disponiveis em um tempo indexado}}$$

Equação 3: Backlog

2.5.7 Tempo Médio para Falhar (MTBF)

O MTBF é um dos indicadores mais novos a serem adicionados à manutenção, mesmo assim, já possui uma grande aceitação entre os gestores. Um dos motivos é a carga de informações que esse indicador gera para o gestor, sem a necessidade de cálculos elaborados.

O tempo médio para falhar é “uma medida básica de confiabilidade de itens reparáveis e, em geral, se refere à vida média de uma população” (KARDEC&NASCIF, 2001).

Para calcular esse indicador pega-se a média dos tempos que um equipamento ou sistema ou ainda subsistema demora a apresentar a mesma falha. Com esse dado pode-se identificar dois grandes lacunas da manutenção: a eficácia da manutenção, uma vez que se o item for mal reparado será necessário voltar a fazer o mesmo reparo em um intervalo de tempo mais curto; ou ainda se há algum problema de projeto, se uma peça ou sistema apresenta um MTBF muito alto pode ser que seu projeto apresenta algum ponto de melhoria ocasionando falhas sucessivas de mesma natureza no sistema ou componente.

$$MTBF = \frac{\sum \text{tempos entre falha de um componente}}{\text{Numero de falhas do componente}}$$

Equação 4: MTBF

2.5.8 Tempo Médio para Reparar (MTTR)

Assim como o MTBF, o MTTR é um indicador relativamente novo e que já possui uma grande importância no dia a dia do tomador de decisão de um sistema de manutenção.

Inclui tanto as manutenções corretivas quanto as preventivas, sendo um indicador de tempo que a manutenção demora, em média, para fazer os reparos dos problemas encontrados, assim como as manutenções preventivas.

Para a mensuração desse indicador os tempos de espera não são considerados, assim como outros tempos que possam ocorrer, é somente o tempo que a equipe de manutenção está trabalhando para atender a ordem de serviço.

É basicamente um indicador de eficiência da manutenção, pois quão mais eficiente no aspecto tempo de reparo, o sistema de manutenção for, menor será o MTTR.

Para calcular esse indicador, faz-se:

$$MTTR = \frac{\sum \text{tempos para reparos de um componente}}{\text{Número de reparos ocorridos}}$$

Equação 5: MTTR

2.6 DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES DE ESTUDO

As operações de uma unidade são desenhadas para proporcionar que as capacidades de cada etapa produtiva estejam balanceadas com a finalidade de que a unidade possa manter uma consistência entre as etapas do processo de produção.

É sabido que as máquinas não possuem as mesmas capacidades, nem que a utilização de várias máquinas fará com que as capacidades fiquem equilibradas. Geram-se então os gargalos da produção. (SLACK&NIGEL, 2009)

OHNO (1997) explana: “a necessidade é a mãe da invenção”.

Como é de conhecimento, em uma organização não há excesso de recursos para (pode-se) fazer estudos de todas as máquinas e sistemas, então se faz necessário à priorização de máquinas e sistemas a serem otimizados primeiramente. Para fazer a priorização pode-se usar uma metodologia baseada no RPN usado no FMEA.

Para priorizar as ações a metodologia FMEA usa um compilado de outros três indicadores para obter um valor acumulado que comparando um RPN de uma ação com as outras, obtém-se uma metodologia estruturada para definir prioridades de ação. (ROTONDARO, 2002)

No caso das máquinas a serem usadas pode-se defini-las para ser estudadas pela análise de dois indicadores: a utilização e o OEE.

A disponibilidade é definida o quão a máquina é realmente produtiva, isto é quantos % do tempo a máquina permaneceu ligada dividido pelo tempo total disponível.

$$Disponibilidade = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Equação 6: Disponibilidade

Quando se tem um balanceamento de transporte em que uma máquina apresenta maior utilização que as demais, quer dizer que a mesma é mais exigida para poder fazer o trabalho rotineiro que as outras, então a sua manutenção deverá ser feita de forma mais assertiva de modo a não deixar a mesma ter quedas na sua produtividade, na qualidade de seus produtos e muito menos deixar que essa máquina sofra uma falha catastrófica.

Se houver qualquer um desses elementos nessa máquina a produção será prejudicada, pois a mesma já está sendo utilizada de forma otimizada.

Somente com essa análise pode-se fazer com que máquinas que possuam defeitos recorrentes e muitas vezes trágicos possam continuar a ser ignorados pelo fato de não estarem localizados no gargalo da produção. Para sanar esse problema é analisado também o OEE (Overall Equipment Effectiveness ou Eficiência Global dos Equipamentos).

Segundo AMORIM (2009) o indicador consegue ser um modo de mensuração “tri-dimensional” como mostra a figura 10, pois considera:

- quanto tempo útil o equipamento tem para funcionar/produzir;
- a eficiência demonstrada durante o funcionamento, isto é a capacidade de produzir à cadência nominal;
- a qualidade do produto obtida pelo processo em que o equipamento está inserido

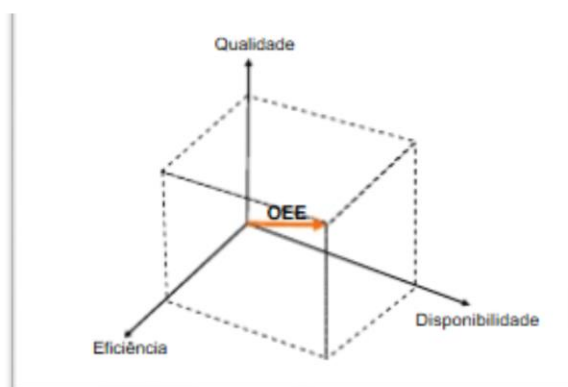


Figura 10: OEE
Fonte: AMORIM, 2009

De acordo com AMORIM o OEE é obtido pela multiplicação dos 3 indicadores (QualidadeXDisponibilidadeXEficiência). Que segundo o mesmo autor se referem à:

- “Da disponibilidade do equipamento para produzir;
- Da eficiência demonstrada durante a produção;
- Da qualidade do produto obtido”

Como os dois indicadores individualmente não conseguem traduzir em qual máquina haverá a real necessidade de intervenção se faz necessário à criação de um novo indicador específico para lidar com essa situação, que será nomeado deste ponto à diante como System Equipment Effectiveness ou Eficiência Global do Sistema (SEE).

Na composição do cálculo do OEE usa-se a disponibilidade da máquina, no caso do SEE troca-se essa disponibilidade pelo inverso da utilização. O cálculo é de efeito comparativo

entre máquinas e sistemas, dessa forma com essa troca obtém-se uma série de vantagens, dentre elas:

- Ao diminuir a qualidade e a produtividade é normal que a utilização das máquinas e sistemas aumente para compensar e manter o nível de entrega do sistema;
- Quão maior a utilização menor será o índice, e o contrário também é verdade;
- Gera-se um indicador que mostra que o quão menor é seu valor, maior a necessidade de intervenção, pois ou a utilização é muito alta, ou a qualidade e a produtividade são muito baixas ou ambas as situações (situações que se fazem necessárias intervenções e estudos mais aprofundados para melhora da gestão da manutenção);
- É um indicador que mostra a proporcionalidade das interações dos elementos que o compõe, isso é, para manter a mesma quantidade entregue, se diminui a qualidade ou a produtividade ou a multiplicação dos dois fatores tem-se que aumentar a utilização para continuar entregando a quantidade necessária para o sistema fabril continuar funcionando sem prejuízos.

$$SEE = \text{qualidade} * \text{produtividade} * \text{disponibilidade}$$

Equação 7: SEE

Sendo qualidade definido por:

$$\text{Qualidade} = \frac{\text{km rodado}}{\text{gasto}}$$

Equação 8: Qualidade

Sendo produtividade definido por:

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Km rodado}}{\text{Mes}}$$

Equação 9: Produtividade

2.7 RCM (RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE OU MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE)

2.7.1 Confiabilidade

Segundo a NBR 5462-1994, confiabilidade é: “Capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo.”.

A confiabilidade pode então ser entendida como uma probabilidade, esse fato faz com que os axiomas clássicos de probabilidade possam ser usados no cálculo da confiabilidade. (FOGLIATTO&RIBEIRO, 2009)

Historicamente o conceito de confiabilidade vem sendo desenvolvido há pouco mais de 50 anos. Como outras grandes evoluções, o conceito de confiabilidade evoluiu de forma expressiva após a primeira guerra mundial com o estudo em aviões e mísseis. Na década de 70 a confiabilidade era usada para a análise de usinas nucleares. Com isso o conceito de confiabilidade foi se firmando e sendo amplamente aceito como algo de grande valia para as análises.(FOGLIATTO&RIBEIRO, 2009)

2.7.2 Definição RCM

Em uma definição mais superficial define-se RCM como um processo usado para definir o que deverá ser feito para assegurar que os aspectos físicos do sistema continuem atuando de forma contínua no contexto de operação atual. (MOUBRAY, 1997)

O RCM nada mais é que uma forma de usar a confiabilidade de calcar as decisões da gestão da manutenção. No contexto desse trabalho essa metodologia será usada para auxiliar nos cálculos de viabilidade de cada tipo de metodologia aplicada na gestão da manutenção, fazendo com que as afirmações de cunho estatístico tenham maior embasamento e confirmem ao trabalho uma maior confiabilidade.

2.7.3 Definição dos Valores de Confiabilidade

Por trabalhar com dados retirados de uma empresa em operação, deve-se usar a matriz de experimento para definir a confiabilidade dos sistemas das máquinas e componentes das mesmas.

Não será usada a confiabilidade disponibilizada pelo fabricante em seus manuais, pelo fato desta ter sido conseguida a partir de condições de operações específicas que muitas vezes

não são aplicáveis no contexto da organização estudada. Como o estudo será calcado nesse dado, é necessária uma maior confiabilidade desse dado.

A confiabilidade será medida pelo número de falhas apresentado no período (explanada no item 2.5.2) dividido pelo número total de produtos.

$$\text{Confiabilidade} = 1 - \frac{\text{Numero de falhas}}{\text{Quantidade total de Km rodados}}$$

Equação 10: Confiabilidade

2.8 DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE USADAS NA ANÁLISE DE FALHAS

Como explanado no item 2.8.1, pode-se usar a confiabilidade como uma probabilidade, então associada a esta tem-se uma função densidade de probabilidade $f(t)$, uma função de confiabilidade $R(t)$ e a função de risco $h(t)$ (FOGLIATTO&RIBEIRO, 2009), que pode-se usar nas análises posteriores.

As funções mais usadas são: Exponencial, WEIBULL, Gama, e LogNormal.

Abaixo será explanada a utilização dessas funções no contexto da gestão da manutenção.

2.8.1 Distribuição Exponencial

Essa distribuição é de fundamental importância na análise da confiabilidade por ser a única que tem aspecto contínuo da função de risco. (FOGLIATTO&RIBEIRO, 2009).

Pode-se representar a confiabilidade exponencial nas seguintes equações:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

$$h(t) = \lambda$$

$$MTTF = E[t] = 1/\lambda$$

Equação 11: Equações Distribuição Exponencial

Segundo FOGLIATTO&RIBEIRO (2009) essa distribuição apresenta três importantes propriedades:

- Falta de memória para as probabilidades, isto é, o presente não é influenciado pelo passado. Essa característica faz com que a exponencial seja usada para

modelar componentes eletrônicos e os componentes mecânicos na fase de vida útil dos componentes;

- “a segunda propriedade importante da exponencial garante que $T_1, \dots, T_n$ forem variáveis exponenciais independentes e identicamente distribuídas, então $2\lambda \sum T_i \sim X^2_{2n}$, onde X^2_{2n} designa a distribuição do qui-quadrado com $2n$ graus de liberdade;”
- “a terceira e última propriedade da exponencial a ser destacada aplica-se a componentes submetidos a choques ou cargas de forma aleatória. Se o tempo entre choques for modelado por uma distribuição exponencial com parâmetro λ , então o número de choques no intervalo $(0, t]$ segue uma distribuição de Poisson com parâmetros λt .”

2.8.2 Distribuição de WEIBULL

Essa distribuição se faz presente quando tem-se um função de risco constante, crescente e decrescente. É uma das distribuições mais importantes, pois a mesma consegue uma boa capacidade de representação dos componentes até a falha, mesmo com comportamentos de falhas diferentes. (FOGLIATTO&RIBEIRO, 2009)

Segundo FOGLIATTO&RIBEIRO (2009) pode-se representar a confiabilidade de WEIBULL nas seguintes equações:

$$f(t) = \frac{\gamma}{\theta} * e^{-t^{\frac{\gamma}{\theta}}} * t^{\gamma-1} = \frac{\gamma}{\lambda} * \left(\frac{t - \theta}{\lambda}\right) * e^{-\left(\frac{t - \theta}{\lambda}\right)^{\gamma}}$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\gamma}}$$

$$MTTF = \theta \Gamma(1 + 1/\gamma)$$

$$h(t) = \frac{\gamma}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\gamma-1}$$

Sendo $\Gamma(.)$ a função gama

Equação 12: Equações Distribuição WEIBULL

2.8.3 Distribuição Gamma

“Assim como a distribuição WEIBULL, a distribuição gama é uma generalização da distribuição exponencial.”(FOGLIATTO&RIBEIRO, 2009)

Essa distribuição é característica de um material que sofre choques consecutivos, POISSON homogêneo, donde as equações que caracterizam essa distribuição são (FOGLIATTO&RIBEIRO, 2009):

$$f(t) = \frac{\gamma}{\Gamma(\gamma)} * (\lambda t)^{\gamma-1} * e^{-\lambda t}$$

$$R(t) = 1 - \frac{1}{\Gamma(\gamma)} \int_0^{\lambda t} x^{\gamma-1} e^{-x} dx$$

$$h(t) = f(t)/R(t)$$

$$MTBF = \gamma/\lambda$$

Equação 13: Equações Distribuição Gamma

2.8.4 Distribuição LogNormal

“O tempo até falha de T de uma unidade segue uma distribuição LogNormal se $Y=\ln T$ for normalmente distribuído. A LogNormal é uma distribuição limitada à esquerda, muito utilizada na modelagem de tempos até reparo em unidades reparáveis.” (FOGLIATTO&RIBEIRO, 2009)

As equações que caracterizam essa distribuição são (FOGLIATTO&RIBEIRO, 2009):

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma t}} \exp\left\{-\frac{1}{2} [(\ln t - \mu)/\sigma]^2\right\}$$

$$R(t) = \Phi\left(\frac{\mu - \ln t}{\sigma}\right)$$

$$h(t) = \frac{\phi[(\mu - \ln t)\sigma]}{\phi[(\mu - \ln t)\sigma] \sigma t}$$

$$MTBF = e^{(\mu + \sigma^2)}$$

Equação 14: Equações Distribuição Lognormal

2.9 TESTES DE ADERÊNCIA

Como a escolha de uma distribuição errada acarreta em resultados não consistentes com a realidade, faz-se necessária a utilização de um teste de aderência para ratificar a escolha.

2.9.1 Teste de ANDERSON-DARLING

O teste de ANDERSON-DARLING é baseado na transformação integral de probabilidade (MONTGOMERY&RUNGER, 2002), mostrada pela equação 15:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(u) du$$

Equação 15: Teste de ANDERSON-DARLING

Fonte: MONTGOMERY&RUNGER, 2002

Para efeito desse teste temos as duas hipóteses:

- $H_0: F(x)=F^*(x) \forall -\infty < x < \infty$ (a distribuição é condizente com a realidade dos dados)
- $H_1: F(x) \neq F^*(x) \forall -\infty < x < \infty$ (a distribuição não é condizente com a realidade dos dados)

A equação 15 é usada para converter os dados estudados em uma distribuição uniforme, se a hipótese H_0 é correta. Essencialmente o teste de ANDERSON-DARLING compara o quão próximo os valores da distribuição $F(x_1)$, $F(x_2)$, $F(x_3)$,..., $F(x_n)$ são de uma distribuição uniforme (0,1) (MONTGOMERY&RUNGER, 2002).

Ao usar o P-VALOR tem-se que para valores de $p > \alpha$ (sendo α o limite de aceitabilidade da função) H_0 é provada, caso contrário H_1 é provada (MONTGOMERY&RUNGER, 2002).

2.10 GESTÃO DE ESTOQUE DE PEÇAS

Como cada uma das metodologias de gestão da manutenção tem um estoque necessário atrelado, será exposto a seguir os principais modos de executar a gestão do estoque. Nessa análise serão desconsiderados os ganhos de escala e os custos de transporte para cada item, por não ser objetivo desse trabalho e pelo fato que a maior parte desses componentes terem alto valor agregado sendo, muitas vezes o preço do transporte totalmente absorvido pelo fornecedor.

2.10.1 Gestão de Estoque da Corretiva

Como exposto no tópico 2.2 a manutenção corretiva que ainda se preocupa em se preparar para os eventos que ocorrerão é a corretiva planejada.

Para essa manutenção para definir o estoque de cada item deve ser levado em consideração: a confiabilidade, o lead time de cada peça, o custo de ficar com o sistema parado sem esse componente (ou sistema dependendo da importância de cada componente no sistema), e o custo de ter essa peça em estoque.

Para equacionar deve-se levar em consideração a confiabilidade de cada momento e com a curva será definido o tempo ótimo para compra do item, onde os custos esperados são minimizados.

Tem-se que a função custo esperado de espera pela peça será caracterizada pela equação 16:

$$Ces(t) = Cq * (1 - R(t)) * Lt$$

Equação 16: Custo Espera da Peça

Sendo:

$Ces(t)$ = Custo Espera Peça

Cq = Custo por Unidade de Tempo do Sistema Parado (explanado no 2.11)

$R(t)$ = Função de Confiabilidade

Lt = Lead Time de Requerimento do Item

Já a função Custo Esperado de Armazenagem será caracterizada pela equação 17:

$$CA(t) = R(t) * Ca$$

Equação 17: Custos Totais para Manter o Item no Estoque

CA = Custos Totais para Manter o Item no Estoque sem Uso

Ca = Custo para Manter o Item no Estoque durante um intervalo de t .

Como a confiabilidade é definida em intervalos de tempo tem-se que t representara cada intervalo, e dentro deste tem-se todos os custos atrelados ao estoque. Sendo que será definido o intervalo t da compra quando $Ces(t) > Ca$.

2.10.2 Gestão de Estoque da Preventiva

De acordo com o item 2.3 a manutenção preventiva tem uma particularidade que é fazer as substituições em intervalos conhecidos (tanto de tempo quanto de outras variáveis), então é possível se planejar na compra dos itens, levando em consideração quando o item será usado. Deve ser usado o Lead Time do fornecedor mais um fator de segurança para poder fazer a liberação do pedido.

2.10.3 Gestão de Estoque da Preditiva

Como a preditiva possui uma política de constante análise dos componentes, tem-se que para essa política a mesma análise feita no caso da gestão de estoque para a manutenção corretiva.

2.11 CUSTOS ATRELADOS ÀS METODOLOGIAS DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO

Pensando unicamente nos custos de comprar o material, muitas vezes incorre-se no erro de não comprar os insumos da manutenção, deixando para comprar na eminência da necessidade. Porém, é necessário que se leve em consideração alguns aspectos para definir os custos atrelados às metodologias de gestão da manutenção.

Para obter os custos atrelados às metodologias de gestão da manutenção usar-se-á como base os custos atrelados às políticas de garantia do tipo reparo completo: a intervenção gera uma taxa de falhas idêntica a um produto novo, é equivalente à substituição do componente. (DIMITROV, CHUKOVA & KHALIL, 2004)

O custo da gestão da manutenção é composto dos seguintes aspectos:

- Custo da troca ou reparo completo: Representa os custos com os insumos e mão de obra para poder realizar a intervenção;
- Custo da falta do componente: Deve-se analisar qual o impacto da falta desse componente no sistema. Para poder levantar esse custo será levado em consideração os seguintes elementos: custo da diminuição da qualidade, da produtividade e do lucro unitário gerado por esses produtos produzidos. (os conceitos de qualidade e produtividade foram definidos no item 2.6)

$$\circ \text{Custo da Falta do Componente} = \Delta\text{Qualidade} * \Delta\text{Produtividade} * \text{Utilização} * \text{Lucro Unitário}$$

Equação 18: Custo da Falta do Componente

- Custo de armazenagem: É o custo para manter o componente ou insumo da manutenção em estoque: armazenagem e custo de oportunidade.

Ainda têm-se os custos atrelados à falta desse maquinário para a operação o que gera tanto uma queda na confiabilidade da empresa como um todo perante aos clientes quanto o custo de repor esse maquinário durante uma possível quebra.

2.12 DEFINIÇÃO DE UMA METODOLOGIA ESTRUTURADA PARA ANÁLISE DA MELHOR METODOLOGIA DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO

Após o estudo dos itens anteriores, pode-se definir uma metodologia estruturada para fazer o estudo completo da cadeia, definir onde atuar, comparar as diferentes metodologias de gestão da manutenção que podem ser usadas, e desta forma definir qual a metodologia mais apropriada para a situação que o sistema se encontra.

Os passos explanados na figura 11 levam a uma análise completa e que assegura uma forma estruturada de definição da melhor metodologia de gestão de manutenção:



Figura 11: Metodologia Estruturada para Definição da Metodologia de Gestão da Manutenção mais Aderente à Situação da Organização

3. APLICAÇÃO

3.1 MAQUINÁRIO ESTUDADO

Para a realização do estudo analisou-se 10819 intervenções feitas de janeiro de 2008 a maio de 2014 em 30 veículos. Os veículos analisados são descritos na tabela abaixo tabela2.

IDENTIFICAÇÃO	MARCA	MODELO	CATEGORIA	ANO
GLV-2581	SCANIA	113	3 EIXOS	1992
GLW-0455	SCANIA	R112 H	3 EIXOS	1986
GPH-0884	MERCEDES	1214	3 EIXOS	1993
GRB-5685	MERCEDES	L 1218	3 EIXOS	1994
GRB-5693	MERCEDES	1218	3 EIXOS	1994
GRB-8029	MERCEDES	1218	3 EIXOS	1995
GTR-4332	MERCEDES	1218	3 EIXOS	1995
GVI-5121	IVECO	3510	3 EIXOS	2010
OQV-8548	MERCEDES	AXOR 2544 S	3 EIXOS	2012
GLU-4845	MERCEDES	1114	TOCO	1987
GLU-4846	MERCEDES	L 1113	TOCO	1976
GLU-9823	MERCEDES	L 1218	TOCO	1991
GLU-9824	MERCEDES	L 1214	TOCO	1991
GLV-2287	MERCEDES	709	TOCO	1990
GLV-3412	MERCEDES	709	TOCO	1992
GLW-7911	VOLKSWAGEM	7110 S	TOCO	1988
GLW-8229	VOLKSWAGEM	14140	TOCO	1987
GPH-0298	MERCEDES	709	TOCO	1989
GPH-2085	VOLVO	NL10 - 340	TOCO	1989
GPH-5105	FORD	1415	TOCO	1987
GPH-9034	VOLKSWAGEM	7110	TOCO	1989
GPH-9312	VOLKSWAGEM	7.90 S	TOCO	1988
GQC-0589	VOLKSWAGEM	7110 S	TOCO	1990
LAF-1067	VOLKSWAGEM	12140	TOCO	1994
LAU-0079	VOLKSWAGEM	12140	TOCO	1995
LAU-1587	VOLKSWAGEM	14150	TOCO	1995
LAU-1588	VOLKSWAGEM	12.140 H	TOCO	1995
LAV-5870	VOLKSWAGEM	12140 H	TOCO	1995

Tabela 2: Veículos Componentes da Frota Estudada

Os veículos são classificados em duas categorias: toco e 3 eixos.

- O toco tem capacidade de até 15 toneladas e faz principalmente entregas diretas ao cliente, percorrendo pequenas distâncias e usado principalmente em trajetos dentro das cidades;
- O caminhão 3 eixos possui capacidade de até 24 toneladas e faz principalmente o traslado entre as diferentes filiais fazendo o transporte dos itens até as filiais para serem entregues no cliente final. Usado principalmente em estradas interestaduais e de boa conservação.

Para efeitos do estudo todos os indicadores e análises serão realizadas usando a classificação de caminhão TOCO e 3 eixos.

3.2 DIVISÃO DOS CAMINHÕES EM SISTEMAS

Para melhor estudar a ocorrência dos problemas, os sistemas assim como as intervenções realizadas serão utilizados as seguintes segregações:

- Sistema de arrefecimento
 - Composto por toda a parte referente ao resfriamento dos componentes do caminhão, composto principalmente por radiador, *intercooler* e mangueiras do sistema. Representado pela figura12

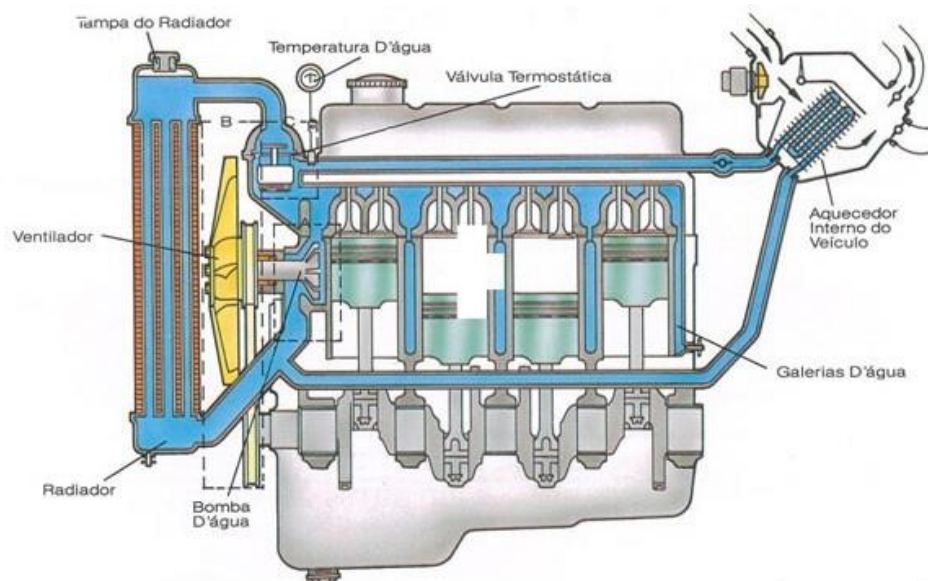


Figura 12: Sistema de Arrefecimento

Fonte: <http://versoassessoriaimprensa.com.br/> acesso em 05/06/2014

- Cabine
 - A cabine inclui todos os sistemas que estão presentes na cabine, assim como suas alavancas, botões, lanternas internas e externas, faróis e acabamentos. Representado pela figura 13



Figura 13: Cabine

FONTE: <http://blogs.odiarior.com/sportcars/2011/04/29/caminhoes-volvo-fh-e-fm-tem-cabines-ergonomicas-mais-espaco-e-conforto/> acesso em 05/06/2014

- Direção
 - Composto por todos os elementos responsáveis pelo direcionamento do caminhão, desde barras e garfo de direção, até o conjunto direção hidráulica rodas. Representado pela figura 14



Figura 14: Direção

Fonte: <http://www.ibahia.com/a/blogs/carros/2013/09/28/guia-de-sobrevivencia-o-sistema-de-direcao-e-o-alinhamento/> acesso em 05/06/2014

- Freio
 - O sistema de freios consiste no conjunto de elementos responsáveis por parar o veículo. Esse sistema é composto desde sapatas e pastilha de freios, até tambores, cuicas, sensores e cabos de freio, além do sistema de freios retarder. A figura 15 representa esse sistema.



Figura 15: Freios

Fonte: <http://pe.bomnegocio.com/grande-recife/veiculos/pecas-e-acessorios/sistema-de-freio-a-ar-14765570> acesso em 05/06/2014

- Hidráulico
 - Sistema composto por todos os pistões hidráulicos presentes nos caminhões, assim como todas as mangueiras e reservatórios que o compõe. Representado pela figura 16

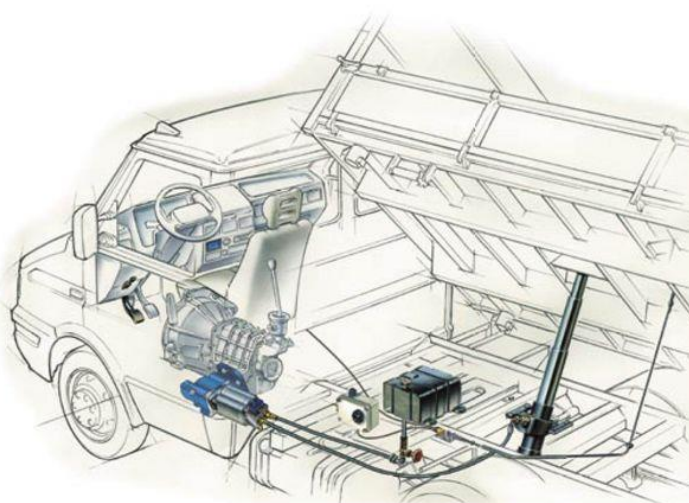


Figura 16: Hidráulico

Fonte : <http://portuguese.alibaba.com/product-free/truck-hydraulic-system-104903374.html> acesso em 05/06/2014

- Lataria
 - Como o próprio nome diz, refere-se à toda a lataria que compõe o caminhão, englobando serviços de pintura, funilaria, entre outros. Representado pela figura 17



Figura 17: Lataria

Fonte: <http://www.noma.com.br/Produtos.aspx?Id=104> acesso em 05/06/2014

- Motor
 - Composto pelo conjunto responsável pela geração da força motriz do caminhão. Formado pelo próprio motor assim como com seus componentes. Representado pela figura 18



Figura 18: Motor

Fonte: http://www.mercedes-benz.com.cn/content/china/mpc/mpc_china_website/zhng/home_mpc/truck_home/home/trucks/actros/telligent_systems.html acesso em 05/06/2014

- Oficina
 - Referente à todos os itens usados no dia a dia da oficina, como discos de desbastes, eletrodos, ferramentas, etc.
- Outros e Todos
 - Considera os elementos que não podem ser atrelados a somente um sistema do caminhão, como por exemplo caixa de fusível.
- Pneus
 - Pneus responsáveis pelo contato da máquina com o piso. Engloba o pneu, seus componentes e serviços realizados referentes ao pneu. Mostrado na figura 19



Figura 19:Pneus

Fonte:

http://www.teppneus.com.br/loja/produtos.asp?PN=2&FctIntervalo=28&lang=pt_BR&codigo_subcategoria=3&codigo_categoria=1&tipo_busca=subcategoria acesso em 05/06/2014

- Suspensão
 - Sistema responsável pelo amortecimento do caminhão, composto pelo conjunto de molas, suspensão, balanço, amortecedores, dentre outros. Representado pela figura 20

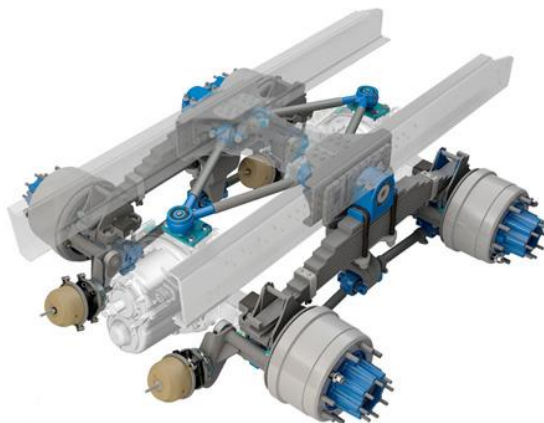


Figura 20: Suspensão

Fonte: <http://www.suspensys.com.br/pt/produtos/caminhoes/suspensao-mecanica/suspensao-modular-veiculo-rigido-6x4-e-8x4> acesso em 05/06/2014

- Tomada de força
 - Sistema responsável pela transmissão da força gerada pelo motor para as rodas e assim gerar movimento. Composto de caixa de marcha, embreagem, eixo cardan, diferencial, eixos de transmissão, dentre outros componentes da tomada de força. Representado pela figura 21



Figura 21: Tomada de Força

Fonte: <http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/8126/arvinmeritor-lanca-cardans-eixos-e-diferenciais> acesso em 05/06/2014

3.3 CÁLCULO DOS INDICADORES DA FROTA

3.3.1 Cálculo dos custos

O cálculo do custo é o custo total no período como explanado no item 2.5.1.

Os custos são explanados nas figuras 22 e 23



Figura 22: Gráfico: Custo Total Manutenção 3 Eixos

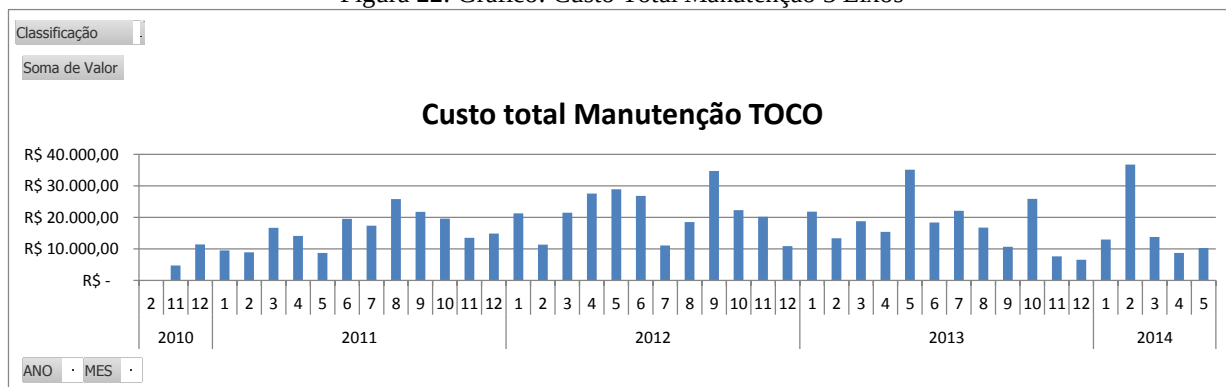


Figura 23: Gráfico: Custo Total Manutenção TOCO

Como é preciso um modo de comparar os custos do caminhão 3 eixos do caminhão toco, pode-se dividir os custos totais pelos km totais percorridos por esses dois tipos de caminhão. Assim, chega-se aos seguintes valores:

- TOCO: $\frac{TOTAL\ CUSTO}{KM\ RODADO} = \frac{624216,02}{3894878} = R\$0,160265872255819 /km$
- 3 eixos: $\frac{TOTAL\ CUSTO}{KM\ RODADO} = \frac{492571,9}{5571928} = R\$0,088402416542353 /km$

Equação 19: Custo por Km rodado

Percebe-se que o custo por KM rodado do caminhão TOCO é bem maior que o do caminhão 3 eixos.

3.3.2 Cálculo da disponibilidade operacional

Como mostrado no item 2.5.4 para calcular a disponibilidade deve-se usar a equação 6:

$$disponibilidade = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Para se obter a disponibilidade em horas é necessário fazer:

- TOCO: $\frac{MTBF}{MTBF+MTTR} = \frac{195,5190134}{195,5190134+3,520479368} = 98,2312659065588\%$
- 3 eixos: $\frac{MTBF}{MTBF+MTTR} = \frac{140,7732558}{140,7732558+3,374826389} = 97,658778155248\%$

Pode-se analisar que a disponibilidade do caminhão toco é maior que a disponibilidade dos caminhões 3 eixos.

3.3.3 MTBF

Como explanado no item 2.5.7 o calculo do MTBF é feito levando em consideração o tempo médio entre as ocorrências. Portanto é calculado pela equação 4:

$$MTBF = \frac{\sum \text{tempo entre ocorrencia } i \text{ e } i - 1}{i}$$

Com isso obtêm-se os seguintes MTBF:

- TOCO: MTBF = 195.5190134 horas
- 3 eixos: MTBF = 140.7732558 horas

3.3.4 MTTR

Como explanado no item 2.5.8 o calculo do MTTR é feito levando em conta o tempo médio para o reparo. Portanto é calculado pela equação 5:

$$MTTR = \frac{\sum \text{tempo gasto na ocorrencia } i}{i}$$

Com isso obtêm-se os seguintes MTTR:

- TOCO: MTTR = 3,520479368 horas
- 3 eixos: MTTR = 3,374826389 horas

3.3.5 Definição de prioridade de estudo

Para a definição da prioridade de estudo serão usadas as premissas explanadas em 2.6 assim como a ferramenta RPN usado no FMEA, para definir primeiramente qual o tipo de maquinário que será priorizado (TOCO ou 3 eixos), usando o SEE, e depois qual sistema do veículo será dado maior foco.

3.3.5.1 SEE

Para definir o SEE será necessário definir os seguintes indicadores:

- Usando a equação 8: $qualidade = \frac{km\ rodado}{gasto}$
 - TOCO: $qualidade = \frac{km\ rodado}{gasto} = \frac{3894878}{624216.02} = 6,2396 \frac{km}{R\$}$
 - Qualidade esperada: 7 km/R\$¹
 - $qualidade = \frac{6.2396}{8} = 77.995\%$
 - 3 eixos: $qualidade = \frac{km\ rodado}{gasto} = \frac{5571928}{492571.9} = 11,3119 \frac{km}{R\$}$
 - Qualidade esperada: 15 km/R\$²
 - $qualidade = \frac{11.3119}{15} = 75.426\%$

- Usando a equação 9: $produtividade = \frac{Km\ rodado}{Mes}$
 - TOCO: $produtividade = \frac{Km\ rodado}{Mes} = \frac{3894878}{730.60} =$
 $produtividade = 5331.0679 \frac{km}{meses}$
 - Produtividade esperada: 5500 km/meses³
 - $produtividade = \frac{5331.0679}{5500} = 96.9285\%$
 - 3 eixos: $produtividade = \frac{Km\ rodado}{Mes} = \frac{5571928}{330.03} =$
 $produtividade = 16883.0955 \frac{km}{meses}$
 - Produtividade esperada: 16500 km/meses⁴
 - $produtividade = \frac{16883.0955}{16500} = 102.3218\%$

- Disponibilidade foi calculado no item 3.2.2
 - TOCO: $disponibilidade = 98,2313\%$
 - 3 eixos: $disponibilidade = 97,6588\%$

¹Dados disponibilizados pela equipe técnica da empresa estudada

²Dados disponibilizados pela equipe técnica da empresa estudada

³Dados disponibilizados pela equipe técnica da empresa estudada

⁴Dados disponibilizados pela equipe técnica da empresa estudada

Como o SSE é dado pela equação 7:

$$SEE = qualidade * produtividade * disponibilidade$$

- TOCO: $SEE = qualidade * produtividade * disponibilidade$
 - $SEE = 77.995 * 96.9285 * 98.2313$
 - $SEE = 74.26\%$
- 3 eixos: $SEE = qualidade * produtividade * disponibilidade$
 - $SEE = 75.426 * 102.3218 * 97.6588$
 - $SEE = 75.370367\%$

Assim, como explanado no item 2.6 sabe-se que quanto menor o SEE maior a necessidade de se estudar o item. Como o SEE do caminhão 3 eixos é menor que o SEE do caminhão toco, será estudado o caminhão TOCO.

Agora dentro do caminhão TOCO deve-se escolher o sistema para ser estudado. Para isso usaremos a ferramenta do FMEA, o RPN. Os sistemas classificados (itens 3.2) como: “OUTROS”, “LATARIA”, “CABINE”, “TODOS” e “OFICINA” não possuem formas de serem executados os três tipos de manutenção explanadas nos itens 2.2, 2.3 e 2.4, os mesmos serão retirados da análise RPN, equação VV.

$$RPN = Severidade * Ocorrência * Detecção$$

Equação 20: RPN

Para tornar o RPN mais próximo da realidade faz-se:

- Severidade: Proporcional ao Custo atrelado à falha/ Número de falhas
- Ocorrência: Proporcional ao Número de falhas
- Detectabilidade: Proporcional ao quão difícil é de detectar tal falha

O calculo do RPN para cada sistema do caminhão TOCO é explanado na tabela 3 usando a equação 20:

SISTEMA	Severidade	Ocorrência	Detecção	RPN
Arrefecimento	0,221070717	0,382566586	1	0,084574269
Direção	1,215195772	0	1	0
Freio	4,070465537	0,784503632	3	9,579884993
Hidraulico	0	0,014527845	2	0
Motor	0,306105095	10	10	30,61050947
Pneus	10	0,779661017	3	23,38983051
Suspensão	6,081344494	2,08716707	7	88,8494738
Tomada de Força	2,980480177	3,937046005	8	93,87430058

Tabela 3: RPN para o Caminhão TOCO

Como pode ser observado no caminhão TOCO faz-se necessário o estudo prioritário da tomada de força do mesmo. Portanto o objeto de estudo será o caminhão TOCO, mais especificamente o seu sistema de tomada de força.

3.3.6 Definição da confiabilidade e premissas do estudo RCM

Para a definição da confiabilidade pode-se fazer a segregação do número de ocorrências por intervalos de 20000 em 20000 km, intervalo esse usado pelas montadoras como o ideal para a realização das manutenções preventivas para o sistema de tomada de força. Com o estudo desses intervalos, busca-se entender se a manutenção preventiva já atende as demandas de intervenções e maximiza a utilização do equipamento, assim como o lucro gerado pelo mesmo.

O histograma abaixo (Figura 24) mostra a dispersão de intervenções realizadas na tomada de força fora das intervenções preventivas, separadas por intervalo de tempo.

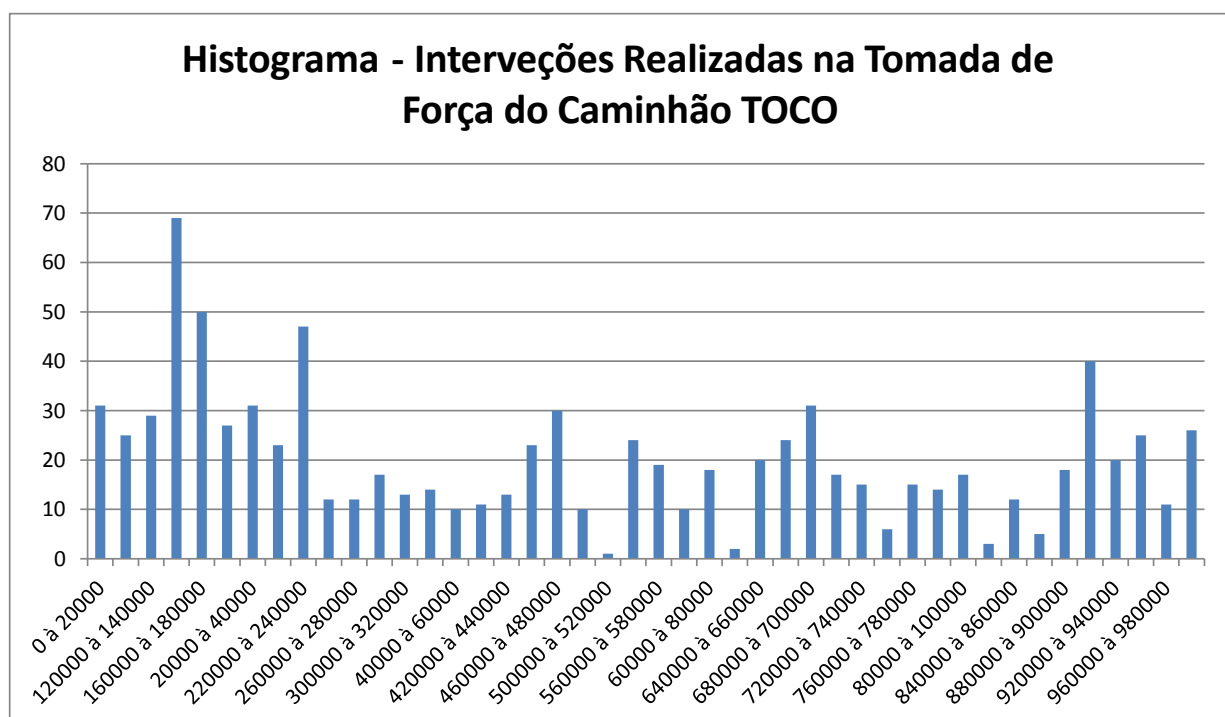


Figura 24: Histograma - Intervenções Realizadas na Tomada de Força do Caminhão TOCO

Para fazer uma análise de qual tipo de distribuição mais se adequa ao objeto de estudo, pode se usar a ferramenta “ProbabilityPlot” do software MINITAB 16. No mesmo serão testadas as distribuições mais comuns e aquelas explanadas no item 2.8.

Como explanado no item 2.9 será usado o teste de ANDERSON-DARLING para determinar a distribuição mais adequada à ser usada. Para ser considerada aderente a

distribuição necessita apresentar um P-valor maior que 0.005 e o perfil da linha plotada aproximadamente como reta.

Os testes são mostrados das figuras 25 a 36

- Distribuição Normal

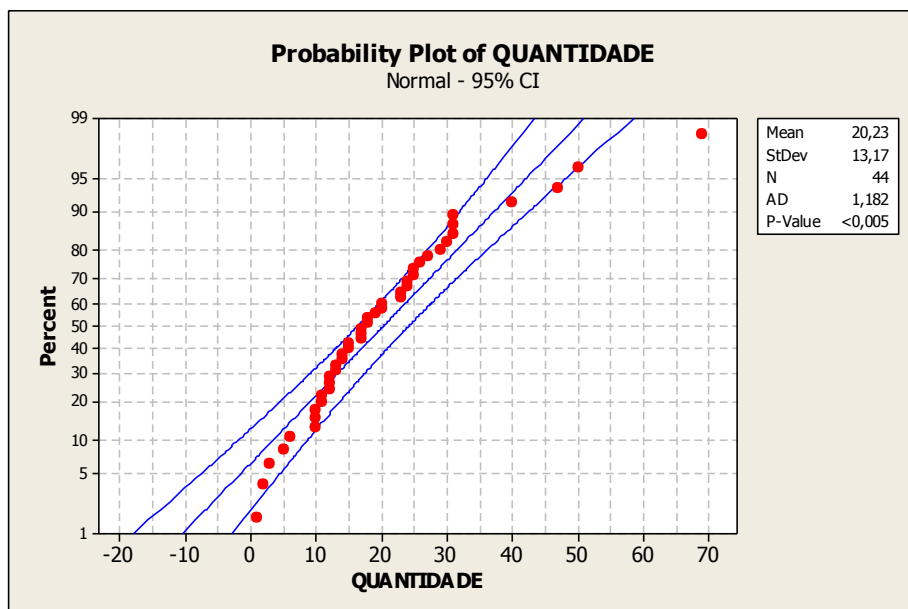


Figura 25: ProbabilityPlot - Distribuição Normal

- Lognormal

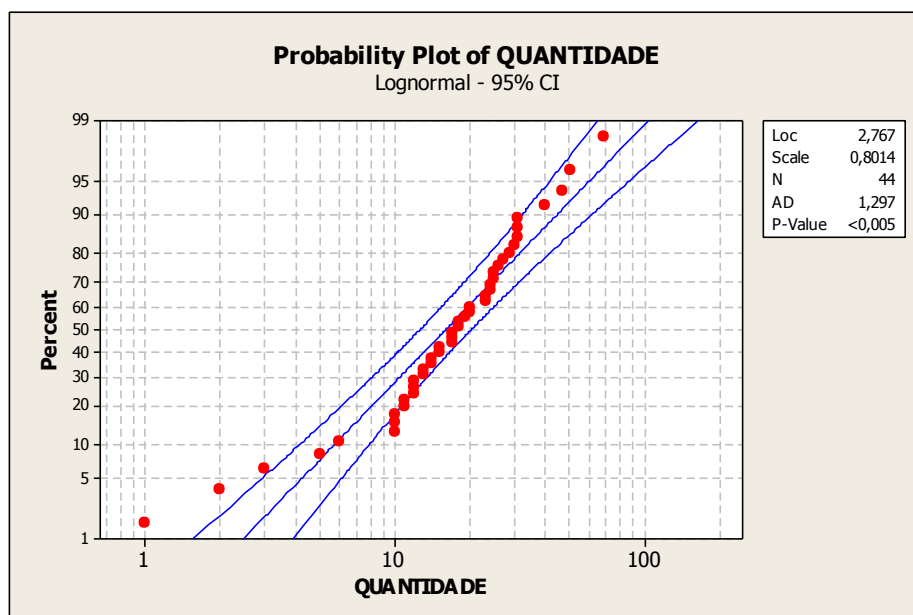


Figura 26: ProbabilityPlot - Distribuição Lognormal

- Lognormal de 3 parametros

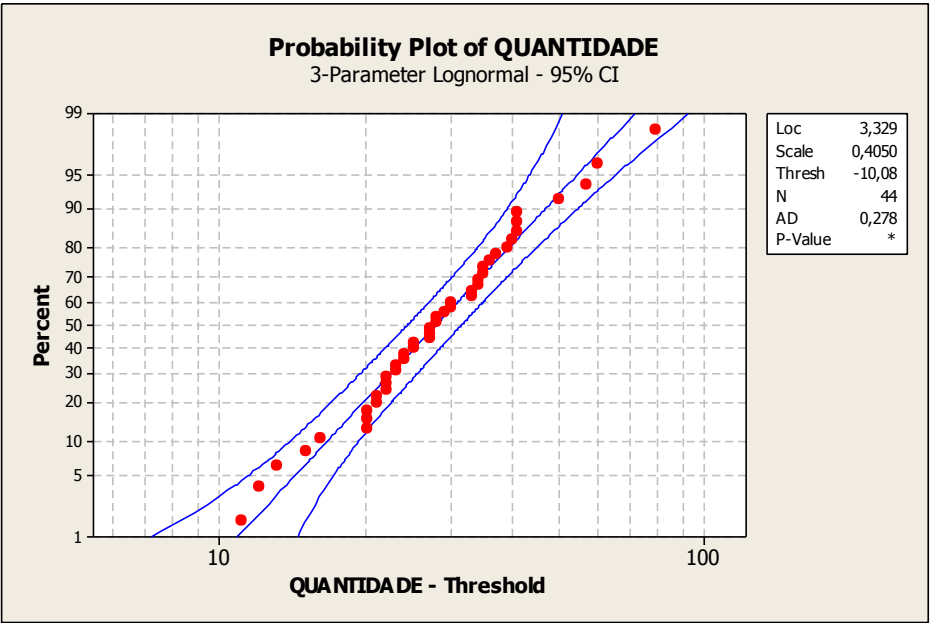


Figura 27: ProbabilityPlot - Distribuição Lognormalde 3 Parâmetros

- Gamma

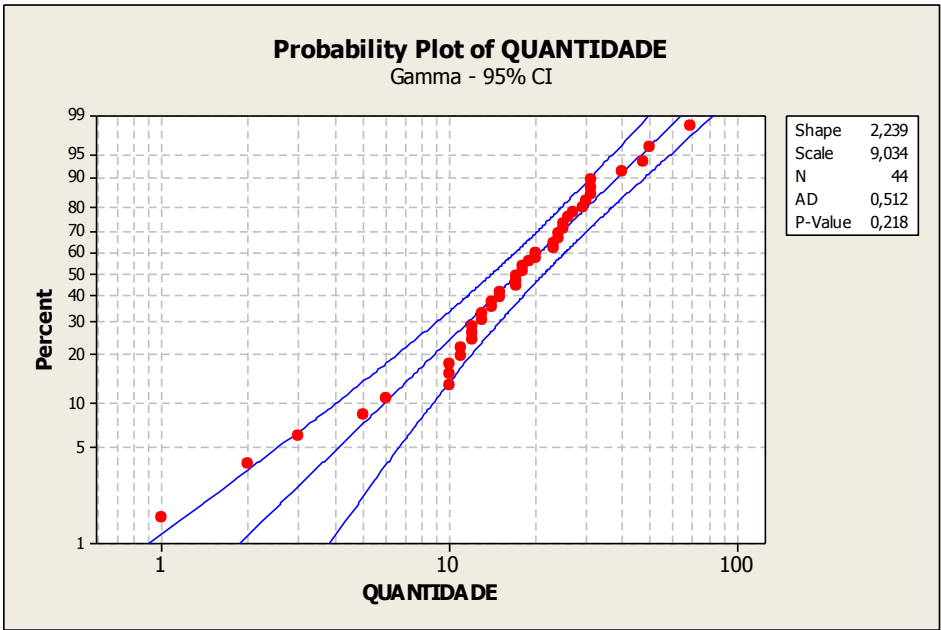


Figura 28: ProbabilityPlot - Distribuição Gamma

- Gamma de 3 parâmetros

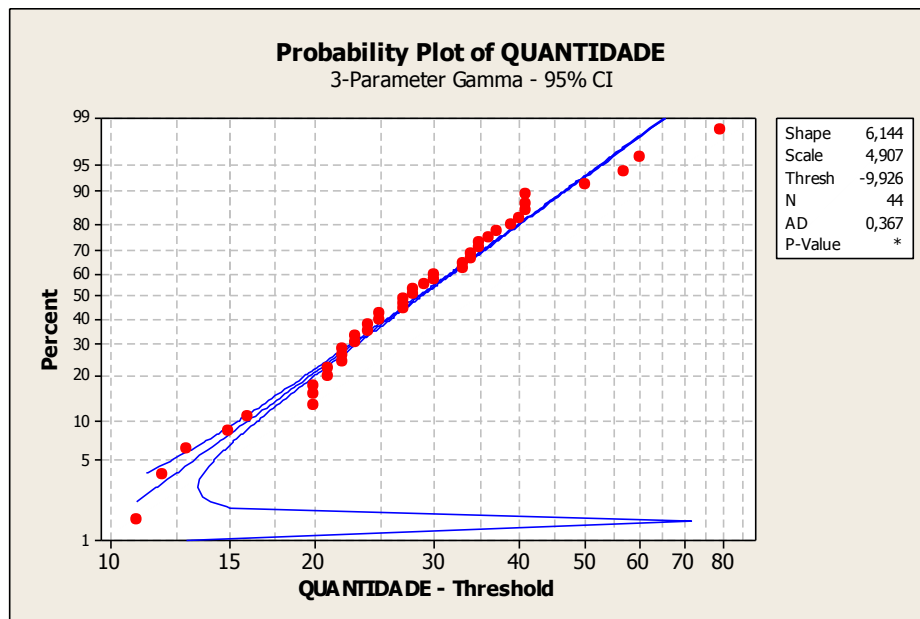


Figura 29: ProbabilityPlot - Distribuição Gamma de 3 Parâmetros

- Exponencial

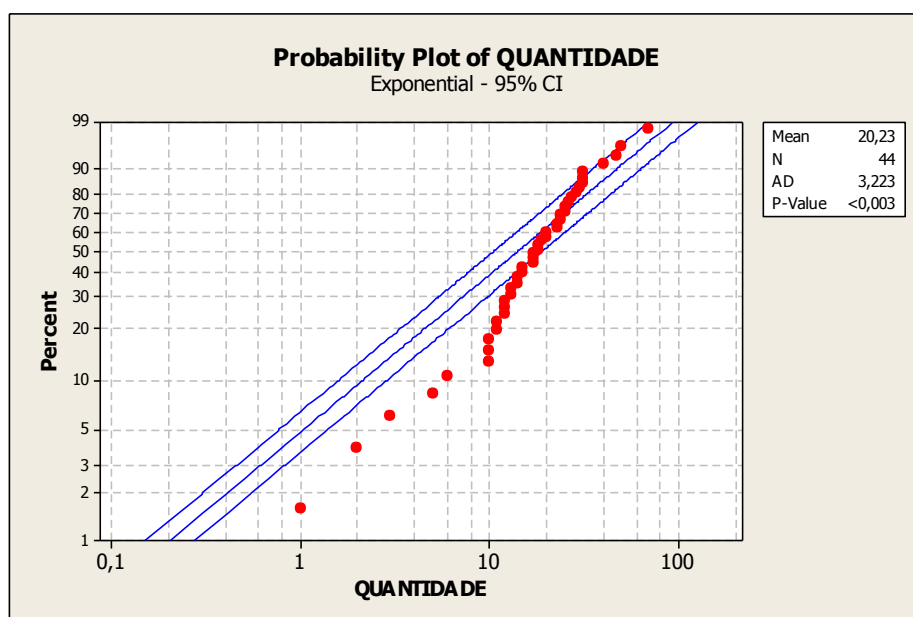


Figura 30: ProbabilityPlot - Distribuição Exponencial

- Exponencial de 2 parâmetros

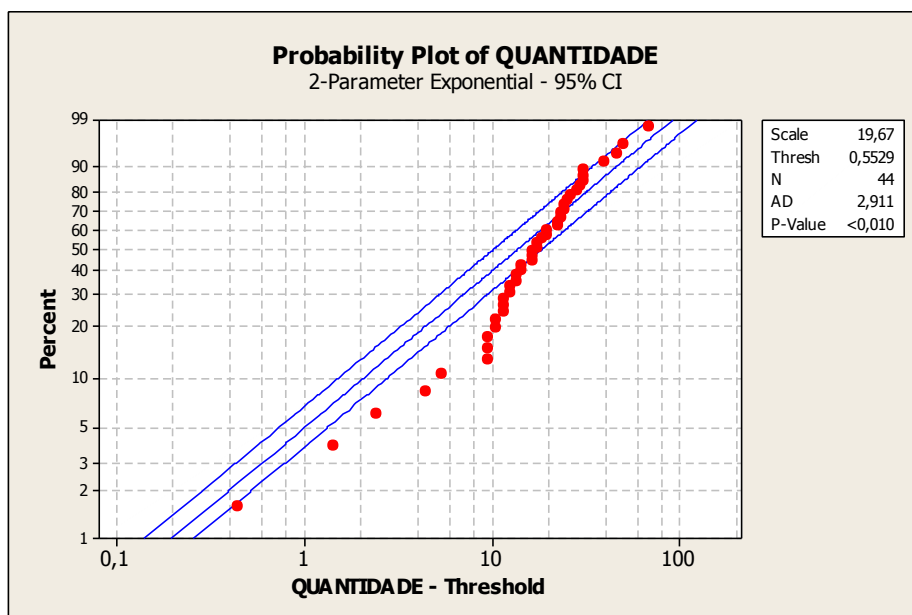


Figura 31: ProbabilityPlot - Distribuição Exponencial de 2 Parâmetros

- Weibull

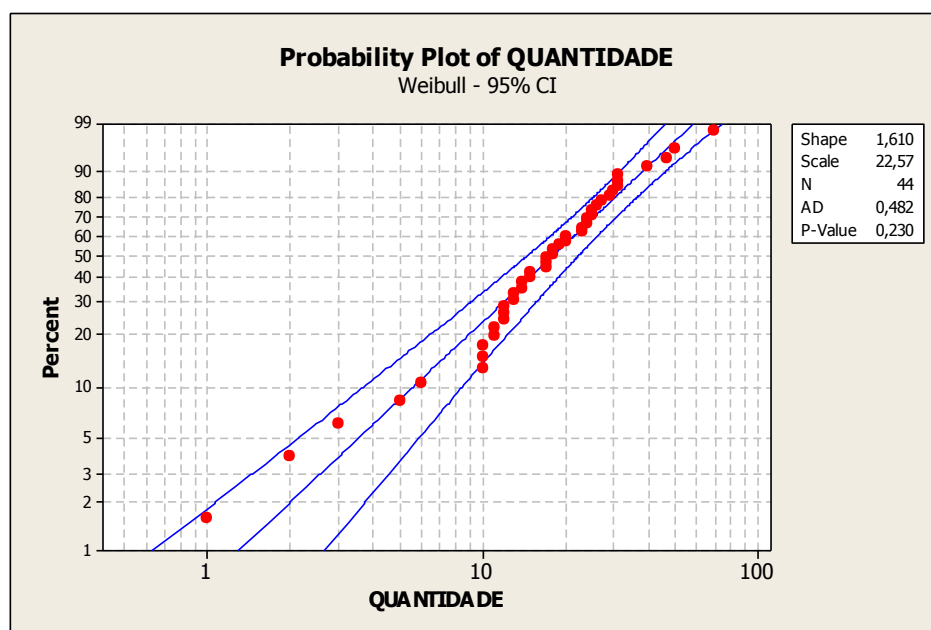


Figura 32: ProbabilityPlot - Distribuição Weibull

- Weibull de 3 parâmetros

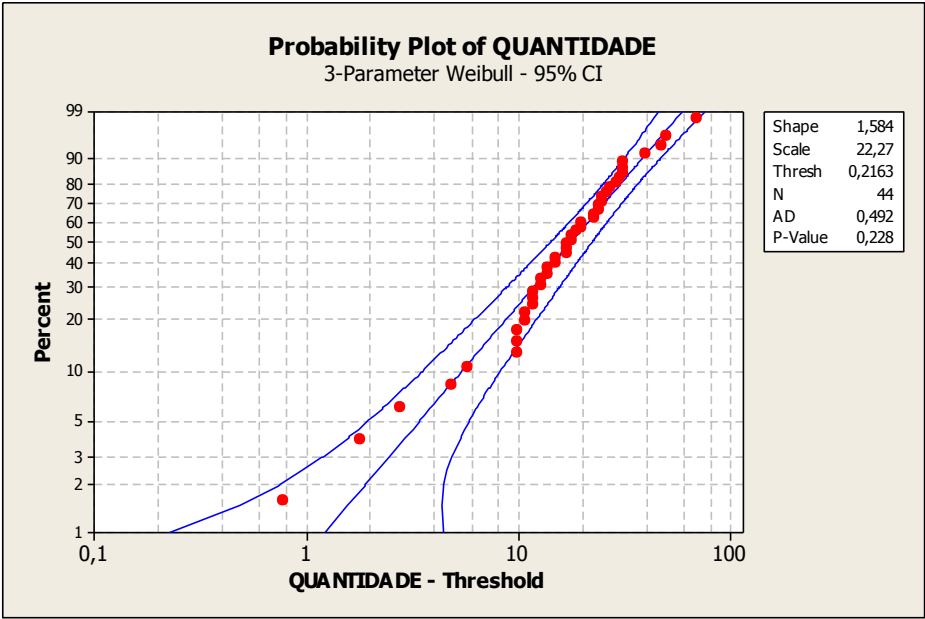


Figura 33: ProbabilityPlot - Distribuição Weibull de 3 Parâmetros

- Logistic

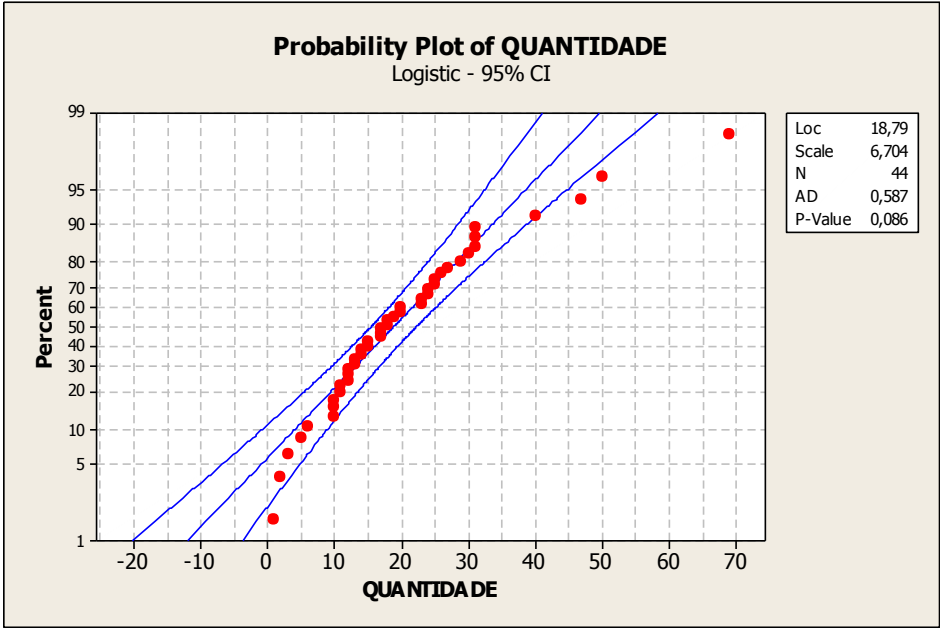


Figura 34: ProbabilityPlot - Distribuição Logistic

- Loglogistic

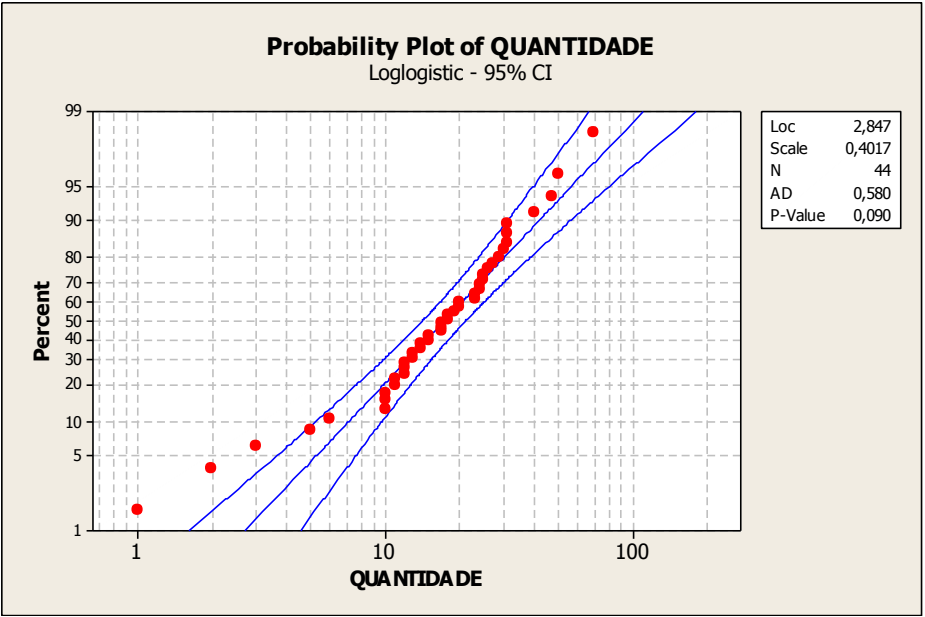


Figura 35: ProbabilityPlot - Distribuição Loglogistic

- Loglogistic de 3 parâmetros

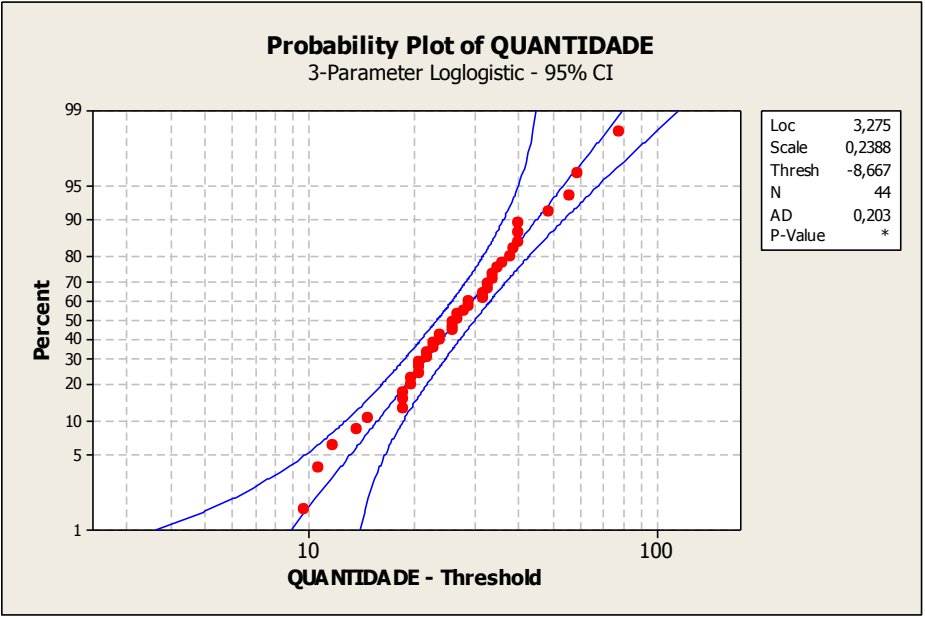


Figura 36: ProbabilityPlot - Distribuição Loglogistic de 3 Parâmetros

Como a variável P-valor é a determinante para a definição da distribuição mais aderente, a tabela 4 mostra as distribuições usadas e o P-valor alcançado.

Distribuição	P-valor
NORMAL	<0,005
LOGNORMAL	<0,005
LOGNORMAL DE 3 PARÂMETROS	*
GAMMA	0,218
GAMMA DE 3 PARÂMETROS	*
EXPONENCIAL	<0,003
EXPONENCIAL DE 2 PARÂMETROS	<0,010
WEIBULL	0,23
WEIBULL DE 3 PARÂMETROS	0,228
LOGISTIC	0,086
LOGLOGISTIC	0,09
LOGLOGISTIC DE 3 PARÂMETROS	*

Tabela 4: P-Valor para cada Distribuição

Como pode ser observada na tabela 4 a distribuição de WEIBULL é aquela mais aderente aos dados estudados, com os seguintes parâmetros:

- Parâmetro da forma $\gamma = 1.610$
- Parâmetro da escala $\lambda = 22.57$
- Parâmetro da localidade da distribuição $\theta = 0$

Então a função distribuição de probabilidade é caracterizada pela equação 12:

$$f(t) = \frac{\gamma}{\lambda} * \left(\frac{t - \theta}{\lambda} \right) * e^{-\left(\frac{t - \theta}{\lambda} \right)^\gamma}$$

$$f(t) = \frac{1.610}{22.57} * \left(\frac{t}{22.57} \right) * e^{-\left(\frac{t}{22.57} \right)^{22.57}}$$

Sendo t o ID do intervalo de km que se encaixa. Mostrado na equação abaixo.

$$ID = \text{int} \left(\frac{\text{km buscado}}{20000} \right) * 20000$$

Equação 21: Calculo do ID

A tabela 5 mostra exemplos das faixas geradas através dessa equação:

ID	FAIXA
0	0 à 20000
1	100000 à 120000
2	120000 à 140000
3	140000 à 160000
4	160000 à 180000
5	180000 à 200000
6	20000 à 40000
7	200000 à 220000
8	220000 à 240000
9	240000 à 260000
10	260000 à 280000
11	280000 à 300000
12	300000 à 320000
13	320000 à 340000
14	40000 à 60000
15	400000 à 420000
16	420000 à 440000
17	440000 à 460000
18	460000 à 480000
19	480000 à 500000
20	500000 à 520000
21	540000 à 560000

Tabela 5: Tabela referenciando ID com a faixa de Quilometragem

3.3.7 Gestão do Estoque de Peças

Em entrevista com os colaboradores do setor de manutenção e com o gestor da mesma na empresa estudada, chega-se a conclusão que com o aumento da competitividade das lojas especializadas em vendas de peças de reposição, principalmente para caminhões de marcas dominantes no mercado (Mercedes, Scania, Volvo, etc), essas empresas possuem uma vasta gama de peças à disposição de pronta entrega. Portanto o setor de almoxarifado e estoque das empresas de transportes está ficando cada vez menores e menos itens estão sendo estocados nos mesmos.

A empresa estudada, por exemplo, possui um acordo com a concessionária Mercedes de Juiz de Fora para que as peças de reposição fiquem à sua disposição com um nível de serviço superior a 90%. Ao agregar o estoque no revendedor, o mesmo assegura um nível de

atendimento ao cliente muito superior que o nível alcançável pelo almoxarifado interno de cada empresa, sem contar que o custo atrelado à manutenção desse estoque é muito menor.

Por outro lado, ao agregar esse serviço, o setor de compras da empresa estudada alega que as comprar ditas urgentes (aquelas feitas decorrentes de uma quebra e que necessitam da peça imediatamente) possui um custo em média 20% acima do menor preço encontrado no mercado. Essa diferença se dá principalmente pelo fato de que antecipando as necessidades o setor de compras consegue comprar diretamente do fornecedor, faturando pela empresa. O único ponto negativo dessa abordagem é o fato do prazo de entrega ser maior e muitas vezes o mesmo passar de 30 dias.

Portanto para o estudo será considerado para as intervenções emergenciais um custo adicional de 20% sobre o valor médio da peça.

3.3.8 Custos Atrelados às Manutenções

3.3.8.1 Manutenção Corretiva

Para o setor estudado, o tipo de caminhão e principalmente o sistema estudados, percebe-se que a manutenção corretiva não é indicada. Em entrevista com o gestor da manutenção da empresa em que se realizou o estudo o mesmo explicou que a corretiva da tomada de força faz com que haja outras quebras em sistemas conexos com ela. Por exemplo, ao quebrar uma junta da cruzeta do cardan, o eixo cardan quebra, e o mesmo acontece com o diferencial. Portanto gera-se um impacto caótico no equipamento. E ainda segundo o gestor caso não seja feita à preventiva da forma correta, o óleo lubrificante desse sistema perde suas propriedades mecânicas, gerando perda de produtividade do equipamento e aumentando o consumo do mesmo.

Outro fator relevante é que caso não seja feita à troca, segundo a equipe técnica de manutenção, serão necessárias trocas de componentes do sistema de 30000 em 30000 km devido a quebras durante o transporte, uma vez que esses sistemas não estarão em perfeitas condições de operação. Como o custo médio de um componente desse sistema é de R\$ 15000.00 e terão ainda custos relacionados com guincho (aproximadamente R\$3000.00 por ocorrência) e ainda de R\$1500.00 por dia de lucro cessante desse maquinário, percebe-se um alto custo atrelado a essa política de manutenção.

Outro fator relevante, que segundo os fabricantes, a falta dessa manutenção acarreta em perdas de garantia do veículo, sendo extremamente prejudicial para a segurança das pessoas envolvidas na operação, assim como outras que possam ter contato com essa máquina.

Por esses motivos, observa-se que para o caso da tomada de força não pode-se considerar somente o uso da manutenção corretiva como uma possibilidade de política de manutenção a ser aplicada a esse sistema nessa máquina.

3.3.8.2 Manutenção Preventiva

Como o banco de dados estudado é de uma empresa que utiliza como política de manutenção a manutenção preventiva, os custos atrelados às intervenções não classificadas como preventivas serão estudados a seguir.

As manutenções preventivas possuem custos aproximados de R\$850.00 por intervenção, nesse custo já estão englobados todos os óleos lubrificantes usados, assim como suas quantidades, além de filtros que também serão trocados. Para a realização da preventiva são gastos ainda 3 horas do tempo de um mecânico habilitado para o mesmo. Como o salário de um mecânico na empresa é de R\$15.00 /Hora, a intervenção custará R\$45.00 de mão de obra.

Como com a preventiva ainda tem-se quebras, como pode ser observado na distribuição alcançada no item 3.3.6, há ainda a necessidade de estudar sobre os custos atrelados à essa quebra.

Ao ocorrer uma quebra tem-se o custo direto da mesma, que possui valor esperado de R\$ 2060.00 (Calculado como a média dos valores gastos nas intervenções corretivas). Como já mostrado no item 3.3.8.1, com uma quebra tem-se um custo de R\$3500.00 de guincho mais R\$1500.00 de lucro cessante. Como as peças ainda terão que ser trocadas na preventiva será levado em conta somente os custos extras da compra emergencial da peça que veio a quebrar, de 20% de seu valor, como já explanado no item 3.3.7.

Portanto, a tabela 06 faz uma compilação dos gastos com essa política e o valor esperado por período a ser gasto com a mesma referência.

ID	Período	Gasto Manutenção Preventiva	Probabilidade de ocorrência*	Valor Ocorrência	Valor esperado com a Ocorrência	Valor total Manutenção
1	0 à 20000	R\$ 895,00	0,158019%	R\$ 5.412,00	R\$ 8,55	R\$ 903,55
2	100000 à 120000	R\$ 895,00	0,474059%	R\$ 5.412,00	R\$ 25,66	R\$ 920,66
3	120000 à 140000	R\$ 895,00	0,790102%	R\$ 5.412,00	R\$ 42,76	R\$ 937,76
4	140000 à 160000	R\$ 895,00	1,106130%	R\$ 5.412,00	R\$ 59,86	R\$ 954,86
5	160000 à 180000	R\$ 895,00	1,426739%	R\$ 5.412,00	R\$ 77,22	R\$ 972,22
6	180000 à 200000	R\$ 895,00	1,733651%	R\$ 5.412,00	R\$ 93,83	R\$ 988,83
7	20000 à 40000	R\$ 895,00	2,054260%	R\$ 5.412,00	R\$ 111,18	R\$ 1.006,18
8	200000 à 220000	R\$ 895,00	2,370240%	R\$ 5.412,00	R\$ 128,28	R\$ 1.023,28
9	220000 à 240000	R\$ 895,00	2,686400%	R\$ 5.412,00	R\$ 145,39	R\$ 1.040,39
10	240000 à 260000	R\$ 895,00	3,002300%	R\$ 5.412,00	R\$ 162,48	R\$ 1.057,48
11	260000 à 280000	R\$ 895,00	3,318500%	R\$ 5.412,00	R\$ 179,60	R\$ 1.074,60
12	280000 à 300000	R\$ 895,00	3,634400%	R\$ 5.412,00	R\$ 196,69	R\$ 1.091,69
13	300000 à 320000	R\$ 895,00	3,950500%	R\$ 5.412,00	R\$ 213,80	R\$ 1.108,80
14	320000 à 340000	R\$ 895,00	4,266500%	R\$ 5.412,00	R\$ 230,90	R\$ 1.125,90
15	40000 à 60000	R\$ 895,00	4,582300%	R\$ 5.412,00	R\$ 247,99	R\$ 1.142,99
16	400000 à 420000	R\$ 895,00	4,897500%	R\$ 5.412,00	R\$ 265,05	R\$ 1.160,05
17	420000 à 440000	R\$ 895,00	5,209800%	R\$ 5.412,00	R\$ 281,95	R\$ 1.176,95
18	440000 à 460000	R\$ 895,00	5,511700%	R\$ 5.412,00	R\$ 298,29	R\$ 1.193,29
19	460000 à 480000	R\$ 895,00	5,777100%	R\$ 5.412,00	R\$ 312,66	R\$ 1.207,66
20	480000 à 500000	R\$ 895,00	5,927200%	R\$ 5.412,00	R\$ 320,78	R\$ 1.215,78
21	500000 à 520000	R\$ 895,00	5,749400%	R\$ 5.412,00	R\$ 311,16	R\$ 1.206,16
22	540000 à 560000	R\$ 895,00	4,812500%	R\$ 5.412,00	R\$ 260,45	R\$ 1.155,45
23	560000 à 580000	R\$ 895,00	2,788300%	R\$ 5.412,00	R\$ 150,90	R\$ 1.045,90
24	580000 à 600000	R\$ 895,00	0,698900%	R\$ 5.412,00	R\$ 37,82	R\$ 932,82
25	60000 à 80000	R\$ 895,00	0,030900%	R\$ 5.412,00	R\$ 1,67	R\$ 896,67
26	620000 à 640000	R\$ 895,00	0,000000%	R\$ 5.412,00	R\$ -	R\$ 895,00
27	640000 à 660000	R\$ 895,00	0,000000%	R\$ 5.412,00	R\$ -	R\$ 895,00
28	660000 à 680000	R\$ 895,00	0,000000%	R\$ 5.412,00	R\$ -	R\$ 895,00
29	680000 à 700000	R\$ 895,00	0,000000%	R\$ 5.412,00	R\$ -	R\$ 895,00
30	700000 à 720000	R\$ 895,00	0,000000%	R\$ 5.412,00	R\$ -	R\$ 895,00
31	720000 à 740000	R\$ 895,00	0,000000%	R\$ 5.412,00	R\$ -	R\$ 895,00
32	740000 à 760000	R\$ 895,00	0,000000%	R\$ 5.412,00	R\$ -	R\$ 895,00
33	760000 à 780000	R\$ 895,00	0,000000%	R\$ 5.412,00	R\$ -	R\$ 895,00
34	780000 à 800000	R\$ 895,00	0,000000%	R\$ 5.412,00	R\$ -	R\$ 895,00
35	80000 à 100000	R\$ 895,00	0,000000%	R\$ 5.412,00	R\$ -	R\$ 895,00
36	820000 à 840000	R\$ 895,00	0,000000%	R\$ 5.412,00	R\$ -	R\$ 895,00
37	840000 à 860000	R\$ 895,00	0,000000%	R\$ 5.412,00	R\$ -	R\$ 895,00
38	860000 à 880000	R\$ 895,00	0,000000%	R\$ 5.412,00	R\$ -	R\$ 895,00
39	880000 à 900000	R\$ 895,00	0,000000%	R\$ 5.412,00	R\$ -	R\$ 895,00
40	900000 à 920000	R\$ 895,00	0,000000%	R\$ 5.412,00	R\$ -	R\$ 895,00

ID	Período	Gasto Manutenção Preventiva	Probabilidade de ocorrência*	Valor Ocorrência	Valor esperado com a Ocorrência	Valor total Manutenção
41	920000 à 940000	R\$ 895,00	0,000000%	R\$ 5.412,00	R\$ -	R\$ 895,00
42	940000 à 960000	R\$ 895,00	0,000000%	R\$ 5.412,00	R\$ -	R\$ 895,00
43	960000 à 980000	R\$ 895,00	0,000000%	R\$ 5.412,00	R\$ -	R\$ 895,00
44	980000 à 1000000	R\$ 895,00	0,000000%	R\$ 5.412,00	R\$ -	R\$ 895,00

* Resultados gerados integrando a função distribuição de probabilidade no intervalo de ocorrência **

** foi utilizado o programa WOLFRAM ALPHA para fazer essas análises

*** a partir do ID 23 houve uma estabilização das probabilidades de ocorrência pelo fato do sistema mecânico não possuir vida útil maior que 600 mil Km. Portanto o ciclo reinicia-se.

Tabela 6: Compilação dos Custos da Manutenção Preventiva

3.3.8.3 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva se difere das outras políticas pelo fato de antecipar uma possível ruptura dos componentes do sistema mecânico.

Com isso essa política já mencionada busca mitigar os custos com o “valor da ocorrência” mostrado na tabela 6. Como é preciso continuar com a manutenção preventiva, por questões de atendimento das exigências das montadoras, serão analisados qual ou quais períodos uma análise preditiva traz benefícios para a empresa. Os benefícios estão atrelados à previsão da possível ruptura dos componentes e assim não haverá os custos com socorro, nem com o lucro cessante, e nem com o pedido emergencial das peças.

Segundo dado disponibilizado pelo setor técnico da empresa estudada, para a realização da análise preditiva do conjunto denominado nesse trabalho de tomada de força, é necessário a análise dos óleos lubrificantes que atuam nos componentes desse sistema. Na totalidade é retirada uma análise de óleo. O período entre coletas indicado pela empresa responsável pela análise é de 5000 em 5000 km. Nesse intervalo a empresa assegura uma confiabilidade alta de que a análise preverá uma possível ocorrência.

Para efeito de estudo, não serão consideradas falhas nas análises preditivas e consequentemente não haverá quebras dos sistemas analisados preditivamente.

A figura 37 mostra um exemplo da análise feita por essa empresa e as recomendações a serem seguidas.

Empresa:
Endereço:
Cidade: Fuz de Fora
Estado: MG
Tel.:
Fax:
Dealer:
Código Cliente: 1643

Frota: CR01
Nº de série: CR01
Fabricante: Mercedes Benz
Modelo: 2831
Equipamento: Caminhão_2831
Compartimento: Diferencial 2º Exo
Cliente/Obra: JF

Status da Amostra Nº
AD27740



Interpretação:

Durante a próxima parada programada do equipamento, verificar as condições de operação e drenar o óleo sobre um pano limpo a fim de identificar uma possível presença de limalhas e avaliar a sua fonte de desgaste. Trocar o óleo e enviar nova amostra no intervalo recomendado. Houve uma queda, mas permanece alta a concentração de ferro. O resultado indica desgaste anormal do compartimento. Informar os dados, o horímetro e as horas trabalhadas do óleo. SL

Comentário do Cliente:

AMOSTRAS								DESGASTE								CONTAMINAÇÃO				
Amostra	Status	Coleta	Processo	Horímetro	H.Fluido	Trocado?	Adição	AG	CR	CU	FE	MO	NI	PB	SN	TI	AL	K	NA	SI
								Prata	Cromo	Cobre	Ferro	Moly	Níquel	Chumbo	Estanho	Titânio	Alumínio	Potássio	Sódio	Silício
AD27740	MONITORAR	08/05/2014	08/05/2014	NI	NI	NI	0	1	3	7	451	11	1	0	1	0	13	0	10	25
AD08271	CRÍTICA	14/03/2014	20/03/2014	3494	494	N	0	0	8	6	982	27	2	2	2	1	25	0	0	56

Amostra	Fluido		ADITIVAÇÃO						IR		V100*	TESTES FÍSICOS	
	Fabricante	Viscosidade	B	BA	CA	MG	P	ZN	FTIR-O	V100	AGUA	VISUAL	
			Boro	Bário	Cálcio	Magnésio	Fósforo	Zinco	Oxidação	CSR	%	Magnésio	Visual
AD27740	NI	NI	3	2	169	9	774	20	-	17,10	0	N	
AD08271	NI	80	5	5	345	16	457	23	-	17,10	0	N	

Figura 37: Exemplo de Relatório da Preditiva

A tabela 07 mostra os custos atrelados à técnica preditiva utilizada.

ID	Período	Gasto Manutenção Preventiva	Valor Preditiva*	Valor total Manutenção
1	0 à 20000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
2	100000 à 120000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
3	120000 à 140000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
4	140000 à 160000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
5	160000 à 180000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
6	180000 à 200000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
7	20000 à 40000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
8	200000 à 220000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
9	220000 à 240000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
10	240000 à 260000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
11	260000 à 280000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
12	280000 à 300000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
13	300000 à 320000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
14	320000 à 340000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
15	40000 à 60000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
16	400000 à 420000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
17	420000 à 440000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
18	440000 à 460000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
19	460000 à 480000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
20	480000 à 500000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
21	500000 à 520000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00

ID	Período	Gasto Manutenção Preventiva	Valor Preditiva*	Valor total Manutenção
22	540000 à 560000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
23	560000 à 580000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
24	580000 à 600000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
25	60000 à 80000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
26	620000 à 640000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
27	640000 à 660000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
28	660000 à 680000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
29	680000 à 700000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
30	700000 à 720000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
31	720000 à 740000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
32	740000 à 760000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
33	760000 à 780000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
34	780000 à 800000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
35	80000 à 100000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
36	820000 à 840000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
37	840000 à 860000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
38	860000 à 880000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
39	880000 à 900000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
40	900000 à 920000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
41	920000 à 940000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
42	940000 à 960000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
43	960000 à 980000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00
44	980000 à 1000000	R\$ 895,00	R\$ 140,00	R\$ 1.035,00

* Para calcular os custos com a preditiva foram considerados 1 (uma) amostra por período de 5000km, portanto serão um total de 4 (quatro) amostras por intervalo de 20000km. Como cada amostra, com a análise, possui o custo de R\$35,00; o custo total da aplicação dessa metodologia é de R\$140,00 por período.

Tabela 7: Custos Arelados à Manutenção Preditiva

4. RESULTADOS

A análise a ser feita para determinar qual a melhor política a ser seguida em cada faixa de quilometragem é baseada principalmente nos custos, uma vez que outras variáveis importantes como a impossibilidade da utilização do maquinário e os gastos com a substituição desse maquinário imediatamente para que o cliente não tenha prejuízo.

Como discutido no item 3.3.8.1 a manutenção corretiva não será levada em consideração nessa análise por questões tanto de segurança, quanto de adequação às normas estabelecidas pelas montadoras. Mesmo se fosse ser realizada, os custos atrelados seriam muito maior, como explanado também no item 3.3.8.1.

A tabela 08 mostra os custos esperados das duas políticas de manutenção levando em consideração a probabilidade de ocorrência, mostrada no item 3.3.6, os custos operacionais da utilização das políticas de manutenção e ainda os custos atrelados à falta do maquinário para a operação.

ID	Período	Gasto Manutenção Preventiva	Gasto Manutenção Preditiva	Melhor opção	Ganho ao Utilizar a Política Certa
1	0 à 20000	R\$ 903,55	R\$ 1.035,00	Preventiva	R\$ 131,45
2	100000 à 120000	R\$ 920,66	R\$ 1.035,00	Preventiva	R\$ 114,34
3	120000 à 140000	R\$ 937,76	R\$ 1.035,00	Preventiva	R\$ 97,24
4	140000 à 160000	R\$ 954,86	R\$ 1.035,00	Preventiva	R\$ 80,14
5	160000 à 180000	R\$ 972,22	R\$ 1.035,00	Preventiva	R\$ 62,78
6	180000 à 200000	R\$ 988,83	R\$ 1.035,00	Preventiva	R\$ 46,17
7	20000 à 40000	R\$ 1.006,18	R\$ 1.035,00	Preventiva	R\$ 28,82
8	200000 à 220000	R\$ 1.023,28	R\$ 1.035,00	Preventiva	R\$ 11,72
9	220000 à 240000	R\$ 1.040,39	R\$ 1.035,00	Preditiva	R\$ 5,39
10	240000 à 260000	R\$ 1.057,48	R\$ 1.035,00	Preditiva	R\$ 22,48
11	260000 à 280000	R\$ 1.074,60	R\$ 1.035,00	Preditiva	R\$ 39,60
12	280000 à 300000	R\$ 1.091,69	R\$ 1.035,00	Preditiva	R\$ 56,69

ID	Período	Gasto Manutenção Preventiva	Gasto Manutenção Preditiva	Melhor opção	Ganho ao Utilizar a Política Certa
13	300000 à 320000	R\$ 1.108,80	R\$ 1.035,00	Preditiva	R\$ 73,80
14	320000 à 340000	R\$ 1.125,90	R\$ 1.035,00	Preditiva	R\$ 90,90
15	40000 à 60000	R\$ 1.142,99	R\$ 1.035,00	Preditiva	R\$ 107,99
16	400000 à 420000	R\$ 1.160,05	R\$ 1.035,00	Preditiva	R\$ 125,05
17	420000 à 440000	R\$ 1.176,95	R\$ 1.035,00	Preditiva	R\$ 141,95
18	440000 à 460000	R\$ 1.193,29	R\$ 1.035,00	Preditiva	R\$ 158,29
19	460000 à 480000	R\$ 1.207,66	R\$ 1.035,00	Preditiva	R\$ 172,66
20	480000 à 500000	R\$ 1.215,78	R\$ 1.035,00	Preditiva	R\$ 180,78
21	500000 à 520000	R\$ 1.206,16	R\$ 1.035,00	Preditiva	R\$ 171,16
22	540000 à 560000	R\$ 1.155,45	R\$ 1.035,00	Preditiva	R\$ 120,45
23	560000 à 580000	R\$ 1.045,90	R\$ 1.035,00	Preditiva	R\$ 10,90

Tabela 8: Comparação dos Custos das Manutenções Preventivas e Preditivas

A análise ficou restrita até o ID 23, pois o sistema mecânico não possui vida útil maior que 600 mil Km. Portanto o ciclo reinicia-se.

A figura 38 mostra os gastos totais das duas políticas de manutenção.

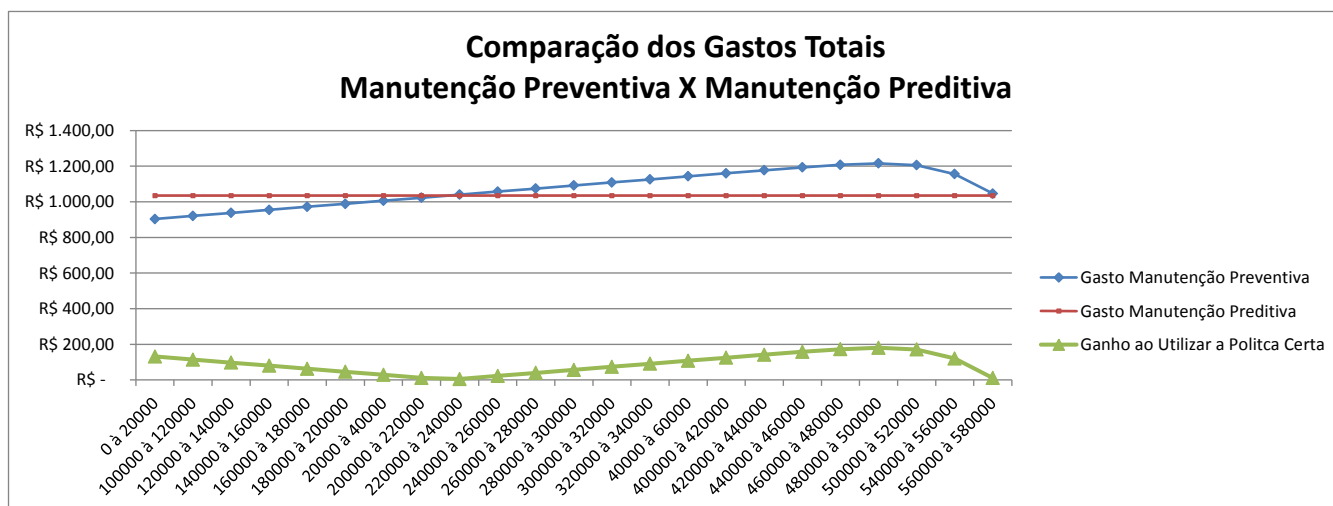


Figura 38: Comparação dos Gastos Totais - Manutenções Preventivas X Preditivas

Como se pode observar ao utilizar a correta manutenção há ganhos em cada intervalo de 20 mil km. Os valores expressados são somente para um veículo.

Como a vida útil do sistema mecânico estudado (tomada de força) possui vida útil de aproximadamente 600 mil km, durante essa vida útil mencionada, utilizando as políticas que maximizam por período, ter-se-á um ganho de R\$2050.78 por caminhão.

Se a frota possui 19 desses caminhões o ganho, somente do estudo de um dos sistemas mecânicos, será de R\$38965.00.

5. CONCLUSÃO

É notório que o setor de transporte é marcado por sua alta competitividade e que os indicadores de desempenho ganhadores de pedidos são o custo e a confiabilidade de entrega. Usando o estudo para a definição da melhor política de manutenção por sistema mecânico do caminhão, seguramente conseguirá avaliar esses dois indicadores, mantendo a disponibilidade do equipamento para a operação aliando a estes os custos.

Como explanado no item 4, há um ganho de R\$38965.00 somente estudando esse sistema mecânico. Se o estudo for estendido para os outros sistemas do caminhão esses ganhos serão ainda maiores.

Vale salientar ainda, que quanto mais quilômetros rodados a frota fizer ao mês e maior o número de caminhões componentes desta frota, maiores serão os ganhos e melhores serão os resultados, visto que com mais máquinas há uma melhora da base de dados para o estudo.

Como o estudo é realizado levando em consideração os valores esperados, se for estudado somente um caminhão pode ocorrer que esses valores não atendam ao esperado, justamente pelo fato de trabalhar com probabilidade de ocorrência.

Entretanto, uma vez que a maioria das empresas desse setor possui frotas com muitos caminhões iguais, ter-se-á o aumento significativo do número de caminhões e na média esse valor esperado será alcançado e, conseqüentemente os ganhos projetados estarão mais próximos dos que serão observados na realidade.

Conclui-se que o estudo cumpriu com os objetivos iniciais propostos, ratificado pela aplicação dos resultados de uma empresa atuante no mercado, com dados coletados sobre a sua operação real, mostrando, portanto que a metodologia apresentada possui uma boa aderência com a realidade e que poderá ser expandida para outros sistemas mecânicos e outros tipos de veículos, acumulando ganhos significativos para a operação da empresa e assegurando ganhos competitivos importantes para que a mesma tenha destaque e perpetue a sua atuação no mercado.

6. ANEXO

Responder às perguntas com relação à manutenção do sistema de climatização (ar condicionado).									
UP		UO		Área	1 ☐ 2 ☐ 3 ☐	Data	/	/	.
Item	Dimensão	Relevância (I)							Grau
1	ASPECTOS TANGÍVEIS	A equipe responsável deveria dispor de equipamentos adequados.							
2		A equipe responsável deveria ser respeitosa com os clientes.							
3		A equipe responsável deveria ser discreta, interferindo o mínimo possível nas atividades rotineiras dos clientes.							
4	CONFIABILIDADE	A equipe responsável deveria transmitir confiança aos clientes.							
5		A equipe responsável deveria fornecer o serviço no tempo prometido.							
6		A equipe responsável deveria manter bancos de dados atualizados (clientes, serviços etc).							
7	PRESTEZA	A equipe responsável deveria possuir a capacidade ou habilidade de se adaptar a variações nos níveis de demanda pelos serviços?							
8		A equipe responsável deveria operar nos horários mais convenientes aos clientes.							
9		A equipe responsável deveria ser pró-ativa, propondo melhorias aos serviços solicitados.							
10	SEGURANÇA	O serviço executado pela equipe responsável deveria oferecer segurança.							
11		A equipe responsável deveria ser continuamente treinada e capacitada.							
12		A equipe responsável deveria dispor de suporte para cumprir suas tarefas de forma segura.							
13	EMPATIA	A equipe responsável deveria ser solícita e atenciosa com os clientes.							
14		A equipe responsável deveria ter como objetivo os melhores interesses de seus clientes.							
15		A equipe responsável deveria ser capaz de interagir com os clientes, buscando a melhoria contínua na prestação dos serviços.							
ESCALA		Baixíssima Relevância 1 2 3 4 5 Altíssima Relevância							

Questionário 01 – Formulário para clientes da manutenção do sistema de climatização aplicado durante entrevista anterior à execução do serviço.

Figura 39: Exemplo de Pesquisa de Satisfação
Fonte: FERRAZ, 2011

7. REFERÊNCIAS

- ABRAMAN. Documento Nacional 2011 –**ABRAMAN a Situação da Manutenção no Brasil** 26 Congresso Brasileiro de Manutenção- Curitiba 2011
- ALMEIDA, S. **Cliente, eu não vivo sem você: o que você não pode deixar de saber sobre qualidade em serviços e clientes**. Bahia: Casa daQualidade, 1995
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: **Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994. 37 p.
- BRITO,J.N.;LIMA,P.F.R.;PORTES,D.F. **Sistema de informação e gestão da manutenção de equipamentos industriais**SIGM.In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO, 20., 2005, Belo Horizonte.Anais... Belo Horizonte, 2005
- DIMITROV, B.; CHUKOVA, S.; KHALIL, Z. **Warranty Costs: An Age-Dependent Failure/Repair Model**. 2004
- FERRAZ,J.E.;SALLES.M.T. **GESTÃO DA MANUTENÇÃO COM FOCO NA SATISFAÇÃO DO CLIENTE INTERNO - CASO INMETRO**. SIGM.InXXXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO, Belo Horizonte, 2011
- FOGLIATTO,F.S.; RIBERTO,J.L.D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. São Paulo, Elsevier, 2009.
- GRÖNROOS, C., **Marketing: Gerenciamento e Serviços a Competição por Serviços na Hora da Verdade**. Rio de Janeiro: Campus, 1995
- KARDEC, Alan; NACIF, Júlio. **Manutenção: Função Estratégica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001
- MONCHY,FRANÇOIS.**A Função Manutenção –Formação para a Gerenciada Manutenção Industrial**. SãoPaulo: Editora Durban Ltda,1989
- MONTGOMERY, Douglas C; RUNGER, George C. **Applied statistics and probability for engineers**. 3rd ed, New York, NY: John Wiley & Sons, Inc, 2002.
- MOUBRAY,John.**Reliability-Centered Maintenance**. Great Britain:1997.
- OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção Além Da Produção**. São Paulo,Bookman, 1997.
- PETROBRAS. **Curso de formação de operadores de refinaria**
Noções de confiabilidade e manutenção industrial. 1997
- ROTONDARO, R.G **SEIS SIGMA: Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços**. São Paulo: Atlas, 2009.

SLACK,NIGEL **Administração da Produção/Nigel Slack**, Stuart Chambers, Robert Johnston; tradução Maria Teresa Corrêa de Oliveira, Fabio Alher; Revisão técnica Henrique Luiz Corrêa.-2.ed-10.reimpr. – São Paulo: Atlas,2009

TAHA, Hamdy A. **Operations Research: an Introduction** -8th ed. Upper Saddle River, New Jersey, 2008

TURRIONI,J.B. ; MELLO, C. H. P.**Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção**. 2002