



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP**

**ESCOLA DE MINAS**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**



**MAKSUELL RENÊ DOS REIS**

**PROPOSTA DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE FALHAS PARA  
O EQUIPAMENTO SOPRADOR DE HIDRATO DE ALUMINA: O CASO  
DE UMA INDÚSTRIA QUÍMICA**

**OURO PRETO - MG  
2019**

**MAKSUELL RENÊ DOS REIS**  
**Maksuell\_reis@yahoo.com.br**

**PROPOSTA DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE FALHAS PARA  
O EQUIPAMENTO SOPRADOR DE HIDRATO DE ALUMINA: O CASO  
DE UMA INDÚSTRIA QUÍMICA**

Monografia apresentada ao Curso de  
Graduação em Engenharia Mecânica  
da Universidade Federal de Ouro  
Preto como requisito para a obtenção  
do título de Engenheiro Mecânico.

**Professor orientador:** DSc. Washington Luís Vieira da Silva

**OURO PRETO – MG**  
**2019**

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

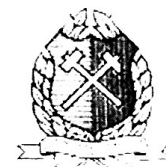
R375p Reis, Maksuell Renê dos .  
Proposta de um sistema de tratamento de falhas para o equipamento soprador de hidrato de alumina [manuscrito]: o caso de uma indústria química. / Maksuell Renê dos Reis. - 2019.  
38 f.: il.: color., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Washington Luís Vieira da Silva.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas.

1. Equipamento de secagem - Soprador de hidrato. 2. Deformações e tensões. 3. Óxido de alumínio. 4. Localização de falhas (Engenharia) . I. Silva, Washington Luís Vieira da . II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB:1716



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**ATA DA DEFESA**

Aos 05 dias do mês de Dezembro de 2019, às 18h 00min, na sala 8, localizada na Escola de Minas – Campus - UFOP, foi realizada a defesa de Monografia do aluno Maksuell Renê Dos Reis, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: Prof. DSc. Washington Luís Vieira da Silva, Prof. DSc. Luís Antônio Bortolaia e Profª. PhD. Elisângela Martins Leal. O candidato apresentou o trabalho intitulado: “**Proposta de um Sistema de Tratamento de Falhas para o Equipamento Soprador de Hidrato de Alumina: o caso de uma Indústria Química**”, sob orientação do Prof. DSc Washington Luís Vieira da Silva. Após as observações dos avaliadores, em comum acordo os presentes consideram o(a) aluno(a) APROVADO.

Ouro Preto, 05 de Dezembro de 2019

Prof. DSc. Washington Luís Vieira da Silva  
**Professor Orientador**

Prof. DSc. Luís Antônio Bortolaia  
**Professor Avaliador**

Profª. PhD. Elisângela Martins Leal  
**Professor Avaliador**

Maksuell Renê Dos Reis

**Aluno(a)**

Pelo apoio, confiança e carinho, dedico esta etapa vencida às minhas tias e minha vó.

## **AGRADECIMENTO**

À minha vó, por ser o meu tudo.

Ao meu orientador Washington, pelo incentivo e orientação neste trabalho.

Aos professores do curso de engenharia mecânica por suas importantes contribuições para o aprimoramento do trabalho.

À Universidade Federal de Ouro Preto e a Escola de Minas, pela oportunidade.

À Bárbara pelo amor e carinho.

Às minhas tias Pilar, Lena e Mirtinha pelos cuidados, carinho e por sempre estarem comigo.

Aos meus alunos e ex-alunos, pelo aprendizado diário.

*“No meio da dificuldade encontra-se a oportunidade”.*

Albert Einstein

## RESUMO

REIS, Maksuell Renê: Proposta de um sistema de tratamento de falhas para o equipamento soprador de hidrato de alumina: o caso de uma indústria química, 2019. Monografia. (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Ouro Preto.

O presente trabalho propõe uma metodologia de natureza qualitativa, exploratória, bibliográfica e estudo de caso para elaboração e implementação de um sistema de tratamento de falhas voltado para o equipamento soprador de hidrato de alumina de uma indústria química. Também descreve os passos para reduzir a ocorrência de falhas no equipamento, até que não volte a ocorrer. O soprador em questão é responsável por fazer o transporte do hidrato de alumina, que está dentro de um filtro até o secador, para que este aqueça o hidrato úmido, transformando-o em alumina. A tabulação dos dados foi feita em uma planilha do *Microsoft Office Excel*. A partir da investigação das causas fundamentais feita pelo “Método do Por Quês”, a causa é apurada e conclui-se que houve excesso de temperatura que travou o soprador e arrebentou as correias. A fim de assegurar que as causas fundamentais das falhas no equipamento sejam eliminadas por definitivo é proposto a elaboração de um sistema de tratamento de falhas contidos no 5W1H. Com a aplicação do sistema de falhas visa-se um menor número de paradas emergenciais, aumentando a disponibilidade do equipamento que resultará em uma redução no custo e aumento na produtividade da empresa.

**Palavras-chave:** soprador de hidrato, sistema de tratamento de falhas, alumina, falhas.



## ABSTRACT

*REIS, Maksuell Renê: Proposal of a failure treatment system for the device alumina hydrate blower: the case of a chemical industry, 2019. Monograph. (Graduation in Mechanical Engineering). Universidade Federal de Ouro Preto.*

*The current work proposes a methodology of a qualitative nature, exploratory, bibliographical and a case study to develop and implement a system for failure treatment aimed at the device alumina hydrate blower of a chemical industry. Describing the steps to reduce the occurrence of failures in the device as to prevent them from occurring again. The blower in the study is responsible for transporting the hydrate from inside a filter to the dryer, which heats up the humid hydrate and transforms it into alumina. Data tabulation was made on a Microsoft Office Excel spreadsheet. From the investigation of the root causes made by the "Method of What", a cause is ascertained and it is concluded that there was excess temperature that goes through the blower and bursts like straps. In order to ensure that the root causes of equipment failure are permanently eliminated and treated as a 5WIH system fault handling. With the use of the failure system, it is expected a lower number of emergency stops, increasing the availability of the device, and which will amount in cost reduction and in increased productivity for the company.*

**Keywords:** *hydrate blower, system of failure treatment, failures.*

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1: O Círculo Vicioso das Falhas.....	12
Figura 2: Macrofluxograma do Sistema de Tratamento de Falhas.....	13
Figura 3: Fluxograma das ações corretivas e ações de bloqueio - parte1 .....	14
Figura 4: Fluxograma das ações corretivas e ações de bloqueio - parte 2 .....	15
Figura 5: Produção estimada de alumina em 2017 .....	19
Figura 6: Funcionamento do rotor tribolado.....	20
Figura 7: Fluxograma dos procedimentos metodológicos utilizados .....	25
Figura 8: Organograma do sistema de manutenção .....	28
Figura 9: Soprador trilobular .....	29
Figura 10: Fluxograma de informações para relato das falhas .....	30
Figura 11: “Método dos Por Quês” para investigação das Causas Fundamentais .....	31

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Evolução da Manutenção.....	7
Tabela 2: Exemplo de Relatório de Falha .....	17
Tabela 3: Produção, consumo e balança comercial da alumina .....	19
Tabela 4: Comparação dos aspectos da pesquisa qualitativa e quantitativa.....	23
Tabela 5: Variáveis e indicadores adotados. ....	26
Tabela 6: Plano de Ação (5W1H).....	33

## LISTA DE SIGLAS

PDCA – *Plan-Do-Check-Act*

NBR – Norma Brasileira

5WIH – *What-Where-When-Why-Who-How*

ABAL – Associação Brasileira do Alumínio

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Geral .....	3
1.3.2	Específicos.....	3
1.4	Estrutura do Trabalho .....	4
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
2.1	Manutenção .....	5
2.2	Evolução da manutenção .....	5
2.3	Tipos de manutenção .....	8
2.3.1	Manutenção corretiva .....	8
2.3.2	Manutenção preventiva.....	9
2.3.3	Manutenção preditiva .....	10
2.4	Sistema de tratamento de falhas .....	11
2.4.1	O círculo vicioso das falhas.....	11
2.4.2	Rompendo o círculo vicioso das falhas .....	12
2.5	Alumina .....	18
2.6	Rotor do tipo trilobular .....	20
2.7	Método dos 5 Por Quês .....	20
2.8	Plano de ação 5W1H .....	21
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>22</b>
3.1	Tipo de pesquisa .....	22
3.2	Materiais e métodos.....	24
3.3	Variáveis e indicadores.....	25
3.4	Instrumentos de coleta de dados .....	26
3.5	Tabulação de dados .....	27
3.6	Considerações finais .....	27
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>28</b>
4.1	Caracterização da empresa .....	28
4.2	Caracterização do soprador de hidrato .....	29

4.3	Elaboração do sistema de tratamento de falhas .....	30
4.3.1	Registro básico da ocorrência da falha .....	30
4.3.2	Investigação das causas fundamentais da falha .....	31
4.3.3	Estabelecimento das contramedidas .....	33
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>35</b>
5.1	Conclusões .....	35
5.2	Recomendações .....	35
	<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>37</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Formulação do Problema

Em um mundo globalizado, a competitividade do mercado exige que empresas busquem de forma constante a melhoria dos processos e a redução de custo. A manutenção tem se mostrado relevante como uma estratégica para organização, pois garante a disponibilidade das instalações e dos equipamentos, além de uma boa confiabilidade. Logo, a manutenção ganha espaço nas organizações, já que as empresas utilizam a manutenção como um meio de alcançar resultados.

Formalmente, a manutenção é definida como *a combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida* (NBR5462-1994). A manutenção deve atuar de forma conjunta com os demais setores, mantendo-se assim em sintonia seus processos, fazendo com que se torne competitiva.

Para Xenos (1998), as atividades de manutenção têm o objetivo de evitar a degradação dos equipamentos e instalações, que o mau uso e o desgaste natural causam. As degradações podem se manifestar como perdas de desempenho, paradas da produção, fabricação de produtos de má qualidade, poluição ambiental, entre outros. Ainda segundo Xenos (1998), essas manifestações tem influência negativa na qualidade e produtividade, e acabam colocando em risco a sobrevivência da empresa. Isso mostra que o gerenciamento da manutenção é importante para a melhoria da produtividade, gerando ganhos potenciais.

É sabido que a manutenção dos equipamentos pode incluir atividades relacionadas com o tratamento de falhas. Um sistema de falhas é uma estrutura formal de gerenciamento de informações sobre falhas e das ações subsequentes. Para o Xenos (1998), devem-se elaborar os procedimentos operacionais padrão e plano de ação detalhado por meio do 5WIH (O Que, Por que, Quem, Onde, Quando e Como) para cada uma das seguintes etapas: Detecção e relato da falha, ação corretiva para remover o sintoma, registro e análise das falhas para identificar suas causas fundamentais, planejamento e execução das contramedidas para bloquear as causas fundamentais, acompanhamento da execução das contramedidas. Análise periódica dos registros de falhas para identificar falhas crônicas e prioritárias e definir projetos com metas. Execução dos projetos através do Ciclo PDCA de Solução de Problemas.

Segundo a Associação Brasileira de Alumínio – ABAL (2019) o alumínio é o terceiro metal mais abundante da crosta terrestre e tem atualmente uma produção que supera a soma de todos os outros metais não ferrosos, como o cobre, chumbo, estanho e níquel. A rocha-minério do qual se obtém o alumínio é a bauxita, sendo que no Brasil a sua produção em 2016 ultrapassou 793 milhões de toneladas, segundo o *Informe Mineral* do Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM (2017). O alumínio não é encontrado na forma metálica na natureza, mas em forma de óxido, a alumina ( $Al_2O_3$ ), componente químico da bauxita, a qual possui mais de 40% do óxido (SAMPAIO, 2005). O beneficiamento ou processamento da rocha-minério tem como produto final a alumina, que sofre um processo de redução para a obtenção do alumínio metálico no estado líquido.

Uma vez entendida a necessidade e importância do funcionamento dos equipamentos nas melhores condições possíveis, tanto de trabalho quanto de produção, ações de manutenção nos equipamentos são primordiais para garantir a integridade dos mesmos, conseqüentemente mitigando ações de reparo e possíveis aumentos de custo de produção, que gerariam prejuízos se comparadas com as condições ideais.

Neste trabalho, tratar-se-á de falhas ocorridas em um soprador de hidrato de alumina, presente na área do secador de hidrato. Dentro do contexto avaliado em determinada indústria química, o soprador de hidrato de alumina apresentou em um intervalo de uma semana três rompimentos das correias de acionamento, acarretando o travamento do mesmo.

Logo, diante do ocorrido, o presente trabalho se dispõe a investigar o motivo da ocorrência das falhas para possivelmente elaborar um sistema de tratamento de falhas. Logo, com o que fora dado anteriormente, elabora-se a seguinte questão problema:

**Como elaborar um sistema de tratamento de falhas para o soprador de hidrato de alumina pelo Departamento de Manutenção de uma indústria química?**

## **1.2 Justificativa**

As falhas fazem parte do cotidiano das mais variadas organizações, e, ignorá-las, pode ser crucial para a falta de sucesso das empresas. É necessário que gerentes, supervisores e técnicos de manutenção estejam atentos às falhas em seus equipamentos e, aprender e mudar o comportamento de acordo com o que foi observado. Porém, quando uma falha acontecer,



procurar saná-la da melhor maneira possível, de modo a recuperar a confiabilidade dos seus equipamentos.

Para Kardec e Nascif (2009), a manutenção contribui para o atendimento do programa de produção, aumentando a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos e instalações dos órgãos operacionais, potencializando os recursos disponíveis com qualidade e segurança.

Segundo Pinto e Xavier (2001), a recuperação de falhas deve ser o objetivo estratégico de qualquer organização, as que visam diminuir riscos ocasionados por falhas e as que visam tornar o tratamento de falhas como um diferencial competitivo.

O presente estudo se justifica em decorrência de fatores econômicos, devido à necessidade de ser feita a elaboração de um sistema de tratamento de falhas adequado, tendo em vista obter o máximo rendimento dos investimentos feitos nas instalações e equipamentos, prolongando assim a vida útil dos mesmos e mantendo-se em operações o máximo de tempo possível.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Geral**

Propor um sistema de tratamento de falhas para o soprador de hidrato de alumínio do departamento de manutenção de uma indústria química.

#### **1.3.2 Específicos**

- Realizar estudo teórico sobre: manutenção, métodos de manutenção e sistema de tratamento de falhas;
- Elaborar procedimento metodológico de um sistema de tratamento de falhas;
- Comparar os resultados obtidos com a base teórica para propor o sistema de tratamento de falhas.

### **1.4 Estrutura do Trabalho**

O presente trabalho foi dividido em cinco capítulos. No capítulo 1, apresenta-se formulação do problema específico do soprador de hidrato de alumina no departamento de

manutenção de uma indústria química avaliada, uma justificativa para execução do trabalho e seu objetivo geral e específico.

No capítulo 2, é realizada uma revisão bibliográfica sobre os conceitos teóricos de manutenção, possibilitando um bom embasamento teórico para o desenvolvimento do trabalho.

Já no capítulo 3, desenvolve-se uma metodologia mais adequada para aplicação, classificação, métodos e instrumentos para avaliação dos problemas de falhas.

No capítulo 4, têm-se os resultados e discussões em relação ao sistema de tratamento de falhas. E por fim, no capítulo 5 são apresentadas as conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Manutenção**

Sabe-se que a manutenção é a ação de manter, sustentar, consertar ou conservar alguma coisa ou algo. Segundo a NBR 5462 (1994), a manutenção pode ser definida como sendo a “combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”.

Entendendo o processo por Xenos (1998), as atividades de manutenção existem para evitar a degradação de equipamentos e instalações, causada pelo seu desgaste natural e também pelo próprio uso. Já para Monchy (1987), a manutenção dos equipamentos de produção é um elemento chave tanto para a produtividade das empresas quanto para a qualidade dos produtos.

Xenos (1998) explica que num sentido restrito, as atividades de manutenção estão limitadas ao retorno de um equipamento às suas condições originais. Enquanto, em um sentido mais amplo, as atividades de manutenção também devem envolver a modificação das condições originais através da introdução de melhorias para evitar a ocorrência ou incidência de falhas, reduzir o custo e aumentar a produtividade. Com essas definições, entende-se a importância do aumento da disponibilidade dos equipamentos, e para isso a necessidade de um bom planejamento de manutenção.

### **2.2 Evolução da Manutenção**

Ao longo dos anos a manutenção evoluiu juntamente com o desenvolvimento da indústria. Com avanço tecnológico advindo da Revolução Industrial no século XVIII, que trouxe a mecanização e com ela a necessidade de manter os equipamentos em condições satisfatórias de funcionamento, garantindo assim a continuidade do trabalho.

De acordo com Kardec e Nascif (2009), a partir de 1930, à manutenção passou por diversas transformações, sendo a mesma dividida em quatro gerações:

A primeira geração abrange o período antes da segunda Guerra Mundial, quando a indústria era pouco mecanizada, os equipamentos eram simples. Devido à conjuntura econômica da época, a produtividade não era prioritária, não sendo necessária uma manutenção sistematizada, ou seja, a manutenção era fundamentalmente corretiva (KARDEC e NASCIF, 2009).

A segunda geração vai desde a Segunda Guerra Mundial até meados dos anos 60. Período marcado pelo forte aumento da mecanização e da complexidade das instalações industriais, devido à intensificação da demanda por todo tipo de produtos e ao mesmo tempo, uma diminuição na mão de obra industrial (KARDEC e NASCIF, 2009).

Fica clara a necessidade de uma maior disponibilidade, bem como maior confiabilidade, visando a maior produtividade. Com isso, a indústria estava bastante dependente do bom funcionamento das máquinas, levando a ideia de que as falhas nos equipamentos poderiam e deveriam ser evitadas, resultando no conceito de manutenção preventiva. Que nessa época consistia em intervenções nos equipamentos feitas em intervalos fixos. Os sistemas de planejamento e controle de manutenção começam a muito ser usados, assim como a busca por meios com a finalidade de aumentar a vida útil dos itens físicos (KARDEC e NASCIF, 2009).


A terceira geração começou a partir da década de 70, quando se acelerou o processo de mudança das indústrias. O conceito de confiabilidade começa a ser cada vez mais aplicado pela engenharia e pela manutenção. Nessa geração reforçou-se o conceito da manutenção preditiva (PINTO E XAVIER, 2001) e o desenvolvimento de *softwares* que permitiram melhor planejamento, controle e acompanhamento dos serviços de manutenção. Mesmo com a intensa busca para maior confiabilidade, a falta de interação nas áreas de engenharia, manutenção e operação impedia melhores resultados, logo as taxas de falhas prematuras eram elevadas (KARDEC e NASCIF, 2009).

Expectativas a serem consideradas na terceira geração permanecem na quarta, sendo essas, para que haja consolidação das atividades da engenharia de manutenção, se baseiam na garantia da Disponibilidade, Confiabilidade e Manutenibilidade. A Manutenção prioriza a minimização de falhas prematuras, por isso a análise de falhas é uma metodologia consagrada na capacidade de melhorar o desempenho dos equipamentos e da empresa. A manutenção preditiva é cada vez mais utilizada, há uma tendência na redução do uso da manutenção preventiva, uma vez que ela demanda paralisação dos equipamentos e sistemas, e a manutenção corretiva não planejada se torna um indicador da ineficácia da manutenção. A

interação entre as áreas de engenharia, manutenção e operação é um fator de garantia de metas. Por fim, uma grande mudança dessa geração foi o aprimoramento da terceirização, buscando uma relação de parceria de longo prazo (KARDEC e NASCIF, 2009).

A tabela 1 traz a descrição das quatro gerações e a evolução da manutenção:

Tabela 1 - Evolução da Manutenção

EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO				
	Primeira Geração	Segunda Geração	Terceira Geração	Quarta Geração
Ano	 1940    1950    1960    1970    1980    1990    2000    2010			
Aumento das expectativas em relação à Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Conserto após falha</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Disponibilidade crescente</li> <li>•Maior vida útil do equipamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Maior confiabilidade</li> <li>•Maior disponibilidade</li> <li>•Melhor relação custo-benefício</li> <li>•Preservação do meio ambiente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Maior confiabilidade</li> <li>•Maior disponibilidade</li> <li>•Preservação do meio ambiente</li> <li>•Segurança</li> <li>•Influir nos resultados do negócio</li> <li>•Gerenciar os ativos</li> </ul>
Visão quanto à falha do equipamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Todos os equipamentos se desgastam com a idade e, por isso, falham</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Existência de 6 padrões de falhas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Reduzir drasticamente falhas prematuras</li> </ul>
Mudança nas técnicas de Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Habilidades</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Planejamento manual da manutenção</li> <li>•Computadores grandes e lentos</li> <li>•Manutenção Preventiva (por tempo)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Monitoramento da condição</li> <li>•Manutenção Preditiva</li> <li>•Análise de risco</li> <li>•Computadores pequenos e rápidos</li> <li>•Softwares potentes</li> <li>•Grupos de trabalho multidisciplinares</li> <li>•Projetos voltados para a confiabilidade</li> <li>•Contratação por mão de obra e serviços</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Aumento da Manutenção Preditiva e Monitoramento da Condição</li> <li>•Minimização nas Manutenções Preventiva e Corretiva não Planejada</li> <li>•Análise de Falhas</li> <li>•Técnicas de confiabilidade</li> <li>•Manutenibilidade</li> <li>•Engenharia de Manutenção</li> <li>•Projetos voltados para confiabilidade, manutenibilidade e Custo do Ciclo de Vida</li> <li>•Contratação por resultados</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2009)

Observa-se na tabela 1, que a evolução da manutenção abrange três aspectos, quanto ao aumento da expectativa, visão quanto à falha e aprimoramento técnico. Tal evolução só foi possível diante de análises e aprimoramentos da própria indústria, que deve sempre buscar elevar a eficiência de seus processos, dado o ritmo acelerado de mercado e produção.

## **2.3 Tipos de Manutenção**

Há uma variedade considerável de denominações para classificar a atuação da manutenção, que está diretamente relacionada ao momento em que a intervenção é realizada no sistema, sua periodicidade e planejamento. Segundo Pinto e Xavier (2001), as práticas mais usuais definem os principais tipos de manutenção, que são: manutenção corretiva não planejada, manutenção corretiva planejada, manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção detectiva e engenharia de manutenção. Neste trabalho, serão descritas três práticas básicas de manutenção, sendo elas corretiva, preventiva e preditiva.

### **2.3.1 Manutenção Corretiva**

Segundo a ABNT NBR-5462, a manutenção corretiva é efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida, ideia confirmada pela citação de Xenos (1998), que diz que a manutenção corretiva é aquela executada sempre após a ocorrência de uma falha.

A manutenção corretiva ocorre para correção da falha ou queda de desempenho, não sendo essencialmente uma manutenção de emergência. O fator emergencial dependerá do planejamento ou não de tal ação, ainda que ela aconteça posterior à falha. Tendo como principal função corrigir e restaurar as condições de funcionamento do equipamento ou sistema. É dividida em duas classes: não planejada e planejada.

A manutenção corretiva não planejada, segundo Kardec e Nascif (2009), é a correção da falha de maneira aleatória. Também conhecida como emergencial, caracteriza-se pela atuação da manutenção em fato já ocorrido, seja este uma falha ou um desempenho menor do que o esperado. Esse tipo de manutenção acarreta diversos ônus, além do financeiro, pois a quebra pode acarretar perdas de produção, perda da qualidade do produto e elevados custos indiretos de manutenção, além de poder afetar a segurança e o meio ambiente.

Para Kardec e Nascif (2009), a manutenção corretiva planejada é a ação de correção do desempenho menor do que o esperado ou da falha, por decisão gerencial, baseados no acompanhamento dos parâmetros de condições e diagnósticos levados a efeito pela preditiva e detectiva. Ao planejar ações de manutenção, garantimos menos custo das mesmas, e menores perdas adjacentes como com baixas de produção acentuada advindas de pausas no sistema, por exemplo. Ou seja, é mais barato planejar do que atuar em situação emergencial.

Xenos (1998) ressalta que, mesmo que a manutenção corretiva tenha sido escolhida por ser mais vantajosa, não se pode simplesmente se conformar com a ocorrência de falhas como um evento já esperado e natural, é essencial o esforço para identificar precisamente as causas fundamentais das falhas e bloqueá-las, evitando sua reincidência.

A adoção de uma política de manutenção corretiva planejada segundo Kardec e Carvalho (2009) pode advir de vários fatores, tais como:

- Negociação de paradas de produção;
- Aspectos ligados à segurança dos funcionários;
- Melhores planejamentos dos serviços;
- Garantia de ferramentais e peças sobressalentes;
- Busca de recursos humanos com tecnologia externa.

Quanto maiores forem as implicações da falha na segurança pessoal e operacional, nos seus custos intrínsecos, nos compromissos de entrega da produção, maiores serão as condições de adoção da política de manutenção corretiva planejada (KARDEC e NASCIF, 2009).

### **2.3.2 Manutenção Preventiva**

A função da manutenção não é consertar o equipamento quebrado, mas se antecipar à quebra (GURSKIE e RODRIGUES, 2008). Corroborando com isso temos a ideia de que a manutenção preventiva, feita periodicamente, deve ser a principal atividade das equipes de manutenção em qualquer empresa (XENOS, 2008). É entendida como a manutenção que busca evitar que a falha ocorra a partir da programação de intervenções em intervalos de tempo pré-definidos (PINTO e XAVIER, 2001). Ou seja, as atividades de limpeza, lubrificação, substituição e verificação são programadas levando em consideração os tempos dos equipamentos, que podem ser definidos pelo fabricante ou pela própria empresa através de estatísticas (ALMEIDA, 2000)

De acordo com Kardec e Carvalho (2009) os seguintes fatores devem ser levados em consideração para adoção de uma política de manutenção preventiva, são eles:

- Quando não é possível a manutenção preditiva;
- Aspectos relacionados com a segurança pessoal ou da instalação que tornam necessária a intervenção, normalmente para substituição de componentes;
- Por oportunidade em equipamentos críticos de difícil liberação operacional;
- Riscos de agressão ao meio ambiente;
- Em sistemas complexos e/ou de operação contínua.

A utilização da manutenção preventiva é indicada nos casos de sistemas complexos, quando há riscos de danos ao meio ambiente, em equipamentos críticos e de alto custo e quando o equipamento oferece risco à saúde e à segurança dos trabalhadores (KARDEC e NASCIF, 2009).

### **2.3.3 Manutenção Preditiva**

Xenos (1998) defende a ideia que a manutenção preditiva é mais uma maneira de inspecionar os equipamentos. Tem como objetivo, prevenir falhas nos equipamentos através de acompanhamentos de parâmetros diversos, visando definir o instante correto da intervenção, ou seja, prever o tempo até a falha com o máximo de aproveitamento ativo (OTANI & MACHADO, 2008). Quando o grau de deterioração alcança o limite pré-estabelecido, é tomada a decisão de intervenção, com planejamento prévio da atividade, de forma a causar o menor impacto à produção (KARDEC e NASCIF, 2009).

Para Rodrigues (2003) a manutenção preditiva ganhou uma força fortuita na década de 90, com o aumento do nível da automação dos sistemas industriais, levando a função manutenção a ser vista como completamente necessária e que não precisa interferir no processo produtivo.

Segundo Almeida (2000), trata-se de um meio de se melhorar a produtividade, a quantidade do produto, o lucro, e a efetividade global das indústrias de manufatura e produção. Ainda para Almeida (2000), para que essa estratégia de manutenção seja adotada, é necessário que o equipamento necessite de acompanhamento e possibilite monitoramento/medição, para que as possíveis falhas tenham sua progressão acompanhada. A maior vantagem atribuída à manutenção preventiva está relacionada à frequência de



ocorrência das falhas não esperadas, que fica bastante reduzida, o que reflete no aumento da produtividade e qualidade do produto com conseqüente redução de custos.

As condições básicas para adotar a manutenção preditiva segundo Kardec e Nascif (2009) são as seguintes:

- O equipamento, sistema ou instalação devem permitir algum tipo de monitoramento /medição;
- O equipamento, sistema ou instalação devem merecer esse tipo de ação em função dos custos envolvidos;
- As falhas devem ser oriundas de causas que possam ser monitoradas e ter sua progressão acompanhada;
- Seja estabelecido um programa de acompanhamento, análise e diagnóstico, sistematizado.

## **2.4 Sistema de Tratamento de Falhas**

Segundo Fagundes e Almeida (2004), a necessidade cada vez maior de melhorar a confiabilidade tem popularizado vários métodos e técnicas para a minimização/eliminação de falhas. Estes métodos e técnicas têm como objetivo melhorar a confiabilidade de produtos ou processos, ou seja, aumentar a probabilidade de um item desempenhar sua função sem falhas.

Na rotina diária de vários departamentos de manutenção, muito do trabalho gira em torno da ocorrência de falhas nos equipamentos. Apesar de todo o esforço, parece que as falhas tendem a se avolumar e nunca ter fim. Pode-se dizer que estes departamentos estão prisioneiros em um círculo vicioso de falhas (XENOS, 1998). Ainda para o presente autor, para superar esta situação estranguladora, é necessário atacar o problema das falhas nos equipamentos empregando um bom método em conjunto com paciência e perseverança, ao invés de ficar desorientado diante delas.

### **2.4.1 O Círculo Vicioso das Falhas**

Para Xenos (1998), a pior situação para uma equipe de manutenção é a ocorrência de falhas nos equipamentos de produção quando esta não pode parar. É importante ressaltar que uma falha é sempre uma ocorrência indesejada e que deve ser tratada como uma situação anormal, que precisa de tratamento adequado para que não volte a ocorrer.

Ainda, segundo Xenos (1998) o princípio básico da eliminação definitiva das falhas nos equipamentos é a identificação precisa de suas causas fundamentais. Isto permite tomar as medidas necessárias para bloquear estas causas e evitar a reincidência das falhas. Quando este princípio não é plenamente entendido e praticado no dia-a-dia, fecha-se o círculo vicioso das falhas, como mostra a Figura 1. É importante ter em mente que a função de uma equipe de manutenção não pode ser meramente corretiva. Uma boa equipe de manutenção atua preventivamente no sentido de evitar falhas inesperadas (planos de manutenção), introduz melhorias nos equipamentos, identifica e implementa medidas de bloqueio para causas fundamentais de falhas.

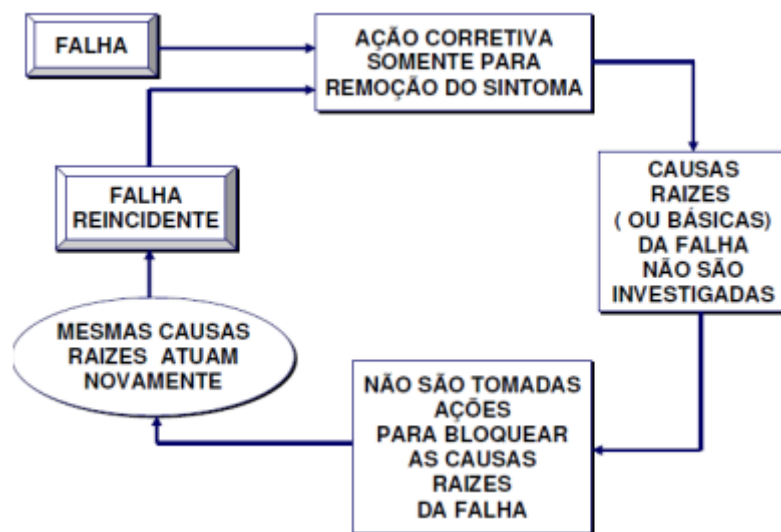


Figura 1 – O Círculo Vicioso das Falhas  
Fonte: Adaptado de Xenos, 1998.

Através da análise da figura 1, é possível verificar que sem boas contramedidas para impedir as causas fundamentais, os equipamentos estarão sujeitos à reincidência das falhas, que se somam à ocorrência esporádica de outros tipos de falhas que logo tenderão a reincidir.

#### 2.4.2 Rompendo o Círculo Vicioso das Falhas

Segundo Xenos (1998), para que ocorra o rompimento do círculo vicioso das falhas, é preciso colocar em prática um método de tratamento de falhas nos equipamentos. O objetivo é reduzir as ocorrências, diminuindo os momentos de incerteza das equipes de manutenção. Sem metas e método, prevalece a desorientação e o problema não é resolvido. Tal sistema de tratamento de falhas trata-se essencialmente de uma estrutura formal, de fluxo de informações de falhas e ações relacionadas, como mostrado na figura 2.

- Detecção e relato da falha: relato rápido e preciso da ocorrência, ou de sinais antes da ocorrência, ou seja, relato de uma anomalia. As equipes de manutenção devem ser distribuídas na área de produção e não centralizadas;
- Ação corretiva: realizar o reparo do equipamento o mais rápido possível, removendo o sintoma. Palavras-chaves são rapidez, precisão, disponibilidade de recursos;
- Registro e análise das falhas para identificar suas causas fundamentais;
- Planejamento e execução das contramedidas de bloqueio;
- Acompanhamento da execução das contramedidas;
- Análise periódica dos registros de falhas para identificar falhas crônicas e prioritárias e definir projetos com metas;
- Execução de projetos através do ciclo PDCA de solução de problemas.

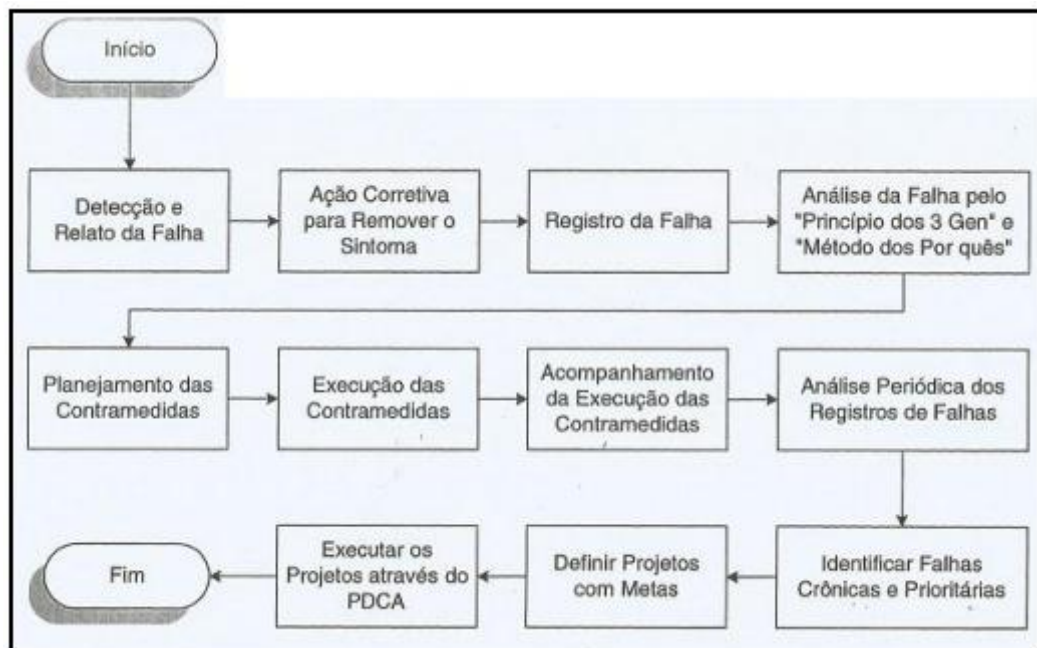


Figura 2 - Macrofluxograma do Sistema de Tratamento de Falhas  
 Fonte: Adaptado de Xenos, 1998.

De acordo com a Figura 2, pode-se perceber que a característica marcante deste sistema é que ele permite ir além das ações corretivas, exercitando as equipes de manutenção na busca exaustiva das causas fundamentais das falhas e no estabelecimento de contramedidas eficazes.

Estatisticamente, a falha zero não pode ser alcançada, mas é possível chegar perto. É incorreto pensar que falhas são inevitáveis, que sempre é possível reparar e que somente a

manutenção tem responsabilidade sobre isto. Esta mudança de atitudes deve acontecer também no departamento de produção. Os operadores devem começar a aceitar a ideia de que é possível operar as máquinas de modo a evitar as falhas, sem afetar a produção. A eficiência da produção diminui quando o operador assume que toda anomalia ou falha é de responsabilidade do departamento de manutenção ou do grupo de reparo. Para Xenos (1998), com educação e treinamento para adquirir novos conhecimentos e praticar habilidades técnicas, o trabalho dos operadores da produção ficará mais completo e haverá maior interesse pelo bom funcionamento dos equipamentos. Assim, ações corretivas para falhas simples e que causam pequenas paradas do equipamento poderão ser tomadas rapidamente, aumentando a eficiência da produção, como mostra a Figura 3.

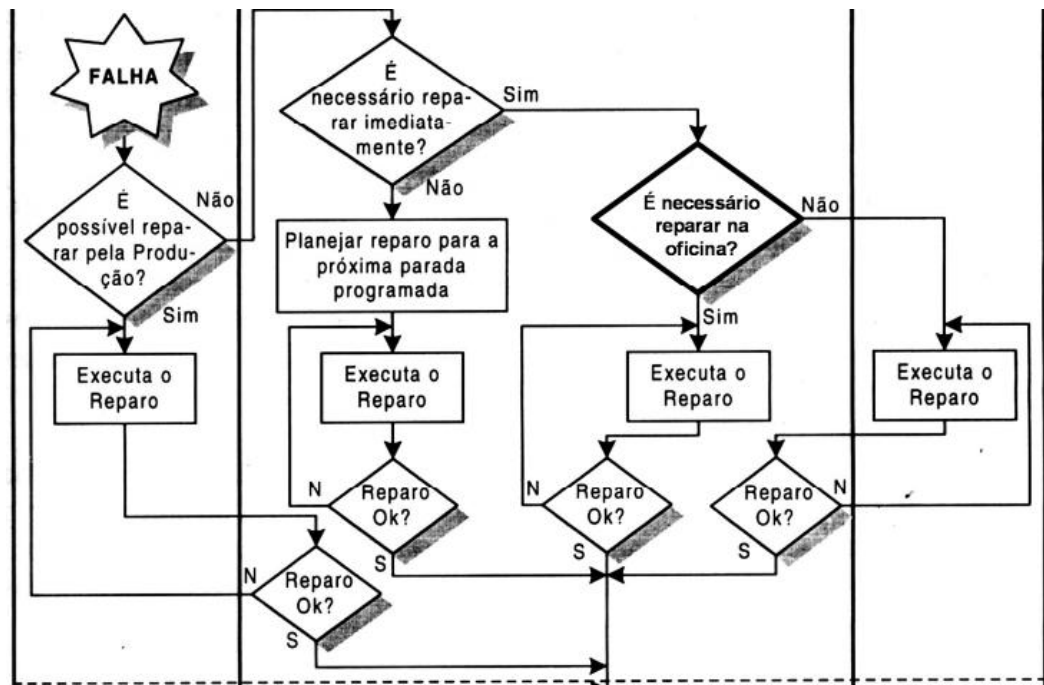


Figura 3 - Fluxograma das ações corretivas e ações de bloqueio – parte 1

Fonte: Adaptado de Xenos, 1998.

De acordo com a Figura 3, a responsabilidade pelas ações corretivas depende da sua complexidade. Se forem suficientemente simples e não exigirem procedimentos e ferramentas complexas, os próprios operadores da produção podem realizar as ações corretivas. Mas, se o operador não tiver o conhecimento e habilidade necessários para tomar uma ação corretiva, será necessário o apoio do departamento de manutenção.

Sobre o ponto de vista de Xenos (1998), ações corretivas inadequadas introduzirão outras falhas, provocando a reincidência da falha original e a ocorrência de outras. Para evitar reincidências é necessário observar os seguintes aspectos:

- A equipe deve ser treinada e dominar os conhecimentos técnicos necessários, saber diagnosticar as falhas e estudar os manuais e desenhos antes de agir.
- Estabelecer procedimentos operacionais padronizados para o diagnóstico de falha.
- As ferramentas devem estar calibradas e em condições operacionais plenas, ou não será possível diagnosticar e corrigir as falhas.
- A qualidade e confiabilidade dos reparos devem ser continuamente mensuradas através do registro de tempo de reparo e da ocorrência de retrabalho.

Quando se opta pela manutenção corretiva é preciso girar o PDCA para minimizar o tempo para reparar, além de buscar exaustivamente a causa fundamental das falhas, visando reduzir sua ocorrência e evitar reincidências no futuro. Para isso, é necessário buscar as causas fundamentais de falhas.

As causas fundamentais das falhas devem ser identificadas para que possam ser tomadas contramedidas adequadas para evitar sua reincidência. Em geral, após a investigação inicial feita pelos operadores da produção, a manutenção dá início à investigação, conforme a Figura 4.

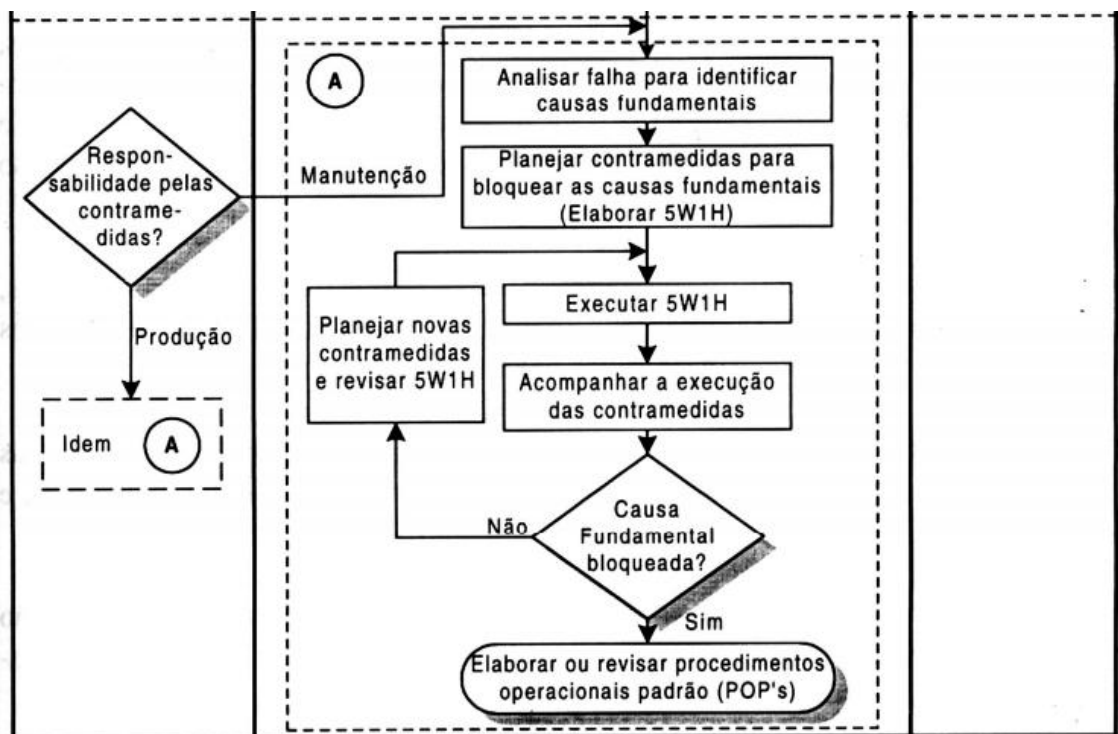


Figura 4 - Fluxograma das ações corretivas e ações de bloqueio – parte 2

Fonte: Adaptado de Xenos, 1998.

Como mostra a Figura 4, a primeira fase da investigação da causa fundamental de uma falha deve ser feita pelo próprio operador, partindo do ponto de vista da operação. Após a investigação inicial feita pelos operadores da produção, a manutenção deve iniciar sua investigação no próprio local da ocorrência, quando todas as evidências ainda estão presentes. No Japão, esta prática é conhecida como Princípio dos 3 Gen: ir ao local (Genba), observar o equipamento (Genbutsu), observar a falha (Gensho) (XENOS, 1998).

Xenos (1998) defende a ideia que as contramedidas devem ser elaboradas de modo a assegurar que as causas fundamentais sejam eliminadas definitivamente. Entretanto, para garantir a implementação das contramedidas é necessário elaborar um plano de ação e verificar o seu correto cumprimento, dentro dos prazos estabelecidos, é o 5W1H. A implementação das contramedidas deve ser acompanhada com rigor e periodicidade. Isto é feito através das reuniões de acompanhamento do plano de ação, que deve principalmente identificar que contramedidas serão tomadas, como serão efetivadas, em que prazo e quem será o responsável. Se o plano de ação não for acompanhado, as contramedidas não serão tomadas e as falhas voltarão a acontecer. Por isso as reuniões devem ter periodicidade estabelecida (semanal, quinzenal, entre outros) assim como os participantes, a pessoa que irá relatar os resultados, elaboração da ata, divulgação dos resultados, data de divulgação e para quem será enviado.

Para romper o círculo vicioso das falhas, é preciso rever todas as informações existentes sobre as falhas e analisá-las cuidadosamente (XENOS, 1998), por isso a necessidade do registro dos dados de falhas. Através dele será registrado que tipos de falhas são predominantes, em que locais ou equipamentos ocorrem, e com que frequência. Isto não pode ser respondido de forma subjetiva, através de suas próprias impressões, o que pode ocorrer devido a falta de dados ou falta de análise dos dados disponíveis. A coleta de dados deve ser de modo simples e prático e que forneça base para a análise posterior. Assim, o registro de falhas não deve pedir informações além do absolutamente necessário: Detecção, perdas e ação corretiva. Formulários impressos podem ser usados, mas a preferência é o emprego do computador (XENOS, 1998).

Não existe um formato padrão para o registro de falha que possa ser usado por qualquer tipo de empresa. Cada empresa é responsável por elaborar seu próprio formulário, levando em consideração suas necessidades. Mas, de forma geral, os registros de falhas têm que conter algumas informações mínimas que são suficientes para uma ação eficaz pela manutenção, como aparece na Tabela 2.

Tabela 2 – Exemplo de Relatório de Falha

RELATÓRIO DE FALHA							
Descrição da Falha	Local:		Data de Detecção:		Hora da Detecção:		
	Equipamento/Instalação:						
	Componente/Conjunto:						
	Data da Última Troca/Reparo:			Intervalo Padrão de Troca/Reparo:			
	Descrição da Falha:						
	Detectada por:			Setor:		Turno:	
Perdas	Tempo de Parada da Produção:						
	Perdas de Produção:						
	Acidentes com Pessoas:						
Ações Corretivas	Descrição do Reparo:						
	Tempo de Reparo:			Homens/Hora:			
Investigação das Causas Fundamentais	Causas Fundamentais:						
Ações de Bloqueio	O que	Quem	Quando	Onde	Como	Por que	
Diversos	Elaborado por:				Data:		
	Revisado por:				Data:		
	Revisado por:				Data:		
	Supervisor:		Chefe:		Gerente:		

Fonte: Adaptado de Xenos, 1998.

Através das informações contidas na Tabela 2, é possível exercer um bom gerenciamento sobre o desempenho dos equipamentos através de fatos e dados. Os Relatórios de Falha devem ser totalmente preenchidos pelo próprio técnico de manutenção. Logo após a abertura de um Relatório de Falha pelos técnicos de manutenção é necessário que os supervisores e gerentes do departamento de manutenção façam a sua revisão. O registro bem feito de uma falha permite uma análise que identifique corretamente as causas fundamentais da falha.

Para Xenos (1998), as falhas recorrentes se tornarão problemas crônicos. Estes devem ser identificados através da análise periódica dos dados registrados nos relatórios de falhas. Esta análise é denominada de Perfil de Perdas, e permite conhecer em que áreas, instalações, equipamentos e componentes a concentração de esforços para atacar as falhas irá produzir os resultados de maior impacto. Contramedidas implementadas corretamente evitam a reincidência de falhas. Se bem conduzidas, estas ações serão suficientes para evitar, de maneira definitiva, a reincidência de 50% das falhas.

O sistema apresentado é um caminho para eliminar as falhas nos equipamentos e garantir maior produtividade para as empresas. Nos próximos capítulos será abordado um estudo específico e aprofundado sobre a aplicação de um sistema de tratamento de falhas em um equipamento da metalurgia, classificando a metodologia e apresentando resultados, análises e conclusões.

## **2.5 Alumina**

Alumina ou óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ) é a matéria-prima necessária para a produção do alumínio primário, sendo o item de maior custo na produção de alumínio. A alumina é proveniente principalmente do minério bauxita. Na Tabela 3, estão apresentadas informações estatísticas da indústria brasileira da alumina. Os dados são referentes à produção, consumo e balança comercial de alumina.



Tabela 3 - Produção, consumo e balança comercial da alumina.

Unidade: 1000 toneladas

Composição	2015	2016	2017
<b>Suprimento</b>	10.480,5	10.907,4	11.043,9
<b>Produção</b>	10.451,5	10.885,5	11.014,4
■ Alcan Alumina Ltda São Luís (MA)	367,2	370,7	369,8
■ Alcoa Alumínio S.A. Poços de Caldas (MG) São Luís (MA)	2.103,5 120,7 1.982,8	2.083,3 86,6 2.001,7	2.122,2 125,1 1.997,1
■ Companhia Brasileira de Alumínio Alumínio (SP)	640,6	667,0	695,6
■ Hindalco do Brasil Indústria e Comércio Ltda Ouro Preto (MG)	56,4	84,1	101,4
■ Norsk Hydro Brasil Ltda. Alunorte – Alumina do Norte do Brasil S.A. – Barcarena (PA)	5.962,0	6.340,9	6.396,8
■ South32 Minerals S.A. São Luís (MA)	1.321,8	1.334,5	1.328,6
<b>Importações</b>	29,0	21,9	29,5
<b>Consumo Doméstico</b>	1.959,2	2.117,6	2.264,0
■ Usos metálicos	1.476,1	1.516,9	1.560,1
■ Outros usos	483,1	600,7	703,9
<b>Exportações</b>	8.467,6	8.778,5	8.762,3

Fonte: ABAL (2019)

De acordo com dados da Associação Brasileira de Alumínio (ABAL, 2017), em 2015 foram exportadas 286 mil toneladas a mais de alumina, quando comparado com o número de dois anos atrás, totalizando 8.468 mil toneladas em 2015, sem falar do recorde de produção contabilizado de 10.451 mil toneladas de alumina produzidas.

Na Figura 5 é ilustrada a estimativa da produção de alumina no mundo em 2017.

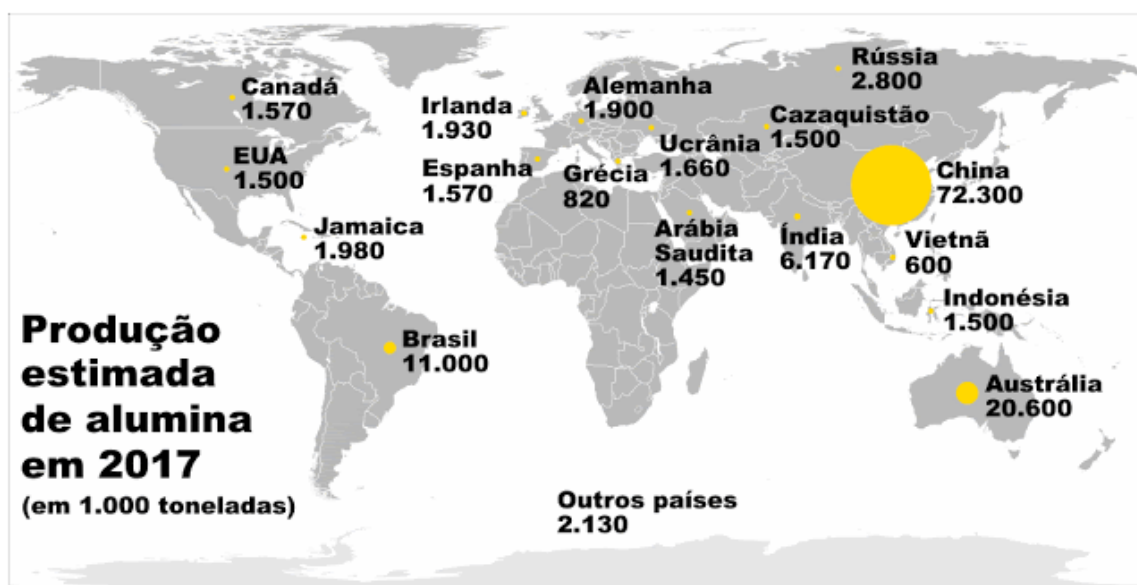


Figura 5 – Produção estimada de alumina em 2017  
Fonte: USGS Science for a changing world (2019)

Na produção mundial de alumina, o Brasil fica com a 3ª posição. Ficando atrás somente de Austrália e China.

## 2.6 Rotor do tipo trilobular

O rotor com três lóbulos possui uma maior resistência e melhor distribuição da pressão em torno de cada lóbulo, que ocasionam a redução dos picos de pressão causados pelo retorno dos gases nas câmaras formadas entre os lóbulos e o corpo do soprador. Este sistema permite que a máquina opere com um ciclo de pulsações 30% superior ao rotor bilobado, melhorando a uniformidade do fluxo. (Figura 6).

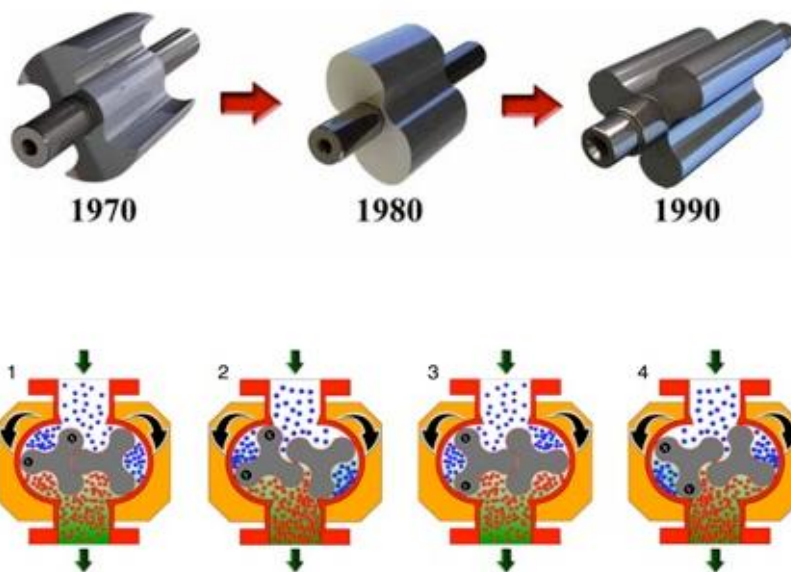


Figura 6 – Funcionamento do rotor trilobado  
Fonte: omel.com.br (2019)

O funcionamento sincrônico dos lóbulos é obtido por meio de um par de engrenagens fabricadas com elevado grau de precisão. O aumento da frequência com a qual o ciclo se repete melhora o desempenho mecânico e conseqüentemente reduz a vibração da máquina e geração de ruído para cerca de 5 dBA.

## 2.7 Método dos 5 Por Quês

Para Ohno (1997), O método dos 5 por quês é uma abordagem científica, utilizada no sistema Toyota de Produção, para se chegar à verdadeira causa raiz do problema, que geralmente está escondida através de sintomas óbvios. O método consiste em perguntar o por quê de um problema sucessivas vezes, para se encontrar as suas causas fundamentais.

Segundo Weiss (2011) para análise dos 5 por quês, embora seja denominada assim, pode-se utilizar menos por quês, ou mais por quês, de acordo com a necessidade para que se encontre a causa raiz. Ainda descreve os 5 passos que devem ser dados para aplicar o método:

- Inicie a análise com a afirmação da situação que se deseja entender – ou seja, deve-se iniciar com o problema.
- Pergunte por que a afirmação anterior é verdadeira.
- Para a razão descrita que explica por quê a afirmação anterior é verdadeira, pergunte por quê novamente.
- Continue perguntando por quê até que não se possa mais perguntar mais por quês.
- Ao cessar as respostas dos por quês significa que a causa raiz foi identificada.

## **2.8 Pano de ação 5W1H**

É um método utilizado na elaboração de um plano de ação para eliminar falhas, sendo um formulário de perguntas de forma organizada que ajuda a identificar as ações, onde estas ações serão realizadas, o porquê destas ações, quem irá executá-las, quando e como será a execução das mesmas (PREINADO e GRAEML, 2007).

A sigla 5W1H é composta pelas iniciais das palavras em inglês, What, When, Who, Where, Why e How que significam segundo Campos (2004):

- WHAT (O quê?) – esta primeira pergunta define qual ação será executada.
- WHEN (Quando?) – esta pergunta define o prazo que a ação terá para ser executada. É importante ter prazo de início e término bem definidos.
- WHO (Quem?) – esta etapa define o responsável pela execução da ação.
- WHERE (Onde?) – esta pergunta definirá onde a ação será executada.
- WHY (Por quê?) – esta pergunta tem como objetivo definir o motivo ou a justificativa para a execução da ação planejada.
- HOW (Como?) – esta última pergunta define o detalhamento de como será executada a ação, inclusive podem ser detalhados os recursos a serem utilizados.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Tipo de Pesquisa

Pesquisa é um procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos. A pesquisa desenvolve-se por um processo constituído de várias fases, desde a formulação do problema até a apresentação e discussão dos resultados (GIL, 2007), ou seja, só se inicia uma pesquisa se existir uma pergunta, uma dúvida para a qual se quer buscar a resposta. Pesquisar, portanto, é buscar ou procurar resposta para alguma coisa. Já para Rúdio (1999) a pesquisa nada mais é do que um conjunto de atividades orientadas para a busca de um determinado conhecimento.

Para Silva e Menezes (2001), no que diz respeito à forma de abordagem, as pesquisas podem ser classificadas em quantitativa e qualitativa. Pesquisa Qualitativa, para Silva (2004) é o tipo de pesquisa apropriada para quem busca o entendimento de fenômenos complexos específicos, mediante descrições, interpretações e comparações, sem considerar os seus aspectos numéricos. Em outros termos, a pesquisa qualitativa é mais participativa, porém menos controlável e, por esta razão, tem sido questionada quanto a sua validade e confiabilidade.

Já a pesquisa Quantitativa, segundo Silva e Menezes (2001) é aquela que trabalha com variáveis expressas sob a forma de dados numéricos e emprega recursos e técnicas estatísticas para classificá-los e analisá-los. Devido sua maior precisão e confiabilidade, os estudos quantitativos são mais indicados para o planejamento de ações coletivas, tendo em vista que seus resultados são passíveis de generalização.

Fonseca (2002) compara os principais aspectos da pesquisa qualitativa e da pesquisa quantitativa, que estão presentes na Tabela 4.

Tabela 4 – Comparação dos aspectos da pesquisa qualitativa com os da pesquisa quantitativa

Aspecto	Pesquisa Quantitativa	Pesquisa Qualitativa
Enfoque na interpretação do objeto	menor	maior
Importância do contexto do objeto pesquisado	menor	maior
Proximidade do pesquisador em relação aos fenômenos estudados	menor	maior
Alcance do estudo no tempo	instantâneo	intervalo maior
Quantidade de fontes de dados	uma	várias
Ponto de vista do pesquisador	externo à organização	interno à organização
Quadro teórico e hipóteses	definidas rigorosamente	menos estruturadas

Fonte: Adaptado de Fonseca (2002)

A pesquisa quantitativa, que tem seus ideais no pensamento lógico, tende a enfatizar o raciocínio dedutivo, as regras da lógica e os atributos mensuráveis da experiência humana. Por outro lado, a pesquisa qualitativa tende a salientar os aspectos dinâmicos e individuais da experiência.

Segundo Gil (2007), do ponto de vista dos objetivos da pesquisa, tem-se a pesquisa exploratória, que é aquela que tem por objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema (explicitá-lo ou construir hipóteses). Podendo envolver levantamento bibliográfico, entrevista com pessoas que tiveram experiência com o problema pesquisado e análise de exemplos que estimem a compreensão. Assumindo a forma de estudo de caso e pesquisa bibliográfica. O presente autor define ainda, estudo de caso como sendo um estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita detalhar e ampliar o seu conhecimento.

A pesquisa bibliográfica é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web site (FONSECA, 2002).

A partir do que foi apresentado, define-se que este trabalho se caracteriza como uma pesquisa exploratória, qualitativa, bibliográfica e estudo de caso, tendo em vista que apresenta definições de autores referenciados no assunto, abordando fundamentos teóricos sobre manutenção. Além do estudo de possíveis falhas ocorridas em um soprador de hidrato de alumina de uma indústria química, visando à elaboração de um plano de ação.

### 3.2 Materiais e métodos

É realizado um levantamento bibliográfico sobre como determinar um sistema de tratamento de falhas. Tais conteúdos têm como função direcionar os pensamentos e propor ações.

A descoberta de novos conhecimentos veio devido à necessidade de melhorias nas ações diárias do soprador de hidrato de alumina de uma indústria química que estava sofrendo com falhas em seu funcionamento.

Para entender melhor o tema específico do trabalho é necessário fazer um levantamento das informações que fazem parte do processo e do equipamento. Todas as informações são coletadas dos processos operacionais, histórico de manutenção, relatos dos profissionais que operam o equipamento e consulta do catálogo técnico do equipamento.

Outros fatores que devem ser levados em consideração são a avaliação do melhor momento para se agir ou programar contra as falhas e adequação ou reformulação de planos preventivos. A equipe de manutenção do setor da empresa faz uso de planilhas, gráficos e bancos de dados que são alimentados frequentemente, guardando registros importantes que servem como essência para a análise desse estudo.

As etapas dos procedimentos metodológicos utilizados no trabalho estão presentes na Figura 7.

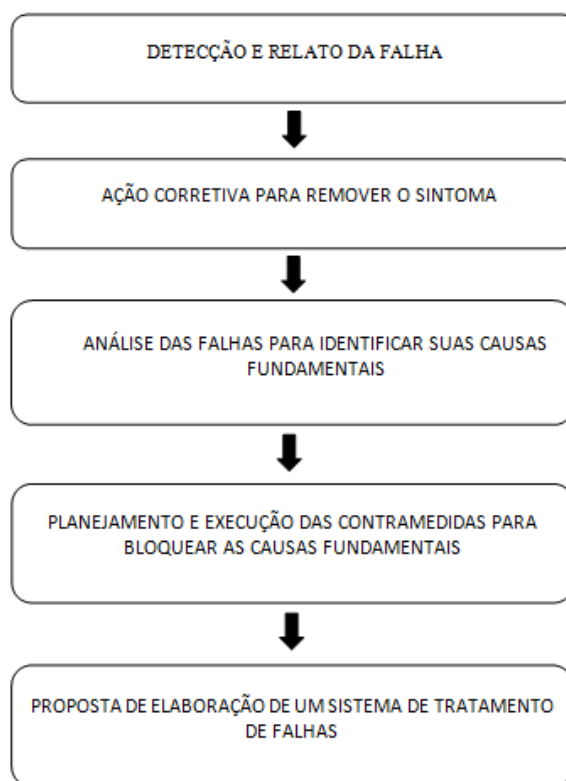


Figura 7: Fluxograma dos procedimentos metodológicos utilizados  
Fonte: Pesquisa direta (2019)

Como observa-se na Figura 7, a primeira etapa do estudo é a detecção e relato da falha no equipamento por meio da constatação do operador da produção, de que o equipamento deixou de funcionar. Assim, quando o operador detecta a falha, ele comunica a equipe de manutenção e solicita o reparo imediato do equipamento para assegurar que as ações corretivas necessárias serão. Na terceira etapa, serão utilizados o “Princípio dos 3 Gen” e o “Método dos Por Quês”, a fim de identificar as causas fundamentais das falhas do equipamento. Com a identificação das causas fundamentais das falhas são estabelecidas contramedidas para bloquear as falhas. Para garantir a implementação das contramedidas, é necessário elaborar um plano de ação (5W1H) e verificar o seu correto cumprimento, dentro dos prazos determinados. Por fim, com essas etapas concluídas, é possível propor a elaboração de um sistema de tratamento de falhas.

### 3.3 Variáveis e indicadores

Marconi e Lakatos (2003) definem variável como uma classificação ou medida; uma quantidade que varia; um conceito operacional, que contém ou apresenta valores; aspecto, propriedade ou fator, discernível em um objeto de estudo e passível de mensuração.

Ainda segundo Marconi e Lakatos (2003), a variável de controle tem sua importância na investigação de situações complexas, quando se sabe que um efeito não tem apenas uma causa, mas pode sofrer influências de vários fatores.

Indicadores são dados ou informações, preferencialmente numéricos, que representam um determinado fenômeno e que são utilizados para medir um processo ou seus resultados, podendo ser obtidos durante a realização deste processo ou ao seu término (CARIDADE, 2006). Para Pinto, Flores e Seixas (2002), é através dos indicadores que se consegue medir os desvios entre o que foi programado e o realizado.

As variáveis e indicadores deste estudo estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Variáveis e indicadores adotados

Variáveis	Indicadores
Manutenção do soprador de hidrato	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Folha de verificação;</li> <li>- Travamento;</li> <li>- Estado das correias;</li> <li>- Estados das polias;</li> <li>- Ruídos;</li> <li>- Lubrificação;</li> <li>- Limpeza;</li> <li>- Falta de material.</li> </ul>
Sistema de tratamento de falhas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Descrição das atividades;</li> <li>- Motivo da atividade;</li> <li>- Ação imediata;</li> <li>- Causa apurada;</li> <li>- Tipo de falhas.</li> </ul>
Sistema de gestão	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disponibilidade do sistema;</li> <li>- Tipo de manutenção empregada;</li> <li>- Tempo gasto para atuação de manutenção;</li> <li>- Treinamento da equipe;</li> <li>- Plano de ação;</li> <li>- Material em estoque.</li> </ul>

Fonte: Pesquisa direta (2019)

### 3.4 Instrumentos de coleta de dados

Para a realização desse estudo, as técnicas necessárias para o desenvolvimento da coleta de dados foram obtidas da seguinte maneira:



- Pesquisa bibliográfica;
- Observação direta;
- Registros institucionais (Planilhas e relatórios);
- Grupos focais;
- Conversa com profissionais da área envolvida.

A pesquisa bibliográfica é uma etapa fundamental, pois fornece conhecimento teórico que norteia o estudo. Ainda, a observação direta baseia-se na atuação de observadores treinados para obter determinados tipos de informação sobre o processo. Em decorrência disso, é necessário um bom diálogo com os profissionais da área específica, facilitando a compreensão dos fatos ocorridos a curto prazo e com respostas rápidas.

A empresa possui um sistema de gestão da manutenção informatizado, o *Protheus* da *TOTVS* e foi por meio do mesmo que os dados para elaboração desta pesquisa foram obtidos, reduzindo o tempo e auxiliando na situação problema.

### **3.5 Tabulação de dados**

As informações referentes à falha são coletadas através do uso de uma folha de papel, contendo o Relatório de Falhas. Os dados serão tabelados no *software Microsoft Excel* e armazenado no *software Microsoft Word*.

### **3.6 Considerações finais do capítulo**

Ao longo deste capítulo foram apresentados os procedimentos metodológicos utilizados para a concretização desta pesquisa. Enfatizando o tipo de pesquisa, os materiais e métodos, as variáveis e indicadores e como os dados foram coletados e tabulados, de acordo com o objeto proposto no mesmo.

No capítulo seguinte são explicitados os resultados referentes ao sistema de tratamento de falha e uma discussão do mesmo.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Caracterização da Empresa

A empresa estudada é uma indústria química especializada na produção de aluminas especiais e hidratos, que atende o mercado nacional e internacional. Operando desde agosto de 2013 no Brasil, capacita profissionalmente e gera empregos diretos e indiretos para centenas de pessoas. Seus produtos servem como matéria para aplicação no setor automotivo e de transporte, na construção civil, em embalagens, na indústria elétrica, em máquinas e equipamentos e em outros setores, incluindo desde pigmentos à propulsão de foguetes.

O soprador de hidrato é responsável por transportar o hidrato de alumina que está dentro do filtro a vácuo até o secador. O soprador é utilizado para movimentar as partículas, que ficam em imersão para que as serpentinas do secador aqueçam o hidrato úmido. Tendo em vista sua grande importância para o processo de produção da empresa cabe ao departamento de manutenção monitorar e garantir sua confiabilidade e de todos os equipamentos da empresa, através de planos de manutenção criteriosos, prevenção de falhas no maquinário, elaboração de relatórios de desempenho dos equipamentos e inspeções programadas. Em caso de surgimento de falhas, é aberta uma ordem serviço para a equipe de manutenção afim de que a mesma possa realizar a manutenção corretiva, conferindo ao equipamento boa funcionalidade.

A Figura 8 ilustra o organograma da área de Manutenção da empresa.

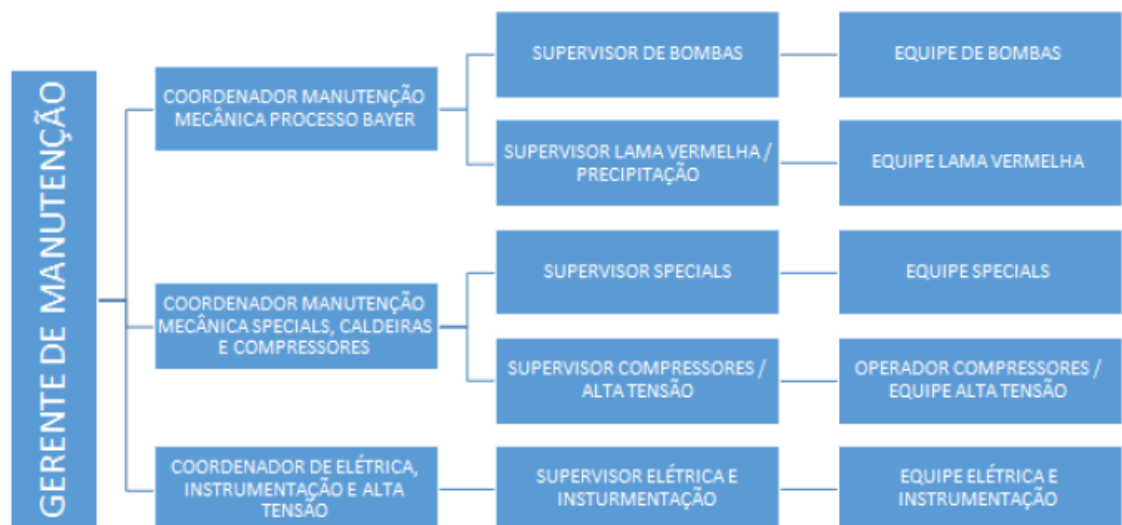


Figura 8 – Organograma do sistema de manutenção  
Fonte: Pesquisa direta (2019)

O organograma presente na figura 8 foi estruturado de acordo com o processo de produção da empresa e suas especificidades. Ficando dividido em três setores:

- Confiabilidade;
- Manutenção;
- Serviços.

#### 4.2 Caracterização do soprador de hidrato

O soprador é um equipamento responsável por fazer o transporte pneumático a vácuo ou pressão, de materiais a granel. Na Figura 9, apresenta-se o tipo de soprador utilizado na empresa.

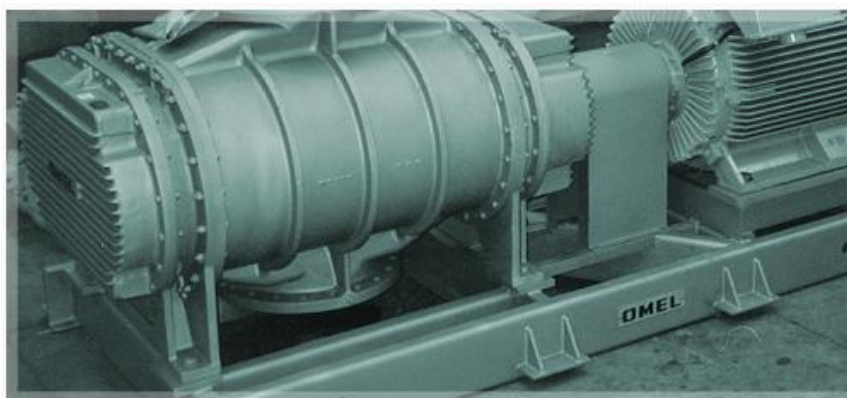


Figura 9 – Soprador trilobular  
Fonte: omel.com.br (2019)

O soprador estudado é do tipo trilobular, que nada mais é do que um compressor de deslocamento positivo constituído por um par de lóbulos com perfil conjugado que giram em sentidos diferentes no interior de um corpo, aprisionando fluido na câmara formada entre o rotor e o corpo. O fluido é conduzido rumo à descarga da máquina, onde é deslocado e pressurizado pelas resistências e encontrará uma contrapressão que causará o automático ajuste de pressão à pressão encontrada no próprio sistema.

O soprador de hidrato está presente dentro de uma área da fábrica designada como Alumina. Estão presentes também o filtro a vácuo, correia transportadora, secador de hidrato, elevador de canecas e o silo de armazenamento. Todos os equipamentos essenciais para obtenção da alumina, que é o principal produto desta empresa.

### 4.3 Elaboração do sistema de tratamento de falhas

O soprador de hidrato, situado na área de secador de hidrato do setor da Alumina, sofreu uma parada do tipo mecânica pela terceira vez em um intervalo de uma semana após ter sido trocado, ocorrendo o rompimento das correias de acionamento do soprador do secador de hidrato. Devido à recorrência das falhas e uma busca ao rompimento do círculo vicioso das falhas, visa-se a redução das ocorrências de falhas no equipamento, para isso, julga-se necessário à elaboração de um sistema de tratamento de falhas, seguindo as etapas apresentadas a seguir.

#### 4.3.1 Registro básico da ocorrência da falha

A detecção da falha foi feita pelo próprio operador do equipamento. O soprador de hidrato de alumina deixou de operar devido ao rompimento das correias de acionamento, acarretando o travamento do mesmo.

O fluxograma presente na Figura 10 mostra como a informação da ocorrência da falha sai diretamente da fonte e alcança os níveis hierárquicos superiores do departamento de manutenção da empresa estuda.

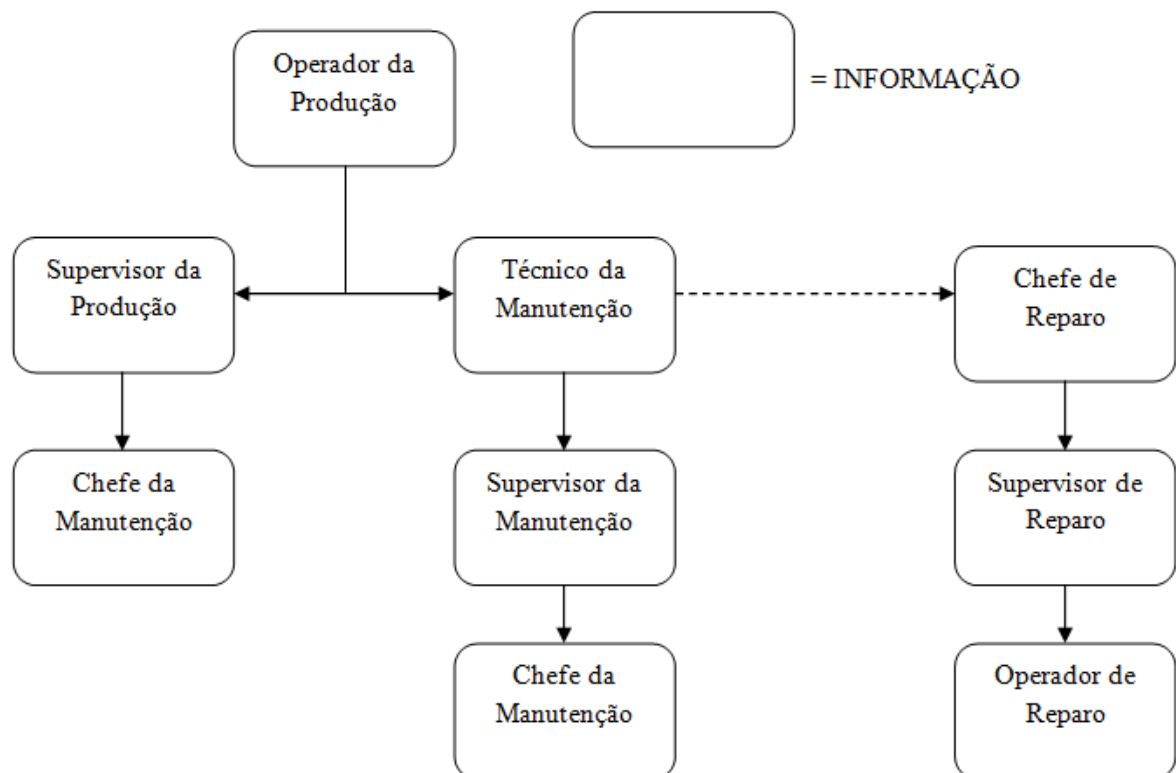


Figura 10: Fluxograma de informações para relato das falhas  
Fonte: Pesquisa direta (2019)

Como mostrado na Figura 10, após a detecção da falha o operador se dirigiu até a área de manutenção de seu grupo e fez um comunicado verbal de maneira simples e direta com os técnicos da manutenção a respeito da falha e solicitando o reparo do mesmo, o mais rápido possível.

Com a interrupção do equipamento, a produção é interrompida. Com o objetivo de restabelecer o funcionamento imediato do equipamento, a equipe de manutenção decide aplicar ações corretivas, fazendo a troca do soprador e das correias. Além disso, novas polias foram montadas de acordo com o projeto do equipamento.

### 4.3.2 Investigação das causas fundamentais da falha

Após a investigação inicial feita pelo operador, a equipe de manutenção deu prosseguimento à investigação das causas fundamentais pelo “Método do Por Quês”. Durante a tomada das ações corretivas, foi necessário perguntar “por quê?” cinco vezes até que as verdadeiras causas fundamentais do travamento do soprador de hidrato e rompimento das correias fossem reveladas (Figura 11).

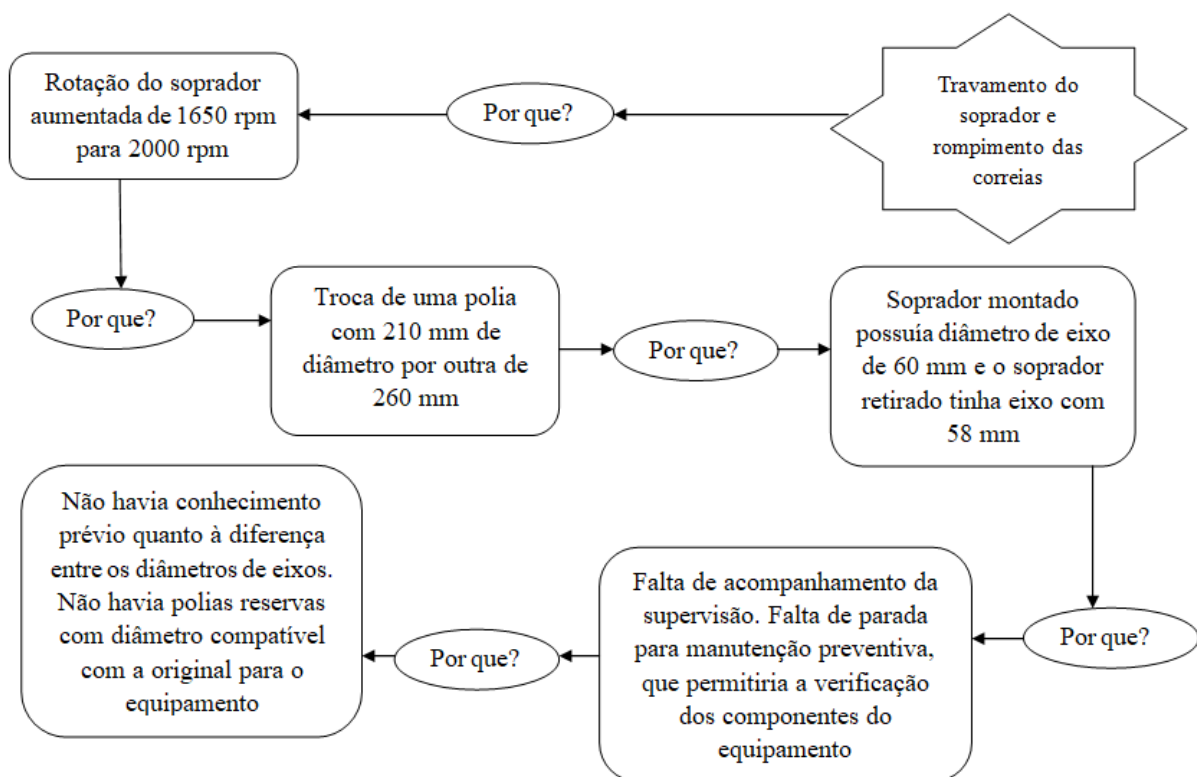


Figura 11: “Método dos Por Quês” para investigação das Causas Fundamentais  
Fonte: Pesquisa direta (2019)

Observa-se na Figura 11, a aplicação dos “Por Quês” e suas respectivas respostas.

#### 1º POR QUE?

- Travamento devido à rotação do soprador ter sido aumentada de 1650 rpm para 2000 rpm, sendo que a rotação máxima suportada pelo equipamento é 1900 rpm.

#### 2º POR QUE?

- Travamento por ter colocado outro soprador com polia movida com diâmetro de 260 mm e a que estava instalada era de 210 mm.

#### 3º POR QUE?

- O soprador montado na primeira ocorrência possuía diâmetro de eixo de 60 mm e o soprador retirado tinha eixo com diâmetro de 58 mm, assim a polia que foi montada no novo soprador tinha diâmetro menor que o requerido, pois a original não permitia a montagem no novo soprador.

#### 4º POR QUE?

- Não havia o conhecimento prévio quanto à diferença entre os diâmetros de eixo entre os equipamentos que são intercambiáveis antes da necessidade de montagem;
- Não havia polias reservas com diâmetro compatível com a original para o equipamento, assim foi montada a polia com diâmetro menor como solução imediata para liberar o equipamento para operação.

#### 5º POR QUE?

- Falta de acompanhamento pela supervisão para providenciar a polia correta para o equipamento;
- Falta de parada para manutenção preventiva o que permitiria a verificação dos competentes do equipamento.

Após a investigação das causas fundamentais da falha, a causa é apurada e conclui-se que houve excesso de temperatura que travou o soprador e arreventou as correias, devido à montagem da polia com diâmetro incorreto.

### 4.3.3 Estabelecimento das contramedidas

A fim de assegurar que as causas fundamentais das falhas sejam eliminadas por definitivo, faz-se necessário a elaboração de contramedidas. A Tabela 6 apresenta um plano de ação (5W1H) para a falha do soprador de hidrato de alumina.

Tabela 6: Plano de Ação (5W1H)

Contramedidas (What)	Justificativa (Why)	Responsável (Who)	Local (Where)	Cronograma (When)	Procedimento (How)
Treinar a equipe de manutenção do soprador.	Evitar parada não programada para troca de correias.	Supervisor de Manutenção.	Centro de convenções da empresa e área da Alumina.	Semestralmente.	Elaborar apresentação sobre a importância do uso de correio de polias e correias.
Fazer croqui da nova polia.	Necessidade de projetar uma polia para fabricação.	Engenheiro de Manutenção.	Departamento de manutenção.	Imediatamente.	Fazer um esboço feito à mão, sem a exigência de traços precisos. A fim de transmitir de forma rápida e detalhada o projeto.
Fabricar nova polia.	Aumentar o estoque de polias com dimensões corretas.	Engenheiro de Manutenção.	Setor de Fundação	Quinzenalmente	Fabricar nova polia pelo processo de fundição.
Planejar parada e troca de polia e correias.	Permitir a verificação dos componentes do equipamento.	Engenheiro de Manutenção.	Departamento de manutenção.	Quinzenalmente	Acrescentar no plano de manutenção no sistema TOTVS a preventiva.
Definir procedimento de manutenção para troca de polias.	Reforçar a necessidade de verificação de polias e correias quanto a diâmetro, perfil e comprimento.	Técnico de Manutenção	Departamento de manutenção.	Semestralmente.	Ver especificação de diâmetros para polias movida e motora por equipamento
Treinar a equipe de manutenção do soprador.	Limpeza do equipamento afeta funcionamento	Departamento de manutenção	Centro de convenções da empresa e área da Alumina.	Semestralmente	Elaborar apresentação sobre a importância das inspeções e limpeza do soprador.

Fonte: Pesquisa direta (2019)

A Tabela 6 apresenta uma sugestão de um plano de ação de manutenção para o soprador de hidrato de alumina no que se refere ao rompimento das correias e travamento do soprador.

Com a aplicação das ações contidas no 5W1H, espera-se de maneira segura e eficaz eliminar as falhas no soprador de hidrato, a fim de evitar paradas não programadas e garantir maior produtividade para a empresa.



## **5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES**

### **5.1 Conclusões**

O objetivo do estudo foi propor um sistema de tratamento de falhas de um soprador de hidrato de alumina da empresa avaliada. Para tal, uma pesquisa exploratória alinhada de um estudo teórico sobre as ferramentas de manutenção resultou no embasamento das tomadas de decisões.

As etapas do trabalho, como caracterização da empresa e do equipamento que apresentava falhas recorrentes, registro da ocorrência das falhas, investigação das causas fundamentais da falha, e por fim o estabelecimento de contramedidas permitiu propor a elaboração de um sistema de falhas para o soprador de hidrato de alumina de uma indústria química.

Vale ressaltar que mesmo com ações de contramedidas, algumas falhas podem voltar a ocorrer. Neste caso, somente a análise periódica dos registros de falhas será capaz de identificar os problemas crônicos do equipamento. Poucas falhas são significativas e muitas são triviais, sendo assim, fazendo-se a análise dos dados através dos registros de falhas será possível saber como revolver os problemas de forma econômica, ficando evidenciada a necessidade de traçar-se gráficos de Pareto para permitir a visualização da frequência das falhas no equipamento.

Com a implementação da proposta é possível concluir-se, baseado na base teórica, que com a aplicação do sistema de falhas se tem um menor número de paradas emergenciais, aumentando a disponibilidade do equipamento que resultará em uma redução no custo e aumento na produtividade da empresa.

### **5.2 Recomendações**

Após propor o sistema de tratamento de falhas neste trabalho, recomenda-se a algumas propostas para estudos futuros:

- Fazer melhorias futuras para o sistema de tratamentos de falhas para o soprador de hidrato de alumina, a partir do PDCA.
- Propor estudos de elaboração de planos de manutenção preventiva, visando à revisão do plano de manutenção e implementação de rotas de inspeção.

- Propor melhorias para a manutenção o soprador de alumina, a partir do plano de ação 5W2H.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABAL - Associação Brasileira do Alumínio <<http://abal.org.br>> Acesso em 05 de julho de 2019.

ALMEIDA, Márcio Tadeu de. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. Disponível em: < <http://www.mtaev.com.br/download/mnt1.pdf> > Acesso em 10 set. 2019.

CAMPOS, V. F. Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia. 8ª Ed., INDG Tecnologia e Serviços Ltda. Belo Horizonte, 2004.

CARIDADE, Annelise Vendramini da Silva. **Práticas de Gestão Estratégica e Aderência ao Método Sigma: Um estudo de Caso no Setor de Celulose e Papel**. São Paulo: USP, 2006.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral <<http://www.dnpm.gov.br>> Acesso em 05 de julho de 2018.

FAGUNDES, L. D.; ALMEIDA, D. A. **Mapeamento de falhas em concessionárias do setor elétrico: padronização, diagramação e parametrização**. Bauru – SP, 2004.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GURSKIE, C. A. G.; RODRIGUES, M. **Planejando estrategicamente a manutenção**. XVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, 2008.

KARDEC, A; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2009.

KARDEC, A.; CARVALHO, C. **Gestão estratégica e terceirização**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. São Paulo: Atlas 2003.

MONCHY, François. **A Função Manutenção**. São Paulo: Durban, 1987.

NBR 5462 **Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT –Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1994. 37p.

OHNO, T. O sistema Toyota de produção além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OMEL Bombas e Compressores <<http://omel.com.br>> Acesso em 05 de julho de 2019.

OTANI, M.; MACHADO, W. V. (2008). **A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial**. Revista Gestão Industrial, v.4.

PINTO, A. K.; FLORES, J. F.; SEIXAS, E. **Gestão estratégica e indicadores de desempenho**. Rio de Janeiro: Qualitymark: ABRAMAN, 2002.

PINTO, A. K.; XAVIER, J. A. N. **Manutenção: função estratégica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymak, 2001.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. Administração da Produção (Operações Industriais e de Serviços). Curitiba: UnicenP, 2007.

RODRIGUES, M. **Manutenção industrial em Curitiba e cidades circunvizinhas: Um diagnóstico atual**. Dissertação de mestrado apresentada ao Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Curitiba, 2003.

RUDIO, F. V. **Introdução ao projeto de pesquisa científica**. 4.ed. Petrópolis: Vozes, 1980.

SAMPAIO, J. A.; ANDRADE, M. C.; DUTRA, A. J. B. Bauxita. Centro de Tecnologia Mineral - CETEM. **Comunicação Técnica elaborada para o Livro Rochas Minerais Industriais: Usos e Especificações Parte 2 – Rochas e Minerais Industriais: Usos e Especificações**, cap. 14, 2008, p. 311 – 337.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

SILVA, J. A. **Apostila de Controle da Qualidade I**. Juiz de Fora: UFJF, 2006.

XENOS, H. G. **Gerenciando a manutenção produtiva**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.

WEISS, A.E. Key business solutions: essential problem-solving tools and techniques that every manager needs to know. Grã-Bretanha: Pearson Education Limited, 2011.

Certifico que o aluno **Maksuell Renê dos Reis**, autor do trabalho de conclusão de curso intitulado **“Proposta de um sistema de tratamento de falhas para o equipamento soprador de hidrato de alumina: o caso de uma indústria química”**, efetuou as correções sugeridas pela banca examinadora e que estou de acordo com a versão final do trabalho.

*Washington Luís Vieira da Silva*

---

DSc. Washington Luís Vieira da Silva

Orientador

Ouro Preto, 17 de dezembro de 2019