

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,  
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO SUL  
Campus Ibirubá**

**RAMON HILGERT**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
Manutenção Centrada em Confiabilidade aplicada em Chaves Torque Hidro-  
pneumáticas**

**Ibirubá  
2022**

RAMON HILGERT

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Manutenção Centrada em Confiabilidade aplicada em Chaves Torque Hidro-pneumáticas

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Banca Examinadora designada pelo Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campus Ibirubá, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Manutenção.

Orientador: Prof. Me. Vitor Hugo Machado da Silveira.

Ibirubá

2022

Ficha catalográfica

*Manutenção Centrada em Confiabilidade aplicada em Chaves Torque Hidro-pneumáticas*

**Ramon Hilgert**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Banca Examinadora designada pelo Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campus Ibirubá, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Ibirubá, 21 de fevereiro de 2022.

Banca Examinadora:

Prof. Me. Vitor Hugo Machado da Silveira.

IFRS - Campus Ibirubá

Prof. Me. Flávio Roberto Andara.

IFRS - Campus Ibirubá

Prof. Dr. Luciano Machado Cirino.

IFRS - Campus Ibirubá

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por permitir viver esse momento, e estar me tornando um Engenheiro Mecânico.

Aos meus pais, Mario e Nives, por não medirem esforços para que eu pudesse realizar o meu sonho de me formar. Independente das dificuldades que surgiram no caminho, foram elas que me deram forças para não desistir e seguir em frente, por eles.

Ao meu irmão, Abimael, que esteve sempre ao meu lado, por muitas vezes brincando para que o nervosismo e a ansiedade fossem deixados de lado por um momento.

A minha namorada Larissa, e sua família, que foram muito atenciosos e compreensíveis, que por muitos momentos tive que deixar de dar atenção a eles para possibilitar que esse trabalho fosse concluído.

A empresa e o meu supervisor Fábio Ferreira, que permitiram e confiaram a mim, a aplicação desse trabalho. E aos meus colegas de trabalho que compartilharam experiências e conhecimentos que foram fundamentais para este projeto.

Ao meu amigo Paulo Mendes, representando a empresa Techno Air, que não mediu esforços para me ajudar.

E por fim, ao meu professor e orientador Vitor Hugo, que sem ele nada disso seria possível. Mesmo em um momento de pandemia, não mediu esforços para me orientar e partilhar toda sua experiência.

## RESUMO

O ramo agrícola é uma das áreas mais desafiadoras da atualidade pela necessidade do aumento da produtividade e implementação de tecnologias nos produtos manufaturados. A fabricante visa a maior faixa de lucratividade permissível e o produtor um equipamento de qualidade e confiabilidade. Para que isso seja exequível, as empresas, estão investindo nos processos produtivos, eliminando os desperdícios e reduzindo os custos de produção. O setor de Manutenção é essencial para que os objetivos das indústrias sejam atingidos, pois deste depende a disponibilidade das máquinas produtivas, assim como a integridade do parque fabril como um todo. A Engenharia de Manutenção tem papel fundamental na qualidade e planejamento da prestação dos serviços, de modo a garantir a máxima funcionalidade dos sistemas. Como uma das principais metodologias adotadas, a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), prioriza equipamentos ou sistemas que mais impactam no dia a dia da empresa. Deste modo, este trabalho teve como objetivo implementar a metodologia em Chaves Torque Hidro-pneumáticas, que são utilizadas para efetuar os apertos nos implementos agrícolas, buscando a redução dos custos agregados em manutenções corretivas e o aumento da confiabilidade e vida útil dos mesmos. O resultado desta monografia, é um estudo preciso do sistema em análise e um plano de manutenção robusto, que será capaz de certificar a disponibilidade das Chaves Torque Hidro-pneumáticas e a redução dos custos em manutenções não planejadas.

**Palavras chave:** Agrícola. Engenharia. Manutenção. Chaves. Torque.

## ABSTRACT

The agricultural sector is one of the most challenging areas today due to the need to increase productivity and implement Technologies in manufactured products. The manufacturer aims at the highest permissible range of profitability and the producer at quality and reliable equipment. For this to be feasible, companies are investing in production processes, eliminating waste and reducing production costs. The Maintenance sector is essential so that the objectives of the industries are achieved, as the availability of productive machines depends on it, as well as the integrity of the industrial park as a whole. Maintenance Engineering has a fundamental role in the quality and planning of the provision of services, in order to guarantee the maximum functionality of the systems. As one of the main methodologies adopted, Reliability Centered Maintenance (MCC), prioritizes equipment or systems that most impact the company's day to day. Thus, this work aimed to implement the methodology in Hydro-pneumatic Torque Wrenches, which are used to tighten agricultural implements, seeking to reduce aggregate costs in corrective maintenance and increase their reliability and useful life. The result of this monograph is a precise study of the system under analysis and a robust maintenance plan, which will be able to certify the availability of Hydro-pneumatic Torque Wrenches and the reduction of costs in unplanned maintenance.

**Key words:** Agricultural. Engineering. Maintenance. Wrenches. Torque.

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

MCC	Manutenção Centrada em Confiabilidade
FMEA	Análise de Modos e Efeitos de Falhas
MTTR	Tempo Médio de Reparo
MTBF	Tempo Médio entre Falhas
D	Disponibilidade
UPH	Unidade de Pulsação Hidráulica
F	Falha
FF	Falha Funcional
MF	Modo de Falha



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Síntese da aplicação das metodologias de manutenção .....	16
Figura 2 – Ilustração Chave Torque Hidro-pneumática .....	23
Figura 3 – Sistemática aplicação metodologia MCC .....	25
Figura 4 – Fluxograma manutenções corretivas Chaves Torque Hidro-pneumáticas.....	27
Figura 5 – Fluxograma manutenções preventivas Chaves Torque Hidro-pneumáticas .....	28
Figura 6 – Custo anual manutenções corretivas Chaves Torque Hidro-pneumáticas .....	31
Figura 7 – Fluxograma do sistema e subsistemas funcionais .....	32
Figura 8 – Tempo Médio de Reparo Chaves Torque Hidro-pneumáticas.....	37
Figura 9 – Tempo Médio entre Falhas Chaves Torque Hidro-pneumáticas.....	37
Figura 10 – Disponibilidade Chaves Torque Hidro-pneumáticas. ....	38
Figura 11 – Gráfico dos ICE's.....	43
Figura 12 – Itens críticos Motor Pneumático. ....	43
Figura 13 – Itens críticos Unidade de Pulsção Hidráulica.....	44
Figura 14 – Itens críticos Sistema <i>Shut-off</i> .....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Planilha de controle de manutenções corretivas .....	29
Tabela 2 – Planilha de identificação das fronteiras do sistema .....	33
Tabela 3 – Planilha de descrição do sistema .....	34
Tabela 4 – Planilha do diagrama de blocos do sistema. ....	35
Tabela 5 – Planilha de interfaces de entradas e saída do sistema.....	35
Tabela 6 – Planilha de descrição dos itens físicos do sistema.....	36
Tabela 7 – Planilha de identificação do histórico de falhas dos itens físicos.....	39
Tabela 8 – Planilha de descrição das funções e falhas funcionais.....	40
Tabela 9 – Planilha de correlação das falhas funcionais e itens físicos. ....	42
Tabela 10 – Planilha de análise dos modos de falha e efeito – FMEA. ....	45
Tabela 11 – Planilha de seleção de tarefas de manutenção .....	47
Tabela 12 – Planilha de descrição do plano de manutenção MCC. ....	48
Tabela 13 – Planilha de descrição do plano de manutenção atual.....	49
Tabela 14 – Planilha de descrição do plano de manutenção MCC. ....	50
Tabela 15 – Planilha de descrição do plano de manutenção final. ....	51

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Tempo Médio de Reparo (MTTR).....	21
Equação 2 – Tempo Médio entre Falhas (MTBF).....	22
Equação 3 – Disponibilidade (D) .....	22
Equação 4 – Índice de Criticidade Econômica (ICE).....	41

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	13
1.2	OBJETIVOS .....	13
1.2.1	Objetivos específicos .....	13
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>15</b>
2.1	HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO.....	15
2.2	MÉTODOS DE MANUTENÇÃO .....	17
2.2.1	Manutenção corretiva planejada .....	17
2.2.2	Manutenção preventiva .....	17
2.2.3	Manutenção preditiva.....	18
2.2.4	Manutenção detectiva .....	18
2.2.5	Manutenção de rotina .....	18
2.2.6	Manutenção corretiva não-planejada .....	19
2.2.7	Engenharia de Manutenção .....	19
2.3	MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC).....	19
2.4	FERRAMENTAS DE SUPORTE À MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE .....	20
2.4.1	Análise de Modos e Efeitos de Falhas (FMEA) .....	20
2.4.2	Análise da Árvore de Falhas .....	21
2.5	INDICADORES DE DESEMPENHO APLICADOS NA MCC.....	21
2.5.1	Tempo Médio de Reparo (MTTR) .....	21
2.5.2	Tempo Médio entre Falhas (MTBF) .....	22
2.5.3	Disponibilidade (D) .....	22
2.6	CHAVE TORQUE HIDRO-PNEUMÁTICA .....	22
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>25</b>
3.1	PREPARAÇÃO DO ESTUDO .....	26
3.1.1	Processo de manutenção da empresa .....	26

<b>3.1.2 Planilha de controle de manutenções corretivas .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1.3 Grupo de implementação da metodologia MCC.....</b>	<b>30</b>
3.2 SELEÇÃO DO SISTEMA.....	30
3.3 ANÁLISE DAS FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS .....	32
3.4 SELEÇÃO DOS ITENS CRÍTICOS .....	40
3.5 ANÁLISE DOS MODOS, EFEITOS E CRITICIDADE DAS FALHAS.....	45
3.6 SELEÇÃO DAS TAREFAS DE MANUTENÇÃO .....	46
3.7 DETERMINAÇÃO DA FREQUÊNCIA DAS TAREFAS DE MANUTENÇÃO .....	47
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>49</b>
<b>5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>53</b>
<b>APÊNDICE 1 – MODELOS CHAVE TORQUE HIDRO-PNEUMÁTICAS URYU .....</b>	<b>55</b>
<b>APÊNDICE 2 – PLANILHA DE DESCRIÇÃO DOS ITENS FÍSICOS DO SISTEMA .....</b>	<b>56</b>
<b>APÊNDICE 3 – PLANILHA DE DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS.....</b>	<b>58</b>
<b>APÊNDICE 4 – PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITO – FMEA .....</b>	<b>60</b>
<b>APÊNDICE 5 – ÁRVORE LÓGICA DE DECISÃO.....</b>	<b>63</b>
<b>APÊNDICE 6 – DIAGRAMA DE SELEÇÃO DE TAREFAS .....</b>	<b>64</b>
<b>APÊNDICE 7 – PLANILHA DE SELEÇÃO DE TAREFAS DE MANUTENÇÃO .....</b>	<b>65</b>
<b>APÊNDICE 8 – PLANILHA DE COMPARAÇÃO PLANO DE MANUTENÇÃO MCC E ATUAL .....</b>	<b>67</b>
<b>APÊNDICE 9 – PLANILHA PLANO DE MANUTENÇÃO FINAL.....</b>	<b>68</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Otimizar os resultados e elevar a produtividade são os desafios de todas as indústrias do ramo agrícola. Máquinas com alto valor agregado, devido a tecnologia empregada, são a realidade apresentada aos produtores, que exigem uma confiabilidade no seu equipamento, garantindo que a jornada de trabalho não será interrompida por uma falha ou falta de componentes.

Uma empresa que manufatura equipamentos agrícolas dispõe de diversas áreas, sendo a montagem uma das principais. Ela é tratada como uma etapa chave, pois tem um papel fundamental na garantia de qualidade do produto que irá diretamente ao cliente. Os colaboradores que trabalham neste setor, necessitam ter um olhar crítico, não somente nos conjuntos de peças que montam, mas também nos processos anteriores.

Os apertos aplicados no processo de montagem, são objetos de estudo pelas áreas de Engenharia de Produto e Engenharia de Processos. Chaves Torque Eletrônicas, Chaves Torque Hidro-pneumáticas, Torquímetros e Chaves Manuais são os equipamentos mais empregados para executar os apertos. Os responsáveis por determinar os torques exigidos, devem também indicar a ferramenta mais adequada, levando em consideração o melhor custo-benefício para a empresa.

Instrumentos eletrônicos agregam um custo alto, sendo indicado a implementação quando há uma rigorosa demanda de controle de torque. Da mesma forma, os torquímetros tem uma boa assertividade, mas uma consequência deste tipo de equipamento é o elevado tempo necessário entre iniciar a operação, até o atingimento do torque alvo.

Quando se trata de uma situação onde não se exige precisão elevada, mas atender uma faixa admissível de valores para o torque, as Chaves Torque Hidro-pneumáticas se apresentam com o melhor custo-benefício, havendo a possibilidade de ajuste do torque em um intervalo determinado pelo fabricante.

Um cronograma adequado de manutenções preventivas nas Chaves Torque Hidro-pneumáticas é essencial para a máxima disponibilidade e efetividade durante a produção, redução nos custos de corretivas não programadas e a de preventivas desnecessárias. Todas essas exigências levam o presente trabalho a realizar um estudo de caso, em uma empresa do ramo agrícola de nossa região, para que os recursos destinados a área de manutenção sejam utilizados com a maior eficiência possível.

O trabalho será estruturado em cinco partes. A primeira, representa esta introdução, englobando justificativa e objetivos. A segunda parte, consiste no referencial teórico, que irá servir de base para o desenvolvimento do estudo, abordando o que os autores destacam sobre os principais conceitos e etapas da aplicação do tema.

A terceira, será materiais e métodos, apresentando maior detalhadamente de como a metodologia escolhida para o trabalho será aplicada. Nesta mesma etapa, será selecionado um equipamento real para aplicar todo o planejamento aqui estudado. A quarta parte, demonstrará os resultados obtidos com o trabalho, e se os mesmos atenderam às expectativas do aluno e da empresa. A quinta e última, será conclusiva referente aos resultados obtidos e assim apresentar a possibilidade de um estudo futuro nas mesmas diretrizes.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Devido a perspectiva de acréscimo da utilização de Chaves Torque Hidro-pneumáticas nos próximos dois anos, em consequência da alta demanda na produção de implementos agrícolas, a empresa utilizada para o estudo, solicitou a revisão do cronograma de manutenções preventivas dos equipamentos, visando uma disponibilidade satisfatória a gestão do processo.

## 1.2 OBJETIVOS

O objetivo do trabalho é a aplicação de todas as etapas da metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade em Chaves Torque Hidro-pneumáticas, utilizando os dados controlados pela empresa e fornecedor terceiro contratado para executar a manutenção nesses equipamentos. O cronograma de preventivas atual, será revisado e atualizado, com base nos estudos produzidos neste presente trabalho.

### 1.2.1 Objetivos específicos

Paralelo ao objetivo principal, deseja-se elaborar um novo cronograma de preventivas, definindo o tempo entre manutenções, levando em consideração o número de máquinas a serem produzidas no ano. A empresa espera uma ótima assertividade do estudo, para que a

vida útil e a disponibilidade dos seus equipamentos sejam próximos a excelência. Espera-se ainda, uma redução de custos, quando comparado o cronograma anterior à este estudo.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO

Primitivamente as formas de manutenções eram básicas. Sua essência resumia-se a consertar ferramentas utilizadas para o trabalho e essa intervenção ocorria somente após a falha. Para assegurar a continuidade do trabalho, com a chegada da Revolução Industrial no século XVIII, as fábricas tiveram como seus primeiros mantenedores os próprios operadores das máquinas, que recebiam um treinamento para executar os serviços (COSTA, 2013).

As primeiras áreas específicas em Manutenção foram criadas com a chegada da Primeira Guerra Mundial e a implementação da produção em série, por Henry Ford. Os objetivos eram, de acordo com Zaians (2003), garantir que os equipamentos utilizados atendessem uma quantidade mínima de produtos manufaturados e as pessoas responsáveis por realizar as manutenções corretivas, assegurando que as máquinas ficassem o menor tempo possível paradas.

No final da década de 30, a Segunda Guerra Mundial foi responsável pela incorporação da manutenção preventiva. A rápida crescente na produção industrial fez com que administrações das empresas implementassem um misto de ações corretivas e preventivas, deixando de lado a abordagem anterior, menos eficiente. Assim, forma-se o quadro geral da manutenção, passando a ser considerada uma peça tão fundamental quanto a operação (OTANI; MACHADO, 2008).

O pós-guerra fez com que a área de manutenção carecesse de uma análise mais aprofundada nas ocorrências, devido ao setor ter um controle, tanto de corretivas como de preventivas. Uma equipe departamental surge, com mão de obra especializada e foco no aumento da confiabilidade e disponibilidade das máquinas e equipamentos, sendo denominada como Engenharia de Manutenção (COSTA, 2013).

A década de 1960 apresentou o desenvolvimento da Engenharia da Confiabilidade, devido ao crescente desenvolvimento das indústrias aeroespacial, eletrônica e nuclear. No mesmo período, a confiabilidade teve sua implementação de forma primária na manutenção industrial, por meio da manutenção preditiva (ROCHA, 2019).

Com início em 1970, foi implementado nas fábricas a Manutenção Produtiva Total (TPM), pelo fato da área de manutenção não ser mais vista apenas como uma mera peça no processo produtivo, mas como uma peça essencial. As práticas do setor passaram a ter um

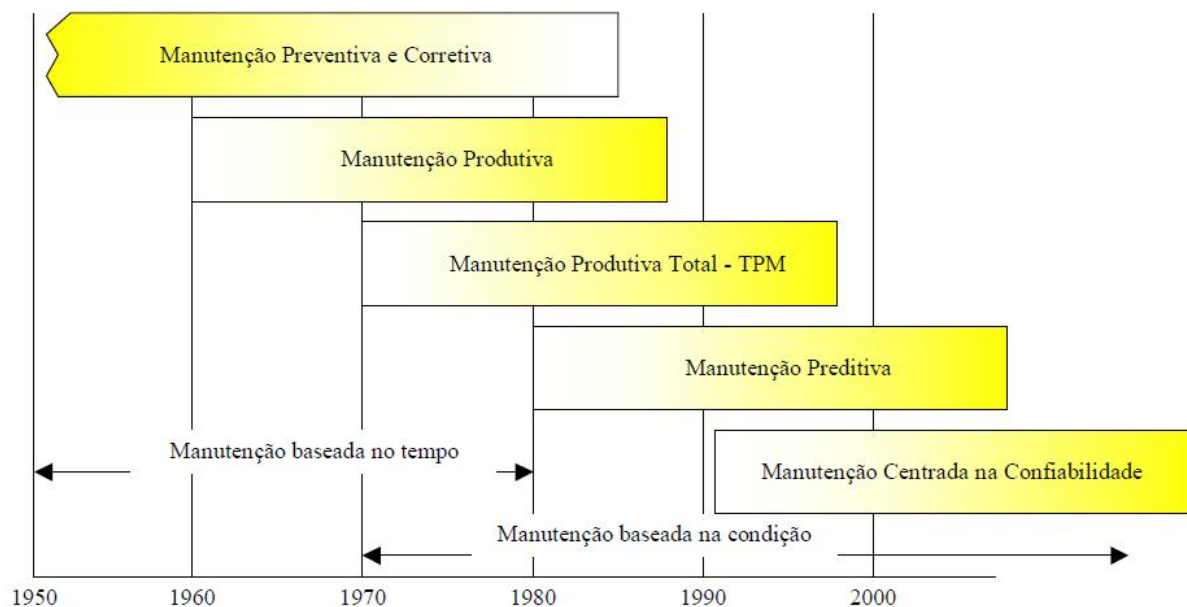
caráter científico, ocorrendo a gestão financeira, técnica e logística, principalmente para a redução dos custos envolvidos com cada intervenção (ZAIONS,2003).

Nos anos 1990, encaminha-se a utilização de Sistemas Computadorizados de Gerenciamento de Manutenção para permitir um controle de ordens de serviço, inventário de peças, histórico de manutenções muito utilizados para o planejamento e estratégia para as manutenções preventivas e preditivas (ZAIONS, 2003).

A melhoria contínua dos processos de manutenção torna-se indispensável a partir do aprimoramento dos equipamentos e novas tecnologias implementadas nas indústrias mundiais. As metodologias criadas nas décadas de 1960 e 1970, passam a ser usadas para os processos estratégicos e decisórios da gestão da área. A integridade do meio ambiente, como sendo um pilar das gestões de indústrias e fábricas, começa a fazer parte do cotidiano das equipes de mantenedores e a manutenção passa a preservar não somente o funcionamento do equipamento em si, mas sim seus componentes (ZAIONS, 2003).

A Figura 1 demonstra a cronologia evolutiva das áreas de manutenção nas indústrias (ZAIONS, 2003).

Figura 1 – Síntese da aplicação das metodologias de manutenção



Fonte: LAFRAIA (2001, p. 238).

## 2.2 MÉTODOS DE MANUTENÇÃO

A área de manutenção possui diversos métodos de implementação, variando conforme os objetivos e o local a serem aplicados. Nesta etapa, serão abordados os tipos mais usuais no meio industrial, sendo divididos em manutenções planejadas, não-planejadas e Engenharia de Manutenção. Dentro dos tipos de manutenções planejadas, as mais usuais são a corretiva planejada, preventiva, preditiva, detectiva e de rotina. Já as manutenções não-planejadas ocorrem exclusivamente por corretivas.

### 2.2.1 Manutenção corretiva planejada

A manutenção corretiva planejada é o tipo de manutenção que por vezes a gerência da empresa opta em realizar. Isso se dá quando há o conhecimento de uma possível falha, em um futuro próximo, de um equipamento em operação. Geralmente essa provável falha é detectada em uma manutenção preditiva, e assim comunicada a gestão da área, que opta em realizar a intervenção no menor tempo ou aguardar a parada do equipamento (COSTA,2013).

O método é arriscado, pois ao necessitar a correção, a máquina pode ter sofrido mais alguma avaria, interferindo no planejamento pré-determinado, fazendo com que o equipamento fique um tempo maior ocioso em manutenção, o que afeta diretamente na produtividade (COSTA, 2013).

### 2.2.2 Manutenção preventiva

Ação realizada a fim de conter falhas precoces e a diminuição na vida útil de um equipamento. O cronograma de preventivas é determinado em períodos pré-estabelecidos, sendo planejado conforme especificações do fabricante do item ou por um estudo mais aprofundado, através de uma metodologia. O método se torna eficaz, mas agrega um custo elevado a área de manutenção, muito pelo fato de sermos conservadores, isso quer dizer que efetuamos a troca de peças sem a requerida necessidade (OTANI; MACHADO, 2008).

### **2.2.3 Manutenção preditiva**

Método que utiliza estudos, análises e parametrização do desempenho de máquinas e equipamentos, com o intuito de detectar uma necessidade ou não de intervenção. Esse tipo de manutenção possibilita que o equipamento trabalhe por mais tempo e a parada do mesmo para uma correção será executada apenas com base em dados, e não por suposições (OTANI; MACHADO, 2008).

Mediante o uso de instrumentos de medição, os equipamentos são monitorados para que seja antecipado a falha dos mesmos, tendo a maior disponibilidade possível. Algumas técnicas de manutenção preditiva são: análise de vibrações, termografia, medição de espessuras, vazamentos, medição de tensões e correntes elétrica, entre outras (DA CUNHA, 2005).

### **2.2.4 Manutenção detectiva**

Tipo de manutenção onde o objetivo é identificar falhas que estejam ocultas ou não explícitas aos operadores e manutentores. Na prática, pode ser entendido como a testagem de um dispositivo que faça o acionamento de outro em caso de falta de energia, ou de segurança (OTANI; MACHADO, 2008). Um exemplo é o alarme de uma fábrica, testados periodicamente para averiguar seu funcionamento.

### **2.2.5 Manutenção de rotina**

Conhecida também por muitos autores como manutenção autônoma, a manutenção de rotina trata-se de atividades e inspeções executadas não somente pela área de manutenção, mas principalmente os operadores dos equipamentos examinados. A execução deste tipo de manutenção pode ser diária, semanal, mensal, enfim, período determinado pelos especialistas (ZAIONS, 2003).

Exemplificando, em Chaves Torque Hidro-pneumáticas, seriam executadas tarefas como: verificar um ruído divergente ao normal; vazamento de óleo; anomalia nos componentes externos; e se o equipamento está operando adequadamente.

### **2.2.6 Manutenção corretiva não-planejada**

Método de manutenção sem planejamento, executando na ocasião de uma falha, que afeta o desempenho ou que gera a parada de um equipamento. O custo deste tipo de atividade é alto, pois posterior a intervenção corretiva, não há garantia de que outros componentes da máquina podem ter sido afetados, muitas vezes ocorrendo danos irreversíveis (COSTA, 2013).

### **2.2.7 Engenharia de Manutenção**

Área dentro da gerência de manutenção, que busca a melhoria contínua dos processos, aumentando a confiabilidade dos equipamentos e a segurança aos operadores e manutentores. As pessoas que ocupam funções dentro da Engenharia de Manutenção devem estar atualizadas em relação a realidade global, como sistemas para análise de dados e desempenho das máquinas controladas (KARDEC; NASCIF, 2013).

Outro aspecto ligado diretamente a este setor, é a constante revisão dos planos de manutenção, procurando identificar oportunidades de simplificar as tarefas, preventivas em excesso, reduzir os custos vinculados as ordens de serviço e aumentar a disponibilidade dos equipamentos (KARDEC; NASCIF, 2013).

As metodologias de manutenção servem de base para que os engenheiros planejem as atividades com uma maior assertividade, e posteriormente consigam controlar a garantia dos serviços por meio de indicadores. Uma das mais utilizadas pela área é a metodologia da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), a qual este trabalho empregará em um sistema de ativos de uma empresa fabricante de equipamentos agrícolas.

## **2.3 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC)**

A metodologia tem como seu principal objetivo aumentar a confiabilidade do sistema selecionado para a aplicação da mesma. Isso se dá pelo fato de que, a MCC aplicada corretamente gera um plano estratégico de manutenção, tanto em corretivas como preventivas (ZAIONS, 2003).

A base do plano estratégico advém da análise das operações do equipamento, os modos de falhas que ocorrem, as causas que geram as ocorrências e os danos. Três pilares são

levados em consideração para a priorização das falhas e definição das tarefas, sendo eles, segurança, economia e disponibilidade (COSTA, 2013).

Segundo Zaions (2003), os resultados previstos com a aplicação correta da Manutenção Centrada em Confiabilidade, são:

- I. Aumento da segurança e proteção ao meio ambiente;
- II. Melhora do desempenho operacional;
- III. Redução dos custos das manutenções;
- IV. Aumento da vida útil dos componentes mais críticos;
- V. Implementação de um banco de dados robusto, referente as manutenções;
- VI. Motivação da equipe envolvida na implementação da metodologia;
- VII. Melhora do trabalho em equipe, por envolver diversas áreas.

## 2.4 FERRAMENTAS DE SUPORTE À MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

### 2.4.1 Análise de Modos e Efeitos de Falhas (FMEA)

Fundamentalmente, a FMEA é um método em que deve ser analisado qualitativamente e quantitativamente todas as possíveis falhas que um sistema ou produto pode ser submetido. A partir da listagem das falhas, as decisões são tomadas para que as mesmas não ocorram (ROCHA, 2019).

A ferramenta propõe uma perspectiva sistêmica, formalizando e documentando as ideias e considerações da equipe de implementação do projeto, ao longo dele. Assim, a FMEA contribui para que seja reduzido os riscos de falhas, através da análise objetiva dos modos e efeitos das falhas. (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

Segundo Zaions (2003), os objetivos da FMEA são:

- I. Garantir que todos os modos de falhas e seus efeitos sejam analisados;
- II. Listar as falhas e relevância dos efeitos;
- III. Servir de base para a priorização das ações de correção.

Além desses benefícios, a FMEA serve para estimular a conexão entre os setores da empresa, extraindo todo conhecimento e sugestões possíveis para que o estudo seja completo e obtenha sucesso (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

#### 2.4.2 Análise da Árvore de Falhas

O método permite uma avaliação das possíveis causas de alguma falha pré-determinada no sistema. Segundo Zaions (2003), tem como suas principais finalidades:

- I. Determinar um método padrão de análise de falhas;
- II. Verificar a confiabilidade de um sistema;
- III. Compreensão, de forma dedutiva, os modos de falhas;
- IV. Elencar, em ordem prioritária, as ações de correção;
- V. Examinar e projetar sistema de segurança em sistemas;
- VI. Armazenar dados para a manutenção de sistemas e para a elaboração de procedimentos padrão;
- VII. Apontar os componentes mais críticos ou condições críticas de processo;
- VIII. Coletar informações para a realização de treinamentos aos manutentores;
- IX. Armazenar informações para planejamento de testes e inspeções;
- X. Simplificar e aprimorar equipamentos.

### 2.5 INDICADORES DE DESEMPENHO APLICADOS NA MCC

#### 2.5.1 Tempo Médio de Reparo (MTTR)

Do inglês, *mean time to repair*, o Tempo Médio de Reparo é a média aritmética dos tempos de reparo de um equipamento, conforme norma ABNT (NBR 5462, 1994), conforme a Equação 1, abaixo:

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n TPRi}{N} \quad (1)$$

O denominador N significa o número de falhas do sistema selecionado, e TPR<sub>i</sub>, o somatório dos tempos de reparo dentro de um intervalo determinado.

### 2.5.2 Tempo Médio entre Falhas (MTBF)

Do inglês, *mean time between failures*, o Tempo Médio entre Falhas, é a média do tempo do final de uma falha até o início da próxima. Esse tempo trata-se somente quando o equipamento estava em operação. A mesma é descrita na norma ABNT (NBR 5462, 1994), conforme Equação 2, abaixo:

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^n TPF_i}{N} \quad (2)$$

O denominador N significa o número de ocorrências do equipamento, e TPF<sub>i</sub>, o somatório dos tempos que o equipamento esteve em operação.

### 2.5.3 Disponibilidade (D)

A Disponibilidade é a capacidade de um sistema entregar sua função em um intervalo de tempo determinado. A confiabilidade e manutenibilidade, refletem diretamente nos resultados, que são calculados conforme a Equação 3, abaixo:

$$D = \frac{MTBF}{MTTR+MTBF} * 100 \quad (3)$$

A sigla MTBF significa o Tempo Médio entre Falhas, e o MTTR, Tempo Médio de Reparo.

## 2.6 CHAVE TORQUE HIDRO-PNEUMÁTICA

Segundo Macco (2021), Chaves Torque Hidro-pneumáticas são ferramentas de aperto, com capacidade de torque, que variam de 4,5 N.m até 400 N.m e rotação máxima de 6700 rpm, conforme catálogo da fabricante Uryu. Essas máquinas permitem que a operação ocorra sem vibrações e reações exageradas na mão do operador, mesmo trabalhando com torques elevados, por consequência da hidráulica estar empregada neste tipo de equipamento. As principais partes da ferramenta são ilustrados na Figura 2, abaixo:



Figura 2 – Ilustração Chave Torque Hidro-pneumática



Fonte: MACCO (2021).

O funcionamento inicia ao apertar o gatilho, que permite a entrada do ar comprimido no Motor Pneumático. O Motor e a Unidade de Pulsação Hidráulica (UPH) são interligados por um encaixe sextavado, fazendo com que durante o funcionamento do Motor, o eixo que aplica o torque gire.

O óleo que está dentro da UPH sofre uma compressão devido o movimento e força exercida durante a operação. A compressão faz com que o Sistema *Shut-off* seja acionado, desligando o equipamento ao atingir a pressão pré-determinada. A bigorna tem a função de transmitir a força gerada na Unidade de Pulsação Hidráulica, através de torque, a aplicação.

As fabricantes de Chaves Torque Hidro-pneumáticas, fabricam modelos que trabalham em diversas faixas de torque. Exemplificando, o modelo UAT180 da fabricante Uryu, trabalha em uma faixa de 160 N.m à 250 N.m, permitindo uma tolerância de  $\pm 20\%$  de variação de

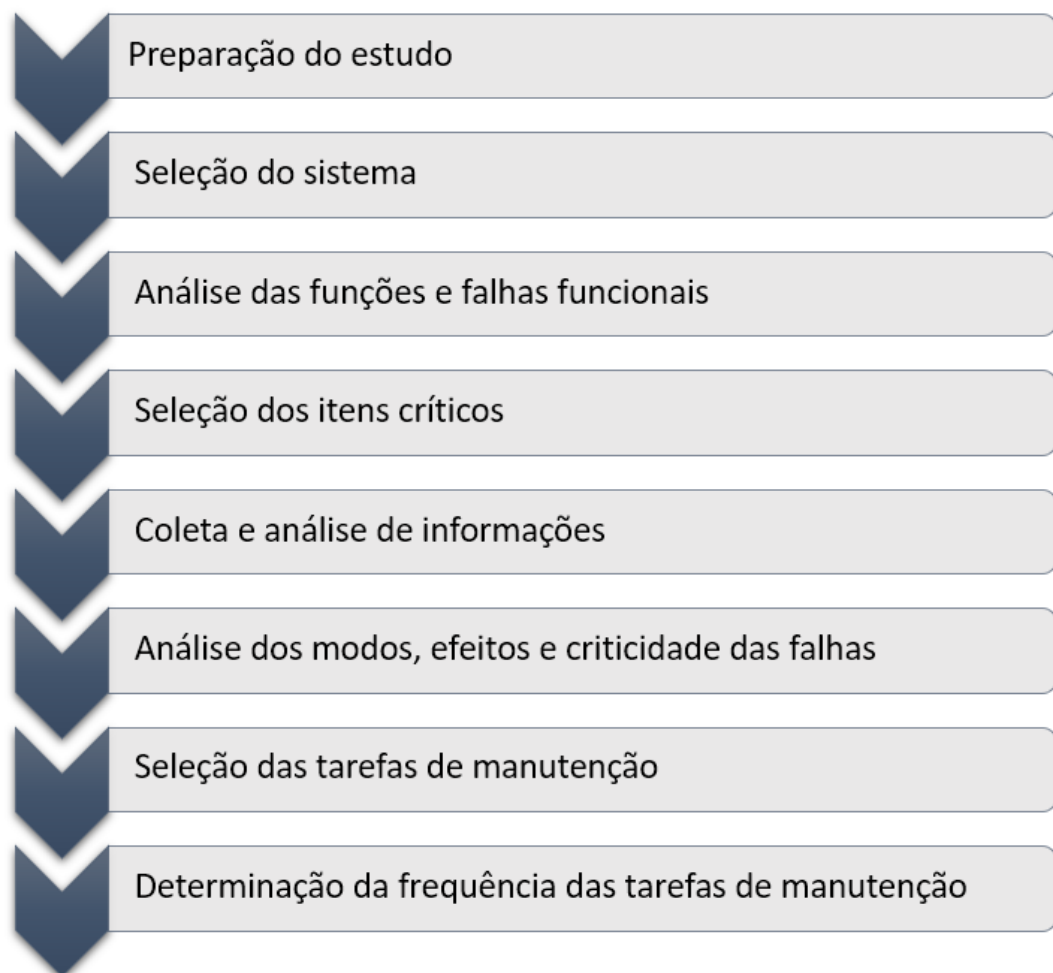
torque na aplicação (MACCO, 2021). Os demais modelos de Chaves Torque Hidro-pneumáticas produzidas pela Uryu, podem ser visualizados no Apêndice 1.

Os equipamentos contam com uma válvula ajustadora do torque, que permite o ajuste de acordo com a faixa permissível do modelo, conforme catálogo do fabricante. O monitoramento do torque requerido no processo, para Chaves Torque Hidro-pneumáticas, pode ser verificado com o auxílio de um transdutor de torque rotativo, bancadas torciométricas ou torquímetros digitais com capacidade de medir torque estático.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo apresenta a metodologia utilizada para a elaboração do trabalho e suas respectivas etapas, tendo como base os estudos apresentados por Zaions (2003). Conforme o autor demonstra, há uma variedade de possibilidades para a implementação, sendo as principais determinadas pelos autores, Smith (1993), Moubray (2000), NASA (2000) e Rausand *et al.* (1998). Avaliando cada uma delas, a sistemática que mais se encaixa ao trabalho é do autor Rausand *et al.* (1998), conforme demonstrado na Figura 3:

Figura 3 – Sistemática aplicação metodologia MCC



Fonte: Autor (2022).

### 3.1 PREPARAÇÃO DO ESTUDO

A primeira etapa foi utilizada para a obtenção de conhecimentos referentes a metodologia MCC, estudo do processo de manutenção da empresa, elaborar uma planilha para controle dos dados de manutenções corretivas, e formação de um grupo com capacidade técnica sobre o assunto.

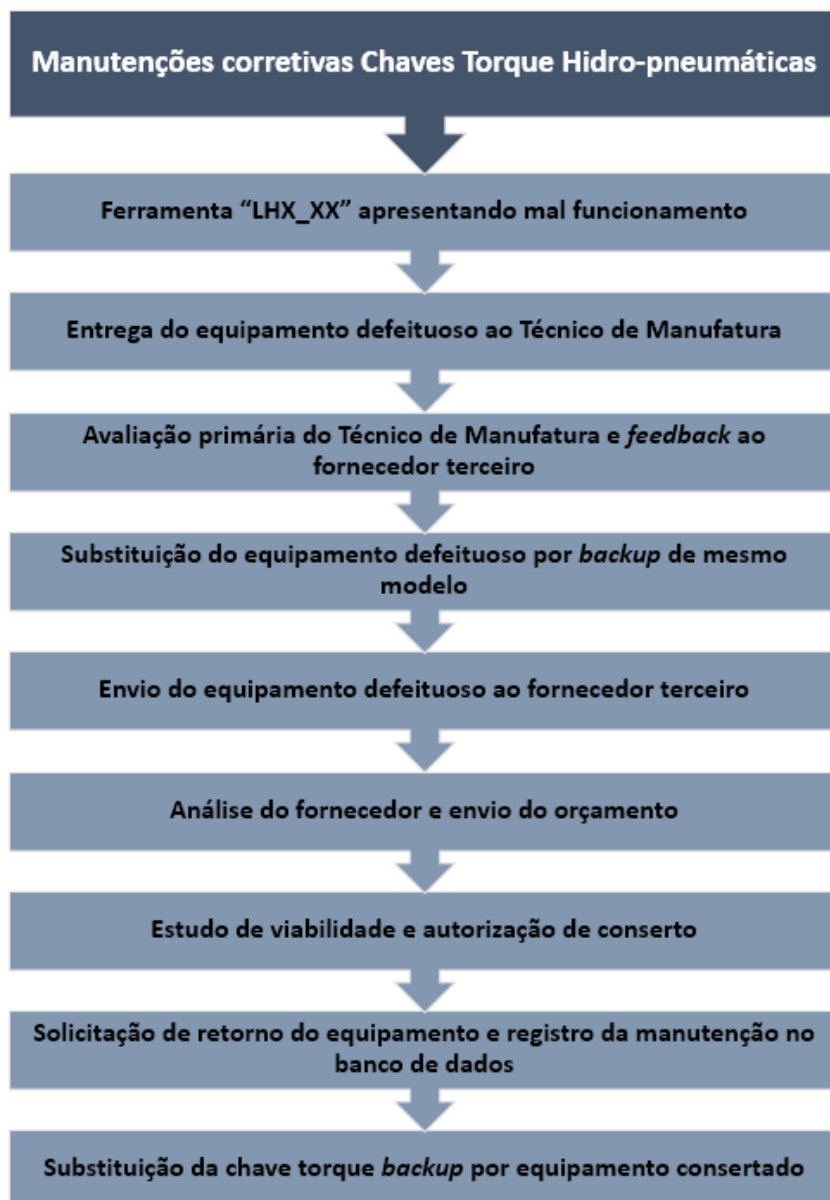
#### 3.1.1 Processo de manutenção da empresa

A empresa a ser aplicada a metodologia MCC conta com uma área de manutenção bem estruturada, mas com mão de obra insuficiente para atender todas as demandas fabris. Devido a isso, a mesma optou pela terceirização das manutenções corretivas e preventivas de alguns equipamentos específicos, sendo uma das justificativas, que com o processo executado por terceiros há uma garantia fornecida por um determinado período de tempo.

As manutenções corretivas e preventivas em Chaves Torque Hidro-pneumáticas são executadas por um fornecedor terceiro especializado na marca fabricante que a empresa utiliza em suas linhas de produção.

O fluxo do processo de manutenção corretiva é demonstrado na Figura 4.

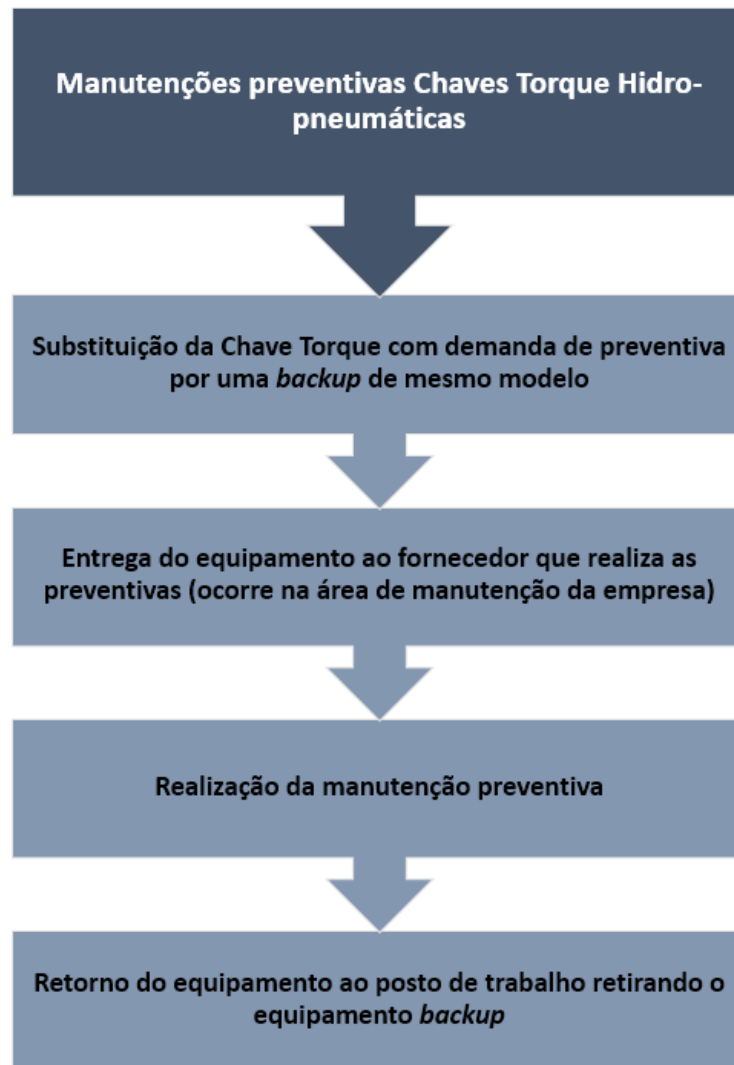
Figura 4 – Fluxograma manutenções corretivas Chaves Torque Hidro-pneumáticas



Fonte: Autor (2022).

As manutenções preventivas têm um processo distinto as corretivas, e é ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – Fluxograma manutenções preventivas Chaves Torque Hidro-pneumáticas



Fonte: Autor (2022).

Comparando os fluxogramas das Figuras 4 e 5, as manutenções corretivas demandam um tempo maior, pela necessidade de enviar os equipamentos ao prestador de serviços, aguardar a avaliação e posterior executar os trâmites de pedidos e retorno dos equipamentos. Devido à esse período, a empresa optou em manter um estoque *backup* de Chaves Torque Hidro-pneumáticas (ao menos um *backup* para cada modelo utilizado nas linhas de produção).

As manutenções preventivas ocorrem na própria empresa, na área de manutenção, o que facilita para ambas as partes, tanto o contratante como o prestador do serviço. O cronograma de preventivas é seguido conforme a indicação do fabricante dos equipamentos, e será demonstrado ao decorrer do trabalho.

Faz-se o controle de dados das manutenções corretivas e preventivas das Chaves Torque Hidro-pneumáticas apenas da data de início, data do fim ou retorno, e os valores gastos. A empresa fica com os orçamentos para consultas, aonde constam as peças que foram substituídas dos equipamentos.

### 3.1.2 Planilha de controle de manutenções corretivas

O trabalho demandou a elaboração de uma planilha para controle das manutenções corretivas nas Chaves Torque Hidro-pneumáticas. A Tabela 1 abaixo, demonstra as informações controladas pela planilha criada:

Tabela 1 – Planilha de controle de manutenções corretivas

Controle manutenções corretivas Chaves Torque Hidro-pneumáticas							
Data de envio	Data retorno	Tempo indisponibilidade	ID novo	Modelo	Custo materiais	Custo mão de obra	Total conserto
28/03/2017	25/04/2017	19	LH1_81	ULT100	R\$ 2.060,00	R\$ -	R\$ 2.060,00
28/03/2017	25/04/2017	19	LH1_80	ULT100	R\$ 1.240,00	R\$ -	R\$ 1.240,00
28/03/2017	25/04/2017	19	LH1_19	ULT100	R\$ 700,00	R\$ -	R\$ 700,00
28/03/2017	25/04/2017	19	LH1_91	ULT130	R\$ 2.790,00	R\$ -	R\$ 2.790,00
28/03/2017	25/04/2017	20	LH1_77	ULT130	R\$ 900,00	R\$ -	R\$ 900,00
20/07/2018	27/08/2018	27	LH1_46	ULT90	R\$ 1.020,00	R\$ -	R\$ 1.020,00
20/07/2018	27/08/2018	27	LH1_104	ULT90	R\$ 1.670,00	R\$ -	R\$ 1.670,00
20/07/2018	27/08/2018	27	LH1_74	ULT100	R\$ 1.970,00	R\$ -	R\$ 1.970,00
26/03/2019	07/05/2019	29	LH1_06	ULT100	R\$ 2.680,00	R\$ 320,00	R\$ 3.000,00
26/03/2019	07/05/2019	29	LH1_09	ULT60	R\$ 1.210,00	R\$ 290,00	R\$ 1.500,00
26/03/2019	07/05/2019	29	LH1_14	ULT90	R\$ 1.580,00	R\$ 320,00	R\$ 1.900,00
26/03/2019	07/05/2019	29	LH1_21	ULT150	R\$ 3.220,00	R\$ 380,00	R\$ 3.600,00
26/03/2019	07/05/2019	29	LH1_32	ULT130	R\$ 2.680,00	R\$ 320,00	R\$ 3.000,00
26/03/2019	07/05/2019	29	LH1_41	ULT60	R\$ 510,00	R\$ 290,00	R\$ 800,00
26/03/2019	07/05/2019	29	LH1_42	ULT60	R\$ 560,00	R\$ 290,00	R\$ 850,00
26/03/2019	07/05/2019	29	LH1_56	ULT130	R\$ 880,00	R\$ 320,00	R\$ 1.200,00
26/03/2019	07/05/2019	29	LH1_59	ULT100	R\$ 1.380,00	R\$ 320,00	R\$ 1.700,00
26/03/2019	07/05/2019	29	LH1_60	ULT90	R\$ 1.480,00	R\$ 320,00	R\$ 1.800,00
26/03/2019	07/05/2019	29	LH1_69	ULT60	R\$ 1.210,00	R\$ 290,00	R\$ 1.500,00
26/03/2019	07/05/2019	29	LH1_91	ULT130	R\$ 2.180,00	R\$ 320,00	R\$ 2.500,00

Fonte: Autor (2022).

O controle permitirá a empresa manipulá-los de várias formas, ajudando a mesma a determinar ações e decisões mais assertivas. Algumas sugestões de dados que podem ser introduzidos são:

- I. Comparativo do total do conserto *versus* um equipamento novo (viabilidade de conserto), de mesmo modelo;
- II. *Ranking* dos equipamentos com maior indisponibilidade;

- III. *Ranking* dos equipamentos com maior número de corretivas.

### 3.1.3 Grupo de implementação da metodologia MCC

Segundo Zaions (2003), a definição do grupo para a aplicação da metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade é essencial para o sucesso do trabalho. A equipe deve ser composta por todas as áreas interessadas, tendo como base um componente da área de manutenção, um da área de operação e um especialista no assunto.

O grupo do presente trabalho foi composto da seguinte forma:

- I. Líder da área de Manutenção da empresa a ser aplicada a metodologia;
- II. Fornecedor terceiro especializado e autorizado a prestar manutenções pela fabricante dos equipamentos;
- III. Técnico de Manufatura da área de Montagem;
- IV. Orientador desta monografia, como especialista no assunto MCC.

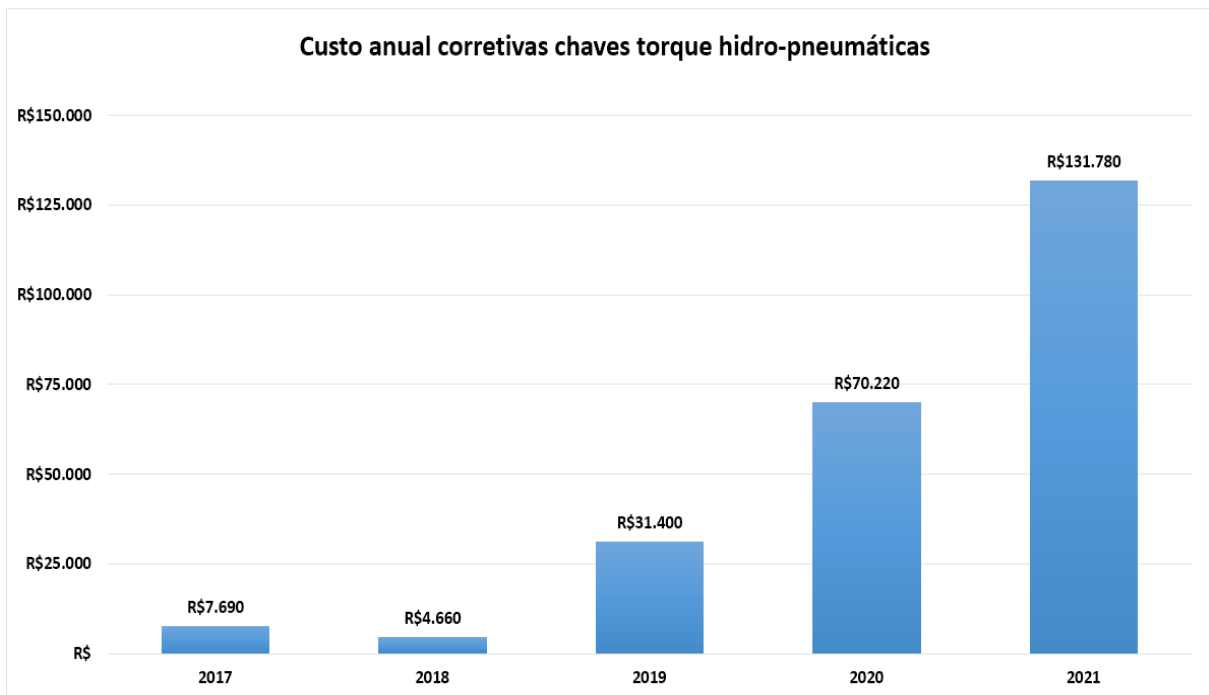
## 3.2 SELEÇÃO DO SISTEMA

Conforme demonstrado desde o início desta monografia, o sistema selecionado para a aplicação da metodologia MCC foram as Chaves Torque Hidro-pneumáticas. A seleção deste tipo de equipamento deu-se pelo fato da empresa, que o estudo foi realizado, estar agregando um alto custo em manutenções corretivas.

Utilizando a ferramenta tabela dinâmica, do *software Excel* (2013), na planilha de controle dos dados de manutenções corretivas, criada para o estudo, foi possível demonstrar a crescente nos gastos com esse tipo de manutenção, conforme Figura 6 abaixo:



Figura 6 – Custo anual manutenções corretivas Chaves Torque Hidro-pneumáticas

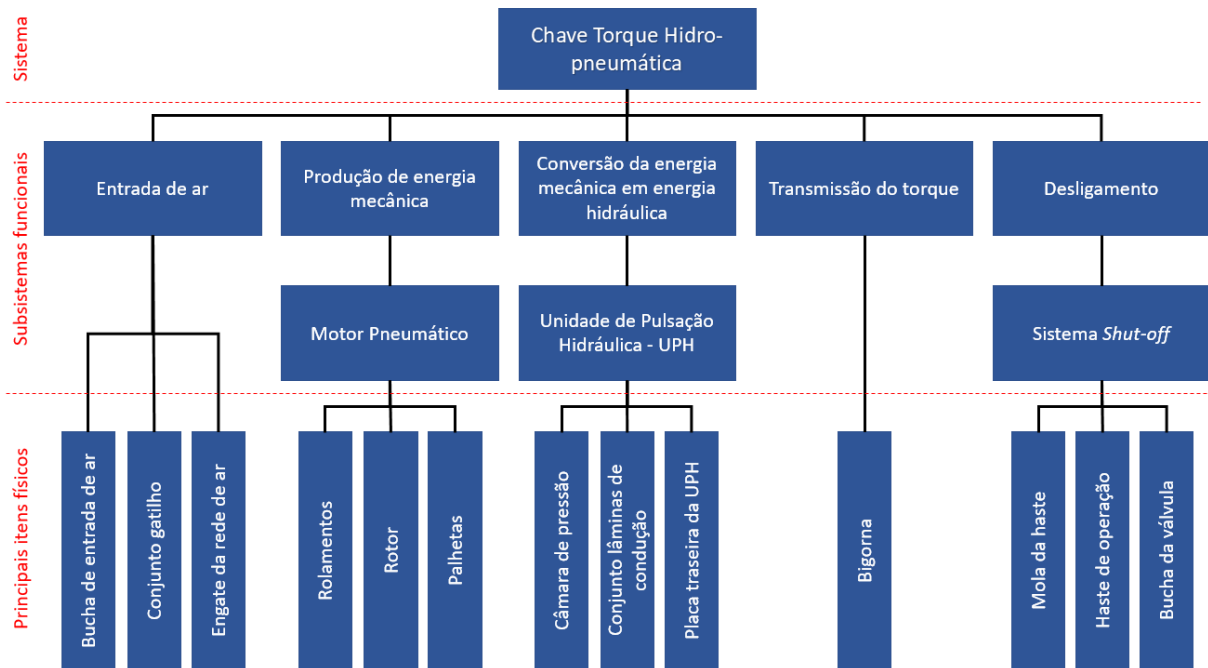


Fonte: Autor (2022).

Entre o período do início de 2017 ao final de 2021, foram contabilizados 93 manutenções corretivas e o custo total de R\$245.750,00. Devido aos valores agregados, a empresa demandou um estudo mais aprofundado e completo das Chaves Torque Hidro-pneumáticas, sendo o objetivo desta monografia. Esse aumento desde 2018, deu-se pelo incremento na produção de implementos agrícolas na empresa e o acréscimo de Chaves Torque Hidro-pneumáticas nas linhas de produção.

Após a seleção do sistema, conforme orientações de Zaions (2003), o mesmo foi dividido em subsistemas funcionais, com nomes não ligados a itens físicos presentes no equipamento, conforme Figura 7. Essa etapa é determinante para compreender como o sistema opera, e quais os grupos de funcionamento do mesmo.

Figura 7 – Fluxograma do sistema e subsistemas funcionais



Fonte: Autor (2022).

Os subsistemas foram definidos conforme as etapas que o equipamento opera para funcionar da forma correta e como foi projetado. O nível em que se encontram o Motor Pneumático, a Unidade de Pulsção Hidráulica e o Sistema *Shut-off* foram acrescentados para facilitar o entendimento e a implementação da metodologia, podendo ser dividido de uma forma mais objetiva.

A etapa não prevê a necessidade de selecionar um modelo em específico, pois todos os modelos presentes no catálogo da Uryu, possuem a mesma sistemática de funcionamento e componentes físicos, apenas ocorre uma variação no dimensionamento das peças e conjuntos.

### 3.3 ANÁLISE DAS FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS

A análise das funções e falhas funcionais é determinante para o sucesso da implementação da MCC. A primeira etapa se dá pelos seguintes passos:

- I. Identificação dos principais itens físicos, neste caso para cada subsistema;
- II. Fronteiras físicas do sistema, dividindo o mesmo da forma que ele inicia e termina;
- III. Considerações finais e determinantes.

A Tabela 2, demonstra como ocorreu as divisões:

Tabela 2 – Planilha de identificação das fronteiras do sistema

MCC	Planilha de identificação das fronteiras do sistema		
	Sistema:	Local:	Página: 1/1
	Chave Torque Hidro-pneumática	Montagem	Data: __/__/__
<b>1. Principais itens físicos</b>			
<p><b>Motor Pneumático:</b> Rolamento frontal; rolamento traseiro; rotor; palhetas; placa dianteira do motor; placa traseira do motor; cilindro.</p> <p><b>Unidade de Pulsção Hidráulica:</b> Bigorna; câmara de pressão; placa dianteira da UPH; placa traseira da UPH; lâminas de condução; molas das lâminas de condução.</p> <p><b>Sistema Shut-off:</b> Buchas da válvula; haste da válvula; mola da válvula; esfera da válvula; válvula <i>shut-off</i>.</p>			
<b>2. Fronteiras físicas:</b>			
<p><b>Inicia com:</b> Ar comprimido fornecido pela rede de ar e óleo lubrificante fornecido por um lubrificador, entram no motor pneumático, gerando energia mecânica. Motor que está acoplado a placa traseira da unidade de pulsção hidráulica faz com que a mesma gire, comprimindo o óleo hidráulico na câmara de pressão, gerando torque na bigorna. A compressão do óleo faz com que a bucha, mola e a haste da válvula shut-off sejam empurrados para trás, acionando a válvula.</p> <p><b>Termina com:</b> A unidade hidráulica utiliza o torque gerado pela compressão do óleo para o aperto de parafusos. O sistema <i>shut-off</i> desliga o equipamento automaticamente, despressurizando o equipamento e não permitindo mais entrada de ar no motor.</p>			
<b>3. Considerações finais</b>			
A compressão limite do óleo na unidade de pulsção hidráulica, para o desligamento do equipamento, é alterado através do parafuso ajustador de torque. O que faz com que o torque aplicado pela máquina seja maior ou menor.			

Fonte: Autor (2022).

Na segunda etapa ocorreu a descrição do sistema (Tabela 3), onde são identificadas as funções e alguns parâmetros determinantes, que estão ligados ao funcionamento do equipamento estudado. Da mesma forma, foram avaliadas as redundâncias, dispositivos de proteção instalados e os instrumentos de medição e controle.

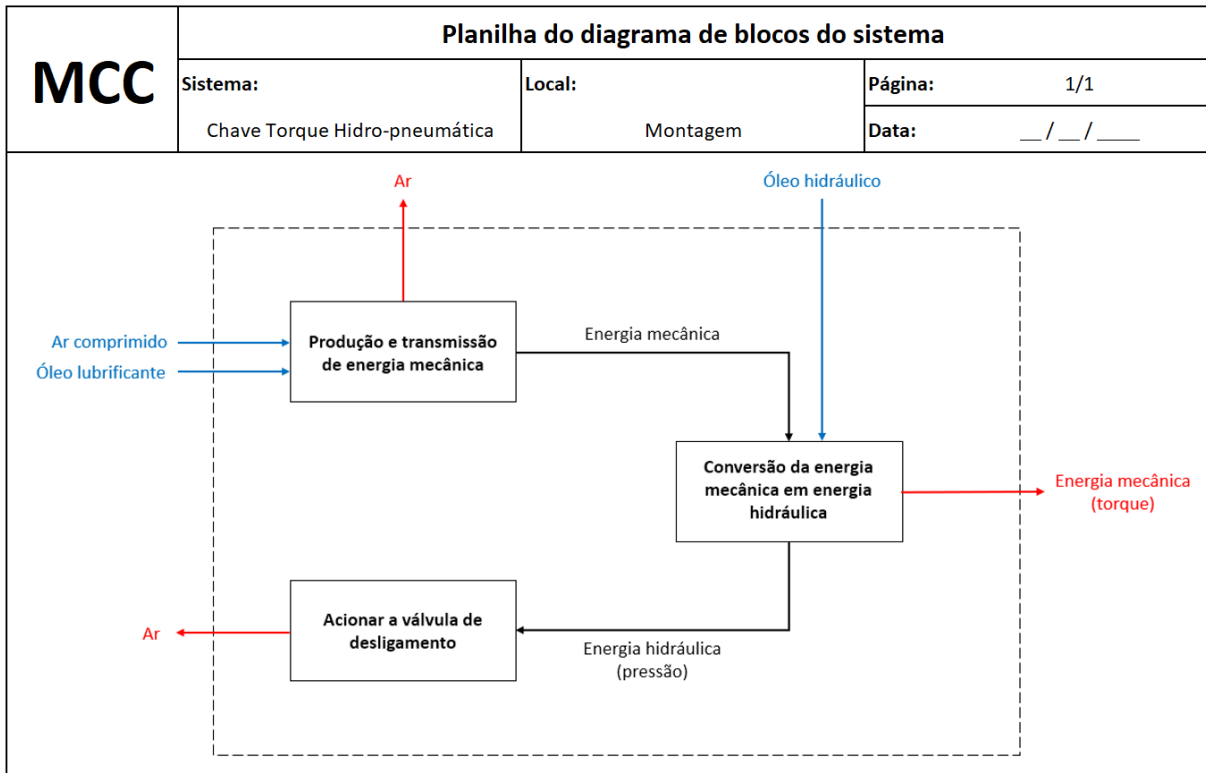
Tabela 3 – Planilha de descrição do sistema

MCC	Planilha de descrição do sistema		
	Sistema:	Local:	Página: 1/1
	Chave Torque Hidro-pneumática	Montagem	Data: __/__/__
<b>1. Funções e parâmetros:</b>			
Utilizar o ar comprimido (mínimo 5 bar de pressão) para gerar energia mecânica através do Motor Pneumático;			
Utilizar o óleo lubrificante (aproximadamente 3 gotas por minuto) para lubrificar o Motor;			
Transmitir a energia mecânica para a Unidade de Pulsação Hidráulica;			
Converter a energia mecânica em energia hidráulica e transmitir em forma de torque na bigorna;			
Transmitir pressão para o Sistema <i>Shut-off</i> para um correto desligamento.			
<b>2. Redundâncias:</b>			
Não há.			
<b>3. Dispositivos de proteção:</b>			
Saída do excesso de ar no Motor Pneumático;			
Válvula de alívio na Unidade de Pulsação Hidráulica.			
<b>4. Instrumentação e controle:</b>			
Sistema <i>Shut-off</i> ;			
Conjunto válvula de pressão/regulador do torque.			

Fonte: Autor (2022).

Posterior a descrição do sistema, foi desenvolvido um diagrama de blocos. O objetivo do diagrama é descrever e determinar as entradas e saídas do equipamento, tanto externas como internas e verificar as dependências entre eles, o que se torna fundamental para as próximas etapas. O estudo executado pelo grupo de implementação da metodologia está demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4 – Planilha do diagrama de blocos do sistema.



Fonte: Autor (2022).

Com base na etapa anterior, realizou-se a listagem das interfaces de entrada e saída do sistema, internas e externas (Tabela 5).

Tabela 5 – Planilha de interfaces de entradas e saídas do sistema.

MCC	Planilha de interfaces de entradas e saídas do sistema		
	Sistema:	Local:	Página:
	Chave Torque Hidro-pneumática	Montagem	1/1
		Data:	__ / __ / __
<b>1. Interfaces de entrada:</b>			
Fluxo de ar comprimido para o Motor Pneumático;			
Fluxo de óleo lubrificante para o Motor Pneumático;			
Óleo hidráulico para a Unidade de Pulsação Hidráulica.			
<b>2. Interfaces de saída:</b>			
Excesso de ar;			
Energia mecânica para o parafuso.			
<b>3. Interfaces internas de entrada e saída:</b>			
Energia mecânica para a Unidade de Pulsação Hidráulica;			
Pressão para a válvula de desligamento.			

Fonte: Autor (2022).

A Tabela 6, que lista os itens físicos do sistema, foi fracionada em três páginas, uma para cada subsistema, sendo Motor Pneumático, Unidade de Pulsção Hidráulica e Sistema *Shut-off*. Na mesma há a identificação dos itens, por um código genérico criado, a quantidade, especificações técnicas, sendo o material de fabricação ou alguma outra referência, o fornecedor do item e o seu local de instalação no sistema.

Abaixo, está ilustrado o subsistema do Motor Pneumático, e os demais podem ser visualizados no Apêndice 2.

Tabela 6 – Planilha de descrição dos itens físicos do sistema.

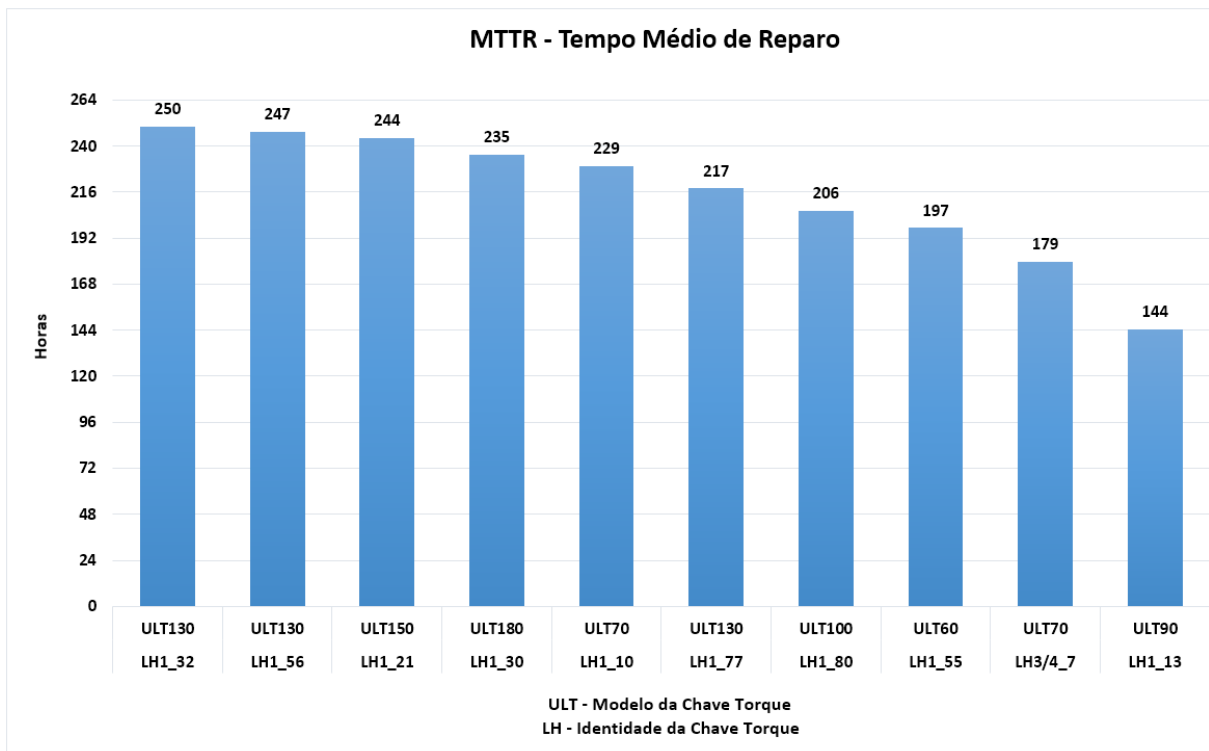
Planilha de descrição dos itens físicos e de controle do sistema					
<b>MCC</b>	Sistema: Chave Torque Hidro-pneumática		Local:  Montagem	Página: 1/3	
	Sub-sistema: Motor Pneumático			Data: __/__/____	
Itens físicos					
Nº item	Qtd	Descrição do item	Especificações	Fornecedor	Local de montagem
MP-01	1	Cilindro do motor	Alumínio com tratamento cerâmico	Uryu	Encaixe da placa frontal e traseira do motor
MP-02	1	Rotor	Aço temperado	Uryu	Encaixe interno do cilindro do motor
MP-03	9	Palhetas	Nylon	Uryu	Encaixes ao redor do rotor
MP-04	1	Placa frontal do motor	Alumínio com tratamento cerâmico	Uryu	Encaixe frontal do cilindro do motor
MP-05	1	Placa traseira do motor	Alumínio com tratamento cerâmico	Uryu	Encaixe traseiro do cilindro do motor
MP-06	1	Rolamento frontal	Rolamento de esfera	-	Encaixe da placa frontal do motor
MP-07	1	Rolamento traseiro	Rolamento de esfera	-	Encaixe da placa traseira do motor
MP-08	2	Anel de vedação do motor	Borracha nitrílica	-	Carcaça traseira
Itens de controle					
Nº item	Qtd	Descrição do item	Especificações	Fornecedor	Local de montagem

Fonte: Autor (2022).

Após a descrição dos itens físicos, foi elaborada uma pesquisa, junto ao histórico do controle de dados de manutenções corretivas das Chaves Torque Hidro-pneumáticas, para listar os componentes substituídos ou retrabalhados nas intervenções ocorridas, entre o período de 2017 a 2021.

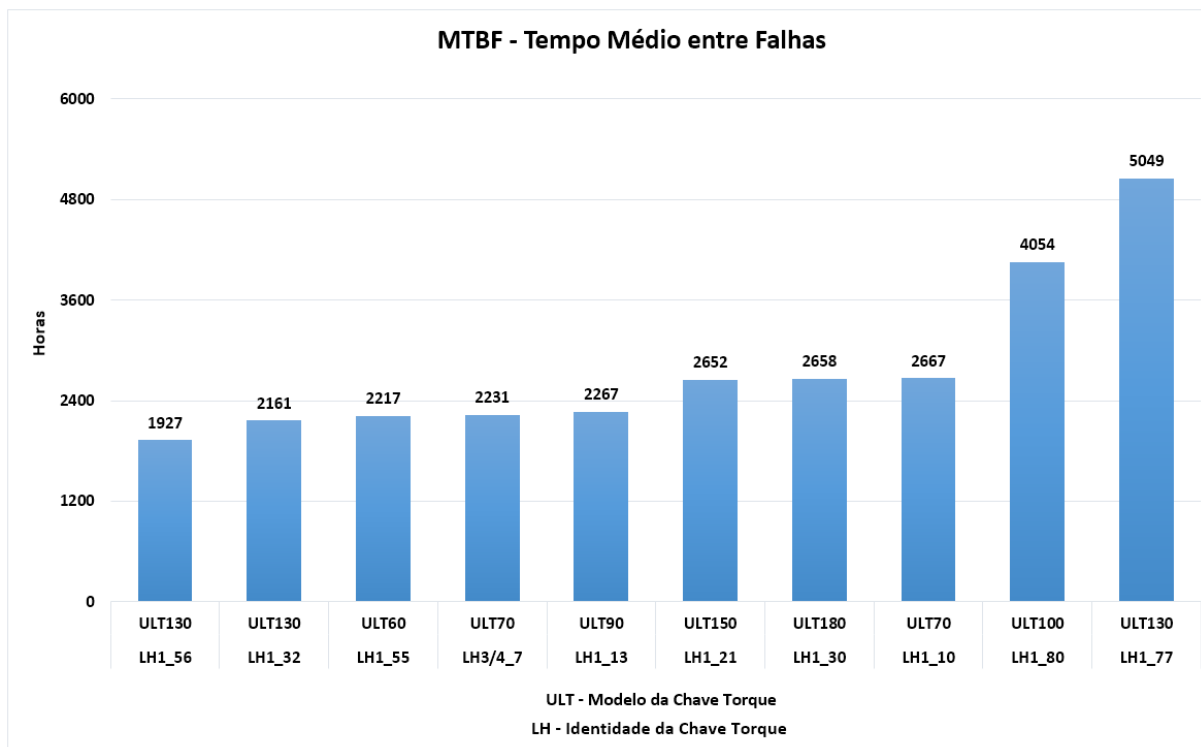
Como a empresa conta com um grande número destes equipamentos em suas linhas de montagem, foi necessário efetuar os cálculos de Tempo Médio de Reparo (MTTR), Tempo Médio entre Falhas (MTBF) e Disponibilidade (D), para selecionar as Chaves Torque que mais tiveram ocorrências de manutenções corretivas no período descrito acima. As Figuras 8, 9 e 10, demonstram graficamente os resultados obtidos.

Figura 8 – Tempo Médio de Reparo Chaves Torque Hidro-pneumáticas.



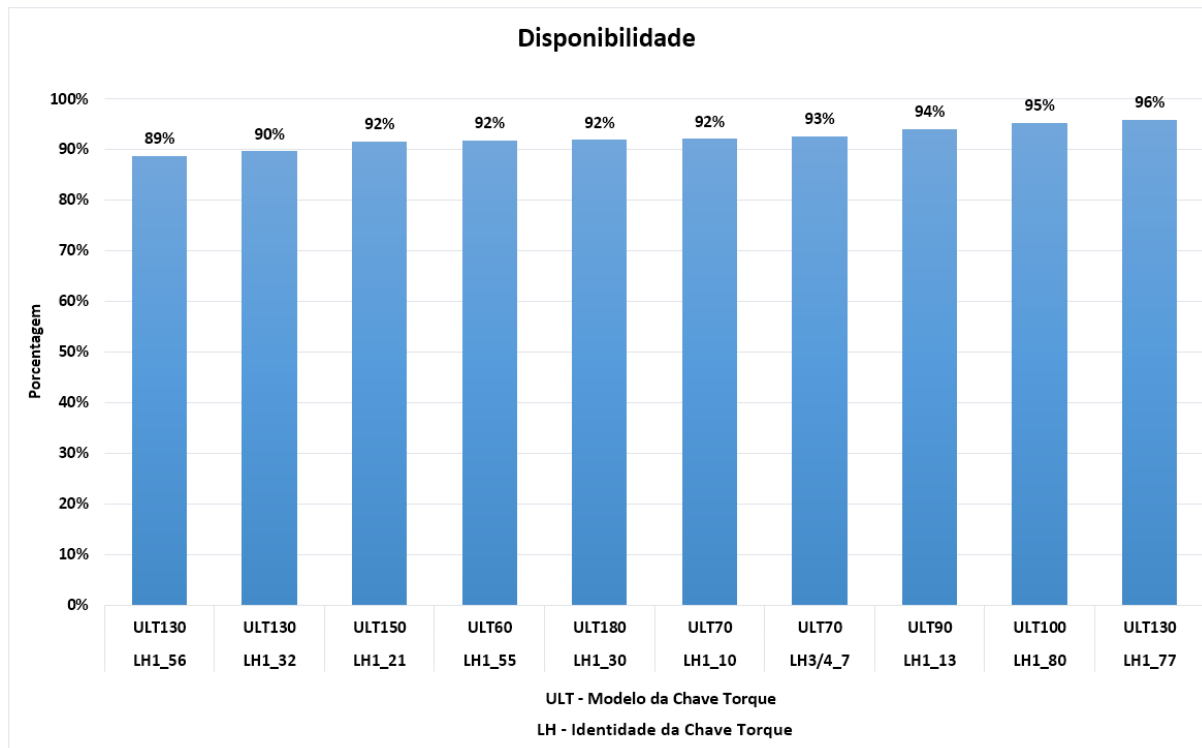
Fonte: Autor (2022).

Figura 9 – Tempo Médio entre Falhas Chaves Torque Hidro-pneumáticas.



Fonte: Autor (2022).

Figura 10 – Disponibilidade Chaves Torque Hidro-pneumáticas.



Fonte: Autor (2022).

Com base nos cálculos efetuados, a Chave Torque LH1\_56, modelo ULT130, foi o equipamento com piores índices nos indicadores de manutenção, entre todas as Chaves Torque Hidro-pneumáticas utilizadas na empresa. Conseqüentemente, a mesma foi utilizada para a elaboração da planilha de identificação do histórico de falhas dos itens físico, ilustrada na Tabela 7.



Tabela 7 – Planilha de identificação do histórico de falhas dos itens físicos.

MCC		Planilha de identificação do histórico de falhas dos itens físicos		
		Sistema: Chave Torque Hidro-pneumática	Local: Montagem	Página: 1/1
		Identificação equipamento: LH1_56	Linha de produção: Linha de montagem 1 - LH1	Data: _ / _ / _
Nº item	Item físico	Data	Histórico de substituição/retrabalho	
UPH-01	Conjunto bigorna	01/07/2019	Troca do anel de suporte	
UPH-01	Conjunto bigorna	01/07/2019	Troca do anel de vedação	
UPH-03	Conjunto lâminas de condução	01/07/2019	Troca das molas	
UPH-04	Placa frontal da UPH	01/07/2019	Troca do anel de vedação	
UPH-05	Placa traseira da UPH	01/07/2019	Troca do anel de vedação	
UPH-06	Conjunto válvula de alívio	01/07/2019	Troca do anel de vedação	
UPH-07	Conjunto pistão	01/07/2019	Troca do anel de vedação	
VS-01	Conjunto bucha da válvula	01/07/2019	Troca dos anéis de vedação	
IC-01	Conjunto válvula ajuste torque	01/07/2019	Troca do anel de vedação	
UPH-01	Conjunto bigorna	30/04/2020	Troca do anel de vedação	
UPH-01	Conjunto bigorna	30/04/2020	Troca do anel de suporte	
UPH-03	Conjunto lâminas de condução	30/04/2020	Troca das molas	
UPH-04	Placa frontal da UPH	30/04/2020	Troca do anel de vedação	
UPH-06	Conjunto válvula de alívio	30/04/2020	Troca do anel de vedação	
UPH-07	Conjunto pistão	30/04/2020	Troca do anel de vedação	
VS-01	Conjunto bucha da válvula	30/04/2020	Troca dos anéis de vedação	
IC-01	Conjunto válvula ajuste torque	30/04/2020	Troca do anel de vedação	
MP-02	Rotor	18/12/2020	Troca da mola	
UPH-04	Placa frontal da UPH	18/12/2020	Troca do anel de vedação	
UPH-05	Placa traseira da UPH	18/12/2020	Troca do anel de vedação	
UPH-04	Placa frontal da UPH	18/12/2020	Troca do anel de vedação	
VS-01	Conjunto bucha da válvula	18/12/2020	Troca dos anéis de vedação	
MP-06	Rolamento frontal	08/09/2021	Troca do rolamento	
MP-07	Rolamento traseiro	08/09/2021	Troca do rolamento	
UPH-01	Conjunto bigorna	08/09/2021	Troca do anel de vedação	
UPH-04	Placa frontal da UPH	08/09/2021	Troca do anel de vedação	
UPH-05	Placa traseira da UPH	08/09/2021	Troca do anel de vedação	
UPH-06	Conjunto válvula de alívio	08/09/2021	Troca do anel de vedação	
UPH-07	Conjunto pistão	08/09/2021	Troca do anel de vedação	
VS-01	Conjunto bucha da válvula	08/09/2021	Troca dos anéis de vedação	
IC-01	Conjunto válvula ajuste torque	08/09/2021	Troca do anel de vedação	
IC-01	Conjunto válvula ajuste torque	08/09/2021	Troca da esfera	

Fonte: Autor (2022).

Baseada na planilha dos itens físicos do sistema, a última etapa desta fase do estudo foi desenvolvida. Nela, ocorreu a descrição das funções interligadas a cada subsistema e as suas falhas funcionais. O grupo teve papel fundamental na identificação das falhas, pelo conhecimento dos componentes do mesmo, o que tornou uma análise mais ampla das possíveis ocorrências. A Tabela 8, apresenta o subsistema da Unidade de Pulsação Hidráulica, e os demais subsistemas podem ser verificados no Apêndice 3.

Tabela 8 – Planilha de descrição das funções e falhas funcionais.

MCC	Planilha de descrição das funções e falhas funcionais		
	Sistema: Chave Torque Hidro-pneumática	Local:  Montagem	Página: 2/3
	Sub-sistema: Unidade de Pulsação Hidráulica - UPH		Data: ___/___/____
Nº função	Função	Nº falha funcional	Falha funcional
F-06	Utilizar a energia mecânica do motor para gerar torque	FF-06	Não utilizar a energia mecânica do motor
		FF-07	Não gerar torque
F-07	Comprimir o óleo hidráulico suficiente para atingir o torque alvo	FF-08	Não gerar a compressão necessária do óleo hidráulico
F-08	Transmitir torque para a aplicação	FF-09	Não transmitir torque para a aplicação
F-09	Acionar o Conjunto <i>Shut-off</i>	FF-10	Não acionar o Sistema <i>Shut-off</i>
F-10	Regular corretamente o torque	FF-11	Aplicar o torque errado
F-11	Aliviar a pressão do óleo hidráulico na unidade de pulsação hidráulica	F-12	Causar excesso de pressão na unidade de pulsação hidráulica
		F-13	Vazamento de óleo

Fonte: Autor (2022).

### 3.4 SELEÇÃO DOS ITENS CRÍTICOS

A etapa tem como objetivo criar uma correlação entre os itens físicos e as falhas funcionais do sistema, esses obtidos em etapas anteriores a esta. Torna-se muito importante para a aplicação da metodologia MCC, pois a correlação pode ser alterada com o histórico de manutenção do sistema, o que irá fazer com que os itens sejam avaliados de forma diferente ao longo do tempo de monitoramento.

Identificar e relacionar os itens físicos com as falhas faz com que sejam priorizados alguns componentes, direcionando mais assertivamente atividades de manutenções preventiva, preditiva ou detectiva, visando evitar as falhas funcionais possíveis (ZAIONS, 2003).

Para a elaboração da planilha de correlação das falhas funcionais e itens físicos (Tabela 9), foi necessário o envolvimento de todo o grupo, definido nas etapas iniciais do trabalho,

pois demanda um conhecimento do funcionamento do sistema, estado atual de conservação, histórico de manutenções e níveis de dificuldade para realizar as manutenções.

O método conta com um Índice de Criticidade Econômica (ICE), para determinar os itens físicos mais críticos. A Equação 4 demonstra como é definido o índice:

$$ICE = Dm * \sum (Gc * Ce) \quad (4)$$

Segundo Zaians (2003), abaixo há a descrição de cada coeficiente presente na Tabela 9 e Equação 4:

1. Consequência na segurança humana (Ch) – “A falha funcional tem consequência na segurança humana? ”. É possível responder sim (S) ou não (N);
2. Consequência na integridade ambiental (Ca) – “A falha funcional apresenta consequência na integridade ambiental? ”. É possível responder sim (S) ou não (N);
3. Consequência econômicas e operacionais (Ce) – Grau de correlação entre as consequências da falha funcional e questões operacionais e econômicas. Valor deve variar de 0 (nenhuma relação) até 5 (forte relação);
4. Dificuldade de manutenção (Dm) – Grau de dificuldade em realizar a atividade de manutenção. Deve ser levado em consideração todas as interferências, em questão de desmontagem do equipamento, dificuldade de fabricação do componente, entre outros. Valor deve variar de 1 (pequena dificuldade) e 5 (grande dificuldade);
5. Grau de correlação (Gc) – Grau de relação entre itens físicos e falhas funcionais. Valor deve variar de 0 (sem correlação) até 5 (grande correlação).

A Tabela 9, demonstra a correlação das falhas funcionais e itens físicos, como também seus respectivos Índice de Criticidade Econômica.

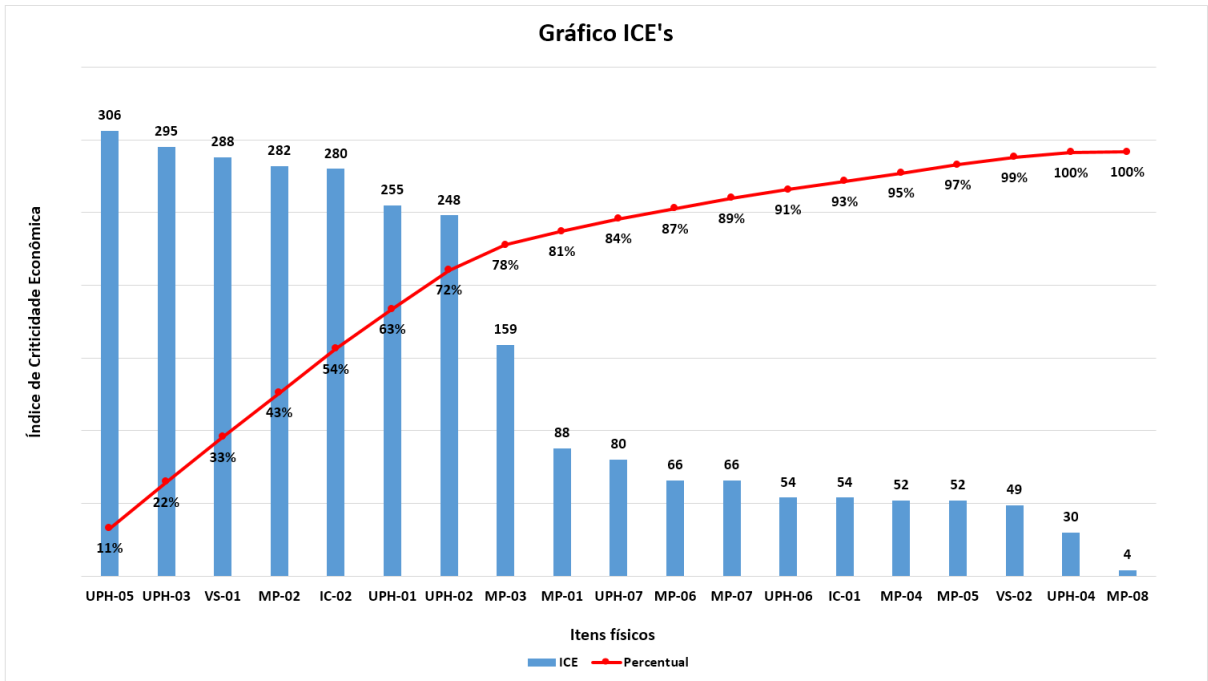
Tabela 9 – Planilha de correlação das falhas funcionais e itens físicos.

Planilha de correlação das falhas funcionais e itens físicos		Falhas funcionais														MCC		
Sistema	Chave de Torque Hidro-pneumática	FF-01	FF-02	FF-03	FF-04	FF-05	FF-06	FF-07	FF-08	FF-09	FF-10	FF-11	FF-12	FF-13	FF-14		FF-15	FF-16
Local	Montagem	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N		N	N
Data	__/__/____	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N		N	N
Página	1/1	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N		N	N
MCC		Ch	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N		N	N
		Ca	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N		N	N
		Ce	5	5	4	3	1	5	5	4	5	4	3	2	2		4	3
Itens físicos		Dm	Gc														ICE	
Nº item	Descrição																	
MP-01	Cilindro do motor	4						2	3									88
MP-02	Rotor	3	3	5	3			4		2			3					282
MP-03	Palhetas	3	3		5					3			2					159
MP-04	Placa frontal do motor	4			2		5											52
MP-05	Placa traseira do motor	4			2		5											52
MP-06	Rolamento frontal	3			3					2								66
MP-07	Rolamento traseiro	3			3					2								66
MP-08	Anel de vedação do motor	1					4											4
UPH-01	Conjunto bigorna	3					4		3	5	3	4	2					255
UPH-02	Câmara de pressão	4						3	5	2		3	4					248
UPH-03	Conjunto lâminas de condução	5						4	5	2		3						295
UPH-04	Placa dianteira da UPH	3												5				30
UPH-05	Placa traseira da UPH	3					5	3	3	2	3	2		5	3			306
UPH-06	Conjunto válvula de alívio	3										5	4					54
UPH-07	Conjunto pistão	2									5				5			80
VS-01	Conjunto bucha da válvula	4									5	3			5	5	4	288
VS-02	Haste de operação	1									5	3			5			49
IC-01	Conjunto válvula ajuste torque	2							3			5						54
IC-02	Conjunto válvula shut-off	4									5	3			5	5	3	280

Fonte: Autor (2022).

Os itens físicos destacados na planilha acima correspondem a mais de 80% do acumulado dos ICE's. Esse dado foi obtido por intermédio do diagrama de Pareto, onde os itens foram ordenados de forma decrescente, conforme seu índice de criticidade econômica, e verificado a porcentagem correspondente em relação ao acumulado. A Figura 11 demonstra o gráfico dos ICE's e suas respectivas parcelas em relação ao total dos índices.

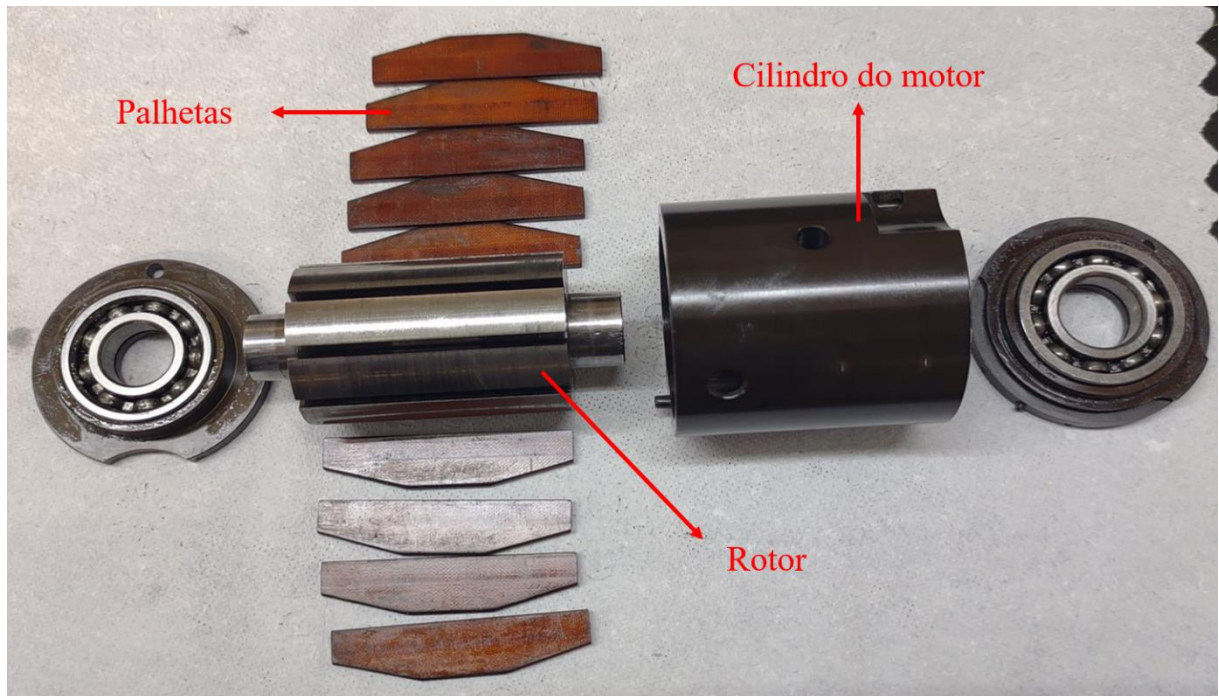
Figura 11 – Gráfico dos ICE's.



Fonte: Autor (2022).

A Figura 12, demonstra os itens críticos presentes no subsistema Motor Pneumático.

Figura 12 – Itens críticos Motor Pneumático.

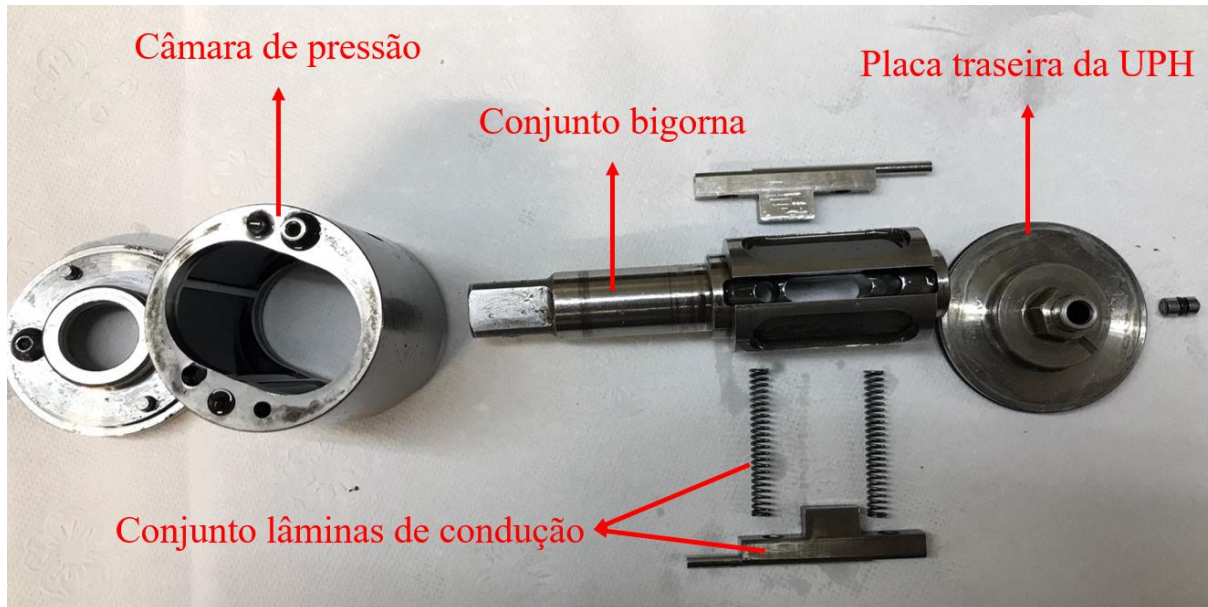


Fonte: Autor (2022).



A Figura 13, demonstra os itens críticos presentes no subsistema Unidade de Pulsação Hidráulica.

Figura 13 – Itens críticos Unidade de Pulsação Hidráulica.



Fonte: Autor (2022).

A Figura 14, demonstra os itens críticos presentes no subsistema Sistema *Shut-off*.

Figura 14 – Itens críticos Sistema *Shut-off*.



Fonte: Autor (2022).

### 3.5 ANÁLISE DOS MODOS, EFEITOS E CRITICIDADE DAS FALHAS

Nesta etapa a ferramenta mais utilizada para a aplicação da metodologia é o FMEA, pois determina os modos de falha, para cada falha funcional prevista anteriormente. Além disso, há a descrição dos efeitos e consequências que esses modos de falhas causam, tornando a correta análise, essencial para as ações que devem ser implementadas nas próximas etapas.

Os itens analisados foram os definidos conforme gráfico ICE e descritos na Tabela 10 e no Apêndice 4.

Tabela 10 – Planilha de análise dos modos de falha e efeito – FMEA.

MCC	Planilha de análise dos modos de falha e efeito - FMEA			
	Sistema:		Local:	Página:
	Chave Torque Hidro-pneumática		Montagem	1/4
				Data:
				__ / __ / ____
Item físico	Função	Falha funcional	Modo de falha	Efeito e consequência da falha
UPH-05 - Placa traseira da UPH	F-02 - Transmitir força mecânica para a unidade de pulsação hidráulica	FF-02 - Não transmitir força mecânica para a unidade de pulsação hidráulica	MF-01 - Desgaste do encaixe sextavado do rotor	Ausência de encaixe entre rotor e placa traseira da UPH, não funcionando o equipamento
			MF-02 - Desgaste do encaixe sextavado da placa traseira da UPH	
	F-06 - Utilizar a energia mecânica do motor para gerar torque	FF-06 - Não utilizar a energia mecânica do motor	MF-03 - Desgaste do encaixe sextavado da placa traseira da UPH (MF-02)	
			FF-07 - Não gerar torque	
UPH-03 - Conjunto lâminas de condução	F-07 - Comprimir o óleo hidráulico suficiente para atingir o torque alvo	FF-08 - Não gerar a compressão necessária do óleo hidráulico	MF-06 - Ruptura da mola da lâmina de condução (MP-04)	A ruptura ou desgaste farão com que os componentes não executem as suas funções da forma adequada, interferindo na compressão do óleo hidráulico
			MF-07 - Desgaste das lâminas de condução	
			MF-08 - Desgaste da câmara de pressão	
			MF-09 - Óleo hidráulico contaminado	Óleo hidráulica fica contaminado com o tempo de uso, reduzindo a compressão
			MF-10 - Vazamento do óleo hidráulico	Redução da compressão devido não conter a quantidade correta de óleo na Unidade de Pulsação Hidráulica

Fonte: Autor (2022).

No FMEA pode ser observado que os modos de falhas podem se repetir para mais de uma falha funcional. Devido essas ocorrências, as numerações dos modos de falhas não se

repetiram, mas, na descrição há a observação, entre parênteses, quando a definição é a mesma. Essa ação foi tomada, para que não fosse possível desprezar qualquer modo de falha.

### 3.6 SELEÇÃO DAS TAREFAS DE MANUTENÇÃO

A escolha das tarefas a serem integradas ao plano de manutenção da MCC, ocorre por meio da planilha de seleção de tarefas de manutenção (Tabela 11), onde cada falha funcional e seus respectivos modos de falhas, determinados na etapa anterior (FMEA), são avaliados separadamente.

A etapa conta com a ferramenta da árvore lógica de decisão (Apêndice 5) para identificar, por meio de perguntas e categorias, a priorização de modos de falhas. Os códigos são divididos em: “S”, falha que afeta a segurança humana; “E”, falha evidente; “A”, falha que afeta o meio ambiente; e “O”, falha operacional. Na planilha é permitido duas respostas, sim (S) ou não (N). Por final, o modo de falha é ligado a alguma categoria: “D”, falha oculta; “A”, falha de segurança; “E”, falha de integridade ambiental; “B”, falha operacional; e “C”, falha econômica insignificante.

Posterior a árvore lógica de decisão, o diagrama de seleção de tarefas (Apêndice 6) é empregado, sendo respondido para cada modo de falha. É nesta etapa da MCC, que é determinado o número de tarefas de manutenção.

A Tabela 11, ilustra a página 1 da planilha de seleção de tarefas de manutenção e como ocorreu o preenchimento, as demais páginas podem ser visualizadas no Apêndice 7. Nela, foram definidas 7 tarefas de manutenção preventiva, 12 tarefas de manutenção preditiva (inspeções visuais) e 3 tarefas de inspeção de rotina.



Tabela 11 – Planilha de seleção de tarefas de manutenção

MCC	Planilha de seleção de tarefas de manutenção															
	Sistema:	Local:					Página:					Data:				
	Chave Torque Hidro-pneumática	Montagem					1/3					___/___/___				
Falha Funcional	Modo de falha	Árvore lógica de decisão					Diagrama de seleção de tarefas									Tarefa
		E	S	A	O	Cat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ação
FF-01 - Não gerar força mecânica com o ar comprimido	MF-18 - Ruptura das palhetas	N	N	N	S	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Inspeção visual das palhetas
	MF-19 - Travamento do gatilho	S	N	N	N	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Inspeção do funcionamento do gatilho
FF-02 - Não transmitir força mecânica para a unidade de pulsação hidráulica	MF-01 - Desgaste do encaixe sextavado do rotor	N	N	N	S	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Inspeção visual do encaixe sextavado do rotor
	MF-02 - Desgaste do encaixe sextavado da placa traseira da UPH	N	N	N	S	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Inspeção visual do encaixe sextavado da placa traseira da UPH
FF-03 - Não girar o rotor	MF-33 - Ruptura das palhetas (MF-18)	N	N	N	S	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Inspeção visual das palhetas
FF-06 - Não utilizar a energia mecânica do motor	MF-03 - Desgaste do encaixe sextavado da placa traseira da UPH (MF-02)	N	N	N	S	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Inspeção visual do encaixe sextavado do rotor
FF-07 - Não gerar torque	MF-04 - Ruptura da mola da lâmina de condução	N	N	N	S	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Substituição das molas das lâminas de condução
	MF-05 - Travamento do conjunto bigorna	S	N	N	N	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Limpeza da Unidade de Pulsação Hidráulica

Fonte: Autor (2022).

### 3.7 DETERMINAÇÃO DA FREQUÊNCIA DAS TAREFAS DE MANUTENÇÃO

Com base no histórico de manutenções da Chave Torque Hidro-pneumática selecionada na Tabela 7, e a experiência do grupo definido na primeira etapa deste trabalho, foram definidas as periodicidades das tarefas de manutenção da MCC, conforme Tabela 12 abaixo:

Tabela 12 – Planilha de descrição do plano de manutenção MCC.

MCC	Planilha de descrição do plano de manutenção MCC		
	Sistema:	Local:	Página: 1/1
	Chave Torque Hidro-pneumática	Montagem	Data: __/__/____
Nº item	Item físico	Tarefa de manutenção	Frequência
-	Lubrífil	Inspeção do funcionamento e nível de óleo do lubrífil da rede de ar comprimido	Diário
-	Gatilho	Inspeção do funcionamento do gatilho	Diário
MP-06/07	Rolamento frontal e traseiro	Inspeção de ruído nos rolamentos	Diário
-	Unidade de Pulsação Hidráulica	Substituição do óleo hidráulico da UPH	6 meses
MP-02	Rotor	Inspeção visual de desgaste/oxidação do encaixe sextavado do rotor	6 meses
UPH-05	Placa traseira da UPH	Inspeção visual de desgaste/oxidação do encaixe sextavado da placa traseira da UPH	6 meses
VS-02	Haste de operação	Inspeção visual de desgaste da haste de operação	6 meses
-	Unidade de Pulsação Hidráulica	Limpeza da Unidade de Pulsação Hidráulica	1 ano
MP-03	Palhetas	Inspeção visual de desgaste nas palhetas	1 ano
MP-04	Placa frontal do motor	Inspeção visual de desgaste da placa frontal do motor	1 ano
MP-05	Placa traseira do motor	Inspeção visual de desgaste da placa traseira do motor	1 ano
MP-06	Rolamento frontal	Substituição do rolamento frontal	1 ano
MP-07	Rolamento traseiro	Substituição do rolamento traseiro	1 ano
UPH-02	Câmara de pressão	Inspeção visual de desgaste da câmara de pressão	1 ano
UPH-03	Conjunto lâminas de condução	Substituição das molas das lâminas de condução	1 ano
UPH-03	Conjunto lâminas de condução	Inspeção visual de desgaste das lâminas de condução	1 ano
UPH-04	Placa dianteira da UPH	Inspeção visual de desgaste da placa dianteira da UPH	1 ano
UPH-05	Placa traseira da UPH	Inspeção visual de desgaste da placa traseira da UPH	1 ano
UPH-06	Conjunto válvula de alívio	Inspeção visual da válvula de alívio da UPH	1 ano
VS-01	Conjunto bucha da válvula	Substituição do anel de vedação da bucha da válvula	2 anos
IC-02	Conjunto válvula <i>shut-off</i>	Substituição da mola da válvula <i>shut-off</i>	2 anos
IC-02	Conjunto válvula <i>shut-off</i>	Inspeção visual de desgaste da esfera da válvula <i>shut-off</i>	2 anos

Fonte: Autor (2022).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um plano de manutenção que permita uma longevidade dos equipamentos em uma linha de produção, necessita que seja analisado os processos atuais, para que as boas práticas já exercidas sejam mantidas.

Para tanto, o plano de manutenção atualmente executado na empresa, foi descrito, conforme Tabela 13.

Tabela 13 – Planilha de descrição do plano de manutenção atual.

<b>MCC</b>		<b>Planilha de descrição do plano de manutenção atual</b>		
		<b>Sistema:</b> Chave Torque Hidro-pneumática	<b>Setor:</b> Montagem	<b>Página:</b> 1/1 <b>Data:</b> __/__/____
<b>Nº item</b>	<b>Item físico</b>	<b>Tarefa de manutenção</b>		<b>Frequência</b>
-	Unidade de pulsação hidráulica	Substituição do óleo hidráulico da unidade de pulsação hidráulica		6 meses
-	Filtro entrada do ar	Substituição do silenciador		1 ano e meio
-	Filtro entrada do ar	Substituição do filtro		1 ano e meio
MP-06	Rolamento frontal	Substituição do rolamento frontal		1 ano e meio
MP-07	Rolamento traseiro	Substituição do rolamento traseiro		1 ano e meio
UPH-01	Conjunto bigorna	Substituição dos anéis de vedação		1 ano e meio
UPH-03	Conjunto lâminas de condução	Substituição das molas das lâminas de condução		1 ano e meio
UPH-04	Placa frontal da UPH	Substituição do anel de vedação		1 ano e meio
UPH-05	Placa traseira da UPH	Substituição do anel de vedação		1 ano e meio
UPH-06	Conjunto válvula de alívio	Substituição dos anéis de vedação		1 ano e meio
UPH-07	Conjunto pistão	Substituição do anel de vedação		1 ano e meio

Fonte: Autor (2022).

A próxima etapa deu-se pela comparação, entre o plano de manutenção atual e o plano de manutenção obtido com a aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade. Ilustrado na Tabela 14, página 1. O restante das páginas pode ser visualizado no Apêndice 8.

Tabela 14 – Planilha de descrição do plano de manutenção MCC.

MCC		Planilha de comparação plano de manutenção MCC e atual			
		Sistema:	Local:	Página:	
		Chave Torque Hidro-pneumática	Montagem	1/2	
				Data:	_/_/___
Nº item	Item físico	Tarefa de manutenção	Frequência		
			MCC	Atual	
-	Lubrificil	Inspeção do funcionamento e nível de óleo do lubrificil da rede de ar comprimido	Diário	-	
-	Gatilho	Inspeção do funcionamento do gatilho	Diário	-	
MP-06/07	Rolamento frontal e traseiro	Inspeção de ruído nos rolamentos	Diário	-	
-	Unidade de Pulsação Hidráulica	Substituição do óleo hidráulico da UPH	6 meses	6 meses	
MP-02	Rotor	Inspeção visual de desgaste/oxidação do encaixe sextavado do rotor	6 meses	-	
UPH-05	Placa traseira da UPH	Inspeção visual de desgaste/oxidação do encaixe sextavado da placa traseira da UPH	6 meses	-	
VS-02	Haste de operação	Inspeção visual de desgaste da haste de operação	6 meses	-	
-	Unidade de Pulsação Hidráulica	Limpeza da Unidade de Pulsação Hidráulica	1 ano	-	
MP-03	Palhetas	Inspeção visual de desgaste nas palhetas	1 ano	-	
MP-04	Placa frontal do motor	Inspeção visual de desgaste da placa frontal do motor	1 ano	-	
MP-05	Placa traseira do motor	Inspeção visual de desgaste da placa traseira do motor	1 ano	-	
MP-06	Rolamento frontal	Substituição do rolamento frontal	1 ano	1 ano e meio	
MP-07	Rolamento traseiro	Substituição do rolamento traseiro	1 ano	1 ano e meio	
UPH-02	Câmara de pressão	Inspeção visual de desgaste da câmara de pressão	1 ano	-	
UPH-03	Conjunto lâminas de condução	Substituição das molas das lâminas de condução	1 ano	1 ano e meio	
UPH-03	Conjunto lâminas de condução	Inspeção visual de desgaste das lâminas de condução	1 ano	-	
UPH-04	Placa dianteira da UPH	Inspeção visual de desgaste da placa dianteira da UPH	1 ano	-	
UPH-05	Placa traseira da UPH	Inspeção visual de desgaste da placa traseira da UPH	1 ano	-	
UPH-06	Conjunto válvula de alívio	Inspeção visual da válvula de alívio da UPH	1 ano	-	

Fonte: Autor (2022).

Como pode ser observado, há tarefas presentes no plano atual de manutenção que não foram previstas pela metodologia MCC, e as frequências alteradas conforme análise do histórico de manutenções dos equipamentos e conhecimentos do grupo.

O compilado dos dois planos, gerou o plano de manutenção final (Tabela 15), que será implementado para as Chaves Torque Hidro-pneumáticas já em operação nas linhas de produção da empresa, como também, para os equipamentos novos que serão adquiridos futuramente.

Tabela 15 – Planilha de descrição do plano de manutenção final.

<b>MCC</b>		<b>Planilha de descrição do plano de manutenção final</b>		
		<b>Sistema:</b> Chave Torque Hidro-pneumática	<b>Setor:</b> Montagem	<b>Página:</b> 1/2 <b>Data:</b> __/__/____
<b>Nº item</b>	<b>Item físico</b>	<b>Tarefa de manutenção</b>		<b>Frequência</b>
-	Lubrificil	Inspeção do funcionamento e nível de óleo do lubrificil da rede de ar comprimido		Diário
-	Gatilho	Inspeção do funcionamento do gatilho		Diário
MP-06/07	Rolamento frontal e traseiro	Inspeção de ruído nos rolamentos		Diário
-	Unidade de Pulsação Hidráulica	Substituição do óleo hidráulico da UPH		6 meses
MP-02	Rotor	Inspeção visual de desgaste/oxidação do encaixe sextavado do rotor		6 meses
UPH-05	Placa traseira da UPH	Inspeção visual de desgaste/oxidação do encaixe sextavado da placa traseira da UPH		6 meses
VS-02	Haste de operação	Inspeção visual de desgaste da haste de operação		6 meses
-	Unidade de Pulsação Hidráulica	Limpeza da Unidade de Pulsação Hidráulica		1 ano
MP-03	Palhetas	Inspeção visual de desgaste nas palhetas		1 ano
MP-04	Placa frontal do motor	Inspeção visual de desgaste da placa frontal do motor		1 ano
MP-05	Placa traseira do motor	Inspeção visual de desgaste da placa traseira do motor		1 ano
MP-06	Rolamento frontal	Substituição do rolamento frontal		1 ano
MP-07	Rolamento traseiro	Substituição do rolamento traseiro		1 ano
UPH-01	Conjunto bigorna	Substituição dos anéis de vedação		1 ano
UPH-02	Câmara de pressão	Inspeção visual de desgaste da câmara de pressão		1 ano
UPH-03	Conjunto lâminas de condução	Substituição das molas das lâminas de condução		1 ano
UPH-03	Conjunto lâminas de condução	Inspeção visual de desgaste das lâminas de condução		1 ano
UPH-04	Placa dianteira da UPH	Inspeção visual de desgaste da placa dianteira da UPH		1 ano
UPH-04	Placa frontal da UPH	Substituição do anel de vedação		1 ano
UPH-05	Placa traseira da UPH	Inspeção visual de desgaste da placa traseira da UPH		1 ano
UPH-05	Placa traseira da UPH	Substituição do anel de vedação		1 ano

Fonte: Autor (2022).

A frequência mais conservadora foi necessária, para que seja incorporado este plano em todos os modelos de Chaves Torque Hidro-pneumáticas da empresa, pelo fato de que modelos com uma faixa de torque maior, serão mais exigidos durante a operação de montagem, com isso o desgaste de seus componentes torna-se mais precoce.

A cada ano, o plano de manutenção obtido como resultado desta monografia, será monitorado e reavaliado, com o objetivo de reduzir os custos atrelados as manutenções corretivas, que foi apresentado no trabalho, e aumentar a vida útil dos equipamentos. O plano de manutenção completo é demonstrado no Apêndice 9.

## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O desenvolvimento deste trabalho teve grande importância a empresa, pelo fato de demonstrar que o controle dos dados de manutenção, de forma detalhada, possibilita que as tomadas de decisões sejam mais precisas. Além disso, a monografia elaborou um controle das manutenções corretivas das Chaves Torque Hidro-pneumáticas, que poderá ser usado pela empresa.

A apresentação da Manutenção Centrada em Confiabilidade ao grupo de aplicação, obteve-se uma perspectiva da relevância de um estudo aprofundado e amplo dos sistemas industriais. Muitas vezes um equipamento é analisado de forma rasa, não considerando particularidades relevantes, tanto do sistema alvo, quanto aos que o mesmo é relacionado.

A realização deste trabalho possibilitou aplicar conhecimentos adquiridos em sala de aula na instituição de ensino do IFRS Ibirubá, e fundamentos repassados pelos professores da mesma. Ademais, a experiência que um Engenheiro Mecânico, da área de manutenção, deve ter para determinar as melhores ações, em prol dos objetivos e políticas da empresa.

O novo planejamento de manutenção irá contribuir para a redução dos custos empregados às manutenções corretivas em Chaves Torque Hidro-pneumáticas, e também, no melhor aproveitamento dos equipamentos, referindo-se a sua vida útil.

Os próximos passos, partindo deste trabalho, seriam, a análise individual por modelo de Chave Torque Hidro-pneumática, levando em consideração sua faixa de torque de aplicação. Partindo desta diretriz, um histórico de manutenção de todos os equipamentos de mesmo modelo, possibilitaria visualizar o comportamento de seus componentes físicos, elaborando um plano de manutenção particular para cada modelo em catálogo.

Um estudo ideal e mais aprofundado, partiria de uma estação de trabalho, onde há mais de um modelo de Chave Torque aplicada, interligadas as suas respectivas juntas de aperto. Tornando uma pesquisa extensa, pelo fato de que, deverá ser considerado as condições do posto de trabalho, tipo de junta de aperto e o melhor modelo de Chave Torque a ser adotada. Mas, essa qualidade de pesquisa fará com que o plano de manutenção seja o mais eficiente, por considerar todas as variáveis quando se trata de apertos.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. NBR 5462: 1994. **Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

COSTA, Mariana de Almeida. **Gestão estratégica de manutenção: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional**. 2013. 103 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

CUNHA, José Thiago. **Projeto piloto de implantação de manutenção centrada em confiabilidade em uma urna siderúrgica**. 2005. 32 f. Monografia (Graduação) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

DALCIN, Pedro Augusto. **Aplicação de metodologia de manutenção centrada em confiabilidade em ativos de uma pequena central hidroelétrica**. 2021.38 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Instituto Federação de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul Campus Ibirubá, Ibirubá, 2021.

FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2011.

FREIRE, Priscila Saraiva Déde. **A manutenção centrada na confiabilidade (MCC) aplicada em um ambiente organizacional gerenciado pela manutenção produtiva total (MPT)**. 2012.47 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção preditiva: fator de sucesso na gestão empresarial**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2013.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitmark: Petrobrás, 2001, 238 p.

MACCO. **Macco Máquinas: Soluções Globais para Linhas de Montagem**. São Paulo, 2021.

MENDES, Angélica Alerand. **Manutenção centrada em confiabilidade: uma abordagem quantitativa**. 2015. 85 f. Tese (Pós Graduação) – Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul Escola de Engenharia. Porto Alegre, 2015.

MOUBRAY, John. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. São Paulo: Aladon Ltda, 2000.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment**. Disponível em <<http://www.hq.nasa.gov/office/codej/codejx/>> Acesso em 04 de janeiro de 2022.

NETO, Soares Fernando. **Comparação entre apertadeiras: diferentes tipos de apertadeiras pneumáticas e elétricas.** 2016. 59 f. Monografia (Especialização) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

OTANI, M.; MACHADO, W. V. **A Proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial.** Revista Gestão Industrial. Vol.4, n.2, 2008.

RAUSAND M.; VATN J. **Reliability Centered Maintenance.** In C. G. Soares editor, **Risk and Reliability in Marine Tecnology, Balkema, Holland,** 1998. Disponível em <[www.ipk.ntnu.no/fag/SIO3050/notater/introduction\\_to\\_RCM.pdf](http://www.ipk.ntnu.no/fag/SIO3050/notater/introduction_to_RCM.pdf)> Acesso em 06 de janeiro de 2022.

ROCHA, Henrique Martins. **Confiabilidade: volume único.** 1<sup>a</sup>. ed. Rio de Janeiro: Fundação Cecierj, 2019.

SMITH, Anthony M. **Reliability Centered Maintenance.** Boston: McGraw-Hill, Inc. 1993.

URYU SEISAKU LTD. **Power tools general catalog.** Disponível em: <<https://www.uryu.co.jp/english/webcatalog/PowerTools.pdf>>. Acesso em 29 novembro de 2021.

ZAIONS, Douglas R. **Consolidação da metodologia de manutenção centrada na confiabilidade em uma planta de celulose e papel.** 2003. 219 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.



**APÊNDICE 1 – MODELOS CHAVE TORQUE HIDRO-PNEUMÁTICAS URYU**

<b>Modelos Chave Torque Hidro-pneumática</b>			
<b>Modelo antigo</b>	<b>Modelo novo</b>	<b>Faixa de torque (N.m)</b>	<b>Rotação máxima (rpm)</b>
-	UAT40	4,5 - 8	3800
-	UAT50	7 - 15,5	4600
ULT60	UAT60	15 - 32	6700
ULT70	UAT70	30 - 55	6000
-	UAT80	45 - 63	5600
ULT90	UAT90	50 - 85	5700
ULT100	UAT100	70 - 130	5800
ULT130	UAT130	110 - 150	4500
ULT150	UAT150	140 - 210	3900
ULT180	UAT180	160 - 250	3300
-	UAT200	200 - 400	2400

## APÊNDICE 2 – PLANILHA DE DESCRIÇÃO DOS ITENS FÍSICOS DO SISTEMA

<b>Planilha de descrição dos itens físicos e de controle do sistema</b>					
<b>MCC</b>	<b>Sistema:</b> Chave Torque Hidro-pneumática		<b>Local:</b>  Montagem	<b>Página:</b> 1/3	
	<b>Sub-sistema:</b> Motor Pneumático			<b>Data:</b> ___/___/___	
<b>Itens físicos</b>					
Nº item	Qtd	Descrição do item	Especificações	Fornecedor	Local de montagem
MP-01	1	Cilindro do motor	Alumínio com tratamento cerâmico	Uryu	Encaixe da placa frontal e traseira do motor
MP-02	1	Rotor	Aço temperado	Uryu	Encaixe interno do cilindro do motor
MP-03	9	Palhetas	Nylon	Uryu	Encaixes ao redor do rotor
MP-04	1	Placa frontal do motor	Alumínio com tratamento cerâmico	Uryu	Encaixe frontal do cilindro do motor
MP-05	1	Placa traseira do motor	Alumínio com tratamento cerâmico	Uryu	Encaixe traseiro do cilindro do motor
MP-06	1	Rolamento frontal	Rolamento de esfera	-	Encaixe da placa frontal do motor
MP-07	1	Rolamento traseiro	Rolamento de esfera	-	Encaixe da placa traseira do motor
MP-08	2	Anel de vedação do motor	Borracha nitrílica	-	Carcaça traseira
<b>Itens de controle</b>					
Nº item	Qtd	Descrição do item	Especificações	Fornecedor	Local de montagem

<b>Planilha de descrição dos itens físicos e de controle do sistema</b>					
<b>MCC</b>	<b>Sistema:</b> Chave Torque Hidro-pneumática		<b>Local:</b>  Montagem	<b>Página:</b> 2/3	
	<b>Sub-sistema:</b> Unidade de Pulsação Hidráulica - UPH			<b>Data:</b> ___/___/___	
<b>Itens físicos</b>					
Nº item	Qtd	Descrição do item	Especificações	Fornecedor	Local de montagem
UPH-01	1	Conjunto bigorna	Aço temperado	Uryu	Câmara de pressão
UPH-02	1	Câmara de pressão	Aço temperado	Uryu	Encaixes da placa dianteira e traseira da UPH
UPH-03	2	Conjunto lâminas de condução	Aço temperado	Uryu	Conjunto bigorna
UPH-04	1	Placa dianteira da UPH	Aço temperado	Uryu	Encaixe frontal da câmara de pressão
UPH-05	1	Placa traseira da UPH	Aço temperado	Uryu	Encaixe traseira da câmara de pressão
UPH-06	1	Conjunto válvula de alívio	Aço temperado / borracha nitrílica	Uryu	Câmara de pressão e placa dianteira da UPH
UPH-07	1	Conjunto pistão	Aço temperado / borracha nitrílica	Uryu	Conjunto bigorna
<b>Itens de controle</b>					
Nº item	Qtd	Descrição do item	Especificações	Fornecedor	Local de montagem
IC-01	1	Conjunto válvula ajuste torque	Aço temperado / poliuretano / borracha nitrílica	Uryu	Câmara de pressão

Planilha de descrição dos itens físicos e de controle do sistema					
<b>MCC</b>	Sistema: Chave Torque Hidro-pneumática		Local:  Montagem		Página: 3/3
	Sub-sistema: Sistema <i>Shut-off</i>				Data: __/__/____
Itens físicos					
Nº item	Qty	Descrição do item	Especificações	Fornecedor	Local de montagem
VS-01	1	Conjunto bucha da válvula	Alumínio / anel o-ring	Uryu	Encaixe traseiro do motor pneumático
VS-02	1	Haste de operação	Aço temperado	Uryu	Conjunto bucha da válvula
Itens de controle					
Nº item	Qty	Descrição do item	Especificações	Fornecedor	Local de montagem
IC-02	1	Conjunto válvula <i>shut-off</i>	Aço temperado	Uryu	Encaixe do conjunto bucha da válvula

**APÊNDICE 3 – PLANILHA DE DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAIS**

<b>MCC</b>	<b>Planilha de descrição das funções e falhas funcionais</b>		
	<b>Sistema:</b> Chave Torque Hidro-pneumática	<b>Local:</b>  Montagem	<b>Página:</b> 1/3
	<b>Sub-sistema:</b> Motor Pneumático		<b>Data:</b> ___/___/___
<b>Nº função</b>	<b>Função</b>	<b>Nº falha funcional</b>	<b>Falha funcional</b>
F-01	Gerar força mecânica com o ar comprimido	FF-01	Não gerar força mecânica com o ar comprimido
F-02	Transmitir força mecânica para a unidade de pulsação hidráulica	FF-02	Não transmitir força mecânica para a unidade de pulsação hidráulica
F-03	Girar o rotor	FF-03	Não girar o rotor
F-04	Abrir as palhetas	FF-04	Não abrir as palhetas
F-05	Vedar o motor	FF-05	Vazamento de ar

<b>MCC</b>	<b>Planilha de descrição das funções e falhas funcionais</b>		
	<b>Sistema:</b> Chave Torque Hidro-pneumática	<b>Local:</b>  Montagem	<b>Página:</b> 2/3
	<b>Sub-sistema:</b> Unidade de Pulsação Hidráulica - UPH		<b>Data:</b> ___/___/___
<b>Nº função</b>	<b>Função</b>	<b>Nº falha funcional</b>	<b>Falha funcional</b>
F-06	Utilizar a energia mecânica do motor para gerar torque	FF-06	Não utilizar a energia mecânica do motor
		FF-07	Não gerar torque
F-07	Comprimir o óleo hidráulico suficiente para atingir o torque alvo	FF-08	Não gerar a compressão necessária do óleo hidráulico
F-08	Transmitir torque para a aplicação	FF-09	Não transmitir torque para a aplicação
F-09	Acionar o Conjunto <i>Shut-off</i>	FF-10	Não acionar o Sistema <i>Shut-off</i>
F-10	Regular corretamente o torque	FF-11	Aplicar o torque errado
F-11	Aliviar a pressão do óleo hidráulico na unidade de pulsação hidráulica	F-12	Causar excesso de pressão na unidade de pulsação hidráulica
		F-13	Vazamento de óleo

<b>Planilha de descrição das funções e falhas funcionais</b>			
<b>MCC</b>	<b>Sistema:</b> Chave Torque Hidro-pneumática	<b>Local:</b>  Montagem	<b>Página:</b> 3/3
	<b>Sub-sistema:</b> Sistema <i>shut-off</i>		<b>Data:</b> ___ / ___ / ____
<b>Nº função</b>	<b>Função</b>	<b>Nº falha funcional</b>	<b>Falha funcional</b>
F-12	Interromper a aplicação de torque	FF-14	Não interromper a aplicação de torque
F-13	Interromper a entrada de ar no motor pneumático	FF-15	Não interromper a entrada de ar no motor pneumático
F-14	Alinhar a haste de operação com o motor pneumático	FF-16	Não alinhar a haste de operação com o motor pneumático

**APÊNDICE 4 – PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITO –  
FMEA**

<b>MCC</b>	<b>Planilha de análise dos modos de falha e efeito - FMEA</b>			
	<b>Sistema:</b>	<b>Local:</b>	<b>Página:</b>	<b>Data:</b>
	Chave Torque Hidro-pneumática	Montagem	1/4	__ / __ / ____
<b>Item físico</b>	<b>Função</b>	<b>Falha funcional</b>	<b>Modo de falha</b>	<b>Efeito e consequência da falha</b>
UPH-05 - Placa traseira da UPH	F-02 - Transmitir força mecânica para a unidade de pulsação hidráulica	FF-02 - Não transmitir força mecânica para a unidade de pulsação hidráulica	MF-01 - Desgaste do encaixe sextavado do rotor	Ausência de encaixe entre rotor e placa traseira da UPH, não funcionando o equipamento
			MF-02 - Desgaste do encaixe sextavado da placa traseira da UPH	
	F-06 - Utilizar a energia mecânica do motor para gerar torque	FF-06 - Não utilizar a energia mecânica do motor	MF-03 - Desgaste do encaixe sextavado da placa traseira da UPH (MF-02)	
			FF-07 - Não gerar torque	MF-04 - Ruptura da mola da lâmina de condução
UPH-03 - Conjunto lâminas de condução	F-07 - Comprimir o óleo hidráulico suficiente para atingir o torque alvo	FF-08 - Não gerar a compressão necessária do óleo hidráulico	MF-05 - Travamento do conjunto bigorna	A ruptura ou desgaste farão com que os componentes não executem as suas funções da forma adequada, interferindo na compressão do óleo hidráulico
			MF-06 - Ruptura da mola da lâmina de condução (MP-04)	
			MF-07 - Desgaste das lâminas de condução	
			MF-08 - Desgaste da câmara de pressão	Óleo hidráulica fica contaminado com o tempo de uso, reduzindo a compressão
			MF-09 - Óleo hidráulico contaminado	Redução da compressão devido não conter a quantidade correta de óleo na Unidade de Pulsação Hidráulica
			MF-10 - Vazamento do óleo hidráulico	

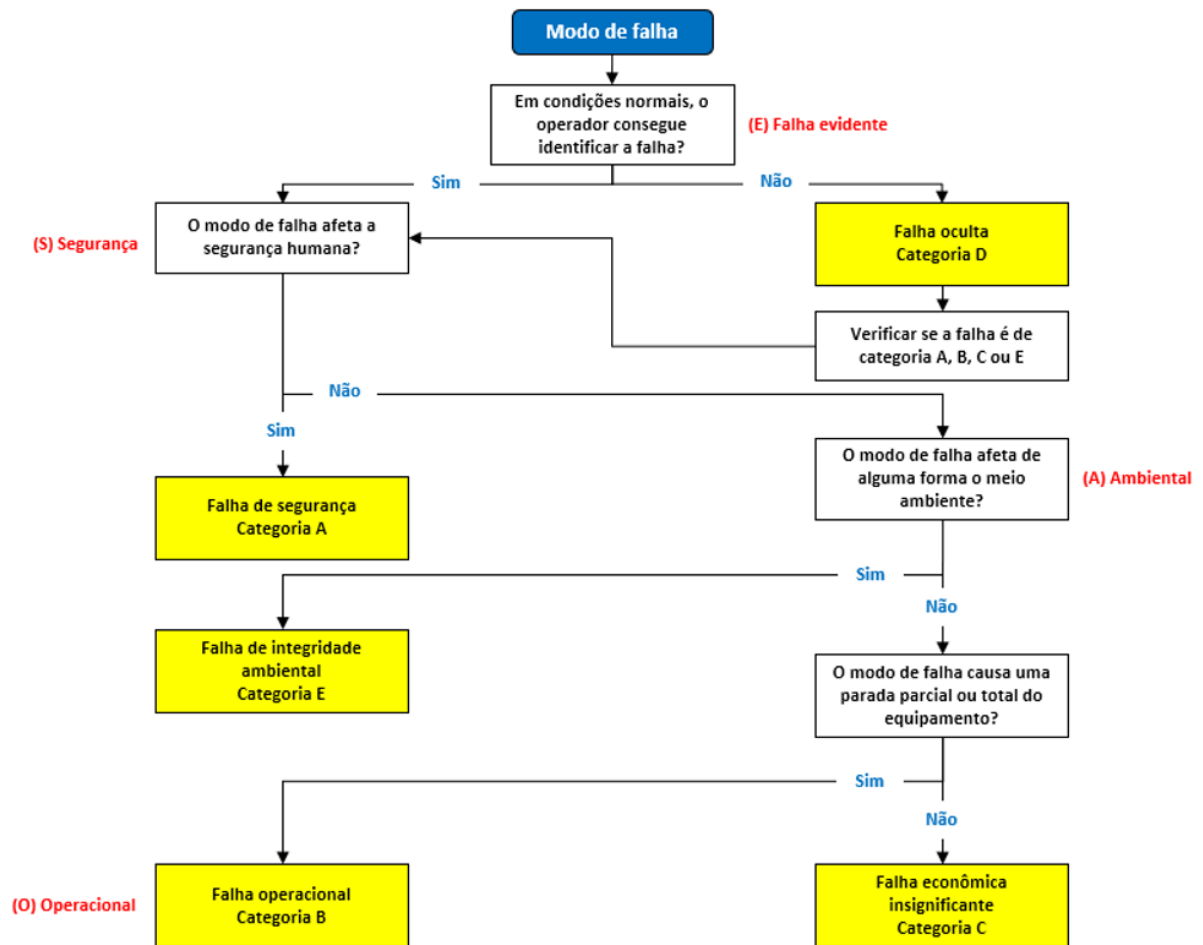
MCC	Planilha de análise dos modos de falha e efeito - FMEA			
	Sistema:		Local:	Página: 2/4
	Chave Torque Hidro-pneumática		Montagem	Data: __ / __ / ____
Item físico	Função	Falha funcional	Modo de falha	Efeito e consequência da falha
VS-01 - Conjunto bucha da válvula	F-13 - Interromper a entrada de ar no motor pneumático	FF-15 - Não interromper a entrada de ar no motor pneumático	MF-11 - Desgaste do anel de vedação da bucha da válvula	Válvula <i>shut-off</i> não desloca o suficiente para desviar o fluxo de ar na bucha da válvula
			MF-12 - Ruptura da mola da válvula <i>shut-off</i>	
	F-14 - Alinhar a haste de operação com o motor pneumático	FF-16 - Não alinhar a haste de operação com o motor pneumático	MF-13 - Desgaste da haste de operação	Desalinhamento entre o motor pneumático e a haste de operação causam o não acionamento do sistema <i>shut-off</i>
			MF-14 - Desgaste do rolamento frontal	
			MF-15 - Desgaste do rolamento traseiro	
			MF-16 - Desgaste da placa frontal do motor	
MF-17 - Desgaste da placa traseira do motor				
MP-02 - Rotor	F-01 - Gerar força mecânica com o ar comprimido	FF-01 - Não gerar força mecânica com o ar comprimido	MF-18 - Ruptura das palhetas	A quebra de todas as palhetas faz com que o rotor não gire
			MF-19 - Travamento do gatilho	Não permite a entrada de ar no motor
	F-02 - Transmitir força mecânica para a unidade de pulsação hidráulica	FF-02 - Não transmitir força mecânica para a unidade de pulsação hidráulica	MF-20 - Desgaste do encaixe sextavado do rotor (MF-01)	Ausência de encaixe entre rotor e placa traseira da UPH, não funcionando o equipamento
			MF-21 - Desgaste do encaixe sextavado da placa traseira da UPH (MF-02)	

MCC	Planilha de análise dos modos de falha e efeito - FMEA			
	Sistema:	Local:	Página:	Data:
	Chave Torque Hidro-pneumática	Montagem	3/4	__ / __ / ____
Item físico	Função	Falha funcional	Modo de falha	Efeito e consequência da falha
IC-02 - Conjunto válvula shut-off	F-12 - Interromper a aplicação de torque	FF-14 - Não interromper a aplicação de torque	MF-22 - Ruptura da mola da válvula <i>shut-off</i> (MF-12) MF-23 - Desgaste da esfera da válvula <i>shut-off</i>	Não acionamento do sistema <i>shut-off</i> , mantendo a alimentação de ar comprimido no motor
UPH-01 - Conjunto bigorna	F-06 - Utilizar a energia mecânica do motor para gerar torque	FF-06 - Não utilizar a energia mecânica do motor	MF-24 - Desgaste do encaixe sextavado da placa traseira da UPH (MF-02)	Não ocorre mais movimentação na bigorna, interrompendo a transmissão de torque
		FF-07 - Não gerar torque	MF-25 - Ruptura da mola da lâmina de condução (MF-04) MF-26 - Travamento do conjunto bigorna (MF-05)	
	F-08 - Transmitir torque a aplicação	FF-09 - Não transmitir torque a aplicação	MF-27 - Travamento do conjunto bigorna (MF-05)	
UPH-02 - Câmara de pressão	F-07 - Comprimir o óleo hidráulico suficiente para atingir o torque alvo	FF-08 - Não gerar a compressão necessária do óleo hidráulico	MF-28 - Ruptura da mola da lâmina de condução (MF-04)	A ruptura ou desgaste farão com que os componentes não executem as suas funções da forma adequada, interferindo na compressão do óleo hidráulico
			MF-29 - Desgaste das lâminas de condução (MF-07)	
			MF-30 - Desgaste da câmara de pressão (MF-08)	
			MF-31 - Óleo hidráulico contaminado (MF-09)	Óleo hidráulica fica contaminado com o tempo de uso, reduzindo a compressão
			MF-32 - Vazamento do óleo hidráulico (MF-10)	Redução da compressão devido não conter a quantidade correta de óleo na Unidade de Pulsação Hidráulica

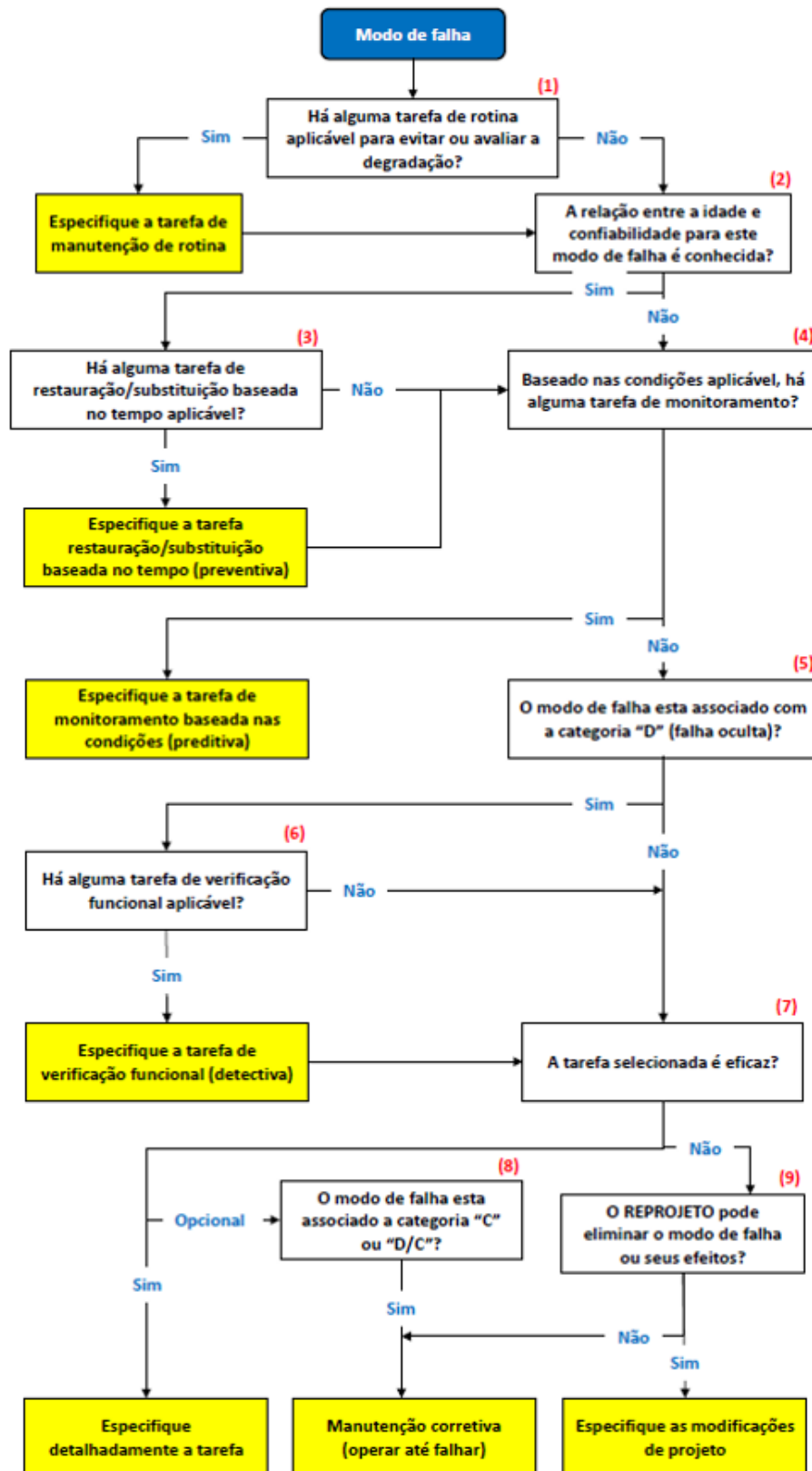
MCC	Planilha de análise dos modos de falha e efeito - FMEA			
	Sistema:	Local:	Página:	Data:
	Chave Torque Hidro-pneumática	Montagem	4/4	__ / __ / ____
Item físico	Função	Falha funcional	Modo de falha	Efeito e consequência da falha
MP-03 - Palhetas	F-03 - Girar o rotor	FF-03 - Não girar o rotor	MF-33 - Ruptura das palhetas (MF-18)	A quebra de todas as palhetas faz com que o rotor não gire
MP-01 - Cilindro do motor	F-01 - Gerar força mecânica com o ar comprimido	FF-01 - Não gerar força mecânica com o ar comprimido	MF-34 - Ruptura das palhetas (MF-18)	A quebra de todas as palhetas faz com que o rotor não gire
			MF-35 - Travamento do gatilho (MF-19)	Não permite a entrada de ar no motor



## APÊNDICE 5 – ÁRVORE LÓGICA DE DECISÃO



## APÊNDICE 6 – DIAGRAMA DE SELEÇÃO DE TAREFAS



## APÊNDICE 7 – PLANILHA DE SELEÇÃO DE TAREFAS DE MANUTENÇÃO

MCC	Planilha de seleção de tarefas de manutenção															
	Sistema:	Local:					Página:									Data:
	Chave Torque Hidro-pneumática	Montagem					1/3									___/___/___
Falha Funcional	Modo de falha	Árvore lógica de decisão					Diagrama de seleção de tarefas									Tarefa
		E	S	A	O	Cat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ação
FF-01 - Não gerar força mecânica com o ar comprimido	MF-18 - Ruptura das palhetas	N	N	N	S	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Inspeção visual das palhetas
	MF-19 - Travamento do gatilho	S	N	N	N	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Inspeção do funcionamento do gatilho
FF-02 - Não transmitir força mecânica para a unidade de pulsação hidráulica	MF-01 - Desgaste do encaixe sextavado do rotor	N	N	N	S	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Inspeção visual do encaixe sextavado do rotor
	MF-02 - Desgaste do encaixe sextavado da placa traseira da UPH	N	N	N	S	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Inspeção visual do encaixe sextavado da placa traseira da UPH
FF-03 - Não girar o rotor	MF-33 - Ruptura das palhetas (MF-18)	N	N	N	S	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Inspeção visual das palhetas
FF-06 - Não utilizar a energia mecânica do motor	MF-03 - Desgaste do encaixe sextavado da placa traseira da UPH (MF-02)	N	N	N	S	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Inspeção visual do encaixe sextavado do rotor
FF-07 - Não gerar torque	MF-04 - Ruptura da mola da lâmina de condução	N	N	N	S	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Substituição das molas das lâminas de condução
	MF-05 - Travamento do conjunto bigorna	S	N	N	N	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Limpeza da Unidade de Pulsação Hidráulica

MCC	Planilha de seleção de tarefas de manutenção															
	Sistema:	Local:					Página:									Data:
	Chave Torque Hidro-pneumática	Montagem					2/3									___/___/___
Falha Funcional	Modo de falha	Árvore lógica de decisão					Diagrama de seleção de tarefas									Tarefa
		E	S	A	O	Cat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ação
FF-08 - Não gerar a compressão necessária do óleo hidráulico	MF-06 - Ruptura da mola da lâmina de condução (MP-04)	N	N	N	S	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Substituição das molas das lâminas de condução
	MF-07 - Desgaste das lâminas de condução	N	N	N	S	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Inspeção visual das lâminas de condução
	MF-08 - Desgaste da câmara de pressão	N	N	N	S	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Inspeção visual da câmara de pressão
	MF-09 - Óleo hidráulico contaminado	N	N	N	S	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Substituição do óleo hidráulico da UPH
	MF-10 - Vazamento do óleo hidráulico	N	N	N	S	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Inspeção visual da válvula de alívio da UPH Inspeção visual das placas dianteira e traseira da UPH
FF-09 - Não transmitir torque a aplicação	MF-27 - Travamento do conjunto bigorna (MF-05)	S	N	N	N	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Limpeza da Unidade de Pulsação Hidráulica
FF-14 - Não interromper a aplicação de torque	MF-22 - Ruptura da mola da válvula <i>shut-off</i> (MF-12)	N	N	N	S	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Substituição da mola da válvula <i>shut-off</i>
	MF-23 - Desgaste da esfera da válvula <i>shut-off</i>	N	N	N	S	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Inspeção visual da esfera da válvula <i>shut-off</i>

MCC	Planilha de seleção de tarefas de manutenção															
	Sistema:	Local:					Página:					Data:				
	Chave Torque Hidro-pneumática	Montagem					3/3					___/___/___				
Falha Funcional	Modo de falha	Árvore lógica de decisão					Diagrama de seleção de tarefas									Tarefa
		E	S	A	O	Cat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ação
FF-15 - Não interromper a entrada de ar no motor pneumático	MF-11 - Desgaste do anel de vedação da bucha da válvula	N	N	N	S	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Substituição do anel de vedação da bucha da válvula
	MF-12 - Ruptura da mola da válvula <i>shut-off</i>	N	N	N	S	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Substituição da mola da válvula <i>shut-off</i>
FF-16 - Não alinhar a haste de operação com o motor pneumático	MF-13 - Desgaste da haste de operação	N	N	N	S	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Inspeção visual da haste de operação
	MF-14 - Desgaste do rolamento frontal	N	N	N	S	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Substituição do rolamento frontal
																Inspeção de ruído nos rolamentos
	MF-15 - Desgaste do rolamento traseiro	N	N	N	S	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Substituição do rolamento traseiro
	MF-16 - Desgaste da placa frontal do motor	N	N	N	S	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Inspeção visual da placa frontal do motor
																Inspeção do funcionamento e nível de óleo do lubrífil na rede de ar comprimido
MF-17 - Desgaste da placa traseira do motor	N	N	N	S	B	N	N	-	S	N	N	S	-	-	Inspeção visual da placa traseira do motor	
															Inspeção do funcionamento e nível de óleo do lubrífil na rede de ar comprimido	

## APÊNDICE 8 – PLANILHA DE COMPARAÇÃO PLANO DE MANUTENÇÃO MCC E ATUAL

<b>MCC</b>		<b>Planilha de comparação plano de manutenção MCC e atual</b>		
		Sistema:	Local:	Página: 1/2
		Chave Torque Hidro-pneumática	Montagem	Data: __/__/__
Nº item	Item físico	Tarefa de manutenção	Frequência	
			MCC	Atual
-	Lubrifil	Inspeção do funcionamento e nível de óleo do lubrifil da rede de ar comprimido	Diário	-
-	Gatilho	Inspeção do funcionamento do gatilho	Diário	-
MP-06/07	Rolamento frontal e traseiro	Inspeção de ruído nos rolamentos	Diário	-
-	Unidade de Pulsação Hidráulica	Substituição do óleo hidráulico da UPH	6 meses	6 meses
MP-02	Rotor	Inspeção visual de desgaste/oxidação do encaixe sextavado do rotor	6 meses	-
UPH-05	Placa traseira da UPH	Inspeção visual de desgaste/oxidação do encaixe sextavado da placa traseira da UPH	6 meses	-
VS-02	Haste de operação	Inspeção visual de desgaste da haste de operação	6 meses	-
-	Unidade de Pulsação Hidráulica	Limpeza da Unidade de Pulsação Hidráulica	1 ano	-
MP-03	Palhetas	Inspeção visual de desgaste nas palhetas	1 ano	-
MP-04	Placa frontal do motor	Inspeção visual de desgaste da placa frontal do motor	1 ano	-
MP-05	Placa traseira do motor	Inspeção visual de desgaste da placa traseira do motor	1 ano	-
MP-06	Rolamento frontal	Substituição do rolamento frontal	1 ano	1 ano e meio
MP-07	Rolamento traseiro	Substituição do rolamento traseiro	1 ano	1 ano e meio
UPH-02	Câmara de pressão	Inspeção visual de desgaste da câmara de pressão	1 ano	-
UPH-03	Conjunto lâminas de condução	Substituição das molas das lâminas de condução	1 ano	1 ano e meio
UPH-03	Conjunto lâminas de condução	Inspeção visual de desgaste das lâminas de condução	1 ano	-
UPH-04	Placa dianteira da UPH	Inspeção visual de desgaste da placa dianteira da UPH	1 ano	-
UPH-05	Placa traseira da UPH	Inspeção visual de desgaste da placa traseira da UPH	1 ano	-
UPH-06	Conjunto válvula de alívio	Inspeção visual da válvula de alívio da UPH	1 ano	-

<b>MCC</b>		<b>Planilha de comparação plano de manutenção MCC e atual</b>		
		Sistema:	Local:	Página: 2/2
		Chave Torque Hidro-pneumática	Montagem	Data: __/__/__
Nº item	Item físico	Tarefa de manutenção	Frequência	
			MCC	Atual
UPH-01	Conjunto bigorna	Troca dos anéis de vedação	-	1 ano e meio
UPH-04	Placa frontal da UPH	Troca do anel de vedação	-	1 ano e meio
UPH-05	Placa traseira da UPH	Troca do anel de vedação	-	1 ano e meio
UPH-06	Conjunto válvula de alívio	Troca dos anéis de vedação	-	1 ano e meio
UPH-07	Conjunto pistão	Troca do anel de vedação	-	1 ano e meio
VS-01	Conjunto bucha da válvula	Substituição do anel de vedação da bucha da válvula	2 anos	-
IC-02	Conjunto válvula <i>shut-off</i>	Substituição da mola da válvula <i>shut-off</i>	2 anos	-
IC-02	Conjunto válvula <i>shut-off</i>	Inspeção visual de desgaste da esfera da válvula <i>shut-off</i>	2 anos	-

## APÊNDICE 9 – PLANILHA PLANO DE MANUTENÇÃO FINAL

<b>MCC</b>		<b>Planilha de descrição do plano de manutenção final</b>		
		Sistema:	Setor:	Página: 1/2
		Chave Torque Hidro-pneumática	Montagem	Data: __/__/____
Nº item	Item físico	Tarefa de manutenção	Frequência	
-	Lubrificil	Inspeção do funcionamento e nível de óleo do lubrificil da rede de ar comprimido	Diário	
-	Gatilho	Inspeção do funcionamento do gatilho	Diário	
MP-06/07	Rolamento frontal e traseiro	Inspeção de ruído nos rolamentos	Diário	
-	Unidade de Pulsação Hidráulica	Substituição do óleo hidráulico da UPH	6 meses	
MP-02	Rotor	Inspeção visual de desgaste/oxidação do encaixe sextavado do rotor	6 meses	
UPH-05	Placa traseira da UPH	Inspeção visual de desgaste/oxidação do encaixe sextavado da placa traseira da UPH	6 meses	
VS-02	Haste de operação	Inspeção visual de desgaste da haste de operação	6 meses	
-	Unidade de Pulsação Hidráulica	Limpeza da Unidade de Pulsação Hidráulica	1 ano	
MP-03	Palhetas	Inspeção visual de desgaste nas palhetas	1 ano	
MP-04	Placa frontal do motor	Inspeção visual de desgaste da placa frontal do motor	1 ano	
MP-05	Placa traseira do motor	Inspeção visual de desgaste da placa traseira do motor	1 ano	
MP-06	Rolamento frontal	Substituição do rolamento frontal	1 ano	
MP-07	Rolamento traseiro	Substituição do rolamento traseiro	1 ano	
UPH-01	Conjunto bigorna	Substituição dos anéis de vedação	1 ano	
UPH-02	Câmara de pressão	Inspeção visual de desgaste da câmara de pressão	1 ano	
UPH-03	Conjunto lâminas de condução	Substituição das molas das lâminas de condução	1 ano	
UPH-03	Conjunto lâminas de condução	Inspeção visual de desgaste das lâminas de condução	1 ano	
UPH-04	Placa dianteira da UPH	Inspeção visual de desgaste da placa dianteira da UPH	1 ano	
UPH-04	Placa frontal da UPH	Substituição do anel de vedação	1 ano	
UPH-05	Placa traseira da UPH	Inspeção visual de desgaste da placa traseira da UPH	1 ano	
UPH-05	Placa traseira da UPH	Substituição do anel de vedação	1 ano	

<b>MCC</b>		<b>Planilha de descrição do plano de manutenção final</b>		
		Sistema:	Setor:	Página: 2/2
		Chave Torque Hidro-pneumática	Montagem	Data: __/__/____
Nº item	Item físico	Tarefa de manutenção	Frequência	
UPH-06	Conjunto válvula de alívio	Inspeção visual da válvula de alívio da UPH	1 ano	
UPH-06	Conjunto válvula de alívio	Substituição dos anéis de vedação	1 ano	
UPH-07	Conjunto pistão	Substituição do anel de vedação	1 ano	
VS-01	Conjunto bucha da válvula	Substituição do anel de vedação da bucha da válvula	2 anos	
IC-02	Conjunto válvula <i>shut-off</i>	Substituição da mola da válvula <i>shut-off</i>	2 anos	
IC-02	Conjunto válvula <i>shut-off</i>	Inspeção visual de desgaste da esfera da válvula <i>shut-off</i>	2 anos	