

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST

ENGENHARIA MECÂNICA

JEAN PIERRI THEODORO DE SOUZA

**MANUTENÇÕES E ANÁLISE DE FALHAS PARA CONFIABILIDADE APLICADO  
A SISTEMAS HIDRÁULICOS**

LAGES

2019

JEAN PIERRI THEODORO DE SOUZA

**MANUTENÇÕES E ANÁLISE DE FALHAS PARA CONFIABILIDADE APLICADO  
A SISTEMAS HIDRÁULICOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no curso de engenharia mecânica, da universidade UNIFACVEST, como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em engenharia mecânica.

Orientador.: Prof. ME: Reny Aldo Henne

LAGES

2019

JEAN PIERRI THEODORO DE SOUZA

**MANUTENÇÕES E ANÁLISE DE FALHAS PARA CONFIABILIDADE APLICADO  
A SISTEMAS HIDRÁULICOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no curso de engenharia mecânica, da universidade UNIFACVEST, como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em engenharia mecânica.

Orientador.: Prof. ME: Reny Aldo Henne

Lages, SC \_\_/\_\_/2019. Nota\_\_ \_\_\_\_\_

---

Lages

2019

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades. A minha mãe e vó, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Aos meus professores pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

E aos meus colegas de turma e as pessoas que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

# **MANUTENÇÕES E ANÁLISE DE FALHAS PARA CONFIABILIDADE APLICADO A SISTEMAS HIDRÁULICOS**

Aluno: Jean Pierri Theodoro de Souza

Prof. ME: Reny Aldo Henne

## **RESUMO**

O intuito deste trabalho é aumentar a confiabilidade dos componentes do sistema hidráulico, utilizando manutenção preventiva e preditiva. Existem diversos indicadores de manutenção para alcançar a confiabilidade de uma máquina ou equipamento, para este trabalho daremos foco para a análise de modo e efeito de falha (FMEA) e periodicidade para conseguir alcançar nosso objetivo, esses indicadores ajudaram na análise dos modos de falha e seus efeitos, na escolha da criticidade do sistema e o período das atividades de manutenção preventiva e preditiva. Para desenvolver a confiabilidade no sistema hidráulico foi apresentado uma metodologia de desenvolvimento dos indicadores através de banco de dados disponibilizado pelos fabricantes. Com a coleta dos dados conseguimos desenvolver uma manutenção mais eficiente com uma periodicidade ajustável para as variáveis de trabalho de cada máquina ou equipamento, sendo o foco deste trabalho as máquinas pesadas. O trabalho também apresenta algumas observações referentes a planos de ação, a utilização de um software para auxiliar no manuseio das informações coletadas e funções principais dos componentes e critérios para se avaliar as falhas decorrente do sistema hidráulico, além de contribuir para sugestões para novos estudos de confiabilidade de equipamentos.

**Palavra-chave:** Confiabilidade; criticidade; periodicidade; análise de modo e efeito de falha.

# MANUTENÇÕES E ANÁLISE DE FALHAS PARA CONFIABILIDADE APLICADO A SISTEMAS HIDRÁULICOS

Student: Jean Pierri Theodoro de Souza

MSc: Reny Aldo Henne

## ABSTRACT

The purpose of this work is to increase the reliability of the hydraulic system components, using preventive and predictive maintenance. There are several maintenance indicators to achieve the reliability of a machine or equipment, for this work we will focus on the failure mode and effect analysis (FMEA) and periodicity to achieve our objective, these indicators helped to analyze failure modes and its effects, the choice of criticality of the system and the period of preventive and predictive maintenance activities. In order to develop reliability in the hydraulic system, a methodology for the development of the indicators was presented through a database made available by the manufacturers. With the data collection we were able to develop a more efficient maintenance with an adjustable periodicity for the working variables of each machine or equipment, being the focus of this work the heavy machinery. The paper also presents some observations regarding action plans, the use of software to assist in the handling of the collected information and main functions of the components and criteria to evaluate the failures due to the hydraulic system, besides contributing to suggestions for new studies of reliability of equipment.

**Keyword:** Reliability; criticality; Frequency; failure mode and effect analysis.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 - Circuito hidráulico básico</b> .....	17
<b>Figura 2 – Cilindro hidráulico</b> .....	20
<b>Figura 3 - Cilindro de simples ação</b> .....	20
<b>Figura 4 – Cilindro de dupla ação</b> .....	20
<b>Figura 5 – Componentes de um cilindro hidráulico</b> .....	21
<b>Figura 6 - Bomba hidráulica de engrenagem</b> .....	23
<b>Figura 7 – Válvula direcional</b> .....	24
<b>Figura 8 – Válvula de retenção</b> .....	25
<b>Figura 9 – Válvula reguladora de pressão</b> .....	25
<b>Figura 10 – Válvula reguladora de fluxo</b> .....	26
<b>Figura 11 – Mangueiras hidráulicas</b> .....	27
<b>Figura 12 – Filtro hidráulico</b> .....	28
<b>Figura 13 - Reservatório hidráulico</b> .....	28
<b>Figura 14 – Efeito da contaminação do fluido hidráulico</b> .....	30
<b>Figura 15 - Haste dobrada/quebrada</b> .....	30
<b>Figura 16 – Haste riscada/desgaste</b> .....	31
<b>Figura 17 – Vedações corrompidas</b> .....	31
<b>Figura 18 – Cavitação no flange da bomba de engrenagem</b> .....	32
<b>Figura 19 - Quebra dos componentes da bomba devido a sobrepressão</b> .....	32
<b>Figura 20 – Bomba de engrenagem desgastada por contaminação</b> .....	33
<b>Figura 21 – Mangueira estourada devido excesso de pressão</b> .....	33

<b>Figura 22 – Mangueira hidráulica deteriorada devido a temperatura .....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 23 – Mangueira deteriorado por fluido não compatível .....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 24 – Raio de curvatura mal dimensionado .....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 25 – Erro de montagem mangueira/terminal .....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 26 – FMEA .....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 27 – Programa de manutenção preventiva/preditiva.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 28 – FIPAQ .....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 29 – Cronograma .....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 30 – FMEA de processo .....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 31 – Falha esperada do bloco .....</b>	<b>52</b>



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 – Severidade do FMEA.....</b>	<b>44</b>
<b>Tabela 2 – Ocorrência do FMEA .....</b>	<b>45</b>
<b>Tabela 3 – Detecção do FMEA .....</b>	<b>46</b>
<b>Tabela 4 – Grau de criticidade .....</b>	<b>47</b>
<b>Tabela 5 – Diagnóstico de falha.....</b>	<b>48</b>
<b>Tabela 6 – Programa de manutenção .....</b>	<b>53</b>
<b>Tabela 7 – Programa de manutenção .....</b>	<b>61</b>

## **LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS**

**ABNT – Associação brasileira de normas e técnicas**

**NBR – Norma técnica**

**FMEA – Análise de modos de falhas e efeitos**

**FIPAQ – Ferramentas integradas do planejamento avançado da qualidade do produto**

**RPN - Número de prioridade de risco**

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 JUSTIFIQUE</b> .....	15
<b>3 PROBLEMÁTICA</b> .....	15
<b>4 OJETIVOS</b> .....	15
<b>4.1 Objetivo Geral</b> .....	15
<b>4.2 Objetivo específico</b> .....	16
<b>5 HIPÓTESE</b> .....	16
<b>6 REFERENCIAL OU PRESSUPOSTO TEÓRICO</b> .....	16
<b>6.1 Sistema hidráulico</b> .....	16
<b>6.2 Fluidos hidráulicos</b> .....	17
<b>6.3 Cilindros hidráulicos</b> .....	19
<b>6.4 Bomba hidráulico</b> .....	22
<b>6.5 Válvulas hidráulicas</b> .....	23
<b>6.5.1 Válvulas direcionais</b> .....	24
<b>6.5.2 Válvulas de retenção</b> .....	24
<b>6.5.3 Válvula reguladora de pressão</b> .....	25
<b>6.5.4 Válvulas reguladora de fluxo</b> .....	26
<b>6.6 Mangueiras hidráulicas</b> .....	26
<b>6.7 Filtro hidráulico</b> .....	27
<b>6.8 Reservatório hidráulico</b> .....	28
<b>6.9 Falhas</b> .....	29

6.9.1 Contaminação do fluido hidráulico.....	29
6.9.2 Falhas no cilindro hidráulico .....	30
6.9.3 Falhas na bomba hidráulica.....	31
6.9.4 Falhas nas mangueiras hidráulicas .....	33
6.10 Manutenção .....	35
6.10.1 Manutenção corretiva.....	36
6.10.2 Manutenção Preditiva .....	36
6.10.3 Manutenção preventiva .....	37
6.10.4 Confiabilidade .....	38
6.11 Indicadores de manutenções .....	38
6.11.1 FMEA .....	38
6.11.2 Criticidade .....	40
6.11.3 Software .....	41
7 MATERIAIS E MÉTODOS .....	41
7.1 Coleta de dados .....	42
7.2 FMEA.....	42
7.2.1 Cabeçalho do formulário FMEA de processo .....	42
7.2.2 Etapa de processo.....	43
7.2.3 Análise da falha .....	43
7.2.4 Avaliação de risco .....	43
7.3 Programa de manutenção .....	47
7.3.1 Diagnóstico da falha.....	48
7.4 Software .....	50

<b>8 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>52</b>
<b>8.1 Manutenção centrada na confiabilidade .....</b>	<b>52</b>
<b>8.2 FMEA.....</b>	<b>53</b>
<b>8.3 Programa de manutenção .....</b>	<b>61</b>
<b>8.4 Software .....</b>	<b>63</b>
<b>9 CONCLUSÃO.....</b>	<b>64</b>
<b>9.1 Recomendações para trabalhos futuros.....</b>	<b>64</b>
<b>10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Na construção civil ou na pesada são utilizados diversos recursos, como, materiais, máquinas, mão de obra e entre outros. O que mais se destaca nas construções são as máquinas pesadas que auxiliam e facilita a construção de prédios, rodovias, barragens, loteamentos, ferrovias, portos, entre outros.

Há diversos tipos de máquinas pesadas, que executam inúmeros serviços, as máquinas mais utilizadas são: Retroescavadeira, Escavadeira Hidráulica, Pá Carregadeira, Trator de Esteira, Motoniveladora, Caminhão Munck, Caminhão caçamba entre outras máquinas.

Devido aos esforços constantes, as máquinas nas obras acabam sofrendo muito desgaste, falhas mecânicas e quebras, fazendo com que a confiabilidade dos componentes seja baixa. Um dos sistemas que mais sofrem com esses esforços são o sistema hidráulico.

O funcionamento adequado do sistema hidráulico de uma máquina pesada é primordial para manter seu bom desempenho, pois ele responde por diversas funções, como articulação, elevação e inclinação da máquina.

Segundo Linsingen (2013) um sistema hidráulico é um conjunto de elementos físicos convenientemente associados, que com a utilização de um fluido como meio de transferir energia, permite a transmissão e controle de força e movimentos.

Qualquer sistema hidráulico é composto basicamente por um reservatório hidráulico, mangueiras hidráulicas, válvulas de controle, fluxo, pressão e retenção, filtro hidráulico, bomba hidráulica e cilindro hidráulico. Os componentes mais importantes do sistema hidráulico são a bomba hidráulica e o cilindro hidráulico.

Para Palmieri (1994) a bomba hidráulica é responsável pela geração da vazão dentro de um sistema hidráulico e pelo acionamento do cilindro hidráulico ou consumidores.

Segundo Teixeira (2015), “Os cilindros hidráulicos são atuadores que convertem a energia recebida por um fluido hidráulico pressurizado, geralmente óleo, num movimento linear ao qual está associado uma força também linear”.

Os cilindros hidráulicos são compostos normalmente de uma camisa com superfície interna polida, uma haste cromada, uma tampa e um êmbolo. Na tampa e no êmbolo existe vedações de tipos variados para evitar vazamentos e contaminação do conjunto.

Devido à falta de manutenção no sistema hidráulico, acaba ocorrendo diversos problemas, como vazamentos, desgaste dos seus componentes através da contaminação do fluido, perda de rendimento, parada inesperada e podendo chegar até a perda total de alguns componentes.

De modo a evitar esses problemas utilizaremos a manutenção preventiva e preditiva e alguns indicadores necessários, que contribuem para o aumento da confiabilidade dos componentes. Com o estudo da manutenção visando melhorar a eficiência do sistema hidráulico pode gerar grandes ganhos, com o aumento da confiabilidade e evitar falhas inesperadas.

## **2 JUSTIFICATIVA**

Com o crescente aumento da utilização de máquinas pesadas em construções civis e pesadas, acaba ocorrendo um aumento de falhas no sistema hidráulico, decorrente da quantidade de esforços no sistema, assim causando muitas paradas desnecessárias.

O que motivou a realização deste trabalho foi compreender as falhas que ocorrem no sistema hidráulico e buscar métodos que evitem essas falhas e a perda total do sistema. Assim aumentando a confiabilidade das máquinas pesadas, com base em pesquisa bibliográfica buscaremos sanar essas dúvidas.

## **3 PROBLEMÁTICA**

Cada componente do sistema hidráulico possui uma periodicidade definida pelo fabricante para realização da manutenção preventiva e preditiva. Caso não ocorra a manutenção no período correto de cada componente, o sistema estará sujeito a um desgaste excessivo, podendo ocorrer a contaminação do fluido hidráulico, ou a perda total de alguns componentes do sistema. Por que da utilização da manutenção no sistema hidráulico e quais os benefícios de se utilizar indicadores para auxiliarem na manutenção?

## **4 OBJETIVO**

### **4.1 Objetivo geral**

Esse trabalho tem como objetivo obter informações que auxiliem no desenvolvimento de indicadores de manutenção e planejamento estratégico da manutenção, permitindo alcançar uma eficiência maior na confiabilidade do sistema hidráulico, assim buscando diminuir as falhas ocorridas em serviço.



## **4.2 Objetivos específicos**

- Conhecer os componentes do sistema hidráulico;
- Conhecer as manutenções e seus indicadores;
- Determinar as falhas e periodicidade para manutenção;
- Determinar a criticidade dos componentes e as atividades preventivas/preditivas;
- Determinar a eficiência dos indicadores de manutenção com base na confiabilidade do sistema hidráulico.

## **5 HIPÓTESE**

Devido a quantidade de esforços que o sistema hidráulico sofre, a uma grande quantidade de falha decorrente ao excesso de força imposta sobre os componentes. Com a utilização correta dos indicadores de manutenção e da periodicidade auxiliada com atividades preventivas e preditivas, o sistema apresentará uma maior confiabilidade permanecendo em um perfeito estado de funcionamento.

## **6 REFERENCIAL OU PRESSUPOSTO TEÓRICO**

### **6.1 Sistema hidráulico**

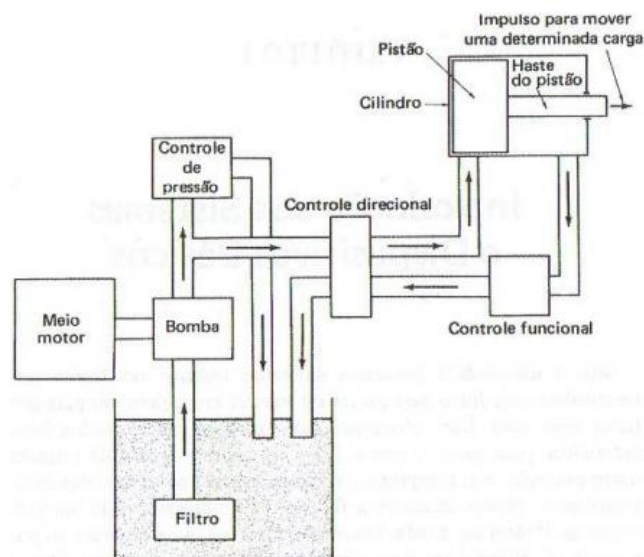
Os sistemas hidráulicos são bastante aplicados em máquinas pesadas, utilizados em tarefas que necessitam de força e precisão de movimentos.

Segundo Linsingen (2013) um sistema hidráulico é um conjunto de elementos físicos convenientemente associados, que com a utilização de um fluido como meio de transferir energia, permite a transmissão e controle de força e movimentos. Essa transferência de energia

inicia com a transformação de energia elétrica em energia mecânica através de um motor elétrico, esse motor é acoplado a uma bomba hidráulica, que irá transformar a energia mecânica em energia hidráulica de pressão utilizando o fluido hidráulico, a energia hidráulica será transmitida pelas tubulações e pelas válvulas, sendo direcionado para os cilindros hidráulicos, que tem a função de transformar a energia hidráulica do fluido em energia mecânica.

Segundo Simões (2016) um sistema hidráulico simples, é basicamente constituído de um reservatório de óleo, tubulações, filtros hidráulicos, válvulas de controle, bomba e motores hidráulica e cilindros hidráulicos.

Figura 1 - Circuito hidráulico básico.



Fonte: Stewart (1994, p.12)

## 6.2 Fluidos hidráulicos

Segundo Linsingen (2013) o fluido hidráulico é o responsável por realizar a transferência de energia no sistema hidráulico, e possui algumas características que são determinadas, através das circunstâncias que o sistema é exposto, como variações de temperaturas, variações de pressão e ambientes agressivos.

Segundo Stewart (1994), “A função de um bom fluido hidráulico é tripla: é um meio transmissor de potência hidráulica, é um meio lubrificador dos componentes do sistema de

potência fluida e atua como vedador”. Devido essas funções o fluido hidráulico é um elemento muito importante para o sistema hidráulico.

O fluido hidráulico possui algumas propriedades que necessita de atenção quando for escolhido. Sendo essas propriedades: densidade, viscosidade, índice de viscosidade, capacidade de lubrificação, estabilidade térmica, estabilidade à oxidação, estabilidade hidrolítica, tendência à formação de espuma, ponto de fluidez, ponto de fulgor e temperatura de ignição. (OLIVEIRA, 2016).

Viscosidade: é a medida de resistência ao fluxo das moléculas de um líquido quando elas deslizam umas sobre as outras. É uma medida inversa à de fluidez. A viscosidade de um óleo varia com a temperatura, sendo inversamente proporcional à mesma. (GOMES, ET AL, 2008)

Segundo Stewart (1994) é necessário identificar a viscosidade correta para cada aplicação, caso o fluido seja muito viscoso irá oferecer muita resistência à passagem pelas válvulas e bombas, mas por outro lado caso o fluido tenha uma viscosidade muito baixa, causará mais vazamento interno em bombas e cilindros hidráulicos. por isso a viscosidade é a propriedade mais importante a ser observada.

Índice de viscosidade: é um número puro que indica como um fluido varia em viscosidade quando a temperatura muda. fluidos com índice de viscosidade alta, sofrem pouca variação de viscosidade em grandes variações de temperatura e fluidos com baixo índice de viscosidade, sofrem maior variação de viscosidade com a temperatura. (GOMES, ET AL, 2008)

Capacidade de lubrificação: é a resistência do fluido às tensões mecânicas, reduzindo assim o atrito e o desgaste entre os equipamentos (LINSINGEN, 2013).

Estabilidade térmica: é a resistência dos fluidos a reações químicas em altas temperaturas. (LINSINGEN, 2013).

Estabilidade à oxidação: é a resistência do fluido contra a oxidação do óleo que ocorre por causa de uma reação entre o óleo e o oxigênio do ar. A oxidação resulta em baixa capacidade de lubrificação na formação de ácido e na geração de partículas de carbono e aumento da viscosidade do fluido (GOMES, ET AL, 2008).

Tendência à formação de espuma: é a facilidade de reter bolhas de ar no fluido hidráulico, que podem ser causados pela agitação do fluido no reservatório, desgaste da vedação e entradas falsas de ar no sistema. A presença dessas bolhas de ar diminui a eficiência do sistema, podendo contribuir para danos de cavitação. (LINSINGEN, 2013).

Estabilidade hidrolítica: é a resistência do fluido em resistir à reação com água. (LINSINGEN, 2013).

Compatibilidade: é a característica que o fluido apresenta ao reagir com outros materiais, sendo de suma importância sua compatibilidade com as vedações das bombas e cilindros hidráulicos. (LINSINGEN, 2013).

Ponto de fluidez: é a menor temperatura na qual um fluido escoar é denominada Ponto de Fluidez. Em condições de operação em baixas temperaturas, um fluido hidráulico deve manter satisfatoriamente sua fluidez, a fim de não se congelar ou causar restrições à circulação da bomba aos componentes de trabalho. (GOMES, ET AL, 2008)

Ponto de fulgor: é definido como a menor temperatura na qual o vapor desprendido do fluido entra em combustão. Esta propriedade mantém certa relação com a viscosidade, à medida que cresce com o aumento desta. (LINSINGEN, 2013).

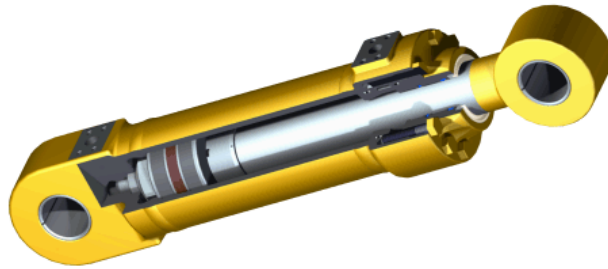
Temperatura de ignição: é a temperatura na qual o fluido aquecido entra em combustão. (LINSINGEN, 2013).

### **6.3 Cilindros hidráulicos**

Segundo Teixeira (2015), “Os cilindros hidráulicos são atuadores que convertem a energia recebida por um fluido hidráulico pressurizado, geralmente óleo, num movimento linear ao qual está associado uma força também linear”. Ou seja, os cilindros hidráulicos são responsáveis pela articulação da máquina.

Segundo Palmieri (1994), o maior interesse em cilindros hidráulicos é a força que ele pode fornecer juntamente com a velocidade de trabalho.

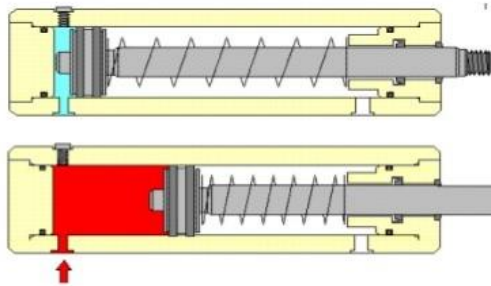
Figura 2 – Cilindro hidráulico.



Fonte: Euromav, (2006)

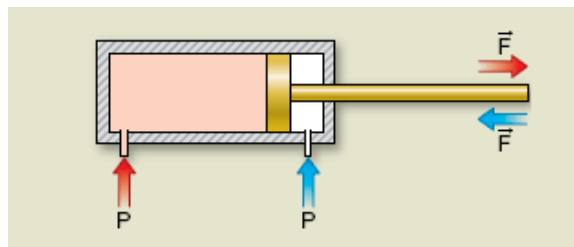
Segundo Palmieri (1994), os cilindros hidráulicos se classificam de acordo com a sua função de ação, dividindo-os em dois grupos, os cilindros hidráulicos de simples ação e de dupla ação. Os cilindros de simples ação são denominados assim devido ao seu retorno ser pela gravidade ou por mola, ou seja, pode exercer sua força apenas em uma direção. Já os cilindros de dupla ação são denominados assim devido ao movimento do pistão ser realizado pelo fluido hidráulico em qualquer uma das tomadas de pressão. O cilindro de dupla ação é mais utilizado em aplicações hidráulicas, por isso terá um foco maior nesse trabalho.

Figura 3 - Cilindro de simples ação.



Fonte: Festo, (2001)

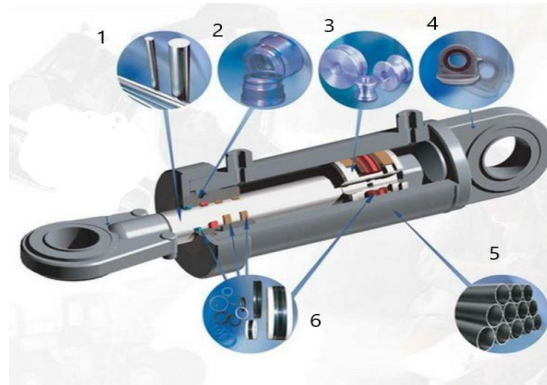
Figura 4 – Cilindro de dupla ação.



Fonte: Festo, (2001)

Os cilindros hidráulicos possuem diversos componentes, mas geralmente são formados pelos seguintes componentes: haste, tampa, embolo, fundo, camisa do cilindro e vedações.

Figura 5 – Componentes de um cilindro hidráulico.



Fonte: Euromav, (2006)

**1- Haste:** A haste é o elemento que transmite o movimento do êmbolo para o objeto a mover. Esta leva um revestimento superficial de cromo duro, que lhe garante uma maior dureza, reduzindo o desgaste provocado pelo funcionamento, condições atmosféricas e impactos. (TEIXEIRA, 2015).

Para Parker (2006) a haste deve ser de um Aço de alta resistência, retificado, cromado e polido para assegurar uma superfície lisa, aumentando a resistência contra riscos e sulcos para uma vedação efetiva e de longa vida.

**2- Tampa:** a tampa serve para manter o óleo no interior do corpo e resistir à pressão imposta por este e serve como guia para a haste. Na tampa é colocado algumas vedações como cintas de guiamento, vedantes e raspador. E apresenta também um dispositivo de entrada de óleo (conexão de óleo) (TEIXEIRA, 2015).

**3- Êmbolo:** O êmbolo é o componente que permite que a pressão do óleo se converta num movimento linear. Consiste em uma peça de aço com um diâmetro inferior ao interior da camisa do cilindro. E como a tampa o êmbolo também apresenta vedações como cintas de guiamento que fazem o contato com a camisa do cilindro e vedantes (TEIXEIRA, 2015).

**4- Fundo:** A sua principal função é resistir à pressão e manter o óleo dentro do corpo do cilindro. E como na tampa apresenta um dispositivo de entrada de óleo (TEIXEIRA, 2015).

**5- Camisa do cilindro:** Geralmente feito de tubos de parede espessa, onde normalmente é feita de aço SAE 1020 a SAE 1045, com acabamento interior polido feito por brunimento

(LINSINGEN, 2013). serve como guia e direcionando o fluido hidráulico pressurizado para o êmbolo.

Segundo Parker (2006) O acabamento da superfície interna da camisa de aço minimiza o atrito interno e prolonga a vida das vedações.

**6- Elementos de vedação:** Estes são os componentes que contribuem para a longevidade, evita vazamento de fluido, evita a contaminação do sistema hidráulico, suporta altas pressões, temperaturas extremas e forças transversais mantendo o funcionamento correto do cilindro hidráulico (TEIXEIRA, 2015). Existe diversos tipos de vedações, iremos citar nesse trabalho os mais importantes para os cilindros hidráulicos.

Vedações do êmbolo e da tampa utilizados em cilindros hidráulicos são utilizados para vedar os fluidos. Elas são alojadas no êmbolo e na tampa do cilindro e vedam a haste junto a camisa, evitando que o fluido vaze atravessando a “tampa” do cilindro. Isto permite o acúmulo de pressão em um lado do pistão, fazendo com que o cilindro estenda e retorne a sua posição original (TRELLEBORG, 2009).

As vedações de haste são utilizadas em cilindros hidráulicos para vedação de fluidos. Elas estão externas à "tampa" do cilindro e vedam contra a haste, evitando o vazamento de fluido de dentro do cilindro para o meio externo (TRELLEBORG, 2009).

#### **6.4 Bomba hidráulica**

Segundo Stewart (1994) um dispositivo de potência hidráulica tem como funções fornecer fluido sob pressão a um sistema hidráulico.

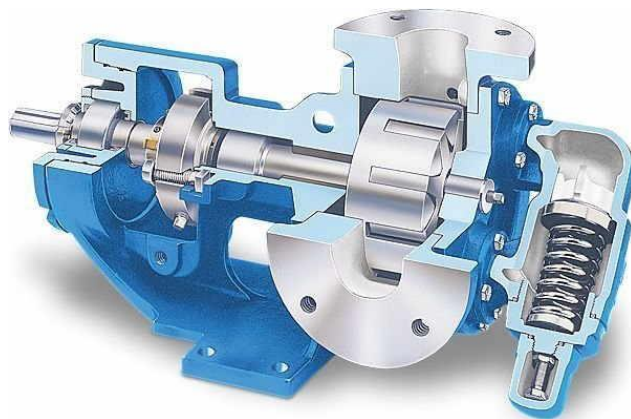
Bombas podem ser definidas como máquinas operatrizes hidráulicas que fornece energia ao líquido com a finalidade de transportá-lo de um ponto para o outro obedecendo as condições do processo (BASTOS, 2014). As bombas hidráulicas basicamente bombeiam o fluido hidráulico de um reservatório para uma linha hidráulica e converte energia mecânica em energia hidráulica transferindo ao fluido energia cinética e de pressão.

As bombas são classificadas basicamente em dois tipos: hidrodinâmicas e hidrostáticas (BASTOS, 2014). Estes incluem bombas de engrenagens, bombas de parafuso, bombas de palhetas, bombas radiais, bombas axiais e bombas de pistão. Neste trabalho daremos um foco maior nas bombas de engrenagens pois são as mais utilizadas para máquinas pesadas.

Segundo Palmieri (1994) a bomba de engrenagem, cria uma determinada vazão devido ao constante engrenamento e desengrenamento de duas ou mais rodas dentadas. O constante desengrenamento dos dentes cria uma decompressão na câmara de sucção, fazendo que o fluido seja puxado do reservatório.

bomba hidráulica de engrenagem tem como características a alta durabilidade e eficiência, o que faz com que seja gerada economia aos usuários.

Figura 6 - Bomba hidráulica de engrenagem.



Fonte: Flowex, (2018)

## 6.5 Válvulas hidráulicas

As válvulas hidráulicas são responsáveis pelo controle do fluido pressurizado no sistema hidráulico. Servindo para controlar a pressão, controle de direção, fluxo, válvulas de segurança e de retenção. Existem vários tipos, construções e forma de acionamento, normalmente as válvulas hidráulicas são nomeadas de acordo com a sua função mais básica (REXROTH, 2011). Neste trabalho explicaremos sobre algumas dessas válvulas.



### 6.5.1 Válvulas direcionais

São válvulas que comandam partida, parada e alteração do sentido de fluxo de um fluido hidráulico pressurizado (REXROTH, 2011). Para Stewart (1994) a válvula de controle direcional dirige o movimento do fluido para um local específico.

Segundo Linsingen (2013) existem inúmeras concepções de válvulas direcionais. Porém, o que ele ressalta é que todas desempenham o papel de direcionar o fluido para que o sistema hidráulico realize determinado movimento de acordo com a necessidade da operação.

Figura 7 – Válvula direcional.



Fonte: Stauff, (2008)

### 6.5.2 Válvulas de retenção

São válvulas que bloqueia o fluxo de fluido no sistema hidráulico, permitindo que o fluxo de fluido vá para apenas uma direção, não permitindo o seu retorno ou a entrada de fluidos (BASTOS, 2014).

Figura 8 – Válvula de retenção.



Fonte: Stauff, (2008)

### 6.5.3 Válvula reguladora de pressão

Segundo Palmieri (1994) as válvulas reguladoras de pressão do tipo alívio e segurança têm duas funções em um circuito hidráulico, o de eliminar a pressão no circuito ou em parte dele, a um nível pré-selecionado, e proteger o sistema e os diversos equipamentos que o compõe, contra sobrecargas.

Para Linsingen (2013) nos sistemas hidráulicos é muito importante controlar e limitar a pressão do sistema, para obtendo uma pressão de trabalho eficiente. Para Rexroth (2011) a válvula reguladora de pressão tem a função dividida em limitadora, sequência (acionada para continuidade do circuito), redutora e segurança/descarga.

Figura 9 – Válvula reguladora de pressão.



Fonte: Stauff, (2008)

### 6.5.4 Válvulas reguladora de fluxo

são válvulas que controlam a vazão em um sistema por meio do diferencial de pressão gerado através do estreitamento ou alargamento da secção transversal por onde passa o fluxo do fluido, alterando a velocidade de movimento de alguns equipamentos do sistema hidráulico como os cilindros hidráulicos (BASTOS, 2014).

segundo Palmieri (1994) necessitamos regular a velocidade do sistema para obtermos um melhor rendimento das atividades, sendo assim necessário a regulagem da vazão. Para esse tipo de válvula permite uma regulagem simples e rápida da velocidade no sistema.

Figura 10 – Válvula reguladora de fluxo.



Fonte: Stauff, (2008)

### 6.6 Mangueiras hidráulicas

Segundo Parker (2006) As mangueiras hidráulicas são responsáveis por transportar o fluido, absorver vibrações e dar liberdade de movimentos de um componente para outro do sistema hidráulico, as mangueiras são projetadas para suportar altas pressões, temperatura e ser resistente a substâncias corrosivas.

Figura 11 – Manguerias hidráulicas.



Fonte: Parker (2006)

## 6.7 Filtro hidráulico

São responsáveis por separar substâncias sólidas do fluido. São utilizados meios filtrantes para eliminar substâncias sólidas de fluidos ou para separar poeira dos gases. A filtragem é fundamental para proteger seus componentes do sistema hidráulico evitando desgastes, garantindo assim um bom funcionamento dos componentes (PARKER, 2006).

Existe alguns tipos de filtros, onde são dimensionados conforme a vazão, pressão, tipo de fluido, da temperatura de trabalho e do grau de contaminação.

Filtros de sucção ficam localizados antes da conexão de entrada da bomba, protegendo-a da contaminação do fluido (PARKER, 2006).

Filtros de pressão: filtram o óleo sob pressão antes que seja utilizado pelo sistema e protegem os componentes sensíveis do lado filtrado (PARKER, 2006).

Filtros de retorno: retiram a contaminação gerada pelos componentes do equipamento e os contaminantes externos. Sendo o último componente por onde o óleo passa antes de entrar no reservatório (PARKER, 2006).

Filtros off-line: circuito independente de um sistema hidráulico, sendo utilizado para auxiliar os outros filtros. (PARKER, 2006).

Figura 12 – Filtro hidráulico.



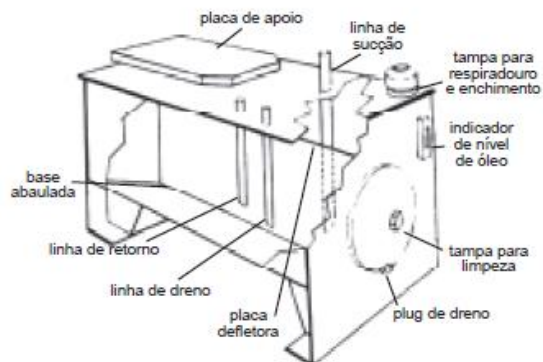
Fonte: Parker (2006)

## 6.8 Reservatório hidráulico

Segundo Parker (2007) a principal função do reservatório hidráulico é conter ou armazenar o fluido hidráulico de um sistema. Mas o reservatório hidráulico possui outras funções como sedimentar as impurezas do óleo, a partir de uma zona de repouso e ainda tem a função de dissipar o calor do fluido por suas paredes.

“Os reservatórios hidráulicos consistem em quatro paredes geralmente de aço, uma base abaulada, um topo plano com uma placa de apoio, quatro pés, linhas de sucção, retorno e drenos, plugue do dreno, indicador de nível de óleo, tampa para respiradouro e enchimento, tampa para limpeza e placa defletora (Chicana).” (PARKER, 2007).

Figura 13 -Reservatório hidráulico.



Fonte: PARKER, (2007).

## **6.9 Falhas**

A falha de um componente do sistema hidráulico, ocorre quando seu rendimento já não atende a qual foi projetado. Fazendo com que o sistema tenha uma perda de eficiência, ou que ocorra a perda total do componente.

Os componentes podem sofrer falhas dependentes ou independentes do tempo. Os dependentes do tempo são geralmente decorrentes do envelhecimento ou desgaste do material, que acarretam a perda das suas propriedades. Já as falhas independentes do tempo ocorrem quando a uma sobrecarga no sistema. (ROSA, 2002). Neste trabalho apresentaremos algumas falhas comuns que podem ser encontrados e que podem danificar ou causar mal funcionamento do sistema hidráulico.

### **6.9.1 Contaminação do fluido hidráulico**

Segundo PARKER (2006) “Mais de 75% das falhas em sistemas hidráulicos e de lubrificação são devidos ao excesso de contaminação. As partículas de sujeira podem fazer com que máquinas caras e grandes falhem.” A contaminação do sistema causa falhas prematuras nos componentes, desgaste excessivo, perda de produção, diminui a vida útil dos componentes entre outras falhas.

A contaminação interfere em algumas funções do fluido hidráulico, como atuar como lubrificante, sua transmissão de energia, a troca de calor e proteger os componentes móveis. Caso uma dessas funções não serem atendidas, ocorrerá perda de eficiência pelos componentes do sistema hidráulico (PARKER, 2006).

Figura 14 – Efeito da contaminação do fluido hidráulico.



Fonte: Portal Lubes, (2016)

### 6.9.2 Falhas no cilindro hidráulico

As falhas que ocorrem no cilindro hidráulico é sempre um grande problema devido à demora da sua restauração e corre o risco de que ocorra a perda total de alguns componentes.

**Camisas rachadas e hastes dobradas/quebradas:** Ocorre geralmente pelo excesso de pressão. Dependendo da rachadura da camisa e da curvatura da haste, não terá como fazer sua recuperação (ÔMEGA, 2012).

Figura 15 - Haste dobrada/quebrada.



Fonte: RC COMPONENTES HIDRÁULICOS, 2016

**Haste danificada (Riscos/Desgastes):** Geralmente ocorre devido a contaminação do sistema ou ao desgaste dos reparos da tampa do cilindro hidráulico, fazendo com que ocorra o contato aço com aço, entre a haste e a tampa. Ou pode ocorrer devido ao excesso de pressão.

Caso ocorra a falha, a haste deverá ter a camada de cromo removida, uma nova camada de cromo deverá ser reposta e suas vedações substituídas (ÔMEGA, 2012).

Figura 16 – Haste riscada/desgaste.



Fonte: RC COMPONENTES HIDRÁULICOS, 2016.

**Conjunto de vedações (corrompido ou ressecado):** Pode ocorrer essa falha devido alguns fatores como: Contaminação do sistema hidráulico, sendo causada por fatores externos como: poeira, terra, limalha ou partículas solidas. Ataque químico ao material das vedações, normalmente consequente da seleção incorreta do material, ou por mudanças do fluido hidráulico. Ou pode ser pela degradação do material das vedações por calor excessivo (ÔMEGA, 2012).

Figura 17 – Vedações corrompidas.



Fonte: RC COMPONENTES HIDRÁULICOS, 2016

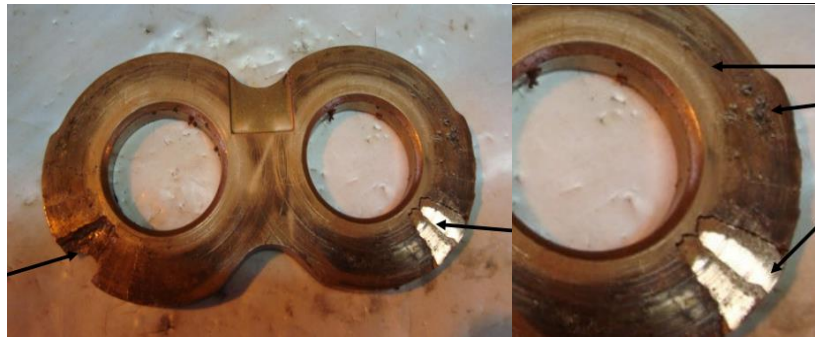
### 6.9.3 Falhas na bomba hidráulica

As bombas hidráulicas necessitam de uma série de cuidados, para que sua eficiência e a sua vida útil não seja antecipada. As principais falhas que ocorrem nas bombas são: cavitação, sobrepessão e contaminação.



**Cavitação:** é causado pela evaporação de óleo a baixa pressão na linha de sucção, dimensionamento incorreto da tubulação de sucção, filtro ou linha de sucção obstruídos, reservatórios despressurizados, óleo hidráulico de baixa qualidade, procedimentos incorretos na partida a frio, óleo de alta viscosidade entre outras causas. A cavitação é a formação de bolhas de gás no fluido, que com a estabilidade da pressão faz com que ocorra uma onda de choque destruindo assim o componente. (LANA, 2005).

Figura 18 – Cavitação no flange da bomba de engrenagem.



Fonte: MARRUCCI, 2009 p. 13.

**Sobrepessão:** é a elevação repentina da pressão, acima do nível permitidos pelos componentes do sistema hidráulico, e pode provir de várias causas. O aumento repentino da pressão, pode provocar a quebra instantânea da bomba ou defeitos como trincas (LANA, 2005).

Figura 19 - Quebra dos componentes da bomba devido a sobrepressão.



Fonte: MARRUCCI, 2009 p. 19.

**Contaminação:** a contaminação causa folga decorrente do desgaste dos componentes da bomba hidráulica (LANA, 2005).

Figura 20 – Bomba de engrenagem desgastada por contaminação.



Fonte: MARRUCCI, 2009 p. 05.

#### 6.9.4 Falhas nas mangueiras hidráulicas

As falhas que provoca desgaste prematuro nas mangueiras hidráulicas são causadas pela pressão acima da recomendada pela mangueira hidráulica, fluidos não compatíveis, temperatura não recomendada, raio de curvatura fora das exigências, e erro de montagem.

Pressões não recomendadas: Quando ocorre o excesso de pressão permitido pela mangueira hidráulica, acaba que diminui a sua vida útil, podendo chegar a ruptura devido a vazão do fluido hidráulico (Andrade, 2017).

Figura 21 – Mangueira estourada devido excesso de pressão.



Fonte: Andrade, C. 2017

**Temperatura não recomendada:** Quando a temperatura interna ou externa ultrapassa a especificada pelo fabricante continuamente a ciclos de aquecimento e resfriamento, ocorre a deterioração da mesma (Andrade, 2017).

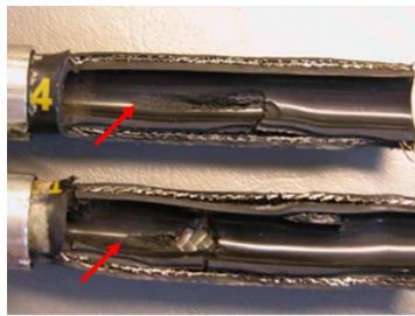
Figura 22 – Mangueira hidráulica deteriorada devido a temperatura.



Fonte: Andrade, C. 2017

**Fluidos não compatíveis:** A contaminação do sistema pela incompatibilidade entre o fluido e a mangueira hidráulica, causa a deterioração, o ressecamento ou a dissolução do material da mangueira (Andrade, 2017).

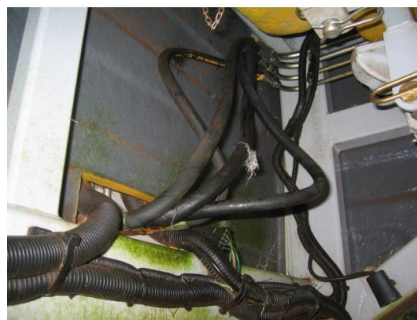
Figura 23 – Mangueira deteriorado por fluido não compatível.



Fonte: Andrade, C. 2017

**Raio de curvatura inferior ao recomendado:** Caso o dimensionamento do raio de curvatura da mangueira hidráulica esteja errado, pode acarretar algumas falhas como o dobramento na parte interna da região curvada da mangueira e dificultar ou restringir o fluxo do fluido hidráulico (Andrade, 2017).

Figura 24 – Raio de curvatura mal dimensionado.



Fonte: Andrade, C. 2017

**Erro de montagem mangueira/terminal:** quando ocorre o mal dimensionamento da espessura da parede da mangueira em relação ao terminal, faz com que o terminal solte com facilidade da mangueira hidráulica ou fique excessivamente prensado. Geralmente essa falha ocorre devido usar o terminal e mangueira de fabricantes diferentes (Andrade, 2017).

Figura 25 – Erro de montagem mangueira/terminal.



Fonte: Carlos Andrade, 2017

## 6.10 Manutenção

Segundo a ABNT (NBR 5462/1994), a manutenção é um conjunto de ações técnicas e administrativas utilizada na área industrial, como um sistema único que destina manter ou recolocar um equipamento, instalação ou maquinário de um determinado setor em plena condição de funcionamento, através de intervenções corretas e oportunas. Ou seja, a manutenção de máquinas e equipamentos, são conjuntos de ações necessárias para manter a vida útil e a eficiência mais longa, diminuindo possíveis falhas e paradas na linha de produção.

O funcionamento adequado do sistema hidráulico é primordial para manter seu bom desempenho, pois ele responde por funções essenciais de operação, como o deslocamento, escavação do solo e entre outras operações. Para preservar a eficiência do sistema hidráulico, é fundamental que haja uma atenção periódica especial com relação a todo o sistema. E a forma mais eficiente é utilizando indicadores de manutenções (ÔMEGA, 2015).

Por meio da análise de dados de falhas, pode-se determinar qual o comportamento das falhas ao longo do tempo, desta forma, conseguimos definir uma periodicidade de manutenção mais adequada (ÔMEGA, 2015).

Os tipos de manutenção que abordaremos no trabalho são: corretiva, preditiva e preventiva, mas as que irão predominar no trabalho será a manutenção preventiva e preditiva, evitando ao máximo a utilização da manutenção corretiva, sendo apenas utilizados em último caso.

Para este trabalho utilizaremos alguns indicadores para listar as possíveis falhas e a sua periodicidade, assim melhorando a confiabilidade das manutenções. Conforme os resultados que obtivermos definiremos atividades de manutenção preventiva e preditiva adequada para nosso processo. Utilizaremos o FMEA (Análise dos modos de falha e seus efeitos) e periodicidade para buscar nosso objetivo.

### **6.10.1 Manutenção corretiva**

“A manutenção corretiva é efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida” (ABNT - NBR 5462, 1994).

Alguns componentes do sistema hidráulicos têm durabilidade menor e precisam ser analisados, trocados ou reparados com periodicidade. Caso esse acompanhamento não seja feito, pequenos defeitos podem gerar problemas e danos maiores às máquinas (ÔMEGA, 2015). As falhas não programadas no sistema hidráulico impactam diretamente na produção e aumentam os custos operacionais do equipamento.

### **6.10.2 Manutenção Preditiva**

Segundo a norma NBR 5462 (1994) é a “manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a Manutenção Preventiva e diminuir a Manutenção Corretiva”.

Na execução da manutenção preditiva exige a utilização de aparelhos adequados, capazes de registrar vários fenômenos como as vibrações das máquinas, pressão, temperatura, desempenho e aceleração. Geralmente, adota-se vários métodos de investigação para poder intervir nas máquinas e equipamentos. Entre os vários métodos destacam-se os seguintes: estudo das vibrações, análise dos fluidos, termografia. (PARKER, 2006)

A análise de óleo é bastante utilizada para evitar contaminação do fluido hidráulico e identificar falhas no sistema como desgastes de algumas peças. o óleo contaminado desgasta por atrito todos os componentes com que tem contato, acarretando a necessidade de se fazer manutenção em curto espaço de tempo, perda de eficiência e de produtividade. Aproximadamente 75% das falhas em equipamentos hidráulicos são atribuídas ao excesso de contaminação do fluido, já que este processo acontece o tempo todo (PARKER, 2006).

### **6.10.3 Manutenção preventiva**

Segundo a norma NBR 5462 (1994) “manutenção preventiva é efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item”.

A manutenção preventiva tem a função de identificar, analisar e reparar pequenos problemas antes que eles causem danos aos equipamentos. Isso envolve trocas de pequenos componentes, como vedações, fluidos e filtros. É necessário conhecer o funcionamento dos equipamentos para se desenvolver um planejamento e geralmente isso vem indicado pelo fabricante dos componentes (FILHO, 2010).

Os procedimentos mais utilizados no sistema hidráulico é a alteração do filtro hidráulico, obtenção de amostra do filtro hidráulico, verificação do funcionamento dos cilindros hidráulicos, limpeza de reservatórios e partes externas dos equipamentos, verificação da pressão hidráulica, verificação de vazamentos em bombas, componentes e estado de conservação das mangueiras, tubos e acessórios, entre outros procedimentos. (ÔMEGA, 2015).

#### **6.10.4 Confiabilidade**

Segundo a norma NBR 5462-1994, define a confiabilidade como "capacidade de um item desempenhar uma função requerida, sob condições especificadas. Durante um dado intervalo de tempo". Ou seja, o tempo em que um equipamento se mantém em pleno funcionamento.

O aumento da disponibilidade dos equipamentos buscando a confiabilidade leva a uma otimização das manutenções, diminuindo as ocorrências das falhas e aumentando da sua produtividade e para essa otimização geralmente é utilizado alguns indicadores. (SANTOS, 2011).

### **6.11 Indicadores de manutenções**

Segundo Santos, (2017). Os indicadores de manutenções surgem na rotina industrial devido a necessidade de avaliar os pontos de melhoria e de perdas no processo. Com os indicadores conseguimos avaliar a progressão das falhas de um componente ao longo do processo e torna-se possível a implementação de técnicas de análise de confiabilidade mais complexas. Os indicadores geralmente são escolhidos levando em consideração os objetivos, a estratégia e o plano de ação adotado para solucionar os problemas ou alcançar os objetivos. Para esse trabalho iremos utilizar o FMEA, criticidade e periodicidade para alcançar os objetivos.

#### **6.11.1 FMEA**

Segundo a norma NBR 5462-1994 define o FMEA como “Método qualitativo de análise de confiabilidade que envolve o estudo dos modos de falhas que podem existir para cada

subitem, e a determinação dos efeitos de cada modo de pane sobre os outros subitens e sobre a função requerida do item.”

O FMEA é um indicador muito importante para as empresas, e é necessário muito cuidado e planejamento para sua implementação. O FMEA são partes integrante da gestão de risco e do suporte a melhoria contínua. Por esses motivos o FMEA torna-se uma parte essencial no desenvolvimento de máquinas e equipamentos e para garantir que falhas sejam avaliadas e evitadas e que medidas sejam adotadas para reduzir o seu risco. (MOURA, 2000).

O FMEA geralmente é dividido em dois tipos sendo, FMEA de produto e FMEA de processo onde:

FMEA de produto: tem como objetivo analisar as falhas saem do padrão e das especificações no desenvolvimento de um projeto. (MOURA, 2000).

FMEA de processos: tem como objetivo analisar as falhas desde seu planejamento, buscando assim melhorá-lo. (MOURA, 2000).

O desenvolvimento de FMEA quer seja de projeto ou de processo, utiliza uma abordagem comum. Antes de realizar o FMEA deve se estabelecer o que será avaliado, ou seja, sistema, componentes ou subcomponente. (MOURA, 2000).

FMEA de sistema: é constituído de diversos componentes. Sendo o foco em tratar de todas as interações entre sistemas, componentes, o ambiente e o cliente. (MOURA, 2000).

FMEA de componente: é um conjunto de um FMEA de sistema. Sendo o foco em tratar de todas as interações dos componentes com outros componentes ou sistemas.

FMEA de subcomponente: é um subconjunto de um FMEA de componente. Sendo o foco em tratar de todas as interações dos subcomponentes com outros subcomponentes ou componentes. (MOURA, 2000).

Com a utilização do FMEA obtemos uma grande quantidade informações sobre os modos de falha, as causas e efeitos. A partir dessas informações podemos identificar o grau de severidade, ocorrência e detecção e determinar o número de prioridade de risco (RPN). (VINADÉ, 2003)



Modo de falha: é definido como a maneira pela qual o componente poderia falhar em atender a suas funções, ou seja, a maneira como ela é encontrada no sistema. (MOURA, 2000)

Efeitos da falha: É definido como os efeitos do modo de falha sobre sua função. Os efeitos devem ser descritos do modo em que os clientes iriam notar ou descrevê-los. (MOURA, 2000)

Causas da falha: É definido como uma indicação de como a falha poderia ocorrer, ou seja, o que levou a ocorrer uma determinada falha no equipamento. (MOURA, 2000)

Segundo Moura, (2000) severidade é um indicativo associado ao grau de gravidade, para um determinado modo de falha. Ocorrência é o quanto frequentemente a causa de uma falha pode ocorrer.

Segundo Moura, (2000) ocorrência é um indicativo associado a uma probabilidade de uma determinada causa de falha ocorrer resultando no modo de falha, esse valor tem um significado relativo, em vez de um valor absoluto.

Segundo Moura, (2000) detecção é um indicativo que mostra a probabilidade de identificação da falha, quanto antes a falha for identificada mais fácil é para consertá-la.

RPN – Esse indicador é uma maneira de ordenar os modos de falha através de um único valor. Esse valor é a multiplicação dos indicadores de ocorrência, severidade e detecção. Dessa maneira conseguimos analisar os modos de falha que tem mais criticidade. (MOURA, 2000)

### **6.11.2 Criticidade**

A criticidade é utilizada para determinar a importância de um sistema ou componente dentro de um processo produtivo. Com base na criticidade podemos definir graus de prioridades, fazendo com que a manutenção tenha um impacto maior na confiabilidade do sistema. Com a definição das classes e parâmetros como: segurança, qualidade, custo etc. Podemos determinar ações e melhorias para o nosso sistema. (SANTOS, 2011)

### 6.11.3 Software

Para processos de manutenção que necessitam de diversas revisões, para sua melhoria e de suma importância adotar softwares, para que se encarreguem de armazenar informações criando assim um banco de dados eficiente, com a ajuda dessa tecnologia é possível fazer um acompanhamento exato da situação e visualização ampla das informações. (SANTOS, 2017)

## 7 MATERIAIS E MÉTODOS

A união promovida pela utilização dos indicadores FMEA, periodicidade e criticidade, permitiu uma melhor análise de cada componente do sistema hidráulico, atribuindo para nossa manutenção uma maior confiabilidade.

Os materiais e métodos que será utilizado no nosso processo será dividido em 5 etapas:

Etapa 1 – Coleta de dados para elaboração do plano de manutenção do FMEA e periodicidade através de estudo teórico de revisão bibliográfica.

Etapa 2 – Com os dados coletados daremos início na elaboração do FMEA, definindo os modos de falhas, seus efeitos, as causas e definir os índices de severidade, detecção, ocorrência e RPN.

Etapa 3 – Após finalizar o FMEA iremos definir um grau de criticidade para complementar o RPN, e determinar os modos de falha que precisarão de ações preventivas.

Etapa 4 – Com o grau de criticidade definido, iremos montar nosso programa de manutenção definindo uma periodicidade, técnicas de manutenção e medidas de controle com base nos dados coletados.

Etapa 5 – Com nosso programa de manutenção definido iremos utilizar um software para auxiliar nas possíveis revisões das etapas 2, 3 e 4.

## 7.1 Coletas de dados

Realizar a coleta de dados é de suma importância tanto no início do programa de manutenção, quanto no seu decorrer. Para o estudo do tema abordado, foi realizado uma coleta de dados através do método qualitativo, sendo obtidos os dados de catálogos dos principais fabricantes, manuais de manutenção e operação, livros de diagnósticos de falha e experiências pessoais. Para esse trabalho iremos utilizar tabelas para organizar os dados coletados. (SANTOS, 2011).

## 7.2 FMEA

Neste trabalho utilizaremos a tabela em conjunto a um software para realizar as revisões e avaliação do FMEA. Na figura 27 demonstra alguns requisitos utilizados na nossa tabela.

Figura 26 – FMEA.

Nº FMEA: 1		Data de Início: 03/05/2019		Responsável: Jean Piéri		Área: Máquinas pesadas		
Revisão Nº: 0		Data de revisão: 03/05/2019		Revisado por: Jean Piéri		Sistema: Hidráulico		
Etapa do processo		Análise da Falha			Avaliação de Risco			Ações Preventivas Recomendadas
Componente	Função do componente	Modo de Falha	Efeitos de Falha	Causas da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	
							RPN	

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

### 7.2.1 Cabeçalho do formulário FMEA de processo.

O cabeçalho deve identificar claramente o foco do FMEA, bem como as informações relacionadas ao processo de desenvolvimento e controle do documento, isto deveria incluir o número do FMEA, identificação do escopo, responsável pelo projeto, datas do projeto etc.

### **7.2.2 Etapa do processo**

Na etapa de processo estabelece os limites da análise, determinado com base no tipo de FMEA que está sendo criado, ou seja, sistema, componente ou subcomponente. Para iniciar o FMEA é necessário determinar o que será estudado e sua função para que haja um foco consistente ao estabelecer os processos. (MOURA, 2000)

Para este trabalho nosso foco será os componentes do sistema hidráulico, que são: fluido hidráulico, cilindro hidráulico, bomba hidráulica, válvula direcional, válvula de pressão, válvula de retenção, válvula de fluxo, filtro, mangueira hidráulica e reservatório.

Componente: equipamento que é vital para o bom funcionamento do sistema.

Função: Papel que o componente desempenha dentro do sistema.

### **7.2.3 Análise da falha**

Nesta etapa iremos listar e analisar ponto a ponto cada possível falha de cada componentes, dividindo então nosso processo em 3 pontos sendo elas: modo de falha, efeitos da falha e suas causas.

### **7.2.4 Avaliação de risco**

Nesta etapa do FMEA iremos definir os índices de severidade, ocorrência e detecção, assim quantificando o grau de risco de cada modo de falha no sistema. Para calcular nosso grau de risco multiplicaremos os três índices encontrado, esse valor será atribuído ao RPN. (MOURA, 2000)

Para o índice de severidade iremos atribuir uma nota de 1 a 10, onde a nota 1 significa nenhum efeito e 9 e 10 significa falha que afeta a segurança. Na tabela 1 está descrito os critérios dos efeitos das falhas.

Tabela 1 – Severidade do FMEA.

<b>SEVERIDADE</b>		
<b>Índice de Severidade</b>	<b>Severidade</b>	<b>Crítérios: Efeito da Severidade</b>
10	Falha em atender a requisitos de segurança e/ou regulatórios	Pode trazer perigo ao operador (da máquina ou montagem), sem prévio aviso
9		Pode trazer perigo ao operador (da máquina ou montagem), com prévio aviso
8	Interrupção maior	Sistema inoperável (perda das funções principais)
7	Interrupção significativa	Sistema inoperável, mas com níveis de desempenho reduzido, descontentamento do cliente
6		Sistema operável, mas com deterioração significativo no desempenho, com descontentamento do cliente
5	Interrupção moderada	Sistema operável, mas com deterioração moderada no desempenho, com descontentamento do cliente
4		Sistema operável, mas com deterioração moderada no desempenho, com descontentamento moderado do cliente
3	Interrupção menor	Sistema operável, mas com leve deterioração no desempenho, com leve descontentamento do cliente
2		Sistema operável, mas com leve deterioração no desempenho, cliente mal percebe que a falha ocorre
1	Nenhum efeito	Sem efeito identificado pelo cliente.

Fonte: Desenvolvido pelo autor

Para o índice de ocorrência iremos atribuir uma nota de 1 a 10, onde a nota 1 significa remota e 9 e 10 muito alta. Na tabela 2 está descrito os critérios de probabilidade de uma determinada causa de falha ocorrerá.

Tabela 2 – Ocorrência do FMEA.

<b>OCORRÊNCIA</b>			
<b>Índice de Ocorrência</b>	<b>Ocorrência</b>	<b>Frequência da falha</b>	<b>Critérios: Ocorrência de causa</b>
10	<b>Muito Alta</b>	Várias vezes ao dia	Novo projeto, sem histórico
9		1 vez ao dia	A falha é inevitável com nova aplicação
8	<b>Alta</b>	Algumas vezes por semana	A falha é provável, com nova aplicação ou alteração no ciclo de trabalho
7		1 vez por semana	A falha é incerta, com nova aplicação ou alteração no ciclo de trabalho
6	<b>Moderada</b>	1 vez por mês	Falhas frequentes associadas a projetos similares, ou em simulação e teste de projeto
5		1 vez por semestre	Falhas ocasionais associadas a projetos similares, ou em simulação e teste de projeto
4		1 vez por ano	Falhas isoladas associadas a projeto similar, ou em simulação e teste de projeto
3	<b>Baixa:</b>	1 vez a cada 2 anos	Somente falhas isoladas, associadas a projeto praticamente idêntico, ou em simulação e testes de projeto
2		1 vez a cada 5 anos	Falhas não observadas, associadas a projeto praticamente idêntico, ou em simulação e testes de projeto
1	<b>Remota</b>	Chance remota de falha	A falha é eliminada através de controle preventivo

Fonte: Desenvolvido pelo autor

Para o índice de detecção iremos utilizar uma nota de 1 a 10, onde a nota 1 significa remota e 9 e 10 muito alta. Na tabela 3 está descrito os critérios de probabilidade de identificação da falha.

Tabela 3 – Detecção do FMEA.

<b>DETECÇÃO</b>			
<b>Índice de Detecção</b>	<b>Detecção</b>	<b>Critério: detecção modo de falha</b>	<b>Controles de detecção do modo de falha</b>
10	Quase impossível	Não se pode detectar a falha	1) Percepção do operador sob condições normais de operação do sistema 2) Equipe de manutenção 3) Inspeção através de ação-diagnóstico 4) Dispositivo de monitoramento da máquina
9	Muito remota	Probabilidade muito remota de detecção do modo de falha pelos controles	
8	Remota	Probabilidade remota de detecção pelos controles	
7	Muito Baixa	Probabilidade muito baixa de detecção pelos controles	
6	Baixa	Baixa probabilidade de detecção pelos controles	
5	Moderada	Moderada probabilidade de detecção pelos controles	
4	Moderadamente alta	Moderadamente alta probabilidade de detecção pelos controles	
3	Alta	Alta probabilidade de detecção pelos controles	
2	Muito alta	Probabilidade muito alta de detecção pelos controles	
1	Praticamente certa	Controles certamente detectarão.	

Fonte: Desenvolvido pelo autor

Para os índices de RPNs alto ou um modo de falha que causa um risco crítico ao meio ambiente ou a segurança de pessoas, diminui a disponibilidade do sistema ou aumento no custo da manutenção, devem apresentar métodos e ações recomendadas para obter a redução ou eliminação do modo de falha. Para severidade com índices de 10 ou 9 é obrigatório uma ação preventiva e para 8 ou 7 deve ser avaliado a necessidade de desenvolver ações e métodos alternativos. Para cada grau de criticidade vai ser atribuído cores conforme tabela 4.

Tabela 4 – Grau de criticidade

<b>Categoria de criticidade</b>	<b>denominação</b>	<b>Crítérios</b>
	Crítico	(RPN > 200) - ações e Método alternativos devem ser desenvolvidos para redução da criticidade
	Indesejável	(RPN de 100 - 200) - deve ser avaliado a necessidade de desenvolver ações e Método alternativos para redução da criticidade
	Tolerável	(RPN < 100) - não há necessidade de medidas adicionais. A monitoração é necessária para assegurar que a criticidade seja mantida

Fonte: Desenvolvido pelo autor

### 7.3 Programa de manutenção

Nosso programa de manutenção apresentara as seguintes informações, ver figura 27.

Figura 27 – Programa de manutenção preventiva/preditiva

Programa de manutenção preventiva/preditiva												
Programa N°: _____		Responsavel: _____		data inicio: _____			data termino: _____					
Revisão: _____		Responsavel pela revisão: _____		data inicio: _____			data termino: _____					
<b>Diagnostico:</b>		<b>Caso encontre alguma conformidade ao realizar as atividades marque o campo diagnostico com S/N (caso encontre fazer um relatorio no diagnostico de falha).</b>										
Operação N°:	Equipamento	Atividades	periodicidade (Carga horaria de 10 horas / dia)							Diagnostico		Observações
			10	50	125	250	500	1000	2000	4000	S	

Fonte: Desenvolvido pelo autor

O planejamento das atividades do programa de manutenção foi criado baseando-se nas falhas encontradas no FMEA, dando foco para as falhas com maior RPN, com o intuito de aumentar a confiabilidade dos componentes do sistema hidráulico.



O planejamento da periodicidade foi desenvolvido com base as especificações dos fabricantes e a partir da taxa de falha dos equipamentos, sendo ajustado para atender ao nosso FMEA. Para realizar a alimentação do nosso programa de manutenção e o FMEA foi desenvolvido um diagnóstico de falha, para obtermos os dados necessários para fazer essa alimentação.

### 7.3.1 Diagnóstico da falha

Nosso diagnóstico de falha foi criado para auxiliar na revisão e na coleta de dados das falhas após a implementação do programa de manutenção, para que ocorra uma melhora na eficiência dos dados coletados. Como a uma variação de hora, serviço e clima é de suma importância revisar o programa de manutenção e o FMEA, para que ocorra a adequação do nosso programa para as diversidades do processo. O diagnostico vai apresentar as seguintes informações. ver tabela 5.

Tabela 5: Diagnóstico de falha

<b>DIAGNÓSTICO DE FALHA</b>		
<b>Tipo de Ação</b>		
Ação corretiva	Ação preventiva	Ação preditiva
Operador: _____	Máquina: _____	Componente: _____
Data: _____	Horimetro: _____	
<b>Descrição da falha</b>		
<b>Investigação das causas</b>		

Utilizar o FMEA para o auxílio da coleta de dados e sobre a criticidade. (caso seja um modo de falha que não está apresentado no FMEA deve-se fazer uma revisão do mesmo)				
Plano de Ação				
Ação	Responsável	Data de início	Data Final	Observações
Identificar a falha				
Realizar coleta de dados sobre a falha				
Investigar causas				
Realizar estudos para solução do problema				
Planejar e executar manutenção				
Elaborar revisão do FMEA e programa de manutenção				

Fonte: Desenvolvido pelo autor

Tipo de ação: Nesse campo iremos escolher o estágio em que se apresentava a falha, lembrando que:

Ação corretiva: A falha está no seu estado crítico.

Ação preventiva: A falha está em um estado avançado

Ação preditiva: A falha está no seu estado inicial

Cabeçalho: nesse campo contém as seguintes informações: nome do operador, data, máquina, horímetro (utilizado para determinar a periodicidade de manutenção), e o componente que sofreu a falha.

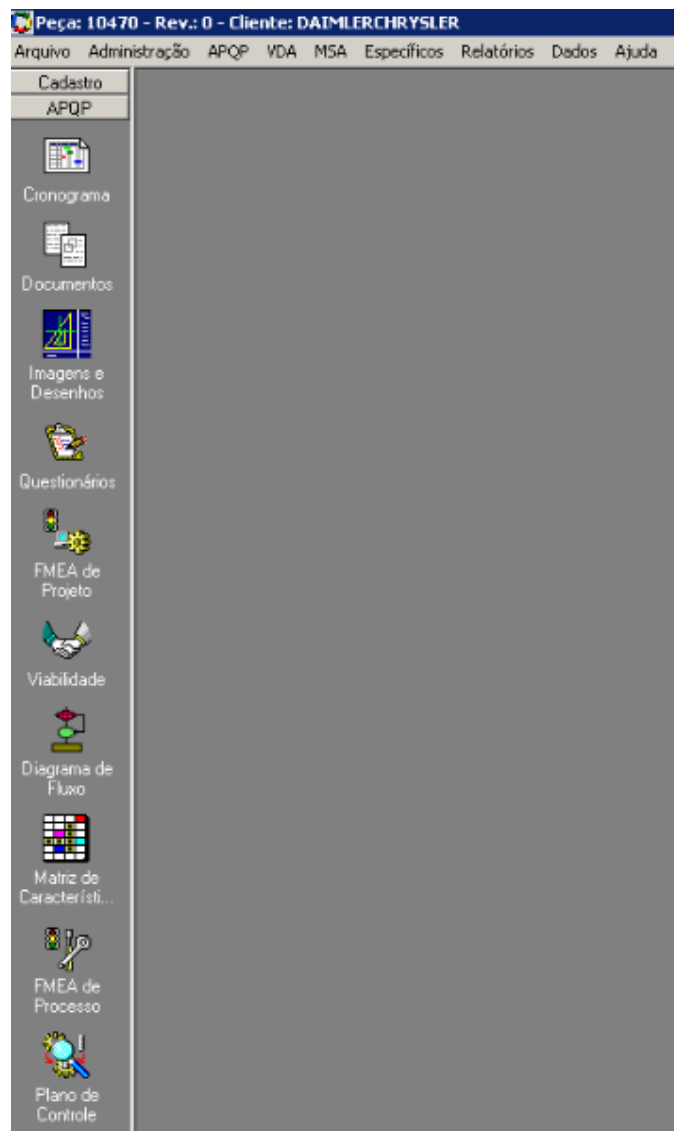
Descrição: Nesse campo deve conter informações sobre o modo de falha, método utilizado para detectar a falha e o efeito causado pela falha.

Plano de controle: É uma sequência de ação importante para a alimentação do nosso programa de manutenção e para solução da falha.

## 7.4 Software

Para a realização das revisões dos indicadores citados nesse trabalho é indicado utilizar o FIPAQ (Ferramentas Integradas do Planejamento Avançado da Qualidade do Produto), com esse software conseguimos fazer registros de todos os fatores (FMEA de processo, plano de controle, responsáveis, data de início, data final, N° de revisão e entre outros) abordados nesse trabalho, conseguindo realizar o controle das falhas e informações. ver figura 29.

Figura 28 – FIPAQ



Fonte: Desenvolvido pelo autor

Para nosso banco de dados será importante as áreas cronograma, plano de controle e FMEA de processo.

No Cronograma conseguimos controlar as atividades que iremos aplicar no sistema, definimos o responsável, as datas de início e fim e observações. Conforme figura 29.

Figura 29 - Cronograma

Cronograma						Gantt			
Atividade	Responsável	Início	Prazo	Dias	% Concluído	Início Real	Fim	Dias Real	Observações
Desenho (Se aplicável)									
FMEA de Projeto (Se aplicável)									
Protótipo (Se aplicável)									
Diagrama de Fluxo									
FMEA de Processo									
Plano de Controle									

Fonte: Desenvolvido pelo autor

No plano de controle conseguimos controlar característica do processo, se o equipamento é um item de segurança, técnicas de avaliação, método de controle, manutenção utilizada e o plano de reação.

No FMEA de processo, é bem parecido com o desenvolvido nesse trabalho, tendo as características do componente, o modo de falha, efeitos da falha, causas, severidade, ocorrência, detecção e NPR (RPN sendo o mesmo apenas com a ordem de abreviação trocada). Conforme figura 30.

Figura 30 – FMEA de processo

Requisitos - Características	Requisitos - Complemento	Modo de Falha Potencial	Efeitos Potenciais da Falha	SEV	C

Causas/Mecanismos Potenciais da Falha	Controles Atuais do Processo - Prevenção	OCOR	Controles Atuais do Processo - Detecção	DET	N P R

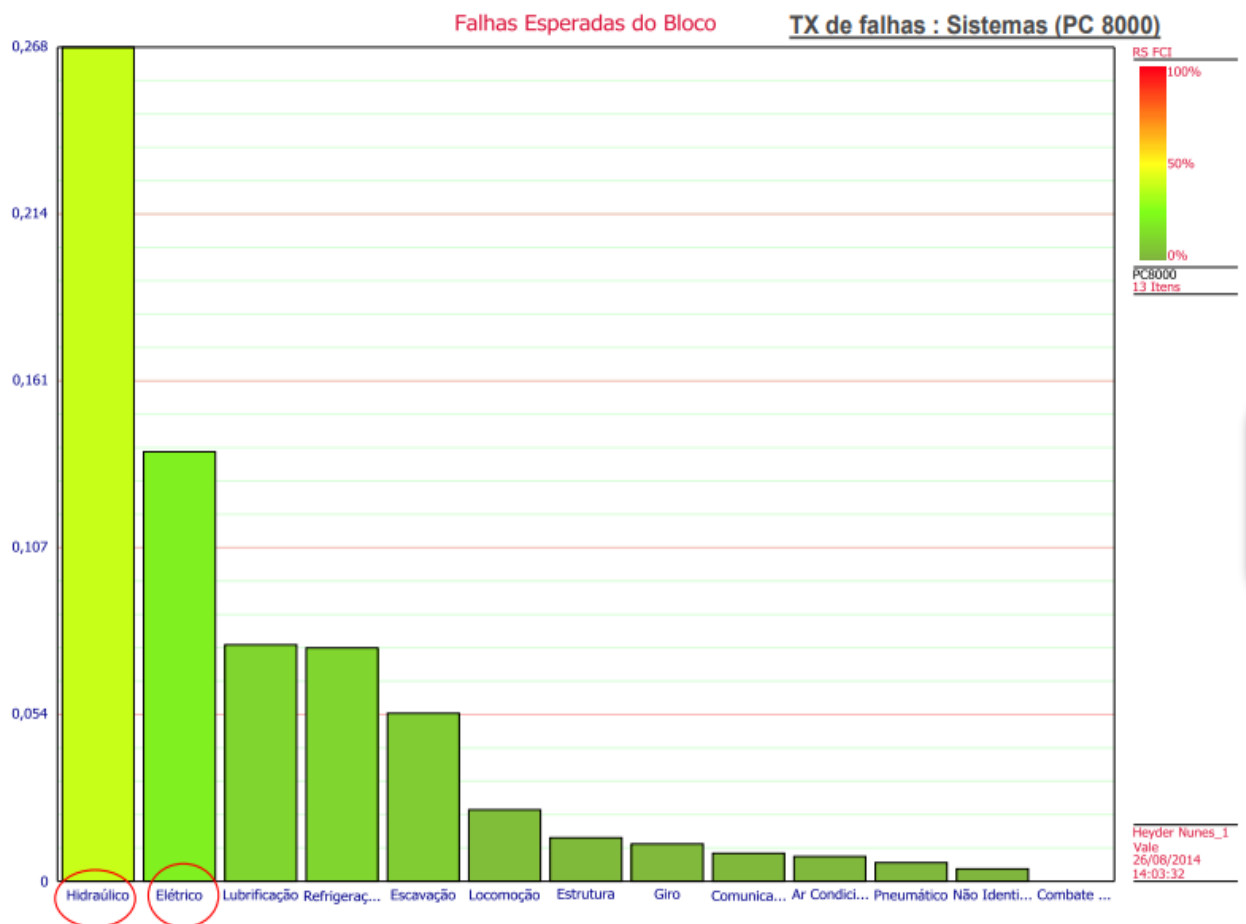
Fonte: Desenvolvido pelo autor.

## 8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 8.1 Manutenção centrada na confiabilidade

Em estudos atuais, demonstram a importância de se fazer novos estudos para aumentar a confiabilidade do sistema hidráulico para as máquinas pesadas através de indicadores de manutenção. Segundo Abramam, (2014) o sistema que mais apresenta falhas para as máquinas pesadas é o sistema hidráulico, este estudo foi realizado em uma máquina pesada (PC 8000) da empresa vale. Resultados demonstrados na figura 31.

Figura 31 – Falha esperada do bloco



Autor: (ABRAMAN, 2014)

## 8.2 FMEA

Conforme já citado no trabalho os resultados obtidos do FMEA foi baseando-se em dados coletados pelo método qualitativo. Os resultados obtidos sobre os modos de falha, seus efeitos e causas estão demonstrados na tabela do FMEA. Conforme tabela 6.

Analisando os resultados adquiridos conseguimos perceber o grau de prioridades de cada componente, quais as maiores causas de falha do sistema e os componentes que mais sofre efeitos no sistema. Com nossa tabela do FMEA conseguimos visualizar e confirmar o motivo do fluido hidráulico ser responsável por até 75% das falhas no sistema hidráulico, podemos identificar também que os efeitos podem ser de vários modos de falha, sendo difícil determinar o real modo de falha que está emplacando aquela falha no sistema. Ao analisar por completo o FMEA conseguimos entender o porquê de sua importância para a confiabilidade dos componentes, com ele conseguimos identificar diversas possibilidades de soluções e conseguimos montar planos de ação.

Com a utilização das tabelas 1, 2 e 3 definimos o RPN de cada modo de falha, esses resultados estão demonstrados na tabela 6 com esse indicador do FMEA conseguimos visualizar os componentes e os modos de falhas com maiores prioridades.

Na nossa pesquisa os modos de falha com maior RPN foram: redução muito acentuada do nível do fluido nos reservatórios hidráulico, devido a sua severidade ser alta, pois caso o nível do fluido chegar a um nível muito baixo podemos ter uma série de falhas no nosso sistema, além da parada de funcionamento da máquina e por possui um índice de ocorrência alta. O segundo modo de falha com maior RPN é o atrito interno nos cilindros hidráulicos devido sua severidade ser muito alta, pois caso a falha ocorra, dificilmente conseguiremos salvar os componentes do cilindro hidráulico, geralmente quando essa falha ocorre, nós temos a perda completa do cilindro hidráulico e parada total de umas das principais funções das máquinas pesadas, sua ocorrência não é tão alta mas é muito complicado de se detectar esse modo de falha. Ver tabela 6.

Tabela 6 - FMEA

Nº FMEA: 1		Data de Início: 03/05/2019		Responsável: Jean Pierri		Área: Máquinas pesadas			
Revisão Nº: 0		Data de revisão: 03/05/2019		Revisado por: Jean Pierri		Sistema: Hidráulico			
Etapa do processo		Análise da Falha			Avaliação de Risco				
Componente	Função do componente	Modo de Falha	Efeitos de Falha	Causas da Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	RPN	Ações Preventivas Recomendadas
Fluido hidráulico	Responsável por realizar a transferência de energia no sistema hidráulico	Viscosidade baixa	Perda do poder lubrificante / aumento de vazamentos / perda da eficiência de alguns componentes	Aumento excessivo da temperatura / fluido de trabalho inadequado / água no fluido	5	5	3	75	
		Viscosidade elevada	Aumento da resistência ao escoamento / perda da eficiência de alguns componentes	Temperatura do ambiente muito baixa / fluido de trabalho inadequado	5	5	3	75	
		Excesso de partículas contaminantes	Desgaste e emperramento ou entupimento de componentes	Falha na execução da manutenção / Ruptura ou desgaste das vedações / falha nos filtros	6	5	5	150	Inspeção visual dos filtros semanalmente
		Ar no fluido	Varição na compressibilidade / cavitação na bomba / perda do poder lubrificante / perda da eficiência de alguns componentes	Ruptura das mangueiras e vedações / nível de óleo muito baixo no reservatório / perda da capacidade dos aditivos inibidores de espuma	6	4	6	144	Inspeção visual do nível do fluido diário
		Oxidação do Fluido	Desgaste dos componentes do sistema / acúmulo frequente de sujeira / aumento na viscosidade do fluido	Perda da capacidade dos aditivos inibidores de oxidação / reação do fluido com oxigênio do ar	5	3	6	90	
		Água no fluido	Perda do Poder Lubrificante / redução da viscosidade do fluido e oxidação de alguns componentes.	Ruptura ou desgaste das vedações / água proveniente da condensação / perda da	5	3	5	75	

Cilindro hidráulico	Convertem a energia recebida por um fluido hidráulico pressurizado, em movimento linear	Força incorreta ou instável	Parada ou movimentação lenta dos cilindros hidráulico / golpes de pressão / deformação da tampa e do êmbolo / velocidade instável dos cilindros hidráulicos	Vazamentos / pressão instável do sistema / falha da válvula de pressão / ar no fluido / emperramento da haste / emperramento do êmbolo com a camisa devido ao desgaste / viscosidade do fluido inadequada	6	3	4	72	
		Velocidade incorreta ou instável	Perda de precisão de posicionamento / vibração	Ar no fluido / falha da válvula fluxo / falha na bomba / Viscosidade do fluido inadequada / Vazamento / ruptura ou desgaste das vedações	6	3	4	72	
		Atrito interno elevado	Parada ou Movimentação lenta dos cilindros hidráulicos / Vazamentos no cilindro hidráulico / Desgaste dos componentes do cilindro hidráulico / Aumento da temperatura do sistema / perda de viscosidade do fluido	Excesso de partículas contaminantes / viscosidade do fluido elevada / emperramento da haste / emperramento do êmbolo com a camisa devido o desgaste	8	3	9	216	Verificar as condições dos cilindros hidráulicos a cada 2 semana
		Vazamentos	Pressão instável dos cilindros hidráulicos / parada ou Movimentação lenta dos cilindros hidráulicos / contaminação do sistema / desgaste dos componentes do cilindro hidráulico	Fluido contaminado / pressão elevada / riscos ou desgaste na haste, tampa, êmbolo ou camisa do cilindro hidráulico / ruptura ou desgaste das vedações	7	5	3	105	Verificar vazamentos diariamente
		Emperramento do êmbolo / haste	Parada ou Movimentação lenta dos cilindros hidráulicos / Golpes de pressão / desgaste das vedações / perda da função principal do cilindro hidráulico	Temperatura elevada os componentes do cilindro hidráulico / Excesso de partículas contaminantes / ruptura ou desgaste das Vedações	8	3	4	96	Verificar as condições dos cilindros hidráulicos a cada 2 semana
		Haste danificada	Parada ou Movimentação lenta dos cilindros hidráulicos / Desgaste da tampa do cilindro hidráulico / contaminação do fluido hidráulico	Ruptura ou desgaste das vedações / emperramento da haste / Excesso de partículas contaminantes /	7	4	5	140	Verificar as condições dos cilindros hidráulicos a cada 2 semana



Bomba hidráulica	Responsável pela geração da vazão e pressão dentro do sistema hidráulico	Vazão anormal ou instável	Pressão instável do sistema / parada ou movimentação instável dos cilindros hidráulicos / vibração excessivo	Cavitação / Ar no fluido / desgaste ou ruptura dos componentes da bomba hidráulica / Sentido de rotação invertido / Viscosidade do fluido muito alta / Linha de sucção obstruída / Vazamento / Nível de óleo no reservatório baixo / Ondas de pressão	6	3	4	72	
		Vibração excessiva	Afrouxamento ou soltura de elementos de união / Vazamento / desgaste ou ruptura dos componentes da bomba hidráulica/ elevação da temperatura do fluido	Desgaste dos componentes da bomba / Eixo desalinhado / pressão instável / cavitação / ondas de pressão	6	3	6	108	Verificar as condições da bomba hidráulica semestralmente
		Ruído excessivo	Desgaste acelerado dos componentes da bomba / parada ou perda de eficiência da bomba	Cavitação / Ar no fluido / Vibração devido ao desbalanceamento interno / Sentido de rotação invertido	7	3	5	105	Verificar as condições da bomba hidráulica semestralmente
		Vazamentos	Pressão instável / Velocidade anormal dos cilindros hidráulicos / contaminação do sistema	Pressão excessiva dentro da carcaça da bomba / Fluido com temperatura excessiva / desgaste no eixo / vibração / ruptura ou desgaste das vedações	7	5	3	105	Verificar vazamentos diariamente

Válvula Direcional	Comandam partida, parada e alteração do sentido de fluxo de um fluido hidráulico pressurizado	Tempo de resposta instável	Tempo de resposta do cilindro hidráulico instável / Perda de precisão no posicionamento do cilindro hidráulico	Pressão instável / Folga entre o carretel e corpo da válvula / vazamento / Amortecimento da comutação muito pronunciado / ar no fluido	6	4	2	48
		Vazamentos	Parada ou movimentação instável do cilindro hidráulico / Perda da precisão no posicionamento do cilindro hidráulico / tempo de resposta instável	Parafusos estirados / ruptura ou desgaste das vedações / Corpo da válvula desgastado ou danificado / Pressão excessiva / riscos ou desgaste do carretel	6	5	3	90
		A pressão na saída da direcional não é mantida	Parada ou movimentação lenta do cilindro hidráulico / Perda da precisão no posicionamento do cilindro hidráulico / Golpes de pressão / Desgaste de componentes do sistema	Falha do carretel ao responder o comando da válvula / vazamentos / ar no fluido / Restrições na linha de dreno	5	3	3	45
Válvulas de retenção	Bloqueio o fluxo de fluido no sistema hidráulico	Vazamentos	Pressão não é mantida / fluxo instável no sistema	Elementos de vedação danificados	6	4	2	48
		Pressão instável	Movimentação instável do cilindro hidráulico / Golpes de pressão	Vazamentos / desgastes dos componentes da válvula / ar no fluido	5	3	5	75
		Mal funcionamento da válvula	Pressão de retorno excessivo / Fluxo excessivo	Desgaste dos componentes da válvula / vazamentos / ondas de pressão	6	2	5	60

Válvula reguladora de pressão	Limitadora de pressão e segurança/descarga (protegendo o sistema contra sobrecargas).	Pressão insuficiente	Pressão insuficiente no cilindro hidráulico / Parada ou movimentação lenta do cilindro hidráulico / Perda da precisão no posicionamento do cilindro hidráulico	Emperramento do carretel / ruptura ou desgaste das vedações danificadas / mola danificada, desgaste dos componentes da válvula / vazamento / Variação na viscosidade	5	3	6	90	
		Pressão excessiva	Golpes de pressão / desgaste dos componentes do sistema / Aumento excessivo da temperatura do fluido e dos componentes / Perda da precisão no posicionamento do cilindro hidráulico	Emperramento do carretel / ruptura ou desgaste das vedações / mola danificada / Variação na viscosidade	5	3	6	90	
Válvulas reguladora de fluxo	Controlam a vazão em um sistema	Vazão insuficiente	Perda de precisão no posicionamento do cilindro hidráulico / Velocidade do cilindro hidráulico instável / vibração no sistema / Oscilação da pressão no sistema / Fornecimento de vazão irregular para o sistema	Mola do compensador com defeito / vazamento / entupimento do orifício do estrangulador / vias piloto obstruídas / Emperramento do carretel do compensador de pressão / Variação na viscosidade	5	3	6	90	
		Vazão excessiva	Perda da precisão de posicionamento do cilindro hidráulico / Velocidade anormal do cilindro hidráulico / Alteração da pressão normal de trabalho	Ajuste inadequado do estrangulador / Variação na temperatura / Variação na viscosidade / mola do compensador com defeito / Bomba / acumulador fornece vazão anormal, Filtro entupido, Linhas de passagem obstruídas	5	3	6	90	

Mangueira hidráulica	responsáveis por transportar o fluido, absorver vibrações e dar liberdade de movimentos de um componente para outro.	Desgaste e/ou ruptura	vazamento / contaminação / parada no transporte de fluido / pressão instável no cilindro hidráulico / Queda no rendimento do sistema	Sobrepresão / desgaste decorrente do uso / incompatibilidade com o fluido / contaminantes no fluido / pressão muito elevada	8	4	4	128	Inspecionar propriedades do fluido hidráulico semanalmente
		Rompimento da mangueira no raio de curvatura	vazamento / contaminação / parada no transporte de fluido / Insuficiência de pressão nos cilindros hidráulicos / Queda no rendimento do sistema	dimensionamento do raio de curvatura errada	8	4	4	128	Inspecionar condições das mangueiras mensalmente
		Mangueira deteriorada com trincas	vazamento / contaminação / parada no transporte de fluido / Insuficiência de pressão nos cilindros hidráulicos / Queda no rendimento do sistema	Incompatibilidade química do fluido com o material do tubo interno da mangueira / temperatura excessiva ou inferior aos limites recomendadas	6	3	3	54	
		Mangueira com vazamento acentuada ao longo do corpo da mangueira	vazamento / contaminação / parada no transporte de fluido / Insuficiência de pressão nos cilindros hidráulicos / Queda no rendimento do sistema	erosão provocada pela alta velocidade do fluido / contaminação do fluido	8	4	4	128	Inspecionar propriedades do fluido hidráulico semanalmente
		Rompimento no pé da conexão	vazamento / contaminação / parada no transporte de fluido / Insuficiência de pressão nos cilindros hidráulicos / Queda no rendimento do sistema	golpe de pressão / tracionamento da conexão / comprimento do conjunto curto	8	4	4	128	Inspecionar propriedades do fluido hidráulico semanalmente

Filtro hidráulico	responsáveis por separar substâncias sólidas do fluido	Ruptura do elemento filtrante	Emperramento ou Entupimento das partes móveis dos componentes do sistema / Acúmulo de sujeira mais frequente / contaminação do fluido	Vazão acima do especificado para o filtro / pressão acima do especificado para o filtro / Desintegração do papel do elemento filtrante / Desgaste dos componentes do elemento filtrante	7	4	4	112	Inspeccionar filtro hidráulico semanalmente
		Entupimento	Parada ou movimentação lenta dos cilindros hidráulicos	Obstrução da passagem de óleo devido a contaminação do fluido	7	5	4	140	Inspeccionar filtro hidráulico semanalmente
Reservatório hidráulico	Responsável por conter ou armazenar, sedimentar as impurezas, remover o ar e dissipar o calor do fluido por suas paredes	Elemento filtrante inadequado	Maior desgaste nos componentes do sistema / Emperramento ou Entupimento das partes móveis de componentes / Acúmulo de sujeira mais frequente	Erro de projeto ou da manutenção	3	4	4	48	
		Dissipação de calor insuficiente	Aumento excessivo da temperatura nos componentes / Aumento de vazamentos internos	Os modos de falha do reservatório possuem como causa básica um erro de concepção	5	3	3	45	
		Contaminantes em suspensão	Acúmulo de sujeira mais frequente nos filtros	Disposição inadequada ou ausência de chicanas / tubagens de aspiração e retorno muito próximas / ausência de bujão de dreno	3	4	5	60	
		Redução muito acentuada do nível do fluido	bomba não fornece óleo / sistema sem vazão / sistema com pressão baixa	falha ou ausência de indicadores de nível	7	8	4	224	Inspeccionar nível do fluido diário
		Não remove o ar dissolvido	Cavitação na bomba / aeração na bomba / bomba não fornece fluido / pressão instável / válvula ruidosa / Velocidade anormal no cilindro hidráulico / Falha das válvulas	Não possui rede de remoção de ar / Disposição inadequada ou ausência de chicanas	5	2	6	60	
		Não separa a água condensada	Redução na viscosidade do fluido	Disposição inadequada ou ausência de chicanas / ausência de bujão de dreno	3	3	5	45	

Para todos os itens com as cores de criticidade vermelha (crítico) e amarelo (indesejado) foram atribuídas ações preventivas recomendadas. Essas ações têm por finalidade diminuir o risco de uma parada indesejada do sistema e possíveis perdas de alguns componentes. Ver tabela 6.

### 8.3 Programa de manutenção.

Nosso programa de manutenção foi criado baseando se no nosso FMEA e nas especificações dos fabricantes. Nosso programa de manutenção possui 22 atividades preventiva/preditiva e suas periodicidades. Cada atividade preventiva/preditiva e sua periodicidade foi acrescentado com intuito de aumentar a confiabilidade dos componentes e sanar as falhas críticas do sistema. Ver tabela 7.

Tabela 7 – Programa de manutenção

Programa de manutenção preventiva / preditiva													
Programa N°:		Responsável: _____			data início: _____		data término: _____						
Revisão:		Responsável pela revisão: _____			Data: _____		data termino: _____						
Diagnostico:		Caso encontre alguma inconformidade ao realizar as atividades marque o campo diagnostico com S / N (caso encontre fazer um relatório no diagnóstico de falha).											
Operação N°:	Equipamento	Atividades preventiva / preditiva	periodicidade (Carga horaria de 10 horas / dia)							Diagnostico		Observações	
			10	50	125	250	500	1000	2000	4000	S		N
1	Geral	Limpeza externa da máquina			X								
2	Geral	Análise de vibração							X				
3	Geral	Termografia							X				
4	Geral	Coleta de amostras de fluido					X						

5	Geral	Parada da máquina para avaliação completa do sistema							X		
6	Geral	Verificar vazamentos	X								
7	Geral	Troca do fluido						X			
8	Geral	Verificar pressão do sistema	X								
9	Fluido	Verificar temperatura do fluido	X								
10	Fluido	Verificar propriedades do fluido hidráulico		X							
11	Cilindro	Verificar condições dos cilindros hidráulicos			X						
12	Bomba	Verificar as condições da bomba						X			
13	Válvulas	Verificar válvulas						X			
14	Filtro	Substituição do filtro de alta pressão							X		
15	Filtros	Verificar filtros		X							
16	Filtros	Substituição dos filtros						X			
17	Filtros	Limpeza filtros					X				
18	Mangueira	Verificar as condições das mangueiras				X					
19	Reservatório	Limpar respiro do reservatório						X			
20	Reservatório	Verificar nível do fluido no reservatório	X								
21	Reservatório	Verificar as condições do reservatório					X				
22	Reservatório	Drenar umidade do reservatório				X					

Fonte: Desenvolvido pelo autor

Segundo estudos feitos por Freitas (2016). Um dos maiores objetivos das empresas atualmente é aumentar a disponibilidade dos recursos de máquinas e equipamentos. É com o auxílio dos indicadores de manutenção como o FMEA apresentado nesse trabalho juntamente com a utilização de bancos de dados conseguimos ter um grande ganho na confiabilidade das máquinas e equipamentos.

#### **8.4 Software**

Com a utilização de um software como o FIPAQ conseguimos armazenar uma grande quantidade de informações sobre o estudo apresentado nesse trabalho. Segundo Santos, (2017). Os resultados obtidos pela implementação de um software de controle são bem satisfatórios sendo possível perceber quais são os seus focos de trabalho e quais são os benefícios oriundos por suas utilizações.

Ao trabalhar com o FIPAQ conseguimos sentir a diferença na hora de realizar o controle dos indicadores de manutenção, as análises de confiabilidade dos equipamentos e a facilidade de observar as informações que não conseguiríamos ter utilizando diversos roteiros de papel.



## **9 CONCLUSÃO**

Com esse estudo foi possível concluir a importância da manutenção para a confiabilidade dos componentes do sistema hidráulico. Com este estudo conseguimos responder ao questionamento principal desse trabalho que era. Por que a utilização da manutenção no sistema hidráulico e quais os benefícios de se utilizar indicadores para auxiliarem na manutenção?

Com os resultados e discussão foi possível ver a importância dos indicadores de manutenção e com um bom desenvolvimento desses indicadores com auxílio de um software para fazer um banco de dados, pode-se evitar diversas falhas prematuras dos componentes e da contaminação do sistema, aumentando assim sua disponibilidade.

### **9.1 Recomendações para trabalhos futuros**

Efetuar cálculos da vida útil dos componentes a partir dos indicadores de manutenção como MTBF e MTTR. Realizar um estudo de caso utilizando o relatório de diagnóstico de falha e o programa de manutenção. Adequar o FMEA e o programa de manutenção para outras áreas. Indicar e testar novos softwares.

## 10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. ABRAMAN, Associação Brasileira de Manutenção. **IMPLANTAÇÃO DE ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE NA FROTA DE ESCAVADEIRAS PC 8000 EM CARAJÁS**. 2014. Disponível em: <[www.abraman.org.br](http://www.abraman.org.br)>. Acesso em: 20/04/2019.
02. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5462. Rio de Janeiro, 1994.
03. Andrade, C. **MANGUEIRAS HIDRÁULICAS: CAUSAS E SOLUÇÕES**. 2017. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/manual-de-treinamento-mangueiras-causas-e-solu%C3%A7%C3%B5es-carlos-andrade>>. Acesso em: 25/11/2018.
04. Bastos, P. A. **SELEÇÃO DE BOMBA E EQUIPAMENTOS PARA SISTEMA HIDRÁULICO DE UNIDADE DE JATEAMENTO DE ALTA PRESSÃO**. Rio de Janeiro. 2014. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10012562.pdf>>. Acesso em: 20/11/2018.
05. Euromav. **INDÚSTRIA DE CILINDRO HIDRÁULICO**. São Caetano do Sul-SP. 2006. Disponível em: <<https://www.euromav.com.br/industria-cilindro-hidraulico>>. Acesso em: 20/02/2019
06. Festo. **CILINDROS DE PARADA SEGUROS - SILENCIOSOS – CONFIÁVEIS**. 2001 Disponível em: <[https://www.festo.com/cms/pt-br\\_br/index.htm](https://www.festo.com/cms/pt-br_br/index.htm)>. Acesso em: 05/02/2019
07. Filho, H. R. Do. P. **MANUTENÇÃO PREDITIVA: ACOMPANHANDO AS CONDIÇÕES DOS EQUIPAMENTOS**. 2010. Disponível em:

<<https://qualidadeonline.wordpress.com/2010/03/08/manutencao-preditiva-acompanhando-as-condicoes-dos-equipamentos/>>. Acesso em: 26/11/2018.

08. Flowex. **BOMBA DE ENGRENAGEM INTERNA**. 2018. Disponível em: <<http://www.flowex.com.br/bomba-de-engrenagens.php>>. Acesso em 18/01/2019

09. Gomes, M. R.; Andrade, M.; Ferraz, F. **APOSTILA DE HIDRÁULICA**. Bahia. 2008. Disponível em: <<http://movicontrol.com.br/pdf/artigos-tecnicos1/APOSTILA%20HIDRAULICA%20B%C3%81SICA.pdf>>. acesso em: 22/11/2018.

10. Lana, E. D. **AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO DE BOMBAS HIDRÁULICAS DE ENGRENAGENS EXTERNAS ATRAVÉS DE MEDIÇÃO DE TEMPERATURA**. Florianópolis. 2005. Disponível em: <[http://laship.ufsc.br/site/wp-content/uploads/2005/12/Disserta%C3%A7%C3%A3o\\_Lana\\_2005.pdf](http://laship.ufsc.br/site/wp-content/uploads/2005/12/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Lana_2005.pdf)>. Acesso em: 25/11/2018.

11. Linsingen, I. V. **FUNDAMENTOS DE SISTEMAS HIDRÁULICOS**. 4.ed. Florianópolis: Editora UFSC, 2013.

12. MARRUCCI. **PRINCIPAIS DEFICIÊNCIAS EM CIRCUITOS HIDRÁULICOS QUE OCASIONAM FALHAS EM BOMBAS HIDRÁULICAS**. 2009. Disponível em: <<http://www.marrucci.com.br/uploads/informativos/019---PRINCIPAIS-DEFICIENCIAS-CIRCUITOS-HIDRAULICOS-OCASIONAM-FALHAS-BOMBAS-HIDRAULICAS.pdf>>. Acesso em 02/03/2019

13. MOURA, C. Análise de modo e efeitos de falha potencial (FMEA): manual de referência. São Paulo: IQA, 2000.

14. Ômega. **MANUTENÇÃO DE SISTEMA HIDRÁULICO**. São Paulo. 2015. Disponível em: <<http://www.omegaoleohidraulica.com.br/manutencao-de-sistemas-hidraulicos>>. Acesso em: 26/11/2018.

15. Ômega. **COMO CONSERTAR UM CILINDRO HIDRÁULICO**. São Paulo. 2012. Disponível em: < <http://www.omegaoleohidraulica.com.br/como-consertar-um-cilindro-hidraulico>>. Acesso em: 26/11/2018
16. Oliveira, F. P. DE. **ESTUDO DE DIÁLISE ONLINE DE ÓLEO HIDRÁULICO DE ESCAVADEIRA POR MEIO DE MONITORAMENTO DE NÍVEL DE CONTAMINAÇÃO**. Juiz de Fora. 2016. Disponível em: <[http://www.ufjf.br/mecanica/files/2016/07/TCC\\_Felippe-Pellegrino.pdf](http://www.ufjf.br/mecanica/files/2016/07/TCC_Felippe-Pellegrino.pdf)>. Acesso em: 20/11/2018.
17. Parker. **FLUIDOS E FILTROS HIDRÁULICOS**. São Paulo. 2006. Disponível em: <[https://www.parker.com/literature/Brazil/M2001\\_2\\_P\\_06.pdf](https://www.parker.com/literature/Brazil/M2001_2_P_06.pdf)>. Acesso em: 20/11/2018.
18. PALMIERI, A. C. **MANUAL DE HIDRÁULICA BÁSICA**. 9. ed. Porto Alegre: Albarus Sistemas Hidráulicos Ltda, 1994.
19. Parker. **RESERVATÓRIOS E ACESSÓRIOS**. São Paulo. 2007. Disponível em: <[https://www.parker.com/literature/Brazil/M2001\\_2\\_P\\_07.pdf](https://www.parker.com/literature/Brazil/M2001_2_P_07.pdf)>. Acesso em: 20/11/2018.
20. Portal Lubes, **EFEITOS DA CONTAMINAÇÃO DOS ÓLEOS LUBRIFICANTES POR ÁGUA**. 2016. Disponível em: <<http://portallubes.com.br/2016/03/efeitos-da-contaminacao-dos-oleos-lubrificantes-por-agua/>>. Acesso em: 14/02/2019.
21. RC componentes hidráulicos. **SOLUÇÕES HIDRÁULICAS E PNEUMÁTICAS**. 2016. Disponível em: <<https://rchidropneumatica.com.br/catalogo>>. Acesso em 02/03/2019
22. Rexroth. **BOMBAS HIDRÁULICAS DE ENGRENAGENS PARA APLICAÇÕES MOBIL**. São Paulo. 2011. Disponível em: <

br.resource.bosch.com/media/br/01\_\_grupo\_de\_produtos/02\_\_hidr\_ulica\_mobil/03\_\_bombas\_de\_engrenagem/t\_cnico\_1/FL-BRM-243.pdf>. Acesso em: 25/11/2018.

23. ROSA, Edison da. **Análise de Resistência Mecânica - Mecânica da Fratura e Fadiga**. 1.ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

24. SANTOS, D. J. S. **ESTUDO DA APLICAÇÃO DE SOFTWARES NA ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE: O ESTUDO DE CASOS MÚLTIPLOS**. Ouro Preto - MG 2017. Disponível em: <[https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/472/1/MONOGRAFIA\\_EstudoAplica%C3%A7%C3%A3oSoftwares.pdf](https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/472/1/MONOGRAFIA_EstudoAplica%C3%A7%C3%A3oSoftwares.pdf)>. Acesso em: 23/05/2019

25. Santos, J. C. **ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DE UMA BOMBA CENTRÍFUGA: APLICAÇÃO NA INJEÇÃO DE ÁGUA PARA RECUPERAÇÃO DE PETRÓLEO**. Natal. 2011. Disponível em: <[https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/15648/1/JulioCS\\_DISSERT.pdf](https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/15648/1/JulioCS_DISSERT.pdf)>. Acesso em: 16/05/2019

26. Stauff, **VÁLVULAS**. (2008) disponível em: <<https://www.stauff.pl/index.php?id=2115>>. Acessado em: 11/03/2019

27. STEWART, H. L. **PNEUMÁTICA & HIDRÁULICA**. 3. ed. Curitiba: Hemus, 1994.

28. Simões, R. M. I. **SISTEMAS HIDRÁULICOS E PNEUMÁTICOS**. Unidade 1. Londrina: editora e Distribuidora Educacional S.A. 2016.

29. Teixeira, J. M. M. **EFEITO DO ESFORÇO TRANSVERSO EM CILINDROS HIDRÁULICOS USADOS EM APLICAÇÕES ESTRUTURAIS**. Porto. 2015. Disponível

em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/79734/2/35967.pdf>>. Acesso em: 23/11/2018.

30. Trelleborg. **LINHA DE PRODUÇÃO VEDAÇÕES INDUSTRIAIS**. Catálogo. 2009. Disponível em: <<https://www.tss.trelleborg.com/pt-pt/resources/catalogs-and-brochures>>. Acesso em: 25/11/2018.

31. Vinadé, C. A. C. **SISTEMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE PROJETO PARA CONFIABILIDADE E MANTENABILIDADE APLICADO A SISTEMAS HIDRÁULICOS E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA**. Florianópolis – SC. 2003. Disponível em: <[http://nedip.ufsc.br/uploads/file/tese\\_vinade.pdf](http://nedip.ufsc.br/uploads/file/tese_vinade.pdf)>. Acesso em: 20/05/2019.