

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Brenda Nascimento Félix

**MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE (MCC)
APLICADA AO SISTEMA HIDRÁULICO DE UMA ESCAVADEIRA DO
TIPO BACKHOE**

Juiz de Fora

2019

Brenda Nascimento Félix

MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE (MCC)
APLICADA AO SISTEMA HIDRÁULICO DE UMA ESCAVADEIRA DO
TIPO BACKHOE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Scari

Coorientador: Prof. Dr. Luiz Henrique Dias Alvez

Juiz de Fora

2019

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Félix, Brenda .

MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE (MCC)
APLICADA AO SISTEMA HIDRÁULICO DE UMA ESCAVADEIRA
DO TIPO BACKHOE / Brenda Félix. -- 2019.

71 f.

Orientador: Alexandre Scari

Coorientador: Luiz Henrique Alvez

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2019.

1. Manutenção. 2. Confiabilidade. 3. Escavadeira Hidráulica. 4. Análise de Falha. I. Scari, Alexandre , orient. II. Alvez, Luiz Henrique , coorient. III. Título.

Brenda Nascimento Félix

**MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE (MCC)
APLICADA AO SISTEMA HIDRÁULICO DE UMA ESCAVADEIRA DO
TIPO BACKHOE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovada em 06 de Novembro de 2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alexandre Scari - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Luiz Henrique Dias Alves - Coorientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Moises Luiz Lagares Junior
Universidade Federal de Juiz de Fora

AGRADECIMENTOS

Dentro dessa instituição maravilhosa eu cresci, entrei caloura e agora saio engenheira. A UFJF me proporcionou oportunidades de aprendizado e crescimento tanto pessoal quanto profissional. A cada período me mostrou mais sobre como posso contribuir com a sociedade, com as pessoas e com o meu país. Por isso só tenho a agradecer. À Rampage BAJA UFJF, equipe que me mostrou o que é ser equipe. Me ensinou que a engenharia pode unir, exigir muito esforço e dedicação para no final de tudo olhar pra trás e sentir que valeu a pena. Aos professores do ICE e da Faculdade de Engenharia, agradeço por compartilhar seu conhecimento e experiência. Aos meus orientadores, agradeço pela paciência e gentileza ao direcionar o meu caminho para entregar esse trabalho. À U&M, pela oportunidade de aprender, crescer e contribuir com a empresa. Por fim, agradeço à minha família e amigos pelo amor e apoio incondicional, pela compreensão da minha ausência em muitos momentos enquanto dedicava tempo ao meu futuro.

Sinto que viver é inevitável.

(Clarice Lispector)

RESUMO

O setor de mineração é o que possui maior custo com as atividades relacionadas à manutenção. Dentro do ciclo produtivo de movimentação de minério e estéril, a escavadeira é o principal equipamento e se possuir baixa confiabilidade impacta fortemente no custo. Para otimizar a performance do equipamento, reduzindo o número de manutenções corretivas não-programadas e o tempo de equipamento parado, deve-se entender como este falha, o que falha e sua frequência para levantar recursos de forma direcionada. Dessa maneira, a aplicação da metodologia de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) visa levantar o histórico do equipamento, definir um sistema crítico e realizar uma análise de falha, da taxa de falha e de confiabilidade para ter como saída um plano de ação (intervenções, inspeções, recursos) com foco em redução de atividades não programadas, tornando a manutenção mais assertiva e preparada. Neste estudo, a metodologia foi aplicada ao sistema hidráulico da escavadeira Hitachi EX5500 de 550 toneladas que trabalha no interior de Goiás. Nesse sistema, as falhas mais custosas foram encontradas nas mangueiras hidráulicas, radiador hidráulico e bombas para as quais ações preventivas foram propostas de acordo com a aplicação da MCC.

Palavras-chave: Manutenção. Confiabilidade. Escavadeira Hidráulica. Análise de falha.

ABSTRACT

The mining sector has the highest cost with maintenance related activities. Within the production cycle of ore and sterile handling, the excavator is the main equipment and if it has low reliability, it strongly impacts the cost. To optimize equipment performance by reducing the number of unscheduled corrective maintenance and downtime, one must understand how it fails, what it fails and how often it can raise resources in a targeted manner. Thus, the application of the Reliability Centered Maintenance (MCC) methodology aims to survey equipment history, define a critical system, and perform a failure, failure rate and reliability analysis to output an action plan (interventions, inspections, resources) focused on reducing unscheduled activities, making maintenance more assertive and prepared. In this study, the methodology was applied to the Hitachi EX5500 550-ton excavator hydraulic system operating in the interior of Goiás. In this system, the most costly failures were found in the hydraulic hoses, hydraulic radiator and pumps for which preventive actions were proposed according to with the application of MCC.

Key-words: Maintenance. Reliability. Hydraulic Excavator. Failure analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ciclo da mineração (fonte: Iramina e Tachibana e Silva e Eston, 2009)	16
Figura 2 – Escavadeira hidráulica operando em frente de lavra (fonte: U&M Mineração e Construção SA)	17
Figura 3 – Gerações da manutenção (fonte: SIQUEIRA, 2009)	18
Figura 4 – Exemplo de análise termográfica (fonte: http://www.tecnodaheer.com.br/empresas-inspecao-termografica-sp.php)	20
Figura 5 – Pilares da TPM (fonte: Adaptado de PEREIRA, 2011)	21
Figura 6 – Custos de manutenção e produção versus confiabilidade (fonte: KARDEC E NASCIF, 2001)	22
Figura 7 – Curva da banheira (fonte: PEREIRA, 2011)	25
Figura 8 – Fator γ na curva de distribuição de probabilidade de Weibull (fonte: Adaptado de Life data analysis reference - ReliaSoft)	26
Figura 9 – Fator η na curva de distribuição de probabilidade de Weibull (fonte: Adaptado de Life data analysis reference - ReliaSoft)	26
Figura 10 – Fator β na curva de distribuição de probabilidade de Weibull (fonte: Adaptado de Life data analysis reference - ReliaSoft)	27
Figura 11 – Diagrama de Decisão em função de BETA (fonte: Adaptado de SIQUEIRA, 2009)	27
Figura 12 – A origem da falha (fonte: YAMAGUCHI, 2009)	28
Figura 13 – Exemplos de modos de falha (fonte: SIQUEIRA, 2009)	29
Figura 14 – Exemplo de Gráfico de Pareto (fonte: PEREIRA, 2009)	32
Figura 15 – Trecho demonstrativo de uma árvore de falha (fonte: Adaptado de FOGLIATTO, 2009)	33
Figura 16 – Implemento Frontal: (1) Concha, (2) Semi-braço, (3) Braço, (4) Cilindro do braço, (5) Cilindro do semi-braço, (6) Cilindro de concha (fonte: Manual de princípios operacionais do equipamento)	33
Figura 17 – (1) Carro Superior, (2) Roda motriz, (3) Esteira, (4) Roda movida, (5) Truck (fonte: Manual de princípios operacionais do equipamento)	34
Figura 18 – Funcionamento de uma escavadeira hidráulica do tipo backhoe (fonte: OLIVEIRA, 2016)	35
Figura 19 – Amostras ampliadas de fluido hidráulico (fonte: Normas e Padrões (ISO 4406 e NAS 1638) no Controle da Contaminação - White paper Parker)	37
Figura 20 – Prevenção à danos externos (fonte: SAE J1273 - 2004)	38
Figura 21 – Raio mínimo de curvatura - verificação (fonte: SAE J1273 - 2004)	38
Figura 22 – Mangueira com movimentação, correto e incorreto (fonte: SAE J1273 - 2004)	39
Figura 23 – Comprimento dentro da tolerância da máquina, correto e incorreto (fonte: SAE J1273 - 2004)	39

Figura 24 – Comprimento extra para pressurização (fonte: SAE J1273 - 2004) . . .	40
Figura 25 – Fluxograma da metodologia adotada (fonte: Autora)	41
Figura 26 – Equipamento em operação em Goiás (fonte:U&M Mineração e Construção SA)	44
Figura 27 – Gráfico de Pareto com ocorrências em cada sistema do equipamento (fonte: autora)	44
Figura 28 – Gráfico de Pareto com os custos de manutenção de cada sistema do equipamento (fonte: autora)	45
Figura 29 – Diagrama funcional do sistema hidráulico (fonte: autora)	46
Figura 30 – Diagrama de blocos do sistema hidráulico (fonte: autora)	47
Figura 31 – Custos de intervenção por componentes do sistema hidráulico (fonte: autora)	48
Figura 32 – Tempo total de máquina parada por componente do sistema hidráulico (fonte: autora)	48
Figura 33 – Árvore de falha para vazamento em mangueiras/mangotes (fonte: autora)	49
Figura 34 – Árvore de falha para vazamento em radiador hidráulico (fonte: autora)	50
Figura 35 – Imagens de verificação de radiador após falha na escavadeira em estudo (fonte: U&M Mineração e Construção)	51
Figura 36 – Imagem termográfica do comando de válvula do equipamento (fonte: U&M Mineração e Construção)	52
Figura 37 – Imagem termográfica de mangueiras e mangotes do equipamento (fonte: U&M Mineração e Construção)	52
Figura 38 – Imagem termográfica do radiador hidráulico do equipamento (fonte: U&M Mineração e Construção)	53
Figura 39 – Imagem termográfica do equipamento em geral e do tanque hidráulico (fonte: U&M Mineração e Construção)	54
Figura 40 – Diagrama de decisão para avaliar consequências de falhas (fonte: Adaptado de SIQUEIRA-2009)	55
Figura 41 – Lógica de decisão para o modo de vazamento em mangueira hidráulica ES/EA (fonte: Adaptado de SIQUEIRA, 2009)	56
Figura 42 – Lógica de decisão para o modo de vazamento em radiador hidráulico EE/EO (fonte: Adaptado de SIQUEIRA, 2009)	57
Figura 43 – Gráfico de confiabilidade com intervalo PF (fonte: Adaptado de SIQUEIRA-2009)	59
Figura 44 – Gráfico da taxa de falha para mangueiras/mangotes utilizando 3P Weibul à esquerda e 2P à direita (fonte: Reliasoft Weibull++)	59
Figura 45 – Gráfico da confiabilidade para mangueiras/mangotes utilizando 3P Weibul à esquerda e 2P à direita (fonte: Reliasoft Weibull++)	60

Figura 46 – Gráfico da confiabilidade para radiador hidráulico utilizando 3P Weibul à esquerda e 2P à direita (fonte: Reliasoft Weibull++)	61
Figura 47 – Síntese da conclusão do estudo em questão (fonte: Adaptado da autora)	64
Figura 48 – Cálculo de PF usando o software Reliasoft para Mangueiras/Mangotes (fonte: Reliasoft Weibull++)	69
Figura 49 – Cálculo de PF usando o software Reliasoft para radiador hidráulico (fonte: Reliasoft Weibull++)	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipo de organização x Custos de Manutenção (fonte: Adaptado de Pereira, 2011)	15
Tabela 2 – Tabela de detectabilidade para efeitos (fonte: Adaptado de SIQUEIRA-2009)	30
Tabela 3 – Tabela de severidade para efeitos (fonte: Adaptado de SIQUEIRA-2009)	30
Tabela 4 – Tabela de frequência para efeitos (fonte: Adaptado de SIQUEIRA-2009)	31
Tabela 5 – Matriz de efeitos (fonte: Adaptado de SIQUEIRA-2009)	31
Tabela 6 – Tabela de conceitos para efeitos (fonte: Adaptado de SIQUEIRA-2009)	32
Tabela 7 – Atribuição de números de escala (fonte: Adaptado da norma ISO 4406 - 1999)	36
Tabela 8 – Guia de contaminação (fonte: Adaptado da norma ISO 4406 - 1999 . .	37
Tabela 9 – Tabela de efeitos com avaliação de riscos (fonte: Autora)	54
Tabela 10 – Tabela comparativa entre atividades propostas neste trabalho e a realidade da empresa (fonte: Autora)	62
Tabela 11 – Sistemas da escavadeira relacionados com a quantidade de ocorrências e o custo total dessas ocorrências (fonte: Autora)	66
Tabela 12 – Componentes e o custo atrelado às suas intervenções (fonte: Autora) .	67
Tabela 13 – Componentes e os modos de falha atrelados às suas intervenções e custo (fonte: Autora)	67
Tabela 14 – Resultados de análise de óleo do equipamento realizadas no intervalo estudado no presente estudo (fonte: Autora)	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRAMAN	Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i> (Planejamento de Recursos Empresariais)
FTA	<i>Fault Tree Analysis</i> (Análise de Árvore de Falha)
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> (Comissão Eletrotécnica Internacional)
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Normalização)
MCC	Manutenção Centrada na Confiabilidade
SAE	<i>Society of automotive engineers</i> (Sociedade dos Engenheiros Automotivos)
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i> (Manutenção Produtiva Total)

LISTA DE SÍMBOLOS

R	Confiabilidade
A	Disponibilidade
η	Parâmetro de forma relacionado à abscissa
β	Parâmetro de forma relacionado à característica da falha
λ	Taxa de falha
TMEF	Tempo médio entre falhas
TMPR	Tempo médio entre reparos
γ	Vida útil mínima

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Considerações iniciais	15
1.2	Motivação	15
1.3	Objetivos	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	A história da Manutenção	18
2.2	Técnicas de Manutenção	19
2.3	Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)	21
2.4	Análise de Falha	28
2.5	Escavadeira hidráulica - Sistema hidráulico	33
2.6	Análise de óleo de sistema hidráulico	35
2.7	Mangueiras hidráulicas	38
3	METODOLOGIA	41
4	RESULTADOS E ANÁLISES	43
4.1	Seleção do sistema e coleta de informações	43
4.2	Análise de modos de falha e efeitos	47
4.3	Identificação das consequências das falhas	54
4.4	Seleção de atividades aplicáveis	55
4.5	Definição de periodicidade das atividades	58
4.6	Comparação das tarefas do plano já existente com o que foi proposto . .	61
5	CONCLUSÕES	63
	REFERÊNCIAS	65
	APÊNDICE A – Dados dos sistemas	66
	APÊNDICE B – Dados do sistema hidráulico	67
	APÊNDICE C – Dados das análises de óleo	68
	ANEXO A – RESULTADOS SOFTWARE	69
	ANEXO B – DECLARAÇÃO DA EMPRESA	70

ANEXO C – TERMO DE AUTENTICIDADE	72
--	----

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

Partindo do fato que a manutenção é o principal custo fixo de uma organização, se for mal gerenciada esta faz com que esses custos subam e a receita caia. Entretanto, se for feito um gerenciamento com foco na previsão de falhas, redução de tempo de máquinas paradas, o custo cai e a receita sobe. Embora seja um gasto inerente e comum a todos os setores produtivos, o percentual de participação varia de acordo com o tipo de organização como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Tipo de organização x Custos de Manutenção (fonte: Adaptado de Pereira, 2011)

Mineração	20% a 50%
Metais Primários	15% a 25%
Manufatura	5% a 15%
Processamento	3% a 15%
Fabricação e Montagem	3% a 5%

O setor de mineração apresenta a manutenção mais cara quando comparada com o custo total de uma empresa. Além disso, por tratar de operações em locais de difícil acesso, a esses custos somam-se os custos com logística para atender as demandas, tornando a participação maior. Diante do cenário global atual, onde redução de custos pode significar aumento da competitividade da empresa, a manutenção deve ser tratada de forma estratégica. A manutenção centrada na confiabilidade surge com o aumento da automação industrial e simultaneamente com o consumo em larga escala de produtos industrializados. Isso elevou o nível de dependência dos produtos de processos industriais pela sociedade. Por consequência do alto consumo e de mudanças na gestão de estoque de empresas (“just in time”, estoques reduzidos), os efeitos de indisponibilidade física de equipamentos se agravaram ao ponto de pequenas interrupções significarem grandes quedas de produção (SIQUEIRA, 2009).

1.2 Motivação

A empresa U&M Mineração e Construção SA trabalha com grandes movimentações de solo, com foco em operações de minas (Figura 1) dentro e fora do Brasil. Para isso, a empresa trabalha com uma frota que engloba todas as etapas do ciclo da mineração até o britador, desde o desmonte até o transporte (incluindo infraestrutura). A etapa de

carregamento consiste em uma ou mais escavadeiras em uma frente de lavra e para cada escavadeira, dependendo do porte, tem-se de 6 a 8 caminhões fora de estrada. Portanto, se uma escavadeira para, 6 a 8 caminhões fora de estrada vão parar também e isso impacta diretamente na produtividade da operação.

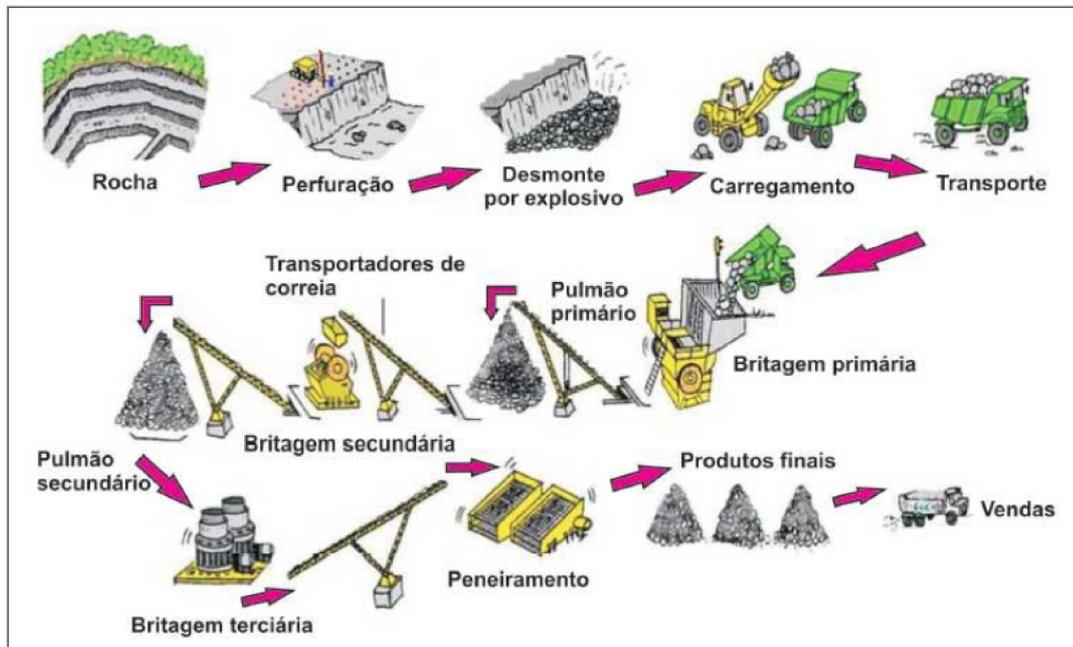


Figura 1 – Ciclo da mineração (fonte: Iramina e Tachibana e Silva e Eston, 2009)

Além disso, para reduzir os custos do serviço prestado, a empresa trabalha com equipamentos e componentes usados que são importados de diversos países, desde Canadá até Austrália. Ao chegar ao Brasil esses itens são reformados nas centrais de manutenção da empresa, situadas em Matias Barbosa, MG e Canaã dos Carajás, PA e em seguida enviados às operações. Portanto, esses itens possuem um histórico de utilização e meio de desgaste diferentes e desconhecidos, tornando sua vida útil e performance difíceis de prever e por consequência de gerenciar. Com isso os setores de manutenção e suprimentos/logística poderão ser mais eficazes, acompanhando o desgaste do item que mais falha e programando um estoque enxuto com entrega que atenda o prazo entre a confirmação do fim de vida do item e sua chegada na operação para troca.

O conteúdo do estudo se divide em introdução, fundamentação teórica, metodologia, resultados e análises e conclusão. A introdução traz uma visão geral do que será abordado no trabalho e quais os objetivos e motivação. A fundamentação traz a base teórica dos métodos e técnicas de manutenção que embasaram este estudo e serão utilizados para executar este trabalho, além de apresentar o equipamento e o funcionamento do sistema hidráulico. A metodologia apresenta o que será feito e como será feito. Em seguida, o capítulo de resultados e análises traz a execução da metodologia seguida pelos resultados, propostas de ações e comparativos. Na conclusão, apresenta-se uma análise sucinta dos

resultados, avaliação do estudo como um todo.

1.3 Objetivos

Esse trabalho é um estudo piloto de MCC (Manutenção Centrada na Confiabilidade) aplicada à uma escavadeira hidráulica (Figura 2) usada e reformada operando no interior de Goiás em uma mineração de ouro e cobre. Com os dados do histórico de intervenções na máquina serão realizadas análises de confiabilidade e taxa de falha para entender o ciclo de vida da mesma.



Figura 2 – Escavadeira hidráulica operando em frente de lavra (fonte: U&M Mineração e Construção SA)

As escavadeiras hidráulicas são equipamento críticos na operação, dessa maneira, o objetivo principal deste estudo é aplicar a metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade em um equipamento crítico na cadeia produtiva. Aplicando a metodologia, mapeando os modos de falha e analisando a taxa de falha dos modos mais custosos e recorrentes os objetivos específicos serão alcançados. Esses objetivos específicos são propor atividades de manutenção para os modos críticos e comparar com o que é feito hoje dentro da empresa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A história da Manutenção

De acordo com SIQUEIRA, 2009, a manutenção é dividida em três gerações e cada uma é marcada pela evolução dos meios produtivos, tecnologia e novos conceitos para a atividade de manutenção. Além disso, as gerações convivem no mesmo período de tempo, pois ainda existem empresas nas primeiras gerações. A Figura 3 apresenta a evolução das técnicas de manutenção ao longo dos anos.



Figura 3 – Gerações da manutenção (fonte: SIQUEIRA, 2009)

A primeira geração é marcada por equipamentos simples e superdimensionados para as suas funções. Em adição a isso, a sociedade da época não possuía dependência com a indústria, então pouco importava seu desempenho. As atividades de manutenção se restringiam a restaurações quando houvessem falhas (que eram reduzidas devido ao superdimensionamento), limpeza e lubrificação dos equipamentos. As atividades de manutenção planejadas não faziam parte da rotina de manutenção dessa geração. A segunda geração foi resultado da forte industrialização após a segunda guerra mundial. Nessa geração, observou-se a disseminação das linhas de produção contínuas que entregava muitos bens industrializados à sociedade. Dessa maneira, a sociedade estava cada vez mais dependente dos bens de consumos e processos industriais. Com a alta demanda, as plantas não podiam parar e assim viraram objetivos da manutenção na segunda geração a disponibilidade e vida útil dos equipamentos com custos baixos. O avanço das atividades relacionadas à manutenção trouxe pesquisa e desenvolvimento de novas técnicas como a manutenção preventiva, orientada para minimizar os impactos de falhas não previstas nos meios de produção. Na mesma linha de controle, surgiu, também, técnicas de manutenção preditivas com o avanço de processos de revisão e inspeção periódica de equipamentos. Todas essas técnicas eram complementares às da primeira geração. A terceira geração surgiu frente ao crescimento da automação na indústria a partir da década de 70, as técnicas

usadas até agora não conseguiam entregar o resultado necessário à indústria. O consumo em larga escala de produtos industrializados continuou crescendo, elevando mais ainda o nível de dependência da sociedade aos processos industriais. Esse crescimento exponencial trouxe questões como elevação dos custos com mão de obra e operação, mas principalmente, a prática de dimensionamento no limite de exigência dos processos impactou nas atividades de manutenção. Embora essa prática tenha como objetivo reduzir os custos relacionados à construção de um equipamento, ela aumenta a necessidade de inspeções e planejamento de manutenção para evitar paradas inesperadas ou falhas catastróficas. Nesse contexto, os efeitos da baixa disponibilidade se agravaram ainda mais pela adoção do sistema “just in time” no qual as empresas trabalham com estoques reduzidos e com uma linha de produção que trabalhava de acordo com a demanda do mercado. Nessa geração, o foco foi ainda maior em disponibilidade, confiabilidade, vida útil e além disso, o mercado exigia qualidade o que só seria entregue melhorando o controle do processo e garantindo que tudo o que saísse da linha de produção saísse igual e com garantia de desempenho. Esse ambiente gerou as condições necessárias para o surgimento da metodologia MCC.

2.2 Técnicas de Manutenção

A primeira técnica de manutenção foi a corretiva, presente na primeira geração. De acordo com a ABNT NBR 5462, 1994, a manutenção corretiva é a atividade realizada após a ocorrência de uma falha e tem como objetivo recolocar um item em condições de executar uma função requerida. Segundo, PEREIRA, 2011, esse tipo de técnica ainda é a forma mais comum para reparo de um equipamento. Embora pareça ser uma técnica ultrapassada e remeta a atividades não programadas e com alto custo de produção, mão de obra e ativo, a corretiva possui uma categoria planejada. Essa chamada de corretiva programada é caracterizada pela decisão estratégica de usar a corretiva em certos equipamentos, essa decisão exige estudos estatísticos de frequência de falha, custos e impactos na produção. Ainda de acordo com PEREIRA – 2011, em algumas situações a corretiva planejada pode ser aplicada, como em ativos de baixo custo operacional, em ativos que possuem um backup, em ativos que possuem operação mais rápida que as posteriores no processo, em ativos que não são gargalos, em ativos com alto índice de manutenibilidade e em ativos cuja mão de obra seja bem treinada para pronto reparo. Uma das técnicas que surgiu na segunda geração foi a manutenção preventiva, motivada pela necessidade de ter mais disponibilidade e confiabilidade, manter a linha funcionando plenamente era (e ainda é) vital para a empresa manter-se competitiva. Retomando a norma ABNT NBR 5462, 1994, a manutenção preventiva é efetuada em intervalos predeterminados ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou degradação do ativo. PEREIRA, 2011 sugere cinco etapas para a implementação da manutenção preventiva em uma organização como classificação dos ativos (com atenção especial à gestão de estoque), criação dos planos e instruções para a execução, cadastros e demais registros em software

de manutenção, definição dos itens de controle para monitorar o desempenho, criação do planejamento e controle da manutenção. O gestor de manutenção deve analisar e decidir quais ativos valem a pena usar a preventiva de acordo com o custo atrelado à essa prática (mão de obra, peças sobressalentes e equipamento parado). Outra técnica que surgiu na segunda geração foi a manutenção preditiva. Essa prática faz uso de testes e análises, utilizando-se meios de supervisão centralizados ou de amostragem para atuação, com o objetivo de reduzir ao máximo as manutenções preventivas e corretivas não programadas. Os testes mais comuns são a termografia e a análise de vibração, a primeira trata da frequência captada por câmeras termográficas que permitem visualizar a distribuição de calor em um equipamento ou componente (Figura 4), a segunda é pratica comum em sistemas rotativos e identifica desbalanceamentos de eixo, massas e rolamentos danificados.

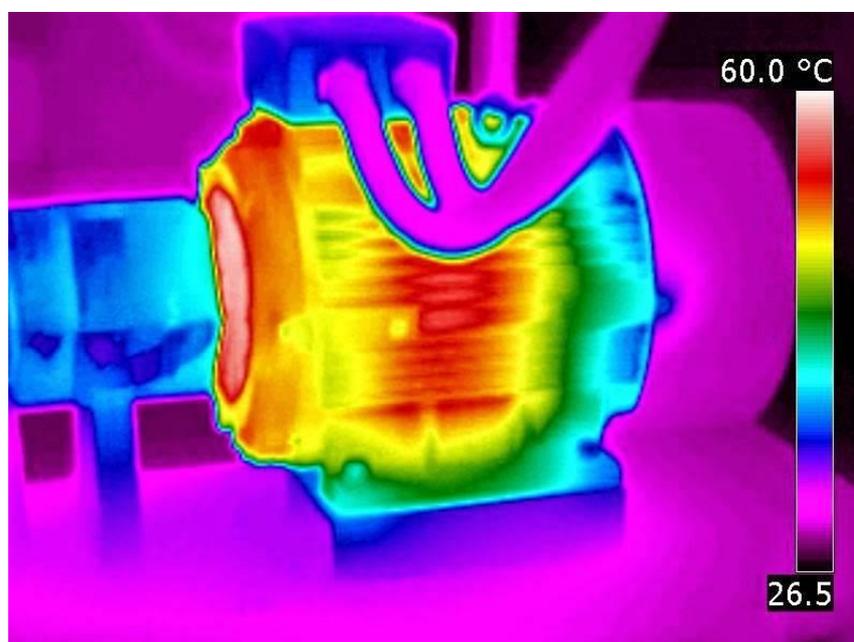


Figura 4 – Exemplo de análise termográfica (fonte: <http://www.tecnodaher.com.br/empresas-inspecao-termografica-sp.php>)

Na terceira geração, duas técnicas surgem em meio ao aumento de exigência de disponibilidade, qualidade e redução de custo. A primeira é a TPM (Figura 5), a teoria da manutenção produtiva total ou manutenção produtiva, um sistema baseado no respeito individual e na total participação dos empregados na rotina de manutenção. Por envolver uma mudança grande no paradigma cultural de uma organização, a decisão de implantar uma técnica como essa deve ser geral, envolvendo todos na busca de metas como defeito zero, estudos de disponibilidade, confiabilidade e lucratividade. Toda a metodologia é baseada na manutenção autônoma, envolvendo o operador na rotina de inspeção e pequenas intervenções; manutenção planejada, são as ações que serão tratadas de maneira preventiva pelo planejamento e controle da manutenção; controle inicial, o conhecimento inicial e prévio de um ativo com foco em prevenir a manutenção; melhoria específica,

ações com foco em melhoria contínua; educação e treinamento, é necessário capacitar toda a equipe de operação em conceitos básicos de manutenção; segurança e meio ambiente, foco de ações para obter “perda zero” e “zero defeito” e melhorias na redução de atos e condições inseguras e qualidade para atender às normas vigentes e à demanda do mercado. A segunda técnica que surgiu nessa geração é o tema deste trabalho e será abordada na próxima seção.

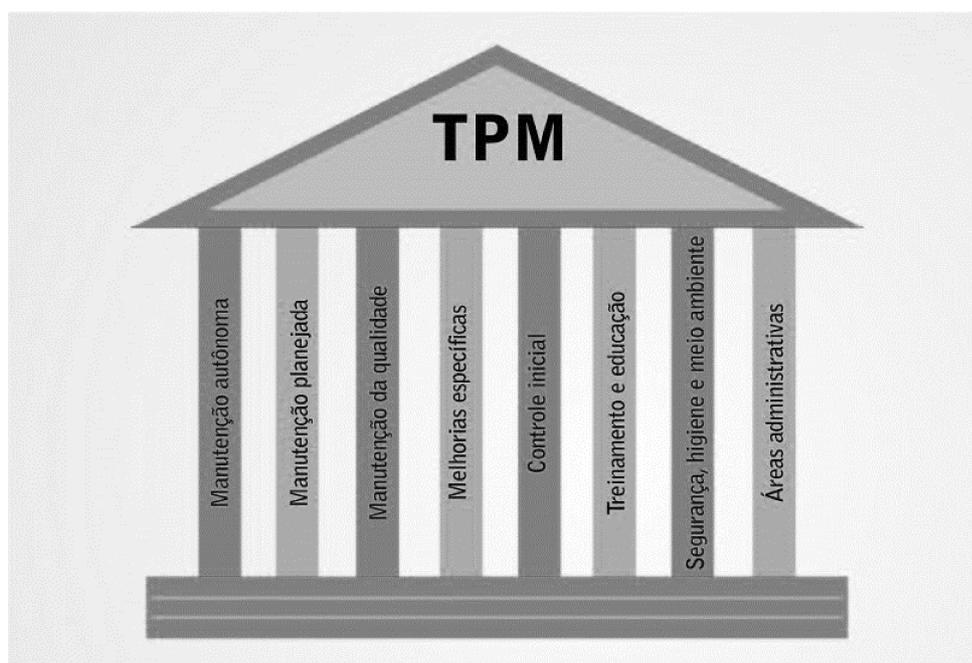


Figura 5 – Pilares da TPM (fonte: Adaptado de PEREIRA, 2011)

Em adição, ou melhor, a síntese de todas as técnicas é usada para compor a engenharia de manutenção. Essa técnica é uma quebra de paradigma uma vez que exige uma mudança cultural na organização. A engenharia de manutenção, de acordo com KARDEC e NASCIF, 2001, é deixar de ficar apenas consertando e procurar as causas básicas das falhas e atuar nelas, modificando situações permanentes de mau desempenho e problemas crônicos. Além disso, é melhorar padrões e sistemáticas, desenvolvendo a manutenibilidade e interferindo tecnicamente na cadeia de suprimentos. A engenharia de manutenção é buscar benchmarks mundiais e ter como meta colocar a empresa nos melhores níveis de manutenção.

2.3 Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)

De acordo com FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009, ainda no cenário da terceira geração da manutenção e durante o advento da economia globalizada, a demanda aumentou por produtos melhores e sistemas mais eficientes com custos competitivos. Nesse mesmo momento, surge a necessidade de reduzir a probabilidade de falhas por conta do aumento nos custos que elas geram ou mesmo falhas que impliquem em riscos à saúde e segurança dos

colaboradores, esse debate convergiu para o desenvolvimento do conceito de confiabilidade. A definição veio com LEEMIS, 1995 que diz que a confiabilidade de um item qualquer corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente a sua função especificada, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais predeterminadas. Além disso, a confiabilidade fica definida como uma função de tempo e para FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009, implica em cinco consequências:

1. Uma unidade de tempo, compatível com o estudo, deve ser definida;
2. O termo "tempo" não é aplicado literalmente, ele varia de acordo com o contexto, associado à uma unidade que remeta a um período de falha (horas, ciclos, milhas);
3. O valor da confiabilidade é sempre associado a um período de tempo, não faz sentido afirmar uma confiabilidade sem um tempo atrelado;
4. A unidade usada para falar sobre o tempo de vida de um equipamento qualquer varia de acordo com o equipamento, um carro usa "km", uma lâmpada usa "horas";
5. A confiabilidade está relacionada com as condições ambientais nas quais está inserido o item. Dessa forma, um mesmo equipamento pode apresentar desempenho distinto quando operado em diferentes temperaturas, pressão e umidade.

Por se tratar de uma técnica que demanda um alto investimento em capital humano e tecnológico (como softwares para gerenciamento de dados e análise desses dados) a MCC é recomendada para equipamentos críticos que possuem um alto custo de manutenção e cujo tempo parado impacte diretamente na produção. Dessa maneira, um investimento maior em manutenção resultaria em um menor custo de produção, como é visto na Figura 6.

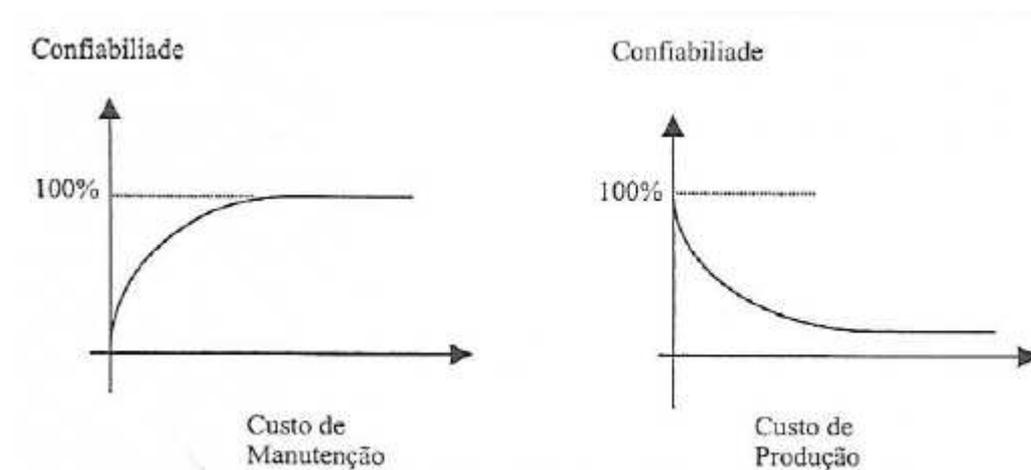


Figura 6 – Custos de manutenção e produção versus confiabilidade (fonte: KARDEC E NASCIF, 2001)

Quando fala-se em confiabilidade, alguns conceitos são diretamente associados como qualidade, disponibilidade, manutenibilidade e segurança. A qualidade é definida como a menor variabilidade possível durante execução das atividades. A disponibilidade é o tempo em que um equipamento está disponível para operar ou em condições de produzir. É necessário entender que o item não precisa necessariamente estar produzindo, ele deve estar disponível para tal atividade, a unidade de tempo possui dois estados, "funcionando" ou "em manutenção". Com isso é possível ter um valor médio de disponibilidade:

$$A(t) = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \quad (2.1)$$

- TMEF: Tempo médio entre falhas;
- TMER: Tempo médio entre reparos.

Definindo a disponibilidade estão dois indicadores mundialmente utilizados para caracterizar o estado das atividades de manutenção de uma empresa, o TMEF e TMPR. Tomando como T o tempo disponível para produção, t o tempo em manutenção de um equipamento e n o número de intervenções é possível ter um valor médio para esses indicadores:

$$TMEF = \frac{T1 + T2 + T3 + \dots + Tn}{n} \quad (2.2)$$

$$TMPR = \frac{t1 + t2 + t3 + \dots + tn}{n} \quad (2.3)$$

A manutenibilidade se resume à facilidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções quando submetido a procedimentos de manutenção padrão. A segurança é a ausência ou presença em níveis aceitáveis de condições que possam causar morte ou quase acidentes a pessoas e danos ou perdas ao equipamento.

O conceito de confiabilidade, trata de probabilidade de sobrevivência à falha do componente. Segundo FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009 existem algumas distribuições de probabilidade que são utilizadas para análise de confiabilidade, dentre elas a exponencial, gama, lognormal e a Weibull. Embora haja diversas opções, PEREIRA, 2011 afirma que a distribuição de Weibull é a mais utilizada, pois permite uma única função densidade para os três tipos de falha de um item (mortalidade prematura, período de vida útil e período de envelhecimento) com características aleatórias. Além disso, parâmetros significativos e uma representação gráfica simples e prática. Para utilização na manutenção, as fórmulas

da distribuição de Weibull foram adaptadas, tomando uma variável contínua T , com uma função densidade de probabilidade $f(t)$ definida por:

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_0^t f(u)du \quad (2.4)$$

$F(t)$ é a probabilidade de falha do item no intervalo $(0,t]$, segue então $f(t)$:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (2.5)$$

Para a probabilidade de falha:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.6)$$

- t : Tempo de funcionamento (número de horas em operação);
- γ : tempo até a falha inicial ou vida útil mínima;
- β : Fator de forma;
- η : Parâmetro de forma.

Para a função densidade de probabilidade:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} * \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} * e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.7)$$

A probabilidade de sobrevivência ou confiabilidade do equipamento é dada por:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.8)$$

Outro parâmetro dentro da análise de confiabilidade é a taxa de falha. Ela indica a probabilidade de ocorrência de falhas por unidade de tempo.

Taxa de falha:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} * \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (2.9)$$

Além disso, é possível obter o TMEF com a taxa de falha:

$$TMEF = \frac{1}{\lambda(t)} \quad (2.10)$$

Com a taxa de falha é possível obter o gráfico mais conhecido da manutenção, a "curva da banheira" o qual relaciona a taxa de falha com o tempo de operação do equipamento. Com essa curva, é possível entender mais sobre as fases de vida do equipamento (Figura 7). De acordo com KARDEC e NASCIF, 2011, tem-se:

1. Mortalidade infantil: Perda brusca de funcionalidade no início de vida. Essas falhas, normalmente, são introduzidas antes do período de operação em montagem ou mesmo problemas de qualidade de peças;
2. Período de vida útil: Etapa onde as falhas ocorrem de maneira aleatória (independem do tempo de utilização) e à uma taxa constante;
3. Período de desgaste ou envelhecimento: À medida que o equipamento envelhece, fica sujeito a falhas pelo processo natural de operação. Nesse período, a taxa de falha cresce vertiginosamente.



Figura 7 – Curva da banheira (fonte: PEREIRA, 2011)

Os termos usados nas fórmulas possuem um significado relevante para a distribuição. O γ significa vida útil mínima, remete ao desgaste típico antes da primeira falha, ou seja, a taxa de falha somente será diferente de zero e crescente após esse intervalo (Figura 8). Para a distribuição de Weibull com 3 parâmetros (3P Weibull), esse termo é diferente de zero. A 3P Weibull é recomendada em casos onde se analisa um período da vida, como é o caso desse estudo.

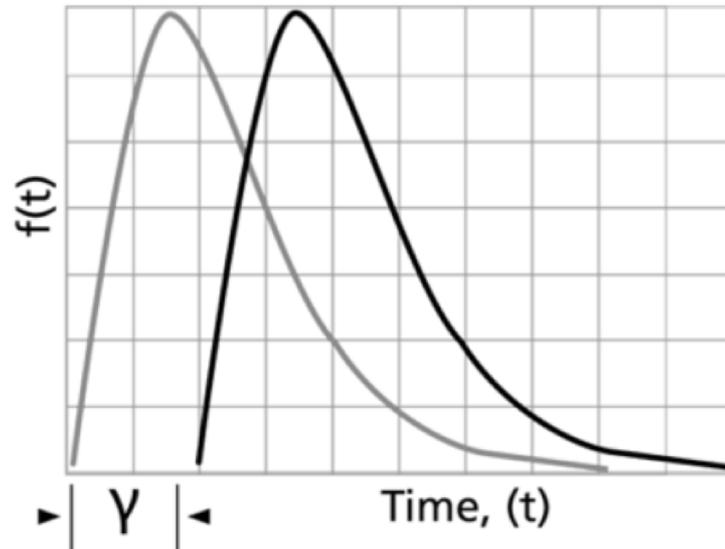


Figura 8 – Fator γ na curva de distribuição de probabilidade de Weibull (fonte: Adaptado de Life data analysis reference - ReliaSoft)

Já o parâmetro de forma η define a dimensão da abscissa e está relacionado com o tempo de vida característica (Figura 9).

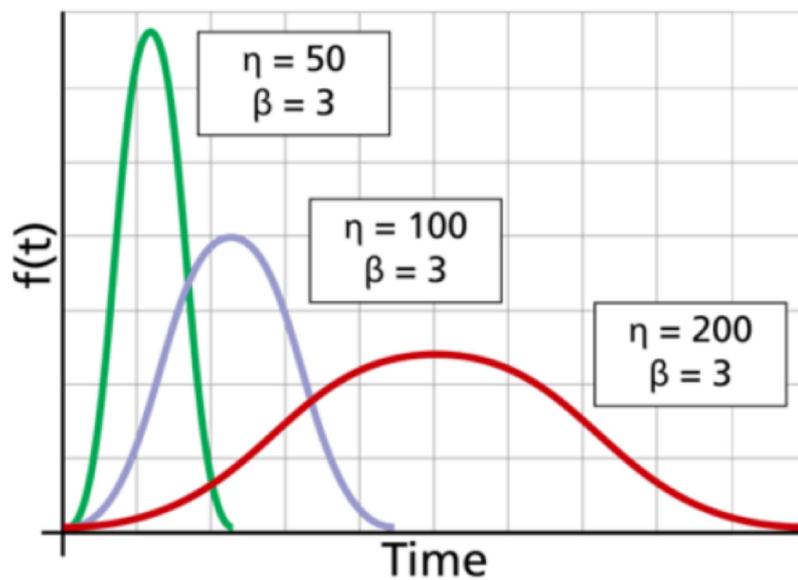


Figura 9 – Fator η na curva de distribuição de probabilidade de Weibull (fonte: Adaptado de Life data analysis reference - ReliaSoft)

Por fim, o fator de forma, β está associado à característica da falha em si, influencia tanto a taxa de falha explicitando em qual fase de vida se encontra o objeto de estudo (Figura 10).

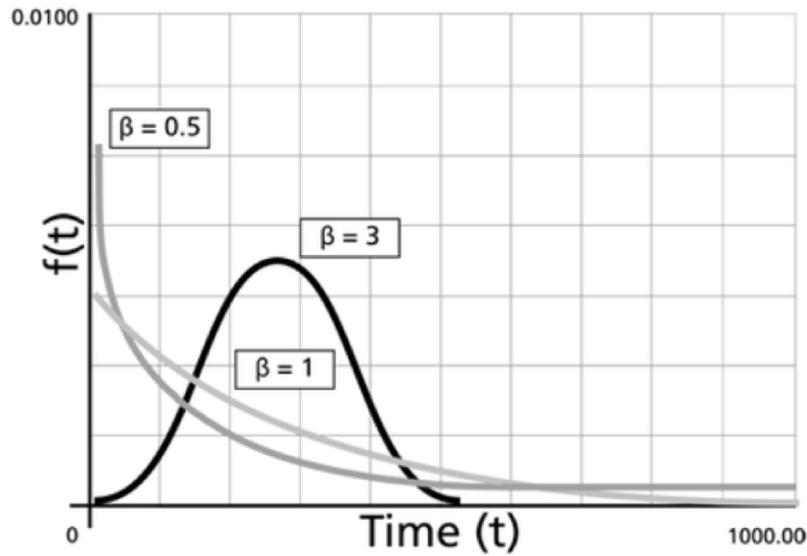


Figura 10 – Fator β na curva de distribuição de probabilidade de Weibull (fonte: Adaptado de Life data analysis reference - ReliaSoft)

Falhas típicas de início de vida (prematuras) leva à valores pequenos de β , menores que um. Quando o β apresenta valor igual a 1, a taxa de falha é constante e as falhas em si ocorrem de forma aleatória, caracterizando a fase de vida útil. Já valores maiores que um para β caracterizam uma fase de desgaste, envelhecimento. Além disso, quando maior que um, a taxa de falha é crescente e diretamente proporcional ao crescimento de β . Com esse fator, é possível definir qual técnica de manutenção é mais indicada de acordo com o diagrama da Figura 11.

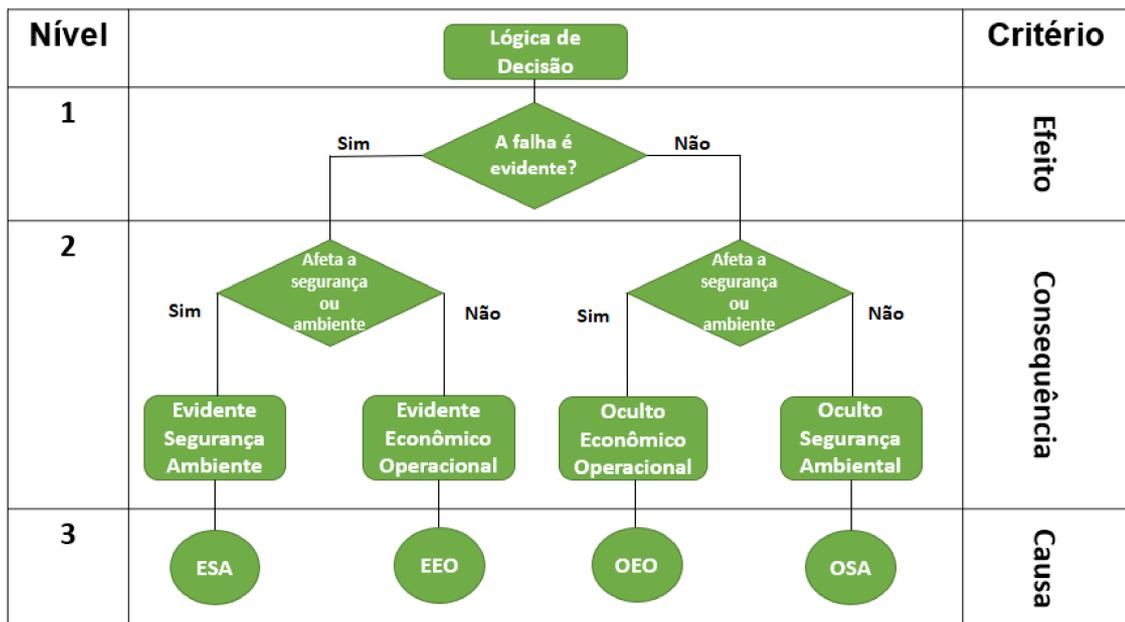


Figura 11 – Diagrama de Decisão em função de BETA (fonte: Adaptado de SIQUEIRA, 2009)

2.4 Análise de Falha

Para iniciar o trabalho, é necessário definir que uma falha consiste na interrupção ou modificação da capacidade de um item desempenhar sua função. De acordo com KARDEC e NASCIF, 2001, a falha pode ser definida como a incapacidade total ou parcial de um item exercer suas funções de forma a satisfazer um padrão de desempenho pré-determinado. Essas falhas podem representar uma interrupção da produção, uma operação instável, uma queda na produtividade, a deterioração ou perda de qualidade no produto final e, finalmente, a perda da função de comando ou proteção.

Existem diversas maneiras de classificar falhas de acordo com a origem, extensão, velocidade, manifestação, criticidade ou tempo. A Norma NBR 5462, 1994, classifica as falhas em quatro tipos: graduais, parciais, por defeito ou completas. As falhas graduais são aquelas que poderiam ter sido detectadas com testes ou inspeções prévias. As falhas parciais são desvios das características do item do que é estabelecido como ideal, mas não resulta em perda de função. Já os defeitos, são falhas graduais e parciais que ao longo do tempo podem tornar-se completas. Por fim, as falhas completas acontecem quando o item perde a capacidade de executar suas funções totalmente. Para o estudo da MCC, a classificação de falhas funciona de maneira simples, duas classificações e 3 subclassificações. De acordo com a metodologia, uma falha pode ser Funcional ou Potencial, tal que a primeira é definida pela incapacidade de um sistema executar suas funções e a segunda é definida como uma condição identificável e mensurável que indica uma falha funcional em processo.



Figura 3 - A origem da quebra (falha visível)
Fonte: Yamaguchi (2005)

Figura 12 – A origem da falha (fonte: YAMAGUCHI, 2009)

Simplificando, uma análise de óleo com nível de contaminação crítico é uma falha potencial enquanto a parada do equipamento por obstrução de válvulas ou vazamento é uma falha funcional. Dentro da falha funcional, existem mais três classificações, falha evidente, falha oculta e falha múltipla. A falha evidente só é detectada durante o funcionamento do

equipamento, a falha oculta não é possível de detectar durante operação normal e a falha múltipla é uma combinação de uma falha oculta com uma segunda falha ou evento que a torne evidente. Um intervalo importante nesse contexto é o chamando PF, intervalo entre a falha potencial e a falha funcional.

Após o entendimento sobre falhas, o próximo passo é entender como elas ocorrem, ou seja, os modos de falha. Segundo as normas SAE JA1011, 2009, modos de falha são eventos ou condições que causem uma falha ou um estado de falha para uma dada função. O modo descreve uma condição de desgaste ou evento que podem provocar a perda de função do equipamento (Figura 13). É necessário ter bem claro que o modo de falha descreve o que está errado na funcionalidade e a causa descreve o porquê da falha.

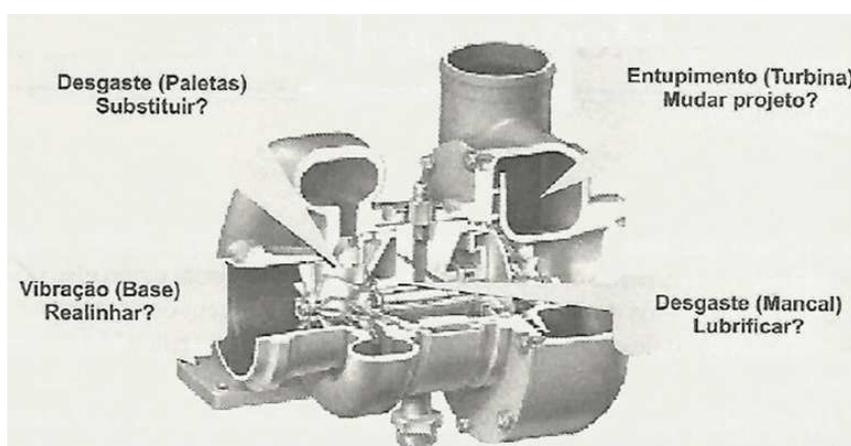


Figura 13 – Exemplos de modos de falha (fonte: SIQUEIRA, 2009)

Após o modo de falha, tem-se o efeito. De acordo com SIQUEIRA, 2009, para a metodologia da MCC, o efeito é o que acontece após um modo de falha. Portanto, a Manutenção Centrada na Confiabilidade baseia, também, sua escolha de atividades de manutenção de acordo com os efeitos adversos decorrentes das falhas, nas consequências sobre a instalação, usuários e meio ambiente. Para isso é preciso descrever o efeito de forma que seja possível avaliar suas consequências, o autor sugere alguns tópicos:

1. Evidência da falha: como o efeito é observado;
2. Impacto na segurança: o risco do efeito para as pessoas envolvidas;
3. Impacto ambiental: danos causados pelo efeito ao meio ambiente;
4. Reflexo operacional: como o efeito afeta o nível de produção;
5. Resultado econômico: impacto financeiro gerado pelo efeito;
6. Formas de reparo: formas de retornar à função após a falha;

7. Características compensatórias: possuem objetivo de reduzir o efeito.

Em seguida, os efeitos devem ser classificados quanto à sua detectabilidade (Tabela 2), severidade (Tabela 3) e frequência (Tabela 4). Por fim, utilizando a matriz de risco (Tabela 5) é possível encontrar conceitos para os efeitos (Tabela 6). Para a metodologia MCC, apenas modos de falha com efeitos "Inaceitável" e "Intolerável" devem ser levados adiante para análise.

Tabela 2 – Tabela de detectabilidade para efeitos (fonte: Adaptado de SIQUEIRA-2009)

Nível	Detectabilidade	Descrição
1	Fácil	Falha detectável por procedimento operacional
2	Razoável	Falha detectável por inspeção operacional
3	Difícil	Falha detectável por ensaio funcional
4	Muito difícil	Falha detectável apenas por desligamento
5	Impossível	Falha totalmente oculta

Tabela 3 – Tabela de severidade para efeitos (fonte: Adaptado de SIQUEIRA-2009)

Categoria	Severidade	Valor	Dano		
			Ambiental	Pessoal	Econômico
I	Catastrófico	5	Grande	Mortal	Total
II	Crítico	4	Significante	Grave	Parcial
III	Marginal	3	Leve	Leve	Leve
IV	Mínimo	2	Aceitável	Insignificante	Aceitável
V	Insignificante	1	Inexistente	Inexistente	Inexistente

De acordo com PEREIRA, 2011, a ocorrência de falhas vem sendo estudada desde a década de 60. Contudo, a prática de análise de falhas e confiabilidade passou a ser implantada nos segmentos industriais só a partir dos anos 80. A análise de falha acompanha a análise de confiabilidade de disponibilidade, uma vez que é papel da engenharia da manutenção implantar atividades periódicas preventivas baseadas dados estatísticos do equipamento. Ainda segundo o autor, uma das principais formas de iniciar uma análise de falha é utilizando gráficos de Pareto.

A utilização do gráfico de Pareto na Engenharia da Manutenção é aplicável para análise da comparação dos tipos de falha versus número de ocorrência. O princípio de Pareto afirma que a maior parte de um resultado é devida a uma parcela mínima de fatores, dentre os muitos que o influenciam. Na composição do gráfico, as barras indicam

Tabela 4 – Tabela de frequência para efeitos (fonte: Adaptado de SIQUEIRA-2009)

Frequência	Descrição	Exemplo
Frequente	Esperado ocorrer frequentemente Falha ocorrerá continuamente	$\geq 10^{-1}/ano$
Provável	Ocorrerá várias vezes Falha ocorrerá com frequência	$< 10^{-1}/ano$ $\geq 10^{-2}/ano$
Ocasional	Possível ocorrer várias vezes Falha esperada ocorrer ocasionalmente	$< 10^{-2}/ano$ $\geq 10^{-3}/ano$
Remoto	Esperado ocorrer algumas vezes Falha razoavelmente esperada	$< 10^{-3}/ano$ $\geq 10^{-4}/ano$
Improvável	Possível de ocorrer, mas improvável Falha ocorrerá excepcionalmente	$< 10^{-4}/ano$ $\geq 10^{-5}/ano$
Inacreditável	Essencialmente inesperada de ocorrer Falha praticamente não ocorrerá	$< 10^{-5}/ano$

Tabela 5 – Matriz de efeitos (fonte: Adaptado de SIQUEIRA-2009)

Severidade	Insignificante	Mínima	Marginal	Crítica	Catastrófica
Frequência					
Frequente	Indesejável	Indesejável	Intolerável	Intolerável	Intolerável
Provável	Tolerável	Indesejável	Indesejável	Intolerável	Intolerável
Ocasional	Tolerável	Tolerável	Indesejável	Indesejável	Intolerável
Remoto	Desprezível	Desprezível	Tolerável	Indesejável	Indesejável
Improvável	Desprezível	Desprezível	Desprezível	Tolerável	Tolerável
Inacreditável	Desprezível	Desprezível	Desprezível	Desprezível	Desprezível

a frequência de ocorrência de maneira decrescente e uma linha cumulativa de percentuais de participação no todo atravessa essas colunas (Figura 14). Esse tipo de ferramenta surge como uma forma gráfica de identificar os itens responsáveis pela maior parcela de perdas e o princípio ainda sugere que os recursos sejam concentrados nas principais parcelas de perdas (20%) e que com isso os resultados serão significativos (80% de eliminação de perda).

Tabela 6 – Tabela de conceitos para efeitos (fonte: Adaptado de SIQUEIRA-2009)

Aceitabilidade	Descrição	Ação
Intolerável	Inaceitável	Deve ser eliminado
Indesejável	Impraticável reduzir	Exige aprovação
Tolerável	Permite controle adicional	Exige aprovação
Desprezível	Permite controle adicional	Não exige aprovação



Figura 14 – Exemplo de Gráfico de Pareto (fonte: PEREIRA, 2009)

Após a identificação do sistema e do modo de falha mais comum, é necessário analisar os efeitos desse modo. Uma ferramenta muito comum é a árvore de falha. Caracterizada pela análise "top-down" que inicia pela identificação de um evento indesejável (falha) ou evento de topo e seguido pela determinação de todas as maneiras possíveis de ela ocorrer. Esse tipo de ferramenta é indicada para fases pós-projeto, onde não é possível realizar modificações de projeto. De acordo com FOGLIATTO, 2009, a análise de árvore de falha é um diagrama lógico que representa as combinações de falhas entre os componentes que provocam uma determinada falha em um sistema global. A árvore é iniciada pelo evento de topo, seguindo para baixo com as possíveis causas para ele, até chegar-se à um evento raiz. O modelo lógico que traduz essas conexões é demonstrado na Figura 15. Para os operadores lógicos existe a diferença entre "E" e "OU". O primeiro indica uma dependência completa, ou seja, todos eventos devem acontecer para que a saída seja possível, o segundo indica uma dependência parcial, ou seja, um dos eventos deve acontecer para que a saída seja possível.

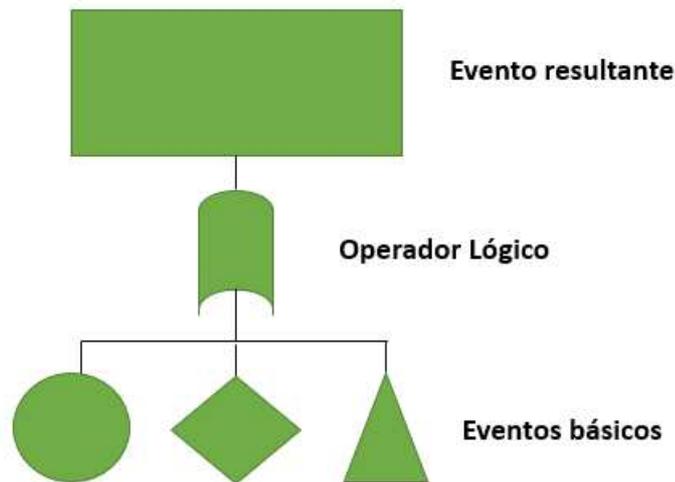


Figura 15 – Trecho demonstrativo de uma árvore de falha(fonte: Adaptado de FOGLIATTO, 2009)

2.5 Escavadeira hidráulica - Sistema hidráulico

A empresa U&M Mineração e Construção usa escavadeiras hidráulicas de grande porte do tipo "backhoe" para movimentação de solo mineral no estado de Goiás. Para movimentar o material que é escavado em taludes, a máquina usa a concha ou caçamba. A concha é conectada ao semi-braço e este ao braço da máquina, as conexões são feitas através de pinos, esse conjunto é denominado 'implemento frontal' (Figura 16) e é conectado ao carro superior da máquina que possui ainda um carro inferior.

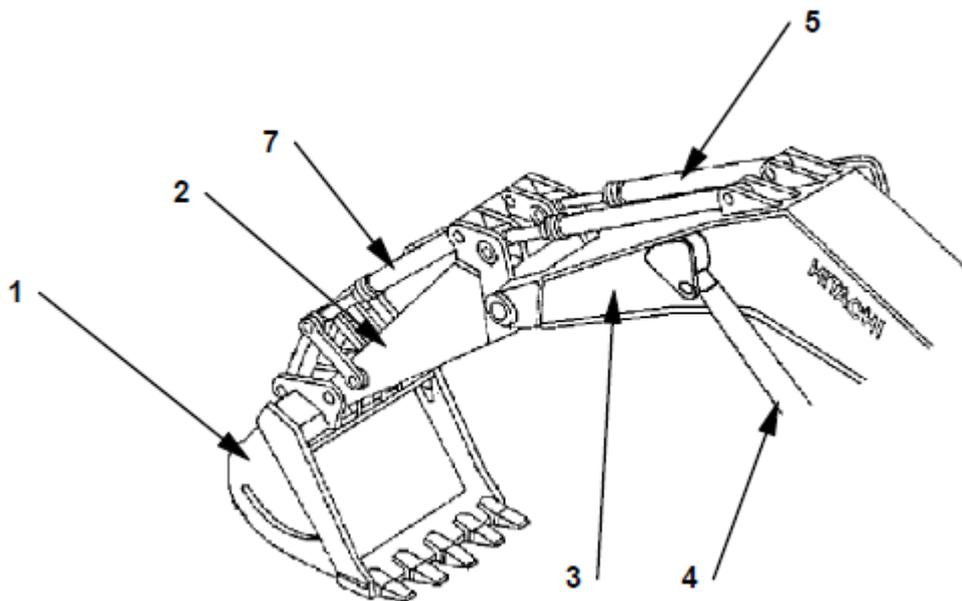


Figura 16 – Implemento Frontal: (1) Concha, (2) Semi-braço, (3) Braço, (4) Cilindro do braço, (5) Cilindro do semi-braço, (6) Cilindro de concha (fonte: Manual de princípios operacionais do equipamento)

A locomoção do equipamento entre as frentes de trabalho e ao longo da bancada para lavrar inicia-se com dois motores hidráulicos de translação. Esses motores transmitem torque para um comando final que é instalado junto à uma roda dentada que movimenta a esteira do carro inferior. As esteiras são compostas por placas metálicas, chamadas de sapatas, conectadas por pinos que permitem a articulação da esteira no "truck"(Figura 17).

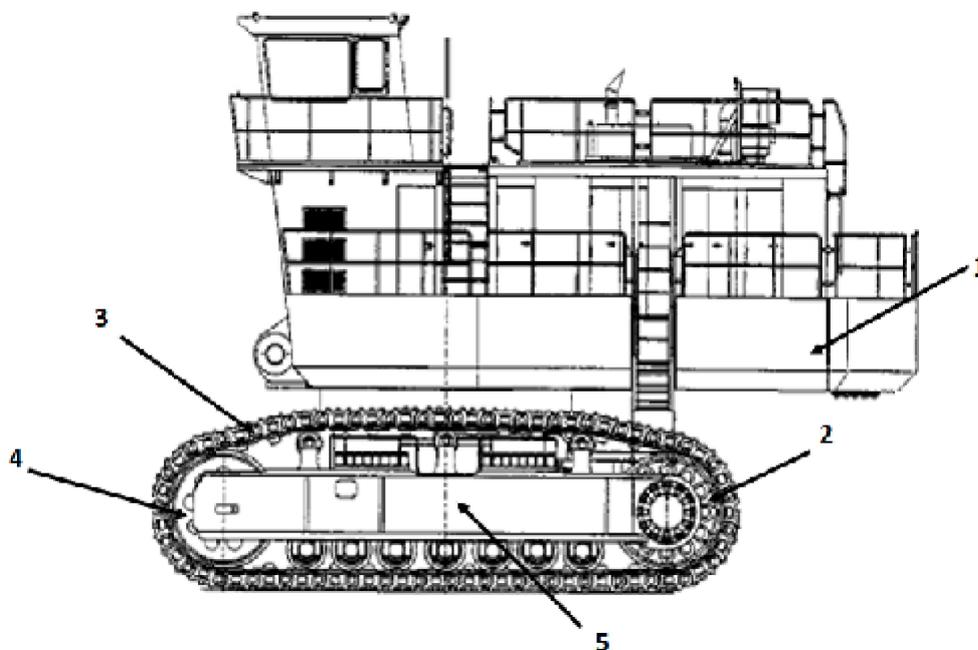


Figura 17 – (1) Carro Superior, (2) Roda motriz, (3) Esteira, (4) Roda movida, (5) Truck (fonte: Manual de princípios operacionais do equipamento)

O funcionamento da máquina é feito por dois motores diesel, o torque dos motores vai para uma redução por engrenagens que tocam um conjunto de bombas hidráulicas. Essas bombas impulsionam o fluido hidráulico para dois comandos de válvulas que controlam a passagem desse para os motores hidráulicos e cilindros. O retorno desse fluido passa pelo comando de válvula, em seguida pelo radiador e termina no tanque e de lá o ciclo é reiniciado. Em adição, a linha do sistema hidráulico é composta por tubulações de aço e mangueiras hidráulicas. O funcionamento da máquina gira em torno do sistema hidráulico, então sua movimentação de rotação, translação e movimentos do implemento são feitos através do trabalho realizado por componentes hidráulicos do sistema (Figura 18).

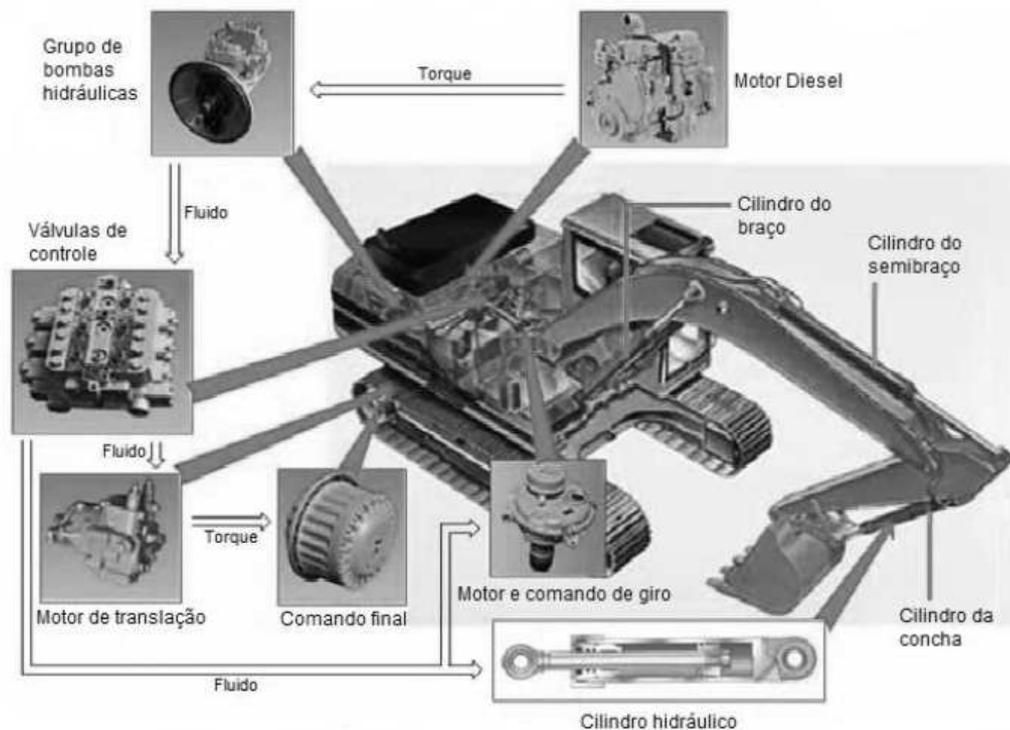


Figura 18 – Funcionamento de uma escavadeira hidráulica do tipo backhoe (fonte: OLIVEIRA, 2016)

2.6 Análise de óleo de sistema hidráulico

A ISO 4406 define um método para codificação do nível de contaminação por partículas sólidas de um sistema hidráulico. Ela trabalha com três referências de tamanho de partícula: $4\ \mu\text{m}$, $6\ \mu\text{m}$ e $14\ \mu\text{m}$. Essas referências foram definidas com base em falhas de sistemas hidráulicos onde falhas catastróficas se dão por conta de partículas grandes (com $14\ \mu\text{m}$ ou mais), já falhas graduais e lentas ocorrem por conta de partículas menores ($4\ \mu\text{m}$ a $6\ \mu\text{m}$). O código é composto por três números de escala (X/X/X).

- Primeiro número: representa o número de partículas maiores ou iguais a $4\ \mu\text{m}$ por ml;
- Segundo número: representa o número de partículas maiores ou iguais a $6\ \mu\text{m}$ por ml;
- Terceiro número: representa o número de partículas maiores ou iguais a $14\ \mu\text{m}$ por ml.

A Tabela 7 informa como esses números são determinados com base na concentração de partículas por ml.

Tabela 7 – Atribuição de números de escala (fonte: Adaptado da norma ISO 4406 - 1999)

Quadro 1. Atribuição de Números de Escala		
Nº de Partículas por mililitro (ml)		Nº da Escala ISO
Mais de	Até (inclusive)	
2.500.000		> 28
1.300.000	2.500.000	28
640.000	1.300.000	27
320.000	640.000	26
160.000	320.000	25
80.000	160.000	24
40.000	80.000	23
20.000	40.000	22
10.000	20.000	21
5.000	10.000	20
2.500	5.000	19
1.300	2.500	18
640	1.300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2,5	5	9
1,3	2,5	8
0,64	1,3	7
0,32	0,64	6
0,16	0,32	5
0,08	0,16	4
0,04	0,08	3
0,02	0,04	2
0,01	0,02	1
0	0,01	0

Além disso, a norma possui um guia de contaminação que orienta quanto à situação do óleo de acordo com o código encontrado após análise (Tabela 8).

Tabela 8 – Guia de contaminação (fonte: Adaptado da norma ISO 4406 - 1999)

Quadro 3. Guia de contaminação de fluidos para sistemas	
Código ISO	Nível de limpeza desejado para componentes
14/12/10	Óleo muito limpo, melhor para todos os sistemas hidráulicos.
16/14/11	Óleo limpo, uma necessidade absoluta para servos e hidráulica de alta pressão.
17/15/12	Óleo com baixa contaminação, hidráulica padrão e sistemas de lubrificação.
19/17/14	Óleo novo, para sistemas de média e baixa pressão.
22/20/17	Óleo muito contaminado, inadequado para sistemas hidráulicos.

A Figura 19 apresenta uma ampliação de amostra de fluido hidráulico adaptado do white paper da Parker para as normas ISO 4406 e NAS 1638. É possível verificar a diferença do fluido entre um código e outro na Figura 19.

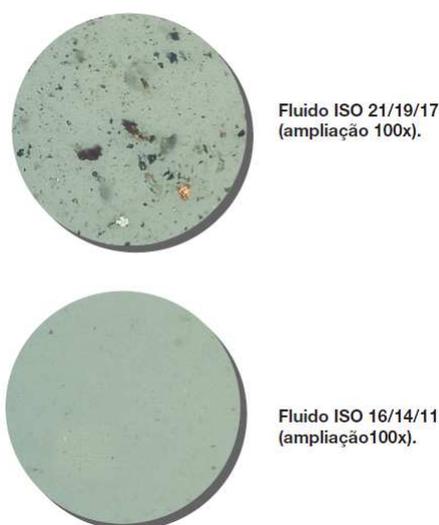


Figura 19 – Amostras ampliadas de fluido hidráulico (fonte: Normas e Padrões (ISO 4406 e NAS 1638) no Controle da Contaminação - White paper Parker)

2.7 Mangueiras hidráulicas

A norma SAE J1273 (Recommended practices for hydraulic hose assemblies) é um guia para a seleção, fabricação, instalação, troca, armazenamento e manutenção de mangueiras hidráulicas. É necessário estar muito atento na seleção de mangueiras hidráulicas para a temperatura e pressão de trabalho, uma vez que exposição longa ou curta à excessos de temperatura ou pressão reduzem de forma significativa a vida útil das mangueiras. Para a montagem das mangueiras, a norma recomenda que sejam evitadas quinas, contato mangueira - mangueira como segue na Figura 20.

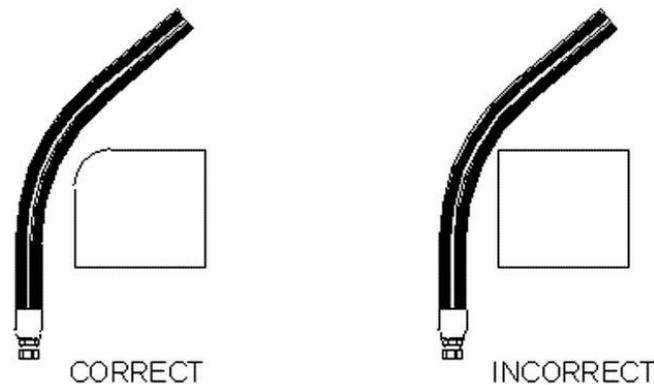


Figura 20 – Prevenção à danos externos (fonte: SAE J1273 - 2004)

Além disso, a norma recomenda evitar algumas práticas de montagem que aumentam as tensões acumuladas ao longo da mangueira e reduzem sua vida útil como cargas tensionadoras, cargas laterais, esmagamento, danos à trama, torção e danos aos anéis de vedação. O raio mínimo de curvatura também é um item que deve ser levado em consideração, a montagem com raio menor que esse resultam em vazamentos, rupturas e até mesmo em rompimento completo de tramas e borracha (Figura 21).

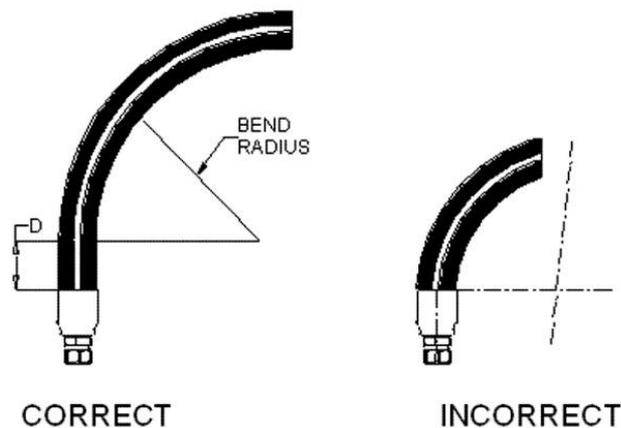


Figura 21 – Raio mínimo de curvatura - verificação (fonte: SAE J1273 - 2004)

O comprimento da mangueira também é abordado. Mangueiras excessivamente longas causa queda de pressão na linha, afetando a performance do sistema. Por outro

lado, mangueiras excessivamente curtas podem desprender-se das conexões ou tensioná-las acarretando falha na conexão ou vedação. Segue algumas práticas para definição de comprimentos corretos e incorretos.

- Mangueira com movimentação: deve-se definir um comprimento que permite o movimento sem tensionar a mangueira ou raio de curvatura inferior ao mínimo (Figura 22);

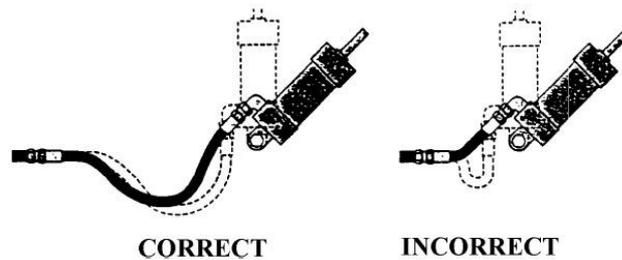


Figura 22 – Mangueira com movimentação, correto e incorreto (fonte: SAE J1273 - 2004)

- Tolerâncias de mangueira e máquina: o comprimento definido deve atender às tolerâncias da máquina, permitindo aplicação em todo o intervalo definido (Figura 23);

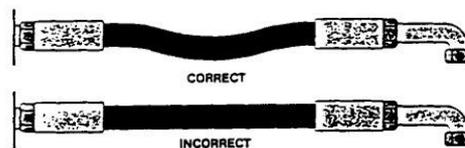


Figura 23 – Comprimento dentro da tolerância da máquina, correto e incorreto (fonte: SAE J1273 - 2004)

- Variação do comprimento da mangueira devido à pressão: o comprimento da mangueira deve ser o suficiente para acomodar variações que ocorrem devido à pressurização da linha (Figura 24).

As mangueiras permitem movimento relativo entre componentes e nesses movimentos com cargas cíclicas podem causar fadiga em sua estrutura. Práticas normatizadas devem ser usadas para reduzir esse efeito.

Por ter sua cobertura composta por borracha, que é um produto perecível, pode perder qualidade se armazenada por muito tempo e esse desgaste natural pode ser intensificado caso as condições ambientais sejam secas e com excesso de poeira. Mangueiras se bem armazenadas possuem validade entre 8 a 10 anos, por conta disso a norma sugere um controle de estoque FIFO (First in, first out) onde os primeiros itens que entram são

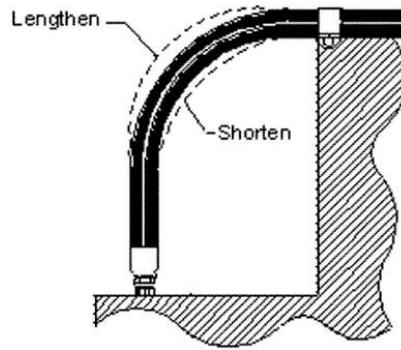


Figura 24 – Comprimento extra para pressurização (fonte: SAE J1273 - 2004)

os primeiros a sair, além de um controle da validade com descarte do que for vencendo. Além do armazenamento, é necessário uma breve inspeção antes de aplicar a mangueira verificando limpeza, coberturas soltas, tamanho, obstruções internas, defeitos visíveis, bolhas, rebarbas, cortes ou entalhes. Além da condição da cobertura, é necessário verificar as conexões, comprimento. Em adição, deve-se realizar alguns testes em caso de dúvida quanto a integridade da mangueira.

Teste de mangueira para aplicação:

- Flexiona-se a mangueira até seu raio mínimo de curvatura e compare com uma nova. Em seguida, examine a cobertura em busca de fissuras. Caso haja alguma, não importando o quão pequena, deve-se descartar a mangueira;
- Se a mangueira possuir trama em aço e estiver rígida ou se ouvir um estalo durante o teste de flexão manual, verifique se há ferrugem cortando uma seção da cobertura como amostra. Em caso positivo para ferrugem, a mangueira deve ser descartada.

A norma sugere, também, uma inspeção visual e do sistema hidráulico que engloba mangueiras, conexões e o fluido. Nessa inspeção deve-se verificar pontos de vazamento na mangueira e conexões, danos à cobertura (desprendimento, cortes, entalhes), excesso de sujeira na cobertura e conexões e análise de contaminação do fluido.

3 METODOLOGIA

Neste estudo, foi aplicada a metodologia de manutenção centrada na confiabilidade em um equipamento crítico na cadeia produtiva da empresa U&M Mineração e Construção. Para isso foi utilizado o histórico de intervenções do período de um ano (de janeiro de 2018 até janeiro de 2019), em seguida esses dados foram depurados e analisados para obtenção da falha mais crítica e com a hora de máquina parada mais cara. Essa falha será estudada e ações serão propostas e comparadas com o que já é feito pela empresa atualmente (atividade e periodicidade). Os dados de falha serão utilizados para levantamento de confiabilidade e taxa de falha com o software Weibull++ da Reliasoft e irão compor o material utilizado para proposta de ações. Quanto mais assertiva as atividades de manutenção, menor o seu custo. Além disso, quando a uma falha é acompanhada, sua intervenção é programada reduzindo surpresas e altos custos com suprimentos e logística emergencial, além do tempo de máquina parada e perda de produção. Esse trabalho é feito com base na metodologia proposta por SIQUEIRA, 2009 (Figura 25). Serão 6 etapas:

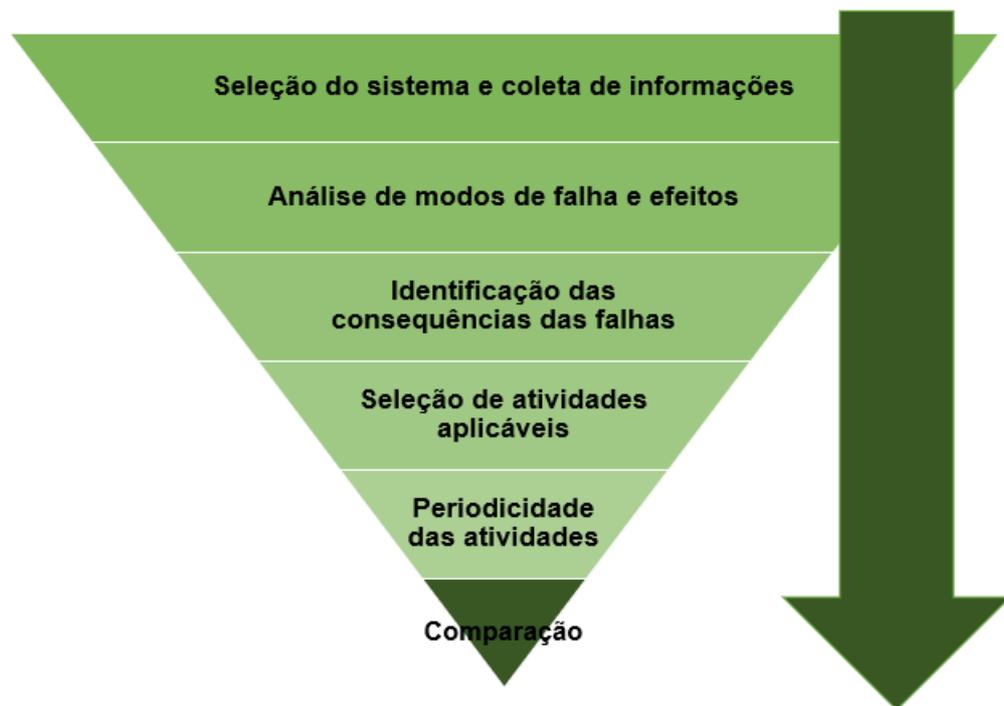


Figura 25 – Fluxograma da metodologia adotada (fonte: Autora)

1. Seleção do sistema e coleta de informações

Identificar e documentar o sistema que será analisado. Nessa primeira etapa é necessário buscar o histórico do equipamento por um período determinado que seja de interesse da corporação, esse intervalo é relacionado com a programação da manutenção e levantamento de recursos (peças, mão de obra, infraestrutura). Em seguida os dados são depurados, removendo as inspeções, preventivas e segregando

as intervenções por sistema. O sistema que apresentar falhas mais frequentes e alto custo no período estudado deve seguir para as próximas etapas.

2. Análise de modos de falha e efeitos

Identificar e documentar os modos de falha e efeitos. Nessa segunda etapa, o sistema crítico deve ter suas intervenções analisadas e segregadas de acordo com os principais componentes e seus respectivos modos de falha. Com isso é possível selecionar as falhas mais frequentes e caras. Em seguida, os efeitos dessas falhas são mapeados, pois serão utilizados para seleção do tipo de atividade de manutenção.

3. Identificação das consequências das falhas

Determinar se as falhas selecionadas têm efeito significativo, levando em conta os impactos nos aspectos pilares da MCC: segurança, meio ambiente, operação e economia do processo.

4. Seleção de atividades aplicáveis

Determinar tarefas de manutenção preventiva que sejam tecnicamente aplicáveis, para prever ou corrigir cada modo de falha ou mesmo amenizar suas consequências. Nessa etapa, com as análises dos efeitos é possível selecionar atividades de manutenção para as falhas em questão, sejam do tipo serviço operacional, preditiva, preventiva ou mesmo corretiva.

5. Definição de periodicidade das atividades

Definir estratégia para determinar como serão aplicadas as tarefas. Com os dados do histórico das falhas em mãos, utilizando o benchmark de confiabilidade é definido o intervalo PF como comentado na fundamentação teórica e com ele defini-se a periodicidade da atividade proposta na etapa anterior.

6. Comparação das tarefas do plano já existente com o que foi proposto.

Nessa última etapa é feito uma comparação do que foi proposto com o que é realizado hoje na U&M Mineração e Construção. Esse comparativo aborda as atividades e a periodicidade delas, uma que isto impacta diretamente em custo e mão de obra necessária na operação.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 Seleção do sistema e coleta de informações

Segundo definição de SIQUEIRA, 2009, sistema é o conjunto de elementos materiais ou ideias entre os quais se possa encontrar ou definir alguma relação. A escavadeira hidráulica em estudo (Figura 26), foi dividida em 6 sistemas:

- Elétrico

Sistema que possibilita funcionar os motores diesel, operar o equipamento e saber como estão as condições de operação. Com o uso de três circuitos, o principal, o de controle e o de monitoramento. O principal trata dos motores e circuitos que acompanham o mesmo como os responsáveis pela pré-lubrificação do motor, partida a frio, carregamento de bateria e componentes elétricos, OFF do motor, proteção dos componentes elétricos de sobrecarga e shutdown de emergência. O circuito de controle trata da operação do equipamento através da interface entre os controles da cabine e válvulas solenoides que contraolam a direção do fluxo e por consequência os movimentos do equipamento. Por fim, o circuito de monitoramento trata dos sensores e da interface dessas informações com a cabine.

- Estrutura

Sistema que engloba a estrutura de sustentação do equipamento como o main frame, escada, carro inferior, truck, braço e semi-braço. Além disso, considerou-se estrutura, também, a concha, materiais para desgaste e o material rodante do equipamento que consiste em esteira, rodas guia, roda motriz e roletes.

- Hidráulico

Sistema que engloba o funcionamento hidráulico do equipamento, desde movimentação de translação e rotação até os movimentos de escavação e descarga do minério. Para isso, é dividido em circuito piloto, circuito principal, circuito de refrigeração da transmissão, circuito do compressor, lubrificação com graxa, circuito de absorção de choques e o circuito de emergência. Nesses circuitos estão presentes mangueiras, tubulações, comandos de válvulas, motores hidráulicos, bombas, cilindros, filtros, radiadores, propulsoras de graxa, bujões e drenos.

- Motor diesel

O motor diesel será como um sistema por conta do alto valor de aquisição e manutenção. Nesse sistema estão o motor, o tanque de combustível, radiador de fluido de arrefecimento e de combustível.

- Ar condicionado

Esse sistema engloba toda a linha de fluido e os componentes de um sistema de refrigeração como compressor, evaporador, condensador, válvulas, acumuladores e outros.

- AFEX (SISTEMAS DE SUPRESSÃO DE INCÊNDIO PARA EQUIPAMENTOS MÓVEIS)

Esse sistema é obrigatório para a operação da escavadeira em área de mina (Figura 26). É um sistema de combate à incêndio com bocais em locais estratégicos para controlar qualquer foco de incêndio antes que se propague.



Figura 26 – Equipamento em operação em Goiás (fonte:U&M Mineração e Construção SA)

Para selecionar o sistema que será abordado no estudo foi feita uma análise dos dados de manutenção de um intervalo de um ano. Inicialmente, as intervenções foram depuradas, explicitando os planos de preventiva e inspeções. Em seguida, os dados foram classificados dentro dos sistemas citados acima e os valores para cada sistema foram estimados com base no que foi apontado nas intervenções (APÊNDICE A). Por fim, foram montados dois gráficos de Pareto (Figuras 27 e 28), um para quantidade e outro para valor em real.

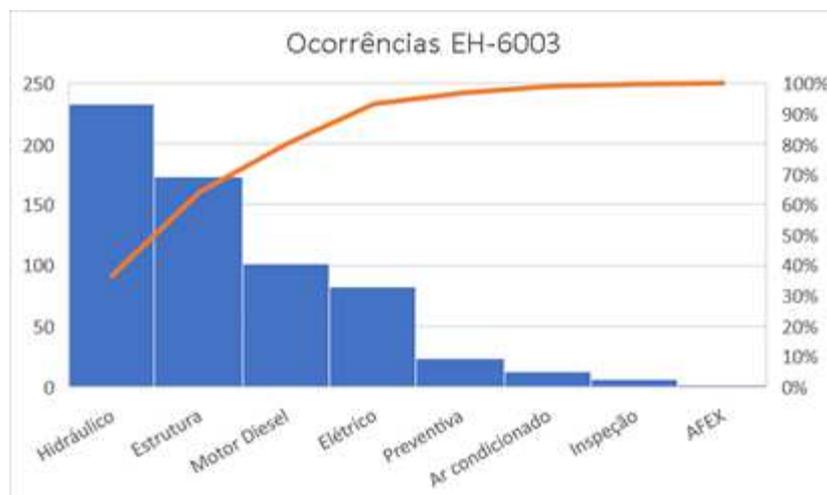


Figura 27 – Gráfico de Pareto com ocorrências em cada sistema do equipamento (fonte: autora)

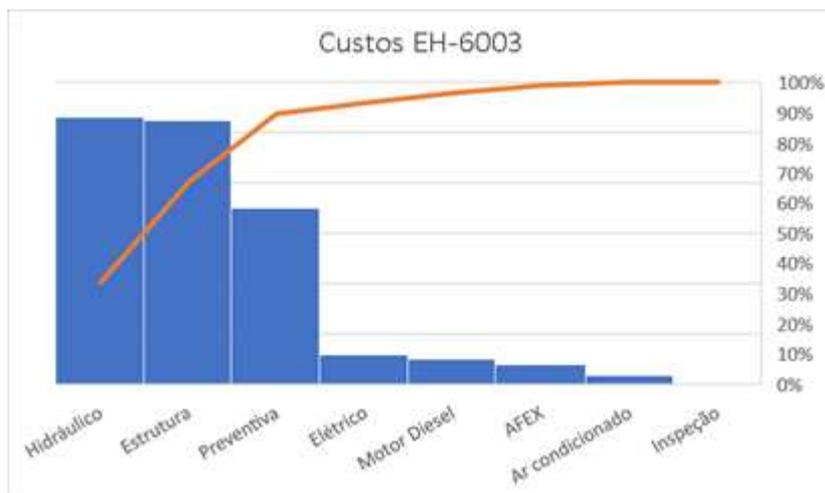


Figura 28 – Gráfico de Pareto com os custos de manutenção de cada sistema do equipamento (fonte: autora)

Como pôde ser observado nas figuras acima, o sistema hidráulico apresentou mais intervenções e, também, o maior custo de manutenção no intervalo. A norma IEC 60300-3-11, 2009, sugere que o sistema crítico seja definido levando em consideração três aspectos: segurança, impacto em disponibilidade e custos, o último já é observado através do gráfico de Pareto com 35% de participação no custo de manutenção do equipamento em um ano. Analisando desse ponto de vista, o sistema hidráulico se enquadra nos três aspectos uma vez que um sistema hidráulico superaquecido que apresenta vazamento é um risco para o mecânico que for atuar na máquina. Além disso, por possuir componentes na máquina inteira, desde o implemento frontal até o comando final no truck, quando há falha, a raiz pode vir de qualquer lugar, o mesmo vale para a contaminação, pois existem muitos pontos de entrada de contaminação. Embora apresente um custo alto, o sistema estrutural definido é composto em sua maioria por componentes de desgaste como concha e material rodante e esses passam por inspeção periódica para acompanhar o avanço desse desgaste, permitindo que a empresa consiga se programar para realizar a troca dos itens antes de qualquer falha que impacte na segurança ou mesmo na disponibilidade do equipamento. Dessa maneira, o sistema hidráulico será o sistema em análise nesse estudo.



Figura 29 – Diagrama funcional do sistema hidráulico (fonte: autora)

Conforme incluído no diagrama funcional (Figura 29), o objetivo do sistema é executar suas funções. A movimentação dos implementos frontais é a principal função do sistema. Como função secundária o sistema realiza a movimentação da máquina de translação e rotação. Como funções auxiliares o sistema bombeia lubrificante para o PTO da máquina e toca a hélice do radiador. Por fim, como função supérflua o compressor do ar condicionado recebe potência de um pequeno motor hidráulico. Além disso, o sistema hidráulico possui interface com outros sistemas e componentes que podem causar uma falha precoce ou contaminar o sistema, além da interface com a operação. A Figura 30 mostra o diagrama de blocos relacionando o sistema e as suas interfaces.

A expectativa de trabalho de uma escavadeira hidráulica desse porte é em média 600 horas por mês. Somando-se a isso, como mencionado na motivação para este trabalho, a escavadeira é o equipamento chave de produção com 7 a 8 caminhões fora de estrada trabalhando em função da movimentação realizada. Ainda construindo o contexto operacional, o material explorado é resistente e mesmo com desmonte ainda é comum encontrar rochas grandes e médias, o ambiente possui muito particulado no ar e com o clima seco essa característica se agrava. Por contrato, a U&M garante as paradas para execução das atividades de manutenção preventiva com o objetivo de manter seus ativos para futuras operações.



Figura 30 – Diagrama de blocos do sistema hidráulico (fonte: autora)

4.2 Análise de modos de falha e efeitos

O estudo das falhas é parte importante na aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade, inclusive porque um dos objetivos principais da manutenção é prevenir e corrigir falhas. Dentro da metodologia da MCC, é proposto, segundo SIQUEIRA, 2009, identificar, classificar e analisá-las fazendo associação com as funções do sistema. Dessa maneira, nesse estudo, foram levantados os componentes do sistema hidráulico do equipamento e seus principais modos de falha (APÊNDICE B), isso com o objetivo de identificar a falha mais custosa para investigar sua causa raiz.

Após mapear os modos de falha, os dados do histórico de manutenção para o sistema hidráulico foram classificados. Cada intervenção foi classificada de acordo com o componente e o respectivo modo de falha (APÊNDICE B). Em seguida montou-se dois gráficos de Pareto, um para o custo (Figura 31) e outro com o tempo gasto em intervenções (Figura 32).

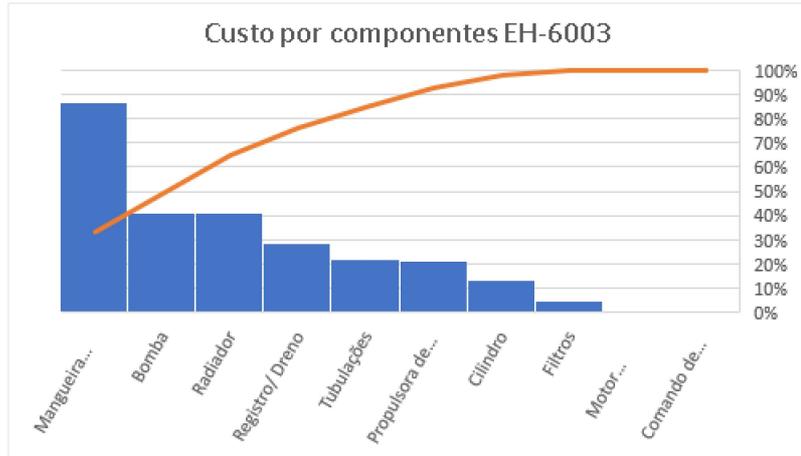


Figura 31 – Custos de intervenção por componentes do sistema hidráulico (fonte: autora)

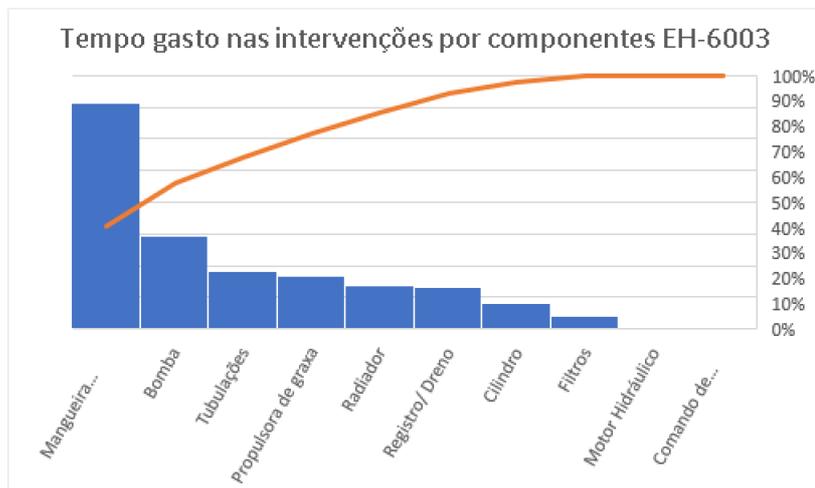


Figura 32 – Tempo total de máquina parada por componente do sistema hidráulico (fonte: autora)

No primeiro gráfico (Figura 31) é possível verificar que o custo das intervenções nas mangueiras, bombas e radiadores representam mais de 50% do valor total gasto em um ano. O segundo gráfico (Figura 32) mostra que o tempo gasto nas intervenções de mangueira representam, sozinhas, 40% do total em um ano. Dessa maneira, os componentes críticos do sistema são mangueira, bombas e radiadores. O foco será dado às mangueiras e radiador uma vez que a mangueira impactou diretamente na disponibilidade da máquina parando-a frequentemente e o radiador impactou no custo da manutenção que chegou a ser 85 vezes maior que o custo da mangueira, quando comparando o custo por hora de máquina parada. Embora represente um alto custo de manutenção e tenha tempo de intervenção relevante, as bombas hidráulicas frequentemente apresentam problemas relacionados à vazamento em suas vedações (APÊNDICE B) e esse modo de falha envolve o processo de reforma das bombas, o qual reaproveita a carcaça e outros subcomponentes sem teste de verificação após finalizado o processo, impactando nas folgas presentes no

equipamento e por consequência na efetividade das vedações originais. Por envolver um processo complexo de reforma, a bomba não será abordada nesse estudo.

Em ambos os componentes (mangueiras e radiador hidráulico), o modo de falha mais comum é o vazamento. Esse tipo de falha é classificada como potencial pois indica uma falha funcional em processo. As Figuras 33 e 34 apresentam uma análise de falha utilizando FTA (Análise da árvore de falha). Em ambos os casos, a contaminação do fluido de trabalho é uma causa comum e possível de acompanhamento pela equipe de manutenção. Além disso, outro fator crítico para as mangueiras é a montagem-instalação que, se mal executadas, impactam em tempo de vida útil do item, como visto anteriormente neste trabalho no item 2.7. O restante das causas são pouco expressivas no histórico do equipamento como é possível verificar no APÊNDICE B.

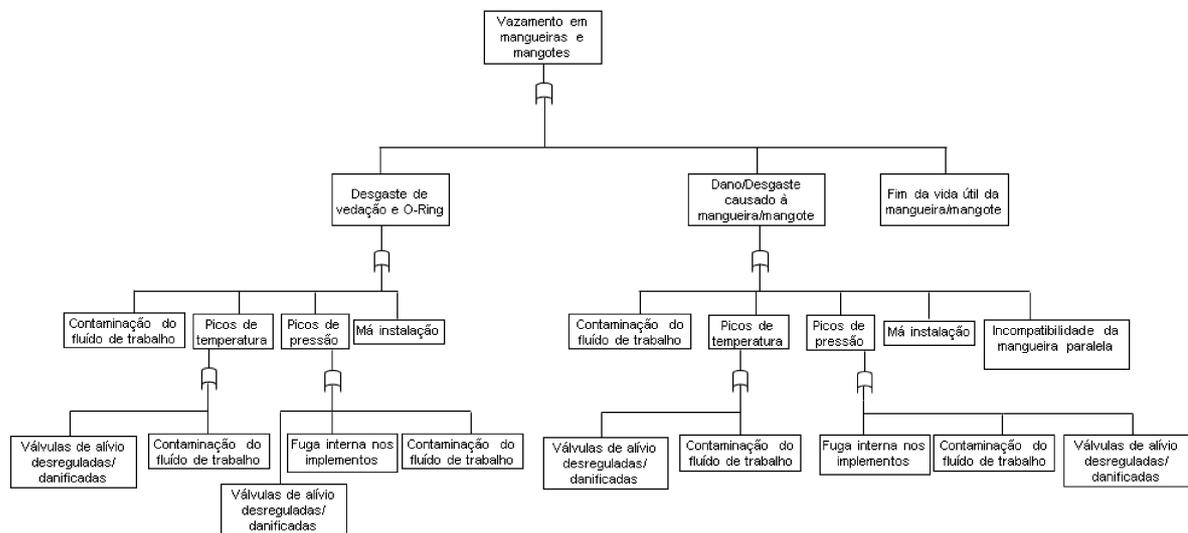


Figura 33 – Árvore de falha para vazamento em mangueiras/mangotes (fonte: autora)

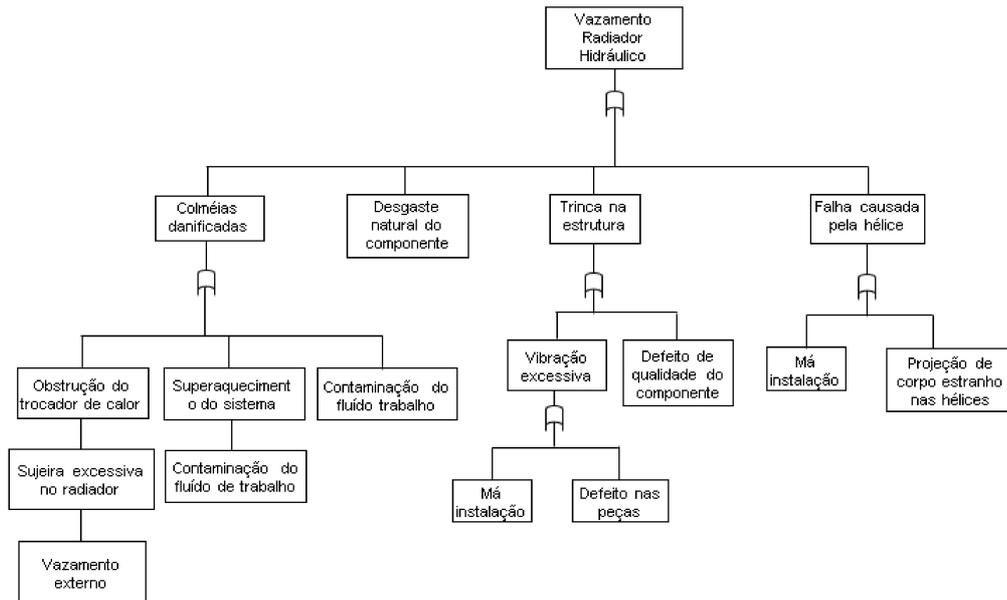


Figura 34 – Árvore de falha para vazamento em radiador hidráulico (fonte: autora)

Aprofundando a investigação desses tipos de falha, é necessário verificar o nível de contaminação do equipamento. A U&M faz coleta e análise do fluido hidráulico nas preventivas de 500, 1000, 2000, 6000 e 12000 horas. Essa análise é feita de acordo com a norma ISO 4406 para partículas e além disso, são feitos mapeamentos de ligas ferrosas presentes no fluido para antecipar possíveis falhas de componentes, por fim o resultado vem em conceitos. O conceito "normal" indica que o óleo está em boas condições de uso e é possível mantê-lo na máquina. O conceito "monitorar" indica que a máquina apresenta baixo grau de contaminação e em muitos casos deve-se realizar a diálise do óleo ou refazer a coleta (caso haja presença de limalhas). O último conceito é o "crítico", no qual o equipamento deve parar sua operação imediatamente para intervenção. Na maioria dos casos de presença de limalhas no óleo, este é trocado e os componentes inspecionados. Os dados de análise de óleo da escavadeira no período analisado foram levados em consideração para este estudo (APÊNDICE C). De 7 amostras coletadas no período em questão, 5 apresentaram resultado "crítico" com contaminação por partículas alto de acordo com a norma citada. Além disso, uma das intervenções ocasionou na troca do radiador que foi inspecionado em seguida. A Figura 35 mostra a entrada do radiador hidráulico da máquina com excesso de partículas de borracha e algumas limalhas que ocasionaram na obstrução da mesma, aumentando a pressão naquele ponto fazendo com que o fluido em alta temperatura não entrasse por ali.



Figura 35 – Imagens de verificação de radiador após falha na escavadeira em estudo (fonte: U&M Mineração e Construção)

Como a obstrução ocasionou um aumento de pressão na entrada do radiador, a válvula de alívio liberou a circulação do fluido de trabalho direto para o tanque e de volta para o sistema, excluindo a etapa de resfriamento que é o radiador. Com isso todo o sistema hidráulico sofreu superaquecimento, impactando em durabilidade de componentes e principalmente na durabilidade das mangueiras e mangotes. A Figura 36 mostra imagens termográficas do comando de válvula da máquina, com temperaturas de até 126°C. A Figura 37 mostra mangueiras e mangotes com temperaturas que excedem os 100°C. Em seguida, a Figura 38 apresenta a entrada e a saída do radiador, com uma diferença de quase 20°C entre a entrada e o centro do componente, mostrando que o mesmo não estava recebendo fluido de trabalho para resfriar. Por fim, a Figura 39 mostra uma visão geral da máquina com o tanque hidráulico beirando os 100°C e o implemento frontal beirando os 80°C.

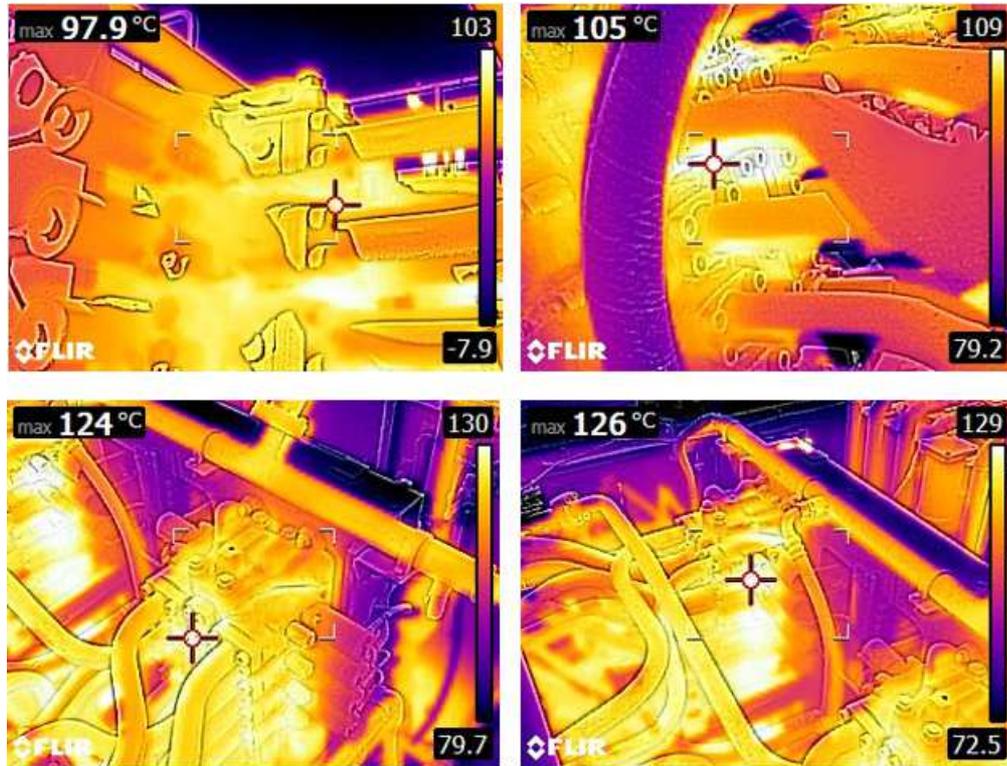


Figura 36 – Imagem termográfica do comando de válvula do equipamento (fonte: U&M Mineração e Construção)

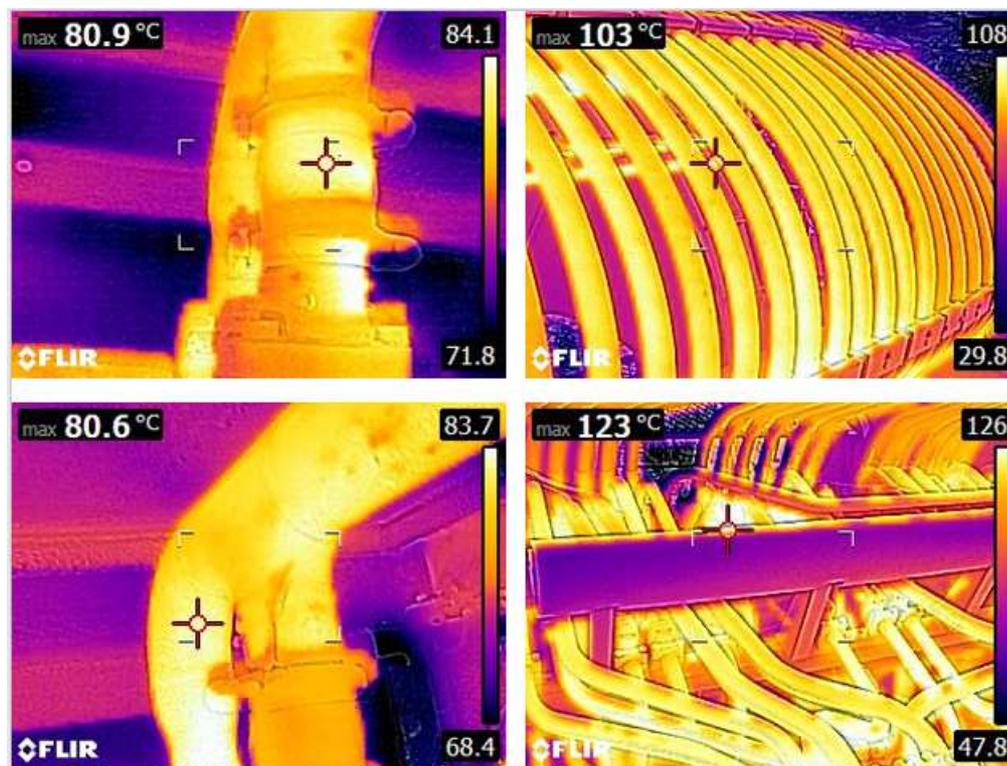


Figura 37 – Imagem termográfica de mangueiras e mangotes do equipamento (fonte: U&M Mineração e Construção)

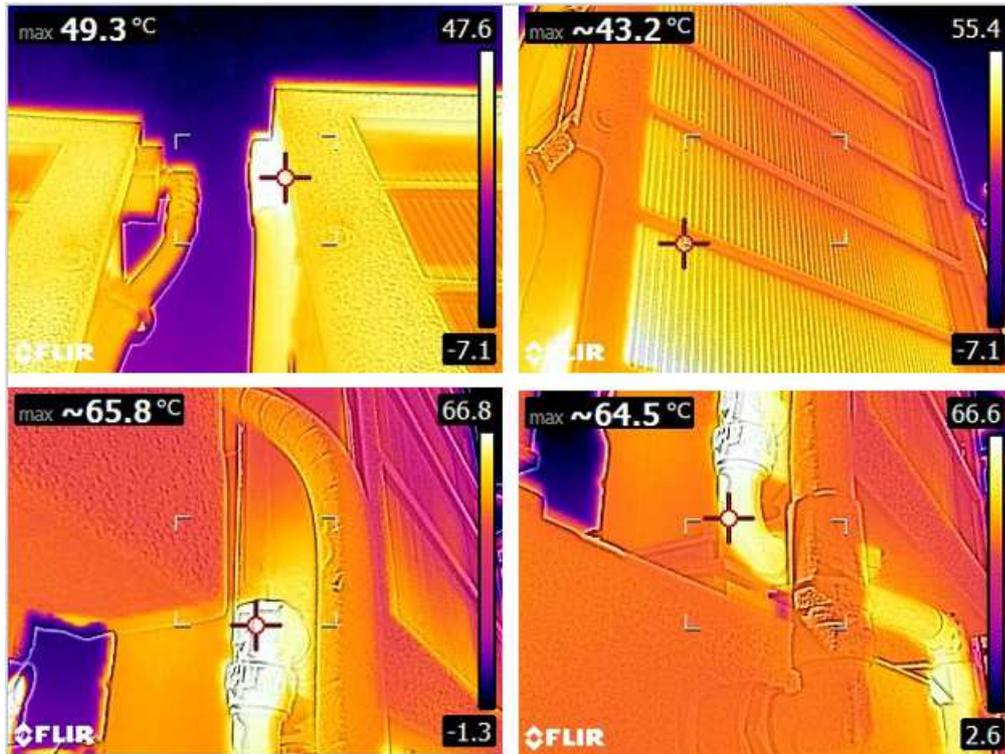


Figura 38 – Imagem termográfica do radiador hidráulico do equipamento (fonte: U&M Mineração e Construção)

Para analisar os riscos da falha, a matriz de riscos foi aplicada. Os efeitos dos modos em análise ficaram classificados nos níveis "Inaceitável" e "Indesejável" de acordo com os níveis propostos por SIQUEIRA, 2009 (Tabela 9).



Figura 39 – Imagem termográfica do equipamento em geral e do tanque hidráulico (fonte: U&M Mineração e Construção)

Tabela 9 – Tabela de efeitos com avaliação de riscos (fonte: Autora)

Modo de Falha	Evidência de falha	Impacto na segurança	Impacto Ambiental	Reflexo Operacional	Resultado econômico	Forma de Reparo	Características Compensatórias	Detectabilidade	Severidade	Frequência	Avaliação de Risco
Vazamento Mangueiras /Mangotes	Queda no volume de Fluido de trabalho. Perda de performance.	Contato com fluido de alta pressão, queimaduras em caso de superaquecimento e casos de alergias.	Contaminação do solo	Impacta em máquina parada para completar o nível de fluido de trabalho e intervir no vazamento.	Alto custo em máquina parada para intervenção	Troca de mangueiras/mangotes com vazamento	Uso de filtros de óleo hidráulico	Razoável	Crítico	Frequente	Intolerável
Vazamento Radiador Hidráulico	Queda no volume de Fluido de trabalho. Perda de performance. Superaquecimento do sistema	Contato com fluido de alta pressão, queimaduras em caso de superaquecimento e casos de alergias.	Contaminação do solo	Impacta em máquina parada para completar o nível de fluido de trabalho e intervir no vazamento, além de reduzir performance por conta da alta temperatura de trabalho.	Perda na produção e alto custo de manutenção para troca de radiador.	Troca do radiador com vazamento	Uso de filtros de óleo hidráulico e válvulas de alívio.	Razoável	Crítico	Ocasional	Indesejável

4.3 Identificação das consequências das falhas

As consequências são analisadas pelos impactos dos efeitos dos modos de falha na operação do sistema, no meio ambiente, na segurança e nos custos do processo, lembrando que a falha é a interrupção de uma função do sistema em análise (SIQUEIRA, 2009). As funções cujos impactos alcancem esses aspectos são consideradas "funções significantes" e nota-se que a avaliação de significância trata dos impactos que a ausência dessa função traz e não apenas a sua importância ou dimensão avaliados isoladamente. Dessa forma, as funções que sofrem falha funcional através dos modos de falha selecionados na etapa anterior são "Função conectar o sistema hidráulico entre seus diversos componentes" e "Função de resfriar o fluido de trabalho". Ainda de acordo com a mesma literatura, as consequências são categorizadas em função de suas falhas funcionais e modos de falha

segundo os seguintes critérios: operação do equipamento (EO - Evidente Operacional e OO - Oculto Operacional), impactos em segurança (ES - Evidente de segurança e OS - Oculto de segurança), impactos em meio ambiente (EA - Evidente de meio ambiental e OA - Oculto de meio ambiente) e custos do processo (EE - Evidente econômico e OE - Oculto econômico). Usando o diagrama de decisão da Figura 40, os modos de vazamento em mangueiras e mangotes e vazamento no radiador hidráulico são, respectivamente, ES/EA e EE/EO.

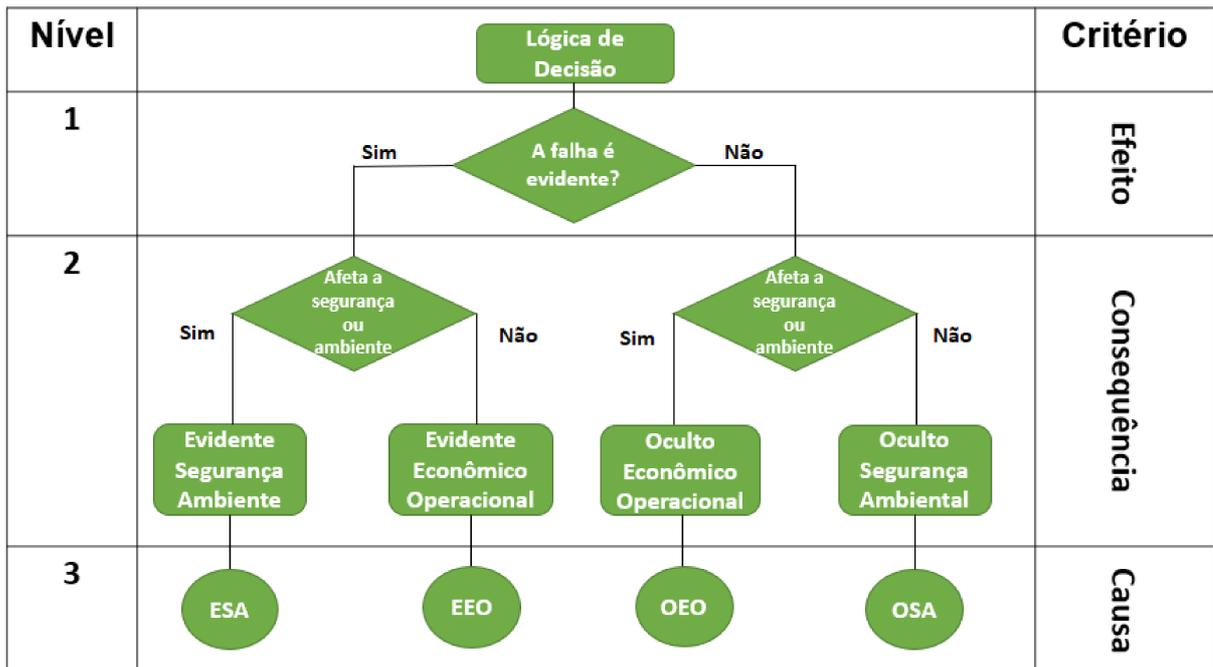


Figura 40 – Diagrama de decisão para avaliar consequências de falhas (fonte: Adaptado de SIQUEIRA-2009)

4.4 Seleção de atividades aplicáveis

Para selecionar as atividades aplicáveis é necessário ter como requisito a viabilidade técnica e a praticidade. Além disso, as atividades devem ser testadas começando com as de menor custo (atividade operacional e inspeção) para as de custo mais elevado (restauração e substituição). Para a MCC uma atividade deve garantir ao menos um dos seguintes objetivos (SIQUEIRA, 2009):

- Prevenir modos de falha;
- Reduzir taxa de deterioração;
- Detectar a evolução de falhas;
- Descobrir falhas ocultas;

- Suprir necessidades e consumíveis do processo;
- Reparar o item após a falha.

As atividades de manutenção são divididas em programadas e não programadas. Levando em consideração que os modos de falhas analisados no estudo são observáveis e evolutivos, SIQUEIRA, 2009, indica o uso de atividades programadas do tipo direcionadas por condição, comumente denominadas como preditivas. Em adição, considerando que os modos de falha encontrados são do tipo Es/EA e EE/EO para vazamento em mangueiras e radiadores, respectivamente, tem-se uma lógica de decisão tomando essas classes como parâmetro explicitada nas Figuras 41 e 42. De acordo com essa lógica, a atividade de inspeção preditiva é a mais indicada para o vazamento em mangueiras e a atividade operacional para o vazamento em radiadores.

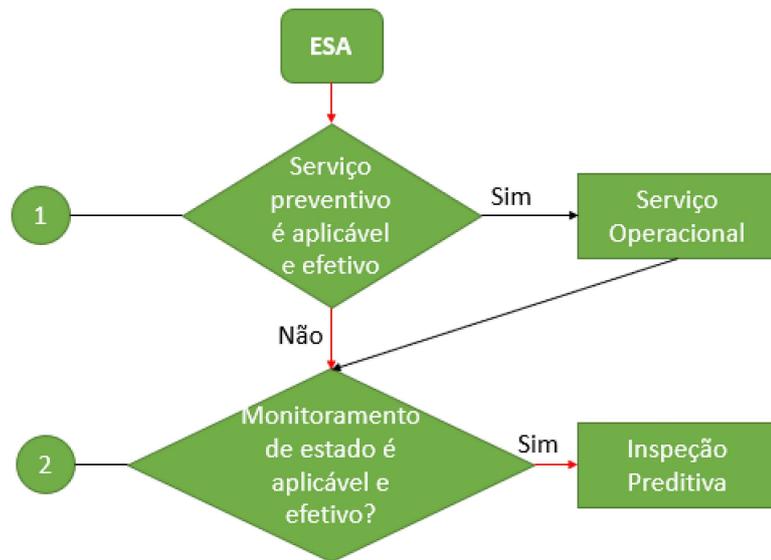


Figura 41 – Lógica de decisão para o modo de vazamento em mangueira hidráulica ES/EA (fonte: Adaptado de SIQUEIRA, 2009)

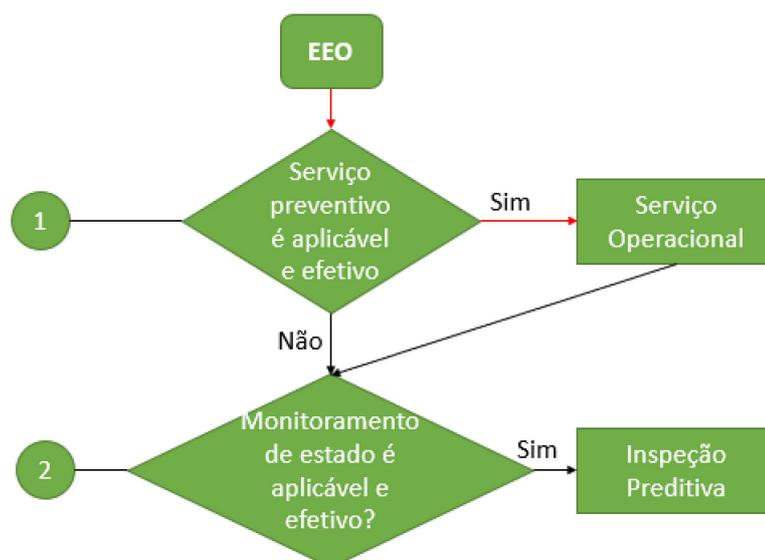


Figura 42 – Lógica de decisão para o modo de vazamento em radiador hidráulico EE/EO (fonte: Adaptado de SIQUEIRA, 2009)

Abordando o modo de vazamento no radiador hidráulico, a indicação é a atividade operacional. Esse tipo de serviço é executado pelo operador e é caracterizado por sua baixa complexidade, como nesse caso, para detectar anomalias e imprecisões. Para o radiador seria uma verificação em busca de algum vazamento hidráulico na região do radiador, através de inspeção visual do componente e verificação de indicadores como o nível do fluido hidráulico. Após a atividade, se houver algum tipo de anomalia, o operador deve abrir um relato para a manutenção atuar no equipamento.

Para o vazamento nas mangueiras/mangotes, a atividade indicada é a inspeção preditiva que tem a finalidade de detectar uma falha potencial antes que a funcional ocorra. O autor faz uso de algumas perguntas para verificar a aplicabilidade desse tipo de atividade, essas serão exploradas de acordo com o problema em estudo, logo abaixo. Um dos requisitos de aplicação da inspeção é a necessidade de definir critérios de avaliação para concluir se alguma intervenção deve ser realizada. Além disso, deve-se destacar que a etapa de inspeção em campo será voltada para as mangueiras de alta pressão, que são mais críticas para troca (demandando macro recursos como plataforma elevatória e caminhão guincho) e são expostas à pressão e temperaturas mais altas nos quais os picos impactam na vida útil dessas, como é visto no capítulo 2 deste trabalho.

Questões de verificação de aplicabilidade da Inspeção Preditiva:

1. Qual característica de degradação será utilizada como indicador da evolução de falha? Superaquecimento do sistema hidráulico, contaminação por partículas de acordo com a norma ISO4406, análise do filtro da última preventiva, inspeção das

mangueiras de alta pressão verificando trincas na borracha, desprendimento da borracha e rompimento de tramas.

2. Qual a definição do limite de falha funcional? Vazamento.
3. Qual a definição do limite de falha potencial? Desprendimento da borracha, rompimento de trincas e contaminação por partículas.
4. O intervalo para a atividade proposta é tecnicamente viável? Sim.

Para viabilizar a inspeção preditiva deve-se definir os limites que indicam a presença de uma falha potencial definida que justifiquem uma intervenção na máquina. Para chegar nesse limite de maneira quantitativa, a sugestão é definir quais aspectos serão avaliados em uma escala de 1 a 3 (1 - Aspecto normal, 2 - Aspecto intermediário e 3 - Aspecto crítico). Além disso, é interessante definir pesos para cada aspecto, uma vez que alguns são apenas qualitativos de observação (desprendimento e ressecamento da borracha) e outros quantitativos de testes (análise de óleo). Para a realização da inspeção um formulário deve ser montado contendo os aspectos e campos citados para preenchimento e armazenamento no ERP junto com a ordem de serviço criada pra a inspeção. Além disso, a cada nova inspeção deve-se verificar a última para verificação de evolução. Por fim, esse mesmo formulário deve conter imagens indicando quais as mangueiras que devem ser inspecionadas e os aspectos inspecionados.

4.5 Definição de periodicidade das atividades

Através do software Reliasoft Weibul++ foi possível analisar o comportamento da confiabilidade e da taxa de falha para as mangueiras/mangotes e para o radiador. Analisando os gráficos gerados, deve-se definir um intervalo de tempo para execução das atividades propostas com o objetivo de não perder muita confiabilidade nesse período. Para a análise foram plotados os gráficos de confiabilidade em função do tempo e taxa de falha em função do tempo. Como os equipamentos utilizados pela empresa são usados e reformados, adotou-se como benchmarking o valor de confiabilidade para equipamentos usados que é de 85%, indicado por um fabricante referência no mercado. Com esse valor de confiabilidade é possível determinar o PF para os casos analisados e, de acordo com SIQUEIRA, 2009, nesse intervalo deve-se realizar ao menos duas inspeções para acompanhar a evolução da falha potencial para a funcional, como visto na Figura 43.

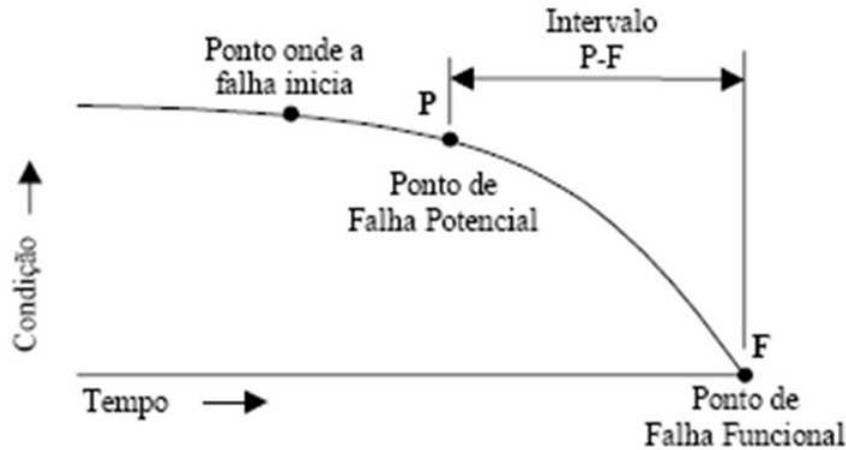


Figura 43 – Gráfico de confiabilidade com intervalo PF (fonte: Adaptado de SIQUEIRA-2009)

Para as mangueiras/mangotes obteve-se parâmetro β bem acima de 1 (ANEXO 1) o que caracteriza uma taxa de falha crescente proporcional ao valor de β . Além disso, indica uma característica de falha de final de vida útil e até de obsolência segundo KARDEC e NASCIF, 2009. Esse resultado é razoável uma vez que o equipamento como um todo já possui muitas horas de vida e componentes reformados diversas vezes sem um controle de qualidade e de performance pós reforma. Esse cenário macro é refletido no cenário micro que é o sistema hidráulico. A Figura 44 mostra o gráfico da taxa de falha em função do tempo (em semanas).

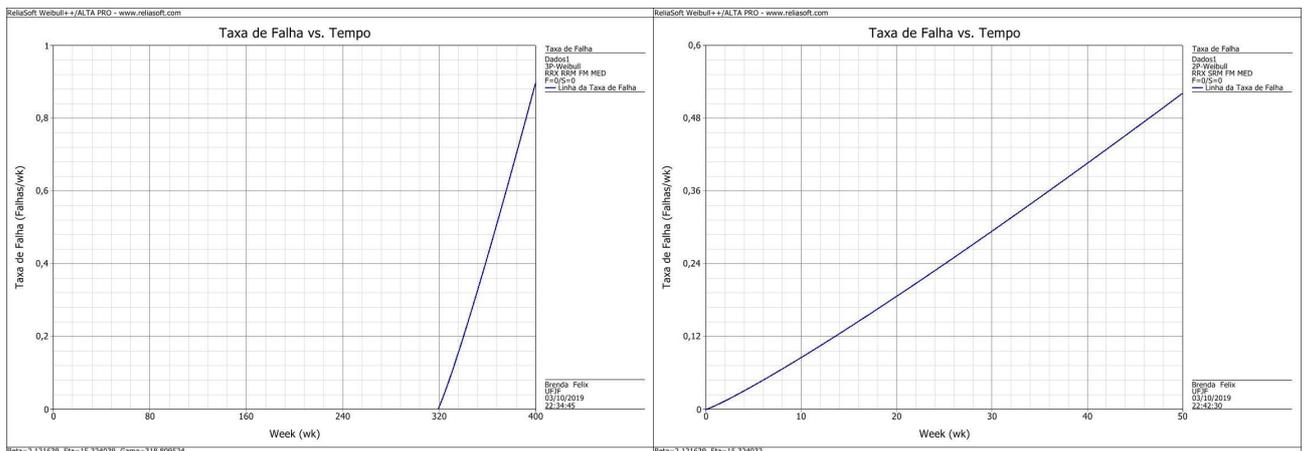


Figura 44 – Gráfico da taxa de falha para mangueiras/mangotes utilizando 3P Weibull à esquerda e 2P à direita (fonte: Reliasoft Weibull++)

Para a definição da periodicidade da inspeção preditiva sugerida foi utilizado o gráfico de confiabilidade em função do tempo (em horas) n Figura 45. Através dele, o ponto PF foi identificado, utilizando o benchmarking como referência (APÊNDICE 1), entre 1000 e 1100 horas. De acordo com SIQUEIRA, 2009, dentro desse intervalo deve-se

realizar ao menos duas inspeções preditivas, sendo assim, esta deve ser realizada a cada 500 horas de operação do equipamento.

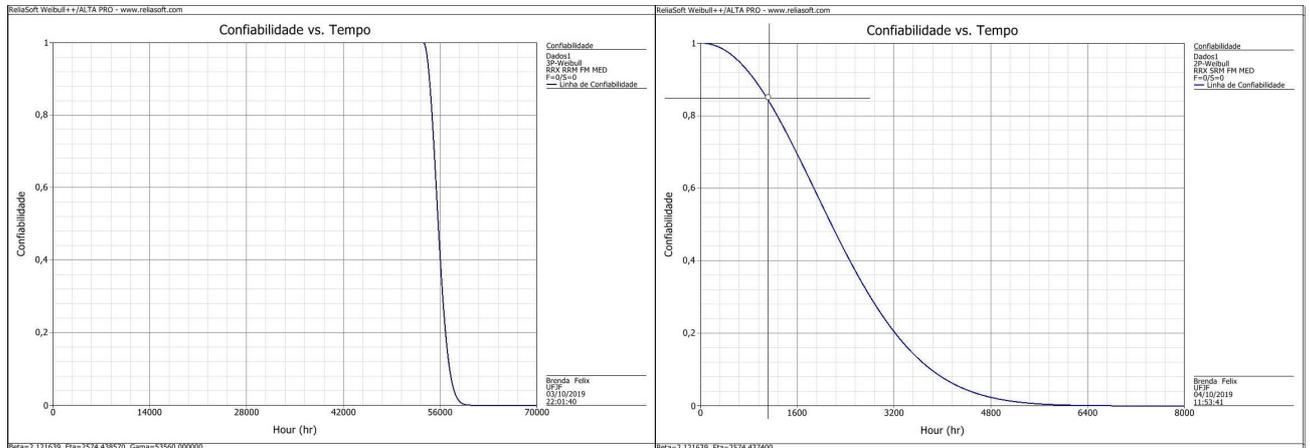


Figura 45 – Gráfico da confiabilidade para mangueiras/mangotes utilizando 3P Weibull à esquerda e 2P à direita (fonte: Reliasoft Weibull++)

Para o radiador hidráulico o parâmetro beta apresentou valor maior que 1 (APÊNDICE 1), caracterizando uma taxa de falha crescente, porém menos acentuada do que o caso das mangueiras/mangotes por estar mais próximo de 1 que caracteriza uma taxa de falha constante. Para KARDEC e NASCIF, 2009, esse valor próximo de 1 pode ter três justificativas:

1. Equipamento com taxa de falha constante (aleatória);
2. Erro na coleta de dados;
3. Operação fora das condições de projeto.

Como o espaço amostral é reduzido neste estudo e as falhas dos radiadores possuem maior impacto em custo do que em incidência, a quantidade de dados é reduzida. Dessa maneira, é necessário um espaço amostral maior para uma avaliação mais precisa. Além disso, pela simplicidade da atividade, ela deve ser incorporada na rotina diária de checklist feita pelo operador. Mas ainda assim, o gráfico de confiabilidade em função do tempo (em horas) expressa um valor para PF em torno de 536 horas, como pode ser visto na Figura 46. Considerando o que é sugerido por SIQUEIRA, 2009, para inspeção preditiva (segunda indicação de atividade depois dos serviços operacionais), duas atividades deveriam ser realizadas nesse período, levando a um intervalo de 260 horas entre uma inspeção e outra. Dessa maneira, o serviço operacional deve ser incorporado quinzenalmente à rotina de operação, considerando uma operação de 20 horas diárias do equipamento.

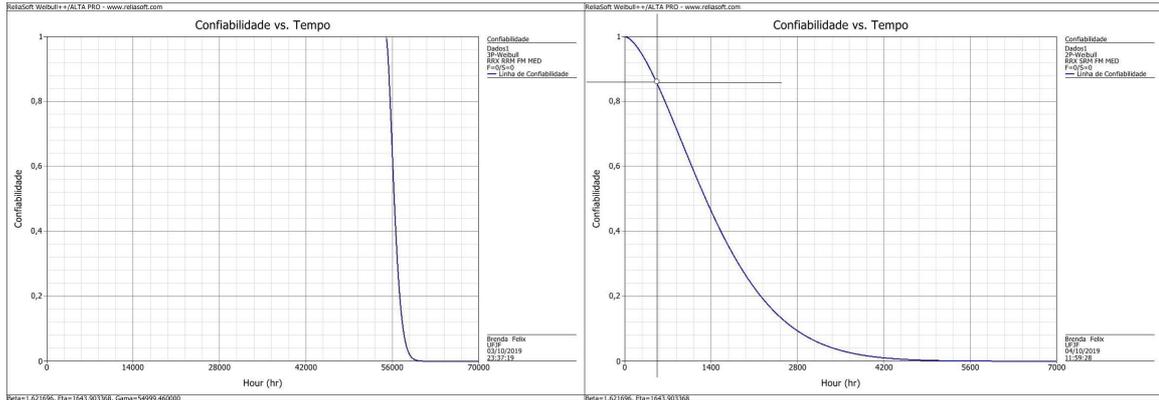


Figura 46 – Gráfico da confiabilidade para radiador hidráulico utilizando 3P Weibul à esquerda e 2P à direita (fonte: Reliasoft Weibull++)

4.6 Comparação das tarefas do plano já existente com o que foi proposto

A Tabela 10 apresenta um comparativo das atividades propostas neste trabalho com as existentes na organização. A primeira diferença entre as atividades propostas e a realidade da empresa em análise é a não utilização de método estatístico para definição de atividades de manutenção e o intervalo dessas atividades. O que é feito hoje foi definido com base na experiência da empresa em manutenção e orientações de fornecedores. Além disso, as atividades realizadas pela U&M são generalizadas e abordam o equipamento por inteiro e não possuem um acompanhamento temporal, ou seja, os aspectos verificados são tantos que acabam por ser superficiais quando trata de itens críticos que apresentam alta taxa de falha em relação aos outros. No caso das mangueiras/mangotes, que são itens que interferem diretamente em todo o sistema hidráulico em caso de falha, uma inspeção visual apenas não permite uma visão do problema, uma vez que este deixa rastros na análise de óleo e filtros. Já o radiador hidráulico apresenta impacto direto em performance do equipamento, caso não consiga resfriar o fluido. Nessa situação um efeito dominó é disparado onde o fluido quente danifica vedações e fitas dos cilindros do implemento, desgastando mangueiras e mangotes e contaminando bombas e motores hidráulicos, reduzindo assim a eficiência de seus processos. Portanto, um acompanhamento próximo desse componente é importante para sua preservação e preservação do sistema como um todo.

Tabela 10 – Tabela comparativa entre atividades propostas neste trabalho e a realidade da empresa (fonte: Autora)

Falha	Atividades - TCC	Periodicidade	Atividades U&M	Periodicidade
Mangueira	Inspeção preditiva - Avaliação da condição física, de instalação e de contaminação do sistema em conjunto.	500 horas	Inspeção visual - Verificar estado das mangueiras (desgaste) e vazamentos	125 horas
Radiador	Serviço operacional de checklist - Verificar presença de vazamentos e nível do fluido hidráulico	260 horas	Plano de Manutenção Preventiva - Verif nível do óleo hidráulico	250 horas

5 CONCLUSÕES

Inicialmente, o que é percebido ao longo da realização deste trabalho é a complexidade da aplicação da metodologia MCC. Por conta dessa alta complexidade, envolvimento e dedicação são necessários para chegar ao fundo do problema, sendo, dessa forma, muito trabalhosa e custosa no sentido de recurso humano dedicado à atividade (além do software). Dessa maneira, é uma ferramenta recomendada para equipamentos críticos na cadeia produtiva da corporação, com foco em componentes importantes. Dessa forma, ações voltadas para sistemas ou componentes que tenham pouco impacto na disponibilidade e custo não valem o esforço despendido.

Através da MCC e da etapa de análise de falha é possível identificar quais são os sistemas e componentes críticos. E dentro desses é possível verificar quais modos de falha possuem efeitos e consequências que impactem na segurança, produção e custo. Em sequência, as atividades selecionadas levam em consideração os efeitos e consequência para orientação do que é efetivo e o que não é. Esse ponto em específico é bastante vantajoso, pois evita o uso de testes empíricos de atividades de manutenção, impactando em disponibilidade e custo.

Aspecto de destaque é o uso de ferramenta estatística para analisar o comportamento dos sistemas analisados. A distribuição de Weibull de 3 parâmetros entregou modelos de confiabilidade e taxa de falha que possibilitaram uma definição mais lógica e embasada para a periodicidade das atividades, baseadas em um objetivo que é a confiabilidade desejada. Com isso, foi possível montar uma proposta de implantação de atividades de manutenção com justificativas técnicas em Engenharia da Manutenção.

A proposta está em fase de desenvolvimento do formulário de inspeção preditiva para teste em operação, com acompanhamento temporal e verificação se o PF sofreu variação positiva, ou seja, acréscimo.

Por fim, algumas sugestões devem ser pontuadas. A primeira seria aplicar a metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade para frotas críticas inteiras, exemplo, escavadeiras hidráulicas de 250 toneladas e perfuratrizes que operam em uma mina específica, pois como foi citado na introdução, cada operação possui características de tribologia distintas. A segunda é escolher um espaço amostral maior, permitindo mais dados para avaliação, aumentando assim a confiabilidade da informação obtida. Por último, uma tarefa de segregação das ordens de serviço deve ser realizada com a possível seleção de sistemas e modos de falha no ato da criação. Com isso é possível economizar muito tempo de tratativa de dados para análise.



Figura 47 – Síntese da conclusão do estudo em questão (fonte: Adaptado da autora)

REFERÊNCIAS

- [1] FOGLIATTO, Flavio & RIBEIRO, José. Confiabilidade e manutenção industrial. 1ª Edição. Rio de Janeiro - RJ. GEN LTC, 2009;
- [2] Hitachi Construction Machinery CO, LTDA. Operational Principle EX5500-5. Tokyo, Japão (2010);
- [3] International Organization for Standardization. ISO4406. International Organization for Standardization. 1999;
- [4] KARDEC, Alan & NAASICF, Júlio. Manutenção. Função Estratégica. 4ª Edição. Rio de Janeiro - RJ. QualityMark, 2012;
- [5] MOUBRAY, John. Reliability Centered Maintenance. 2ª Edição. Woburn - MA. Industrial Press, 1997;
- [6] NEVES, Edilene. *Aplicação da manutenção centrada na confiabilidade como ferramenta de melhoria de performance num setor de indústria metalúrgica de grande porte do sudeste de Minas Gerais*. (P.70). Graduação - Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora - MG, 2016;
- [7] OLIVEIRA, Felipe. *Estudo de diálise online de óleo hidráulico de escavadeira por meio de monitoramento de nível de contaminação*. (P.104). Graduação - Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora - MG, 2016;
- [8] PARKER. White Paper Normas e Padrões (ISO 4406 e NAS 1638) no Controle da Contaminação. Link: <https://www.vemag.com.br/novo/wp-content/uploads/2019/03/Normas-de-Controle-de-Contamina%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: Julho de 2019;
- [9] PEREIRA, Mario. Engenharia de Manutenção. Teoria e Prática. 2ª Edição. Rio de Janeiro - RJ. Ciência Moderna, 2009;
- [10] SAE Internacional. SAEJ1273. Recommended Practices for Hydraulic Hose Assemblies. 2004;
- [11] SILVA, Josiane & SOUZA, Luciana & CASTRO, Luiza & FERREIRA, Thais & CAMPOS, Magno. Análise da confiabilidade: Um estudo de caso. XXXV ENEGEP. Fortaleza-CE, 2015;
- [12] SIQUEIRA, Iony. Manutenção Centrada na Confiabilidade - Manual de Implementação. 1ª Edição. Rio de Janeiro - RJ. QualityMark, 2009;
- [13] TECNO DAHER. Empresa de Inspeção Termográfica em SP. <http://www.tecnodaher.com.br/empresa-inspecao-termografica-sp.php>. Acesso em setembro, 2019;
- [14] TATSCH, Daniel. *Metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade aplicada em uma máquina montadora de pneus*. (P.31). Graduação - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - RS, 2010;

APÊNDICE A – Dados dos sistemas

Tabela 11 – Sistemas da escavadeira relacionados com a quantidade de ocorrências e o custo total dessas ocorrências (fonte: Autora)

Sistemas	Quantidade	Custo
<u>Hidráulico</u>	233	
<u>Estrutura</u>	173	
Preventiva	24	
<u>Elétrico</u>	82	
<u>Motor Diesel</u>	101	
<u>AFEX</u>	2	
<u>Ar condicionado</u>	13	
<u>Inspeção</u>	6	

APÊNDICE B – Dados do sistema hidráulico

Tabela 12 – Componentes e o custo atrelado às suas intervenções (fonte: Autora)

Componente	Custo (sem hora parada)	Hora Parada	Custo (com hora parada)
Mangueira/Mangote		142,43	
Bomba		59,02	
Radiador		27,06	
Registro/ Dreno		26,87	
Tubulações		36,88	
Propulsora de graxa		33,77	
Cilindro		16,26	
Filtros		8,38	
Motor Hidráulico		0,78	
Comando de Válvulas		0	

Tabela 13 – Componentes e os modos de falha atrelados às suas intervenções e custo (fonte: Autora)

Índice	Componentes	Modos de Falha	Ocorrências	Hora Parada	Custo
B1	Bomba	Vazamento	32	48,61	
B2		Vibração Excessiva	5	10,41	
B3		Obstrução (interrupção de vazão)	1	0	
B4		Baixa vazão	3	0	
R1	Radiador	Vazamento	12	26,87	
R2		Superaquecimento do sistema	9	0,19	
R4		Obstrução da entrada	2	0	
M1	Mangueira/Mangote	Vazamento	74	137,06	
M2		Rompimento das tramas	2	5,37	

APÊNDICE C – Dados das análises de óleo

Tabela 14 – Resultados de análise de óleo do equipamento realizadas no intervalo estudado no presente estudo (fonte: Autora)

Data do laboratório	Data da amostra	Model	Componente	Interp. Texto	ISO	Limalhas
04-Jan-2018	28-Dec-2017	EX5500	SISTEMA HIDRÁULICO	A amostra apresentou alta contaminação por partículas, o que pode ocasionar desgaste. Verificar na inspeção diária danos nas vedações e ruídos anormais na bomba. Na próxima revisão trocar o filtro de óleo para um de alta eficiência, se disponível e rodar por 250 horas ou efetuar a diálise do óleo. Código ISO recomendado Caterpillar 18/15. Não é necessário trocar o óleo. Nova amostra em intervalo regular.	21/20/17	N
01-Feb-2018	23-Jan-2018	EX5500	SISTEMA HIDRÁULICO	A amostra apresentou alta contaminação por partículas, o que pode ocasionar desgaste. Verificar na inspeção diária danos nas vedações e ruídos anormais na bomba. Código ISO recomendado Caterpillar 18/15. Trocar o óleo e coletar nova amostra regularmente.	22/21/17	N
07-Mar-2018	27-Feb-2018	EX5500	SISTEMA HIDRÁULICO	A amostra apresentou alta contaminação por partículas, o que pode ocasionar desgaste. Verificar na inspeção diária danos nas vedações e ruídos anormais na bomba. Código ISO recomendado Caterpillar 18/15. Trocar o óleo e coletar nova amostra regularmente.	23/20/15	N
02-Apr-2018	25-Mar-2018	EX5500	SISTEMA HIDRÁULICO	Nível normal de desgaste. Óleo em condição de uso. Monitorar nos intervalos regulares. Acompanhar presença de limalhas no filtro de óleo e ruídos anormais.	13/19/13	N
04-May-2018	29-Apr-2018	EX5500	SISTEMA HIDRÁULICO	A amostra apresentou alta contaminação por partículas, o que pode ocasionar desgaste. Verificar na inspeção diária danos nas vedações e ruídos anormais na bomba. Na próxima revisão verificar presença de limalhas e procedimentos de coleta. Código ISO recomendado 18/15. Trocar o óleo e coletar nova amostra	23/20/11	N
27-Jul-2018	23-Jul-2018	EX5500	SISTEMA HIDRÁULICO	A amostra apresentou grande quantidade de impurezas na análise visual impossibilitando a contagem de partículas. Esta contaminação pode ocasionar desgaste prematuro. Verificar na inspeção diária danos nas vedações e ruídos anormais na bomba. Na próxima revisão verificar procedimento de coleta. Código ISO recomendado 18/15. Trocar o óleo e coletar nova amostra regularmente.	IMPUREZA	N
12-Dec-2018	05-Dec-2018	EX5500	SISTEMA HIDRÁULICO	Nível normal de desgaste. Óleo em condição de uso. Monitorar nos intervalos regulares.	23/20/11	N

ANEXO A – RESULTADOS SOFTWARE



Figura 48 – Cálculo de PF usando o software Reliasoft para Mangueiras/Mangotes (fonte: Reliasoft Weibull++)

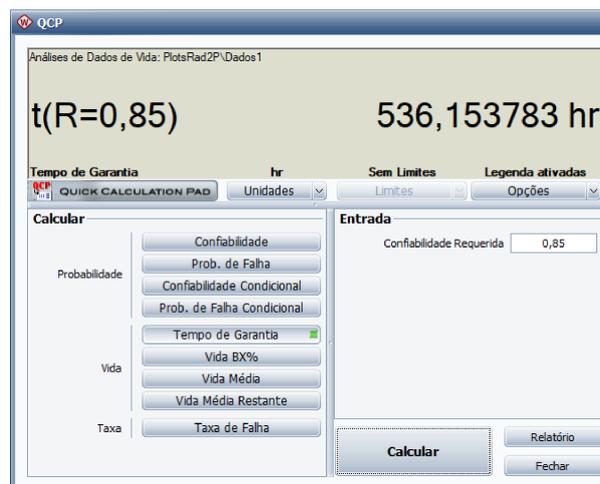


Figura 49 – Cálculo de PF usando o software Reliasoft para radiador hidráulico (fonte: Reliasoft Weibull++)

ANEXO B – DECLARAÇÃO DA EMPRESA



Declaro para os devidos fins, que Brenda Nascimento Félix estagiário/funcionário da empresa U&M Mineração e Construção possui autorização para divulgar o nome da empresa bem como dados não confidenciais na elaboração de seu 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 Mecânico.

Juiz de Fora, 22 de março de 2019

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Luiz Felipe Rocha', is written over a horizontal line.

Luiz Felipe Rocha

Diretor de manutenção U&M Mineração e Construção

Luiz Felipe Victor Rocha
Engenheiro Mecânico
CREA-MG 43397

ANEXO C – TERMO DE AUTENTICIDADE**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA****Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria**

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.

Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.

Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral¹ e criminais previstas no Código Penal², além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, 06 de Novembro de 2019.

Brenda Nascimento Félix – Discente
Matrícula: 201465704M – CPF: 11878795686

¹ LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

² Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena – detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.