

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE**

**GIUSSEPP KELSON CASTRO MORAIS**

**ESTUDO E APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA  
CONFIABILIDADE NA CENTRAL DE ÁGUA GELADA DE UMA  
ACIARIA**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA  
2017**

**GIUSSEPP KELSON CASTRO MORAIS**

**ESTUDO E APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA  
CONFIABILIDADE NA CENTRAL DE ÁGUA GELADA DE UMA  
ACIARIA**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rodrigues

Co-orientador: Prof. Dr. Emerson Rigoni

**CURITIBA**

**2017**



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Curitiba  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica  
Especialização em Engenharia da Confiabilidade



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **ESTUDO E APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE NA CENTRAL DE ÁGUA GELADA DE UMA ACIARIA**

por

Giussepp Kelson Castro Morais

Esta monografia foi apresentada em 10 de novembro de 2017, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno Giussepp Kelson Castro Morais foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Marcelo Rodrigues Dr.  
Membro Titular da Banca - UTFPR

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.  
Professor Orientador - UTFPR

---

Prof. Carlos Henrique Mariano Dr.  
Membro Titular da Banca - UTFPR

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha esposa Luciana Silva de Oliveira e a minha filha Luísa Oliveira Moraes que me apoiaram a seguir em busca desse conhecimento e pela compreensão que tiveram pelas minhas ausências nos finais de semanas em busca dessa conquista.

Agradeço a ArcelorMittal Tubarão que custeou toda a especialização e disponibilizou os dados para este trabalho e sem a qual a execução desta monografia não seria possível.

Reconheço o apoio dos meus colegas de trabalho que me auxiliaram na execução desse trabalho, assim como os colegas de classe que me ajudaram na obtenção dos conhecimentos na área de confiabilidade compartilhando as experiências vividas de cada um deles durante a especialização.

Gostaria de agradecer aos Professores M.Sc. Marcelo Rodrigues e Dr. Emerson Rigoni quem me orientaram na execução desse estudo, contribuindo com esse resultado. Além dos demais professores que contribuíram com o conhecimento obtido com a especialização na Universidade Tecnológica do Paraná (UTFPR).

## RESUMO

MORAIS, Giussepp. Estudo e Aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade. 2017. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017

Esse trabalho pretende aplicar a metodologia de Manutenção Centrada na Confiabilidade baseada na ferramenta FMECA (Análise de Criticidade, Modos e Efeitos de Falhas na Central de Água Gelada (CAG) que é responsável por fazer a climatização das salas elétricas e de controle da Aciaria. A fase inicial desse trabalho consiste na elaboração de um descritivo do contexto operacional, contendo as informações necessárias para o entendimento completo do processo onde a CAG é aplicada, o papel desempenhando e sua relevância para o negócio da empresa. Após essa etapa, com a participação da operação e manutenção será relacionada às funções da CAG juntamente com os padrões de desempenho e suas falhas funcionais. Os modos de falhas das falhas funcionais serão definidos através dos históricos de falhas registrados no SISMANA (Sistema de Gestão da Manutenção da ArcelorMittal Tubarão), da experiência dos técnicos de inspeção e manual do equipamento. Será avaliado o grau de risco de cada modo de falha baseado em sua severidade, ocorrência e detectibilidade para posteriormente serem classificados em ordem de prioridade. Os modos de falha classificados com criticidade alta e média serão direcionados para uma matriz de decisão onde definirá a melhor estratégia de manutenção para os itens. Os modos de falha classificados com criticidade baixa serão tratados com tarefas corretivas. Após definidas as tarefas que atenda os requisitos de viabilidade técnica e efetividade de custo para o gerenciamento de cada modo de falha, as mesmas serão inseridas no Sismana por meio de planos de inspeção ou serviços. Após conclusão do FMECA será criada uma lista de sobressalentes críticos baseada na viabilidade econômica de se realizar uma tarefa por condição/restauração ou tarefa corretiva, se a falta do sobressalente interfere na função principal da CAG, custo e lead time do sobressalente. Devido à existência de apenas um Chiller (equipamento destinado a resfriar a água) na CAG, um plano de contingência será elaborado para mitigação dos riscos em caso falha funcional da CAG. Durante o estudo, dificuldades serão encontradas como, ausência de dados, informações e tarefas de rotina concorrendo com a elaboração desse trabalho, mas alternativas deverão ser buscadas para que não comprometam os resultados. Espera-se com a aplicação desse estudo a otimização dos planos de manutenção, reduzindo os custos com manutenção corretiva e preventiva, aumentando a confiabilidade da planta.

**Palavras-chave:** Manutenção Centrada na Confiabilidade. FMECA. Central de Água Gelada.

## ABSTRACT

MORAIS, Giussepp. Study and Application of Reliability Centered Maintenance. 2017. Monograph (Specialization in Reliability Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2017

This work intends to apply the Reliability Centered Maintenance methodology based on the FMECA tool (Criticality Analysis, Modes and Effects of Failures in the Cold Water Center (CAG), which is responsible for air conditioning in the electric and control rooms of the Steelworks. The initial phase of this work consists in the elaboration of a descriptive of the operational context, containing the information necessary for a complete understanding of the process where CAG is applied, the role and its relevance to the company's business. operation and maintenance will be related to the CAG functions along with the performance standards and their functional failures. Failure modes of functional failures will be defined through the failure histories recorded in the SISMANA (ArcelorMittal Tubarão Maintenance Management System), experience inspectors and equipment manual. o the degree of risk of each mode of failure based on its severity, occurrence and detectability to later be classified in order of priority. The fault modes classified with high and medium criticality will be directed to a decision matrix where they will define the best maintenance strategy for the items. Fault modes classified with low criticality will be treated with corrective tasks. Once the tasks that meet the requirements for technical feasibility and cost effectiveness for the management of each failure mode are defined, they will be entered into the Sismana through inspection plans or services. After completion of the FMECA a list of critical spare parts will be created based on the economic viability of performing a task by condition / restoration or corrective task if the lack of the spare interferes with the main function of the CAG, cost and lead time of the spare. Due to the existence of only one Chiller (equipment intended to cool the water) in the CAG, a contingency plan will be prepared to mitigate the risks in case of functional failure of the CAG. During the study, difficulties will be encountered, such as lack of data, information and routine tasks competing with the preparation of this work, but alternatives should be sought so as not to compromise the results. We hope to apply this study to optimize maintenance plans, reducing costs with corrective and preventive maintenance, increasing plant reliability

**Key-words:** Reliability Centered Maintenance. FMECA. Cold Water Center.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Circuito Frigorífico por Compressão.....	23
Figura 2.2 – Bomba Centrífuga.....	24
Figura 2.3 – Fluxo de líquido de uma bomba centrífuga.....	25
Figura 2.4 – Compressor parafuso semi-hermético em corte.....	26
Figura 2.5 – Trocador de calor casco e tubos com um passe no casco e um passe nos tubos (modo de operação com escoamento cruzado em contracorrente).....	28
Figura 3.1 – Permitindo a deterioração.....	38
Figura 3.2 – Intervalo PF.....	40
Figura 3.3 – Análise das Causas Raízes das Falhas.....	42
Figura 3.4 – Consequência de Falhas.....	44
Figura 4.1 – Fluxo de Produção da ArcelorMittal Tubarão.....	47
Figura 4.2 – Procedimento de Referência para Implantação da MCC.....	48
Figura 4.3 – Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 0.....	50
Figura 4.4 – Diagrama de Aderência ao MCC.....	51
Figura 4.5 – Critérios de Criticidade para Equipamentos.....	53
Figura 4.6 – Fator de Correção para Faixa de Criticidade.....	53
Figura 4.7 – Classificação Final de Criticidade.....	54
Figura 4.8 – Diretrizes de Manutenção em Função da Criticidade do Ativo.....	54
Figura 4.9 – Cronograma de Implantação do MCC na CAG.....	55
Figura 4.10 – Histórico de falhas da CAG no período de ago/07 à ago/17.....	56
Figura 4.11 – Fluxograma do sistema selecionado.....	57
Figura 4.12 – Fluxograma da CAG com os <i>chiller's</i> , bombas de água gelada, bombas de água de condensação e tanques de expansão.....	58
Figura 4.13 – Cadastro da CAG até o nível de manutenibilidade.....	69
Figura 4.14 – Componentes do Chiller N°3.....	60
Figura 4.15 – Trocadores de Calor Intermediário.....	63
Figura 4.16 – Classificação de Severidade.....	65
Figura 4.17 – Classificação de Ocorrência.....	65
Figura 4.18 – Classificação de Detecção.....	66
Figura 4.19 – Lógica de Decisão da Classificação dos Modos de Falhas.....	67
Figura 4.20 – Seleção de Tarefas de Manutenção.....	68

Figura 4.21 – Exemplo de Estrutura de Texto para Inspeção em Cabos de Aço.....	69
Figura 4.22 – Modelo de Priorização de Sobressalentes Críticos.....	119
Fotografia 2.1 – Chiller de Condensação à Água.....	22
Fotografia 4.1 – Bombas de água gelada.....	61
Fotografia 4.2 – Tanques de expansão de água gelada.....	61
Fotografia 4.3 – Bombas de água de condensação.....	64
Quadro 4.1 – Formulário Etapa 0 Critério 1.....	71
Quadro 4.2 – Formulário Etapa 0 Critério 2.....	72
Quadro 4.3 – Formulário Etapa 0 Critério 3.....	72
Quadro 4.4 – Formulário Etapa 0 Critério 4.....	73
Quadro 4.5 – Formulário Etapa 0 Critério 5.....	73
Quadro 4.6 – Formulário Etapa 2 - Tabela de Definição de Fronteiras.....	74
Quadro 4.7 – Formulário Etapa 03 - Análise dos Modos de Falha, seus Efeitos e sua Criticidade (FMECA) do <i>Chiller</i> N°3.....	79
Quadro 4.8 – Formulário Etapa 03 - Análise dos Modos de Falha, seus Efeitos e sua Criticidade (FMECA) do Circuito de Água Gelada.....	92
Quadro 4.9 – Formulário Etapa 03 - Análise dos Modos de Falha, seus Efeitos e sua Criticidade (FMECA) do Circuito de Água Condensação.....	97
Quadro 4.10 – Formulário Etapa 04 – Seleção das Funções Significantes e Classificação dos seus Modos de Falha do Chiller N°3.....	102
Quadro 4.11 – Formulário Etapa 04 – Seleção das Funções Significantes e Classificação dos seus Modos de Falha do Circuito de Água Gelada.....	105
Quadro 4.12 – Formulário Etapa 04 – Seleção das Funções Significantes e Classificação dos seus Modos de Falha do Circuito de Água Condensação.....	106
Quadro 4.13 – Formulário Etapa 05 – Seleção das Tarefas de Manutenção Aplicáveis e Efetivas do Chiller N°3.....	108
Quadro 4.14 – Formulário Etapa 05 – Seleção das Tarefas de Manutenção Aplicáveis e Efetivas do Circuito de Água Gelada.....	111
Quadro 4.15 – Formulário Etapa 05 – Seleção das Tarefas de Manutenção Aplicáveis e Efetivas do Circuito de Água Condensação.....	112
Quadro 4.16 – Formulário Etapa 06 – Definição dos Intervalos Iniciais e Agrupamento das Tarefas de Manutenção do Chiller N°3.....	114



Quadro 4.17 – Formulário Etapa 06 – Definição dos Intervalos Iniciais e Agrupamento das Tarefas de Manutenção do Circuito de Água Gelada.....	116
Quadro 4.18 – Formulário Etapa 06 – Definição dos Intervalos Iniciais e Agrupamento das Tarefas de Manutenção do Circuito de Água Condensação.....	117
Quadro 4.19 – Plano de Contingência da CAG.....	121

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

- CA -> *Criticality Analysis*  
Análise Crítica
- CAG -> Central de Água Gelada
- CMMS -> *Computerized Maintenance Management System*  
Sistema Informatizado da Gestão da Manutenção – Sistema de Gestão de Manutenção
- FCSA -> ArcelorMittal Aços Planos América do Sul
- FFA -> *Federal Aviation Authority*  
*Autoridade Federal de Aviação*
- FMEA -> *Failure Mode and Effect Analysis*  
Metodologia de Análise do Tipo e Efeito de Falha
- FMECA -> Análise de Criticidade, Modos e Efeitos de Falhas
- LCCA -> *Life Cycle Cost Analysis*  
Análise do Custo do Ciclo de Vida
- MCC -> Manutenção Centrada na Confiabilidade
- RCM -> *Reability Centered Maintenance*  
Manutenção Centrada em Confiabilidade
- SAE -> *Society of Automotive Engineers*  
Sociedade de Engenheiros Automotivos
- TPM -> Manutenção Produtiva Total

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1	. PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA .....	15
1.2	OBJETIVOS .....	16
1.2.1	Objetivo Geral .....	16
1.2.2	Objetivos Específicos .....	16
1.3	JUSTIFICATIVA .....	17
1.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	18
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	19
<b>2.</b>	<b>CENTRAL DE ÁGUA GELADA .....</b>	<b>20</b>
2.1	ASPECTOS GERAIS .....	20
2.2	DESCRIÇÃO OPERACIONAL GERAL .....	20
2.3	PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS .....	22
2.3.1	Chiller .....	22
2.3.2	Bomba Centrífuga .....	24
2.3.3	Compressor Parafuso .....	25
•	Compressores centrífugos ou turbo compressores. ....	26
2.3.4	Trocador de Calor .....	27
2.4	SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....	29
<b>3.</b>	<b>MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE .....</b>	<b>29</b>
3.1	INTRODUÇÃO .....	29
3.2	NORMALIZAÇÃO DA MCC .....	31
3.3	OBJETIVOS DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE .....	31
3.4	APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE .....	32
3.5	NÍVEL DE ANÁLISE .....	34
3.5.1	Nível Muito Baixo .....	34
3.5.2	Nível Muito Alto .....	34
3.6	CONTEXTO OPERACIONAL .....	35
3.7	FUNÇÕES .....	36
3.7.1	Considerações Normatizadas e Bibliográficas: .....	36
3.7.2	Classificação das Funções .....	36
3.7.3	Funções Primárias .....	37
3.7.4	Funções Secundárias .....	37
3.7.5	Padrões de Desempenho .....	37
3.8	FALHAS .....	38
3.8.1	Considerações Normatizadas e Bibliográficas: .....	39
3.8.2	Conceitos Correlatos .....	39
3.8.3	Modos de Falhas .....	40
3.8.4	Causas dos Modos de Falhas .....	41
3.8.5	Efeitos da Falha .....	42

3.8.6	Consequências de Falhas .....	43
3.9	POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO .....	45
3.9.1	Tarefas Proativas .....	45
3.9.2	Ações Default .....	45
3.10	SINTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO.....	46
<b>4.</b>	<b>ESTUDO DE MCC PARA UMA CENTRAL DE ÁGUA GELADA.....</b>	<b>47</b>
4.1	ETAPAS DE IMPLANTAÇÃO DO MCC .....	48
4.1.1	Etapa 0 - Adequação da MCC.....	49
4.1.2	Etapa 01 – Preparação.....	52
	<b>Etapas a serem desenvolvidas: .....</b>	<b>55</b>
	<b>CRONOGRAMA DE ATIVIDADES:.....</b>	<b>55</b>
4.1.3	Etapa 02 - Seleção do Sistema e Coleta de Informação .....	55
4.1.3.1	Contexto Operacional.....	57
4.1.4	Etapa 03 – Análise dos Modos de Falhas, seus Efeitos e sua Criticidade. ...	63
4.1.5	Etapa 04 - Seleção das Funções Significantes e Classificação de seus Modos de Falhas.....	64
4.1.6	Etapa 05 - Seleção das Tarefas de Manutenção Aplicáveis e Efetivas.....	68
4.1.7	Etapa 06 - Intervalos Iniciais e Agrupamento das Tarefas de Manutenção...	69
4.1.8	Etapa 07 – Redação do Manual e Implementação.....	70
4.1.9	Etapa 08 – Acompanhamento e Realimentação .....	70
4.2	FORMULÁRIOS DE IMPLEMENTAÇÃO DO MCC.....	71
4.3	SOBRESSALENTES CRÍTICOS.....	119
4.4	PLANO DE CONTINGÊNCIA.....	120
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>122</b>
5.1	TRABALHOS FUTUROS .....	123

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos 17 anos, a manutenção evoluiu talvez mais do que qualquer outra disciplina de gerenciamento. As alterações devem-se a um grande aumento no número e diversidades de itens físicos, (instalações, equipamentos, e construções) que tem de ser mantidos em todo o mundo. Projetos muito mais complexos, novas técnicas de manutenção e novos enfoques sobre a empresa e a responsabilidade de manutenção (MOUBRAY, 2000).

A manutenção também reage a novas expectativas. E essas incluem uma crescente conscientização do quanto uma falha de equipamento afeta a segurança e o meio ambiente, a relação entre manutenção e qualidade do produto e a maior pressão para atingir a alta disponibilidade da instalação, contendo-se ao mesmo tempo os custos (MOUBRAY, 2000). Em função disso, a responsabilidade a ser assumida pelas áreas de manutenção tende a ser bem mais abrangente. Essas áreas devem buscar a melhoria contínua no gerenciamento dos processos de trabalho. Assim, a manutenção representa uma das atividades fundamentais no processo produtivo organizacional, ao ser vista como mola propulsora, que pode levar uma empresa a destacar-se, a partir de diferenciais competitivos (CHAVEZ e MEDEIROS, 1998).

A manutenção passa a ter uma função estratégica voltada para os resultados da empresa, não apenas reparar os equipamentos no menor tempo, mas manter a função operacional, aumentando a sua confiabilidade e disponibilidade (NACIF, 2009).

A gestão da manutenção nas organizações exige que seus gestores tenham conhecimentos sobre várias disciplinas, como manutenção, planejamento, gestão de pessoas e de engenharia. A manutenção tem como seu principal objetivo encontrar o ponto de equilíbrio entre o custo e benefício que maximize suas contribuições para a rentabilidade da organização (CABRAL, 2006).

Na busca de melhoria em competitividade, as empresas vêm evoluindo o sistema de gestão de ativos passando a implantar programas de manutenção como Manutenção Produtiva Total (TPM) ou Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC). Para FOGLIATTO e RIBEIRO (2009) o programa de Manutenção Centrada na Confiabilidade apresenta uma manutenção mais eficiente, contribuindo para o alcance da excelência nas atividades de manutenção.

O MCC é um processo usado para se determinar de maneira sistemática e cientificamente o que deve ser feito para assegurar que os sistemas operacionais continuem a atender as necessidades de seus usuários. Amplamente conhecido pelos profissionais de manutenção como o melhor caminho de custo efetivo para se desenvolver estratégias de *Word-Class Maintenance*, o MCC proporciona a obtenção de uma rápida, sustentável e substancial melhoria na disponibilidade e confiabilidade da planta, bem como da qualidade do produto, aspecto de segurança e meio ambiente (MORTELARI; SIQUEIRA; PIZZAT, 2012).

Dentre as metodologias e ferramentas conhecidas de confiabilidade, o MCC se destaca por ser a única desenvolvida especificamente para determinar um plano claro e bem definido de ações para garantir a confiabilidade dos ativos. Portanto, o MCC é uma metodologia que foi desenvolvida para a gestão de ativos complexos e com alta criticidade (MORTELARI; SIQUEIRA; PIZZAT, 2012).

Devido à necessidade de se aumentar a competitividade, as empresas têm buscado formas de tornar os processos mais eficientes e o MCC tem se tornado uma ferramenta chave para obtenção desses resultados.

A partir de John Moubray, a metodologia MCC tem sido utilizada nos mais diversos seguimentos de mercado e das mais variadas formas, adequadas ou não, porem sempre apresentando bons resultados.

A aplicação da confiabilidade nos ativos tem aumentado nas empresas, bem como o significado do conceito de confiabilidade tem sido mais bem compreendido. Intensas procuras envolvendo aspectos de segurança, meio ambiente e, nos dias atuais principalmente custos têm norteado as empresas a procurarem uma resposta eficaz para a solução das falhas que ocorrem no dia a dia em seus processos produtivos (MORTELARI; SIQUEIRA; PIZZAT, 2012).

A confiabilidade passa então a ser considerada um dos principais pilares de uma organização, sendo acompanhada pela alta gestão da empresa que suportará as decisões tomadas pelas equipes de gestão de ativos.

Essa monografia irá apresentar a nova estrutura do plano de manutenção desenvolvido para a Central de Água Gelada (CAG) de uma Aciaria.

## 1.1. PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

Entre o período de 2005 e 2007 a empresa passou por um processo de expansão em sua capacidade de produção aumentando de 5Mt/ano para 7.5Mt/ano de aço, onde foi necessário nesse projeto a instalação de um terceiro *chiller* na CAG da Aciaria. A CAG faz parte do sistema de ar condicionado da Aciaria onde tem como função o envio de água gelada a uma temperatura entre 6,7°C e 12°C para os *fancoils* instalados nas salas elétricas, cabines de operação e laboratório responsáveis por fazer a climatização desses ambientes.

Atualmente a empresa opera apenas com o terceiro *chiller*, os dois primeiros *chiller's* que operavam antes da expansão da empresa, hoje já não operam mais devido o fim do seu ciclo de vida. Os equipamentos perderam eficiência, não entregando a capacidade exigida, apresentam baixa confiabilidade devido ao grande número de falhas em intervalos curtos de tempo além dos *spare parts* serem importados apresentando custo e *lead time* elevados. Diante desses fatores ficou inviável em se manter esses equipamentos em operação.

Com o resfriamento da água sendo realizado apenas pelo *chiller* nº3, isso faz com que esse equipamento seja de alta criticidade para o processo da Aciaria, pois uma parada por falha do mesmo geraria aquecimento nos ambientes climatizados acarretando queima dos componentes eletroeletrônicos, interrupção das análises das amostras de aço produzida e como consequência de tudo isso a parada do processo da Aciaria.

O plano de manutenção atual dos *chiller's* foi elaborado quando se tinha 3 equipamentos em condições de operação, onde nessa condição a criticidade dos ativos não era alta. Esse plano foi construído com base na experiência da equipe de manutenção e com algumas informações do manual do fabricante.

A condição atual da CAG exige um tratamento diferenciado na gestão dos planos de manutenção, pois a parada do único *chiller* em condições de operação geraria consequências operacionais severas, com impacto em toda cadeia produtiva da empresa.

Diante desse novo cenário de operação da CAG, enxergou-se a necessidade de implantar um programa de manutenção centrado na confiabilidade do ativo.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um estudo de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) em uma Central de Água Gelada (CAG) para implementar tarefas de manutenção com ações bem definidas, aplicáveis e efetivas.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Esse trabalho apresenta os seguintes objetivos específicos para o atendimento ao objetivo geral:

- ✓ Aplicar as etapas da metodologia da MCC no desenvolvimento desse trabalho;
- ✓ Envolver a equipe de manutenção de refrigeração no desenvolvimento do estudo;
- ✓ Elaborar lista de sobressalentes críticos conforme metodologia adotada na ArcelorMittal;
- ✓ Elaborar plano de contingência para obter ações de respostas rápidas em caso de falha do sistema estudado.



### 1.3 JUSTIFICATIVA

Para John Moubray, não basta executar certo as ações de manutenção, (ser eficiente) é preciso executar certo as ações certas (ser eficaz) (MOUBRAY, 2000).

Programas tradicionais de manutenção difundem a ideia de que todas as falhas devem ser evitadas, mas com uma análise detalhada é possível observar que nem todo modo de falha gera consequências à segurança, meio ambiente e operacional e que evitar esses modos de falhas pode aumentar significativamente os custos de operação de uma empresa fazendo com que perca competitividade no mercado.

Deshpande e Modak (2002) afirma que a metodologia MCC oferece uma estrutura capaz de reduzir as atividades de manutenção e os custos relacionados a elas ao mínimo possível, sem afetar o desempenho da planta, qualidade do produto, a segurança ou a integridade ambiental.

O estudo e implantação do MCC na Central de Água gelada da Aciaria se justificam devido à necessidade de reduzir o número de falhas, principalmente àquelas que acarretam na perda total ou parcial da função principal levando a parada da planta da Aciaria, podendo acarretar também na interrupção do processo siderúrgico. Esse estudo se dá através da adequação dos planos de manutenção existentes elaborados pelos Técnicos de Inspeção com base na experiência e informações do fabricante para uma nova metodologia que se preconiza a preservação da função do ativo, com custo reduzido e aumento da confiabilidade, uma vez que não se possui a condição de um *chiller* em *stand by*.

## 1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Um método de pesquisa constitui-se de um conjunto de etapas ordenadas, que aliadas ao conhecimento, propiciam a investigação de um fenômeno científico. As etapas abrangem desde a escolha do tema, o planejamento da investigação, o desenvolvimento metodológico, a coleta e a tabulação de dados, a análise dos resultados, a elaboração das conclusões e finalizando a divulgação de resultados (SILVA e MENEZES, 2005).

O método de pesquisa realizado foi um estudo de caso aplicado a uma CAG de uma Aciaria, onde se buscou gerar conhecimentos para aplicação prática e orientada para a solução de problemas, no caso foi o desenvolvimento de novas práticas de manutenção para o sistema estudado.

Este estudo de caso será embasado através de uma revisão bibliográfica atualizada, identificando o tema sob o contexto e percepção de vários autores, sendo consultadas obras técnicas, didáticas e publicações de teses e dissertações.

A abordagem do método de pesquisa se dá de forma qualitativa, onde será utilizada a ferramenta FMECA (Análise de modos de falha, seus efeitos e sua criticidade) para gerar os novos planos de manutenção.

A aplicação da metodologia seguirá as seguintes etapas:

- (i) Preparação do estudo;
- (ii) Seleção do sistema e subsistema funcional;
- (iii) Análise das funções e falhas funcionais;
- (iv) Análise dos modos e efeitos falhas;
- (v) Seleção das tarefas de manutenção e elaboração do plano de manutenção;
- (vi) Comparação entre o plano de manutenção atual e o proposto pela FMEA.

Para a elaboração da lista de sobressalentes críticos será utilizada uma matriz que avalia as seguintes informações:

- (i) Criticidade do ativo;
- (ii) Sobressalente é aplicado a função principal ou secundária;
- (iii) Custo do sobressalente;
- (iv) *Lead time* de fornecimento.

Todas as etapas acima da metodologia utilizada será detalhada no capítulo 4 que apresenta o desenvolvimento desse estudo na página 46.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esse trabalho está estruturado da seguinte forma:

- Capítulo 1: Esse capítulo trata do tema da pesquisa que será explorado, o objetivo que se pretende alcançar com elaboração desse trabalho, a justificativa de se realizar esse estudo e o planejamento de aplicação do método de pesquisa.
- Capítulo 2: Será apresentado em detalhes o objeto de pesquisa desse trabalho. Este capítulo irá descrever a Central de Água Gelada e o processo na qual é aplicada. Também será abordado o referencial teórico sobre manutenção que irá sustentar o desenvolvimento desse trabalho.
- Capítulo 3: Descreverá o referencial teórico da metodologia aplicada no desenvolvimento do trabalho.
- Capítulo 4: Mostrará a aplicação do referencial teórico no desenvolvimento do trabalho, com uma breve descrição das etapas. Apresenta a aplicação da metodologia na definição da melhor estratégia de manutenção para a Central de Água Gelada da Aciaria.
- Capítulo 5: Conclui o trabalho apresentando os ganhos pretendidos com a aplicação do MCC.

## 2. CENTRAL DE ÁGUA GELADA

Este capítulo busca descrever o funcionamento da CAG e as funções dos equipamentos que compõe esse sistema, objetivando o entendimento sobre o sistema estudado.

### 2.1 ASPECTOS GERAIS

A Central de Água Gelada da Aciaria possui duas unidades de refrigeração que estão fora de operação por apresentarem baixa performance e confiabilidade, que vem elevando os custos de manutenção para mantê-las em operação. Uma terceira unidade de refrigeração denominada *Chiller*, três bombas de recirculação de água gelada, duas bombas de recirculação de água de condensação, dois trocadores de calor intermediário e dois tanques de expansão que em conjunto são responsáveis em enviar água gelada a uma temperatura para os *fancoils* responsáveis por climatizarem as salas elétricas e púlpitos da Aciaria.

### 2.2 DESCRIÇÃO OPERACIONAL GERAL

Este sistema assegura níveis de temperatura e umidade de maneira independente para cada ambiente, ajustados através da intensidade e do número de *fancoils* ligados. Os *fancoils* podem ser ligados e desligados de forma independente uns dos outros, por meio de um painel local.

O sistema funciona com um circuito mecânico de transferência de calor, interligados da seguinte forma:

- A unidade de refrigeração, por meio de um sistema de tubulação, envia água industrial de 6,7°C a 12,0°C de temperatura, a uma vazão de 372m<sup>3</sup>/h e sob uma pressão de 8,6kg/cm<sup>2</sup> (122,29 psig), para as “serpentinhas” dos *fancoils* instalados nos ambientes a serem refrigerados. Cada *fancoil* aspira o ar ambiente e o faz passar por uma serpentina. Neste momento, o ar ambiente é resfriado e a água industrial é aquecida.

- A água industrial segue aumentando a sua temperatura à medida que passa pelas serpentinas de cada um dos *fancoils*, de cada sala atendida pelo sistema. Ao retornar à unidade de refrigeração ela estará a uma temperatura de 11,3°C a 12,6°C e com a mesma vazão e pressão iniciais. A vazão e a pressão é assegurada pelos tanques de expansão ligados em série com esta tubulação. Além disso, eles evitam que bolhas de ar sejam criadas e circulem na tubulação.
- Ao retornar à unidade de refrigeração, a água é bombeada de encontro ao evaporador. Dentro dele, o gás refrigerante 407c do *Chiller* sofre um processo endotérmico de expansão e evaporação, a uma pressão de 40psig e temperatura de 1,5°C, resfriando a água industrial. Neste processo, esta água é resfriada em um  $\Delta t$  4,6 °C e enviada novamente para os *fancoils*, fechando o primeiro ciclo de troca de calor.
- O gás refrigerante que sofreu expansão no processo anterior é enviado para um compressor que o comprime a 120psig. Após ser comprimido, o gás é enviado ao condensador que o resfria até cerca de 26°C. Depois de resfriado, o gás segue para o evaporador, fechando o segundo ciclo.
- O processo de condensação é efetivado através de um sistema de serpentinas, dentro do qual circula água do mar. A água do mar vem da estação de captação de água do mar no centro de utilidades, a uma temperatura média de 26°C. Ela é bombeada para o condensador, resfriando o gás refrigerante, que circula dentro da serpentina do condensador, e sai a uma temperatura média de 30°C. Esta água do mar, depois de aquecida, é enviada novamente ao centro de utilidades, e este é o final do terceiro ciclo.

## 2.3 PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS

Nessa seção serão apresentados os principais equipamentos que faz parte da Central de Água gelada.

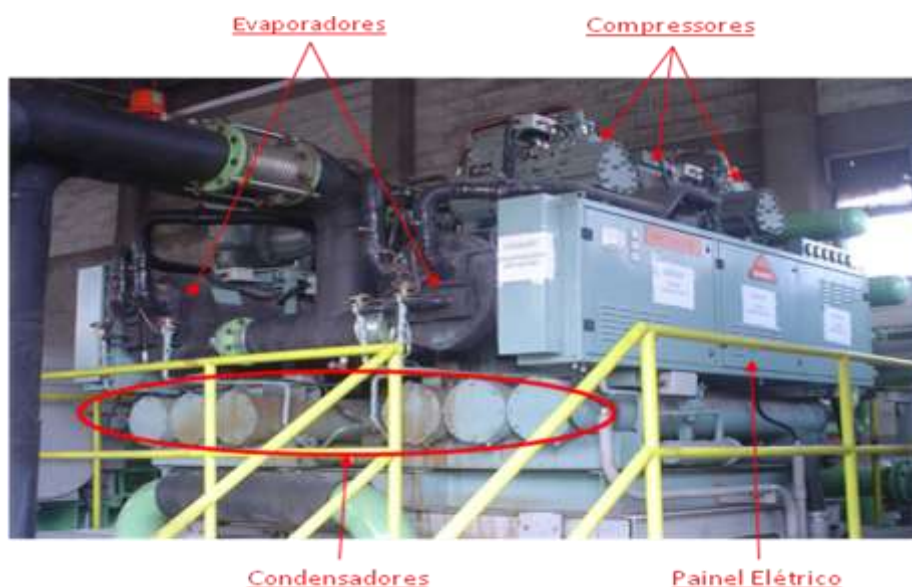
### 2.3.1 Chiller

Para produzir o condicionamento de ar para grandes áreas, tais como grandes prédios comerciais, hospitais, plantas industriais e outros ambientes são necessários outros meios para resfriar o ar. Água gelada é empregada para produzir o resfriamento necessário para reduzir a temperatura no interior desses recintos (MILLER, 2006).

O equipamento utilizado para fazer a refrigeração é o *chiller*, responsável por retirar o calor da água que será o meio refrigerante responsável por resfriar o ar no ambiente.

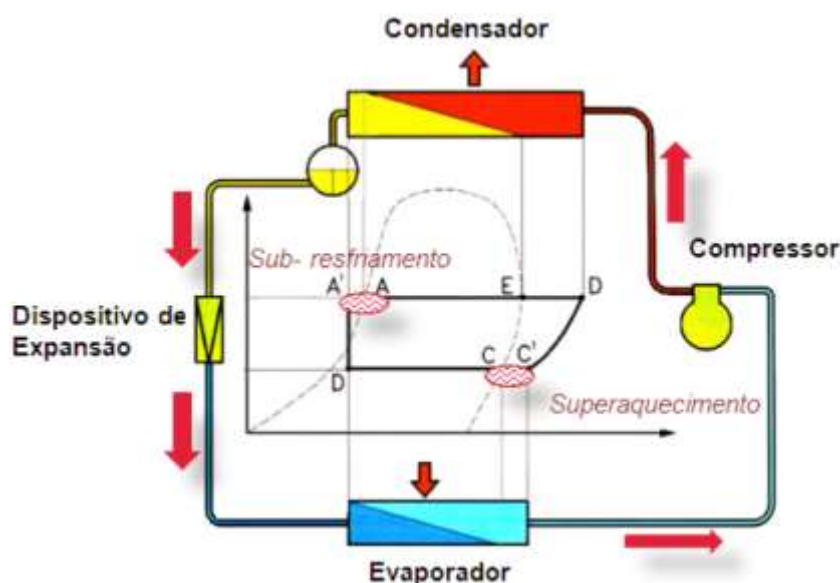
A fotografia 2.1 apresenta o *Chiller* N°3 da Aciaria que utiliza a água para fazer a condensação do fluido refrigerante.

Fotografia 2.1 – *Chiller* de Condensação à Água



O Chiller é composto por: evaporador, compressor de refrigeração, condensador e dispositivo de expansão. Estes dispositivos destinam-se a fazer a recirculação do líquido refrigerante em várias etapas, que estão demonstradas na figura 2.1.

Figura 2.1 – Circuito Frigorífico por Compressão



Fonte: <http://grupos.emagister.com> (2017)

Quando o compressor dá a partida, os impelidores extraem grandes quantidades de refrigerante na fase vapor do resfriador em uma taxa determinada pela abertura da *sliding valve*. Esta sucção reduz a pressão no interior do resfriador. Isto faz com que o refrigerante na fase líquida evapore a baixas temperaturas (1,1 a 1,7°C).

O refrigerante na fase líquida obtém energia para a mudança para vapor pela remoção de calor da água nos tubos do evaporador. A água fria pode então ser empregada para processar o resfriamento ou o condicionamento de ar, conforme desejado.

Depois de remover o calor da água, o refrigerante na forma de vapor é comprimido aumentando sua temperatura acima da temperatura da água que escoava nos tubos do condensador. O vapor comprimido é descarregado no condensador a uma temperatura entre 35 à 40°C. Assim água de condensação com temperatura menor entre 24 a 30°C remove parte do calor, condensado o vapor.

Após o refrigerante condensar, ele é direcionado para o elemento de expansão, onde ocorre a sua expansão e redução da temperatura para valores próximos a 0°C retornando para o evaporador reiniciando o (MILLER, 2006).

### 2.3.2 Bomba Centrífuga

A recirculação da água gelada entre o *Chiller* e os *fancoils* é realizada com a aplicação de bombas centrífugas, as mesmas também são utilizadas na recirculação da água do sistema de condensação, onde todo calor absorvido pelo fluido refrigerante R407C é rejeitado no processo de condensação que ocorre nos condensadores dos *Chiller*.

Bombas centrífugas são máquinas que fornecem energia ao líquido por meio da ação da força centrífuga a fim de promover o seu escoamento. Transforma o trabalho mecânico proveniente de fontes externas em energia cinética e de pressão, que são cedidos ao líquido (LIMA, 2003, p.39).

Figura 2.2 – Bomba Centrífuga



Fonte: <http://www.ksb.com.br> (2017)

O emprego da bomba centrífuga, figura 2.2 vem aumentando dia-a-dia devido sua flexibilidade operacional, baixo custo de manutenção comparando com os outros tipos de bombas e os mais altos progressos técnicos alcançados na sua fabricação.

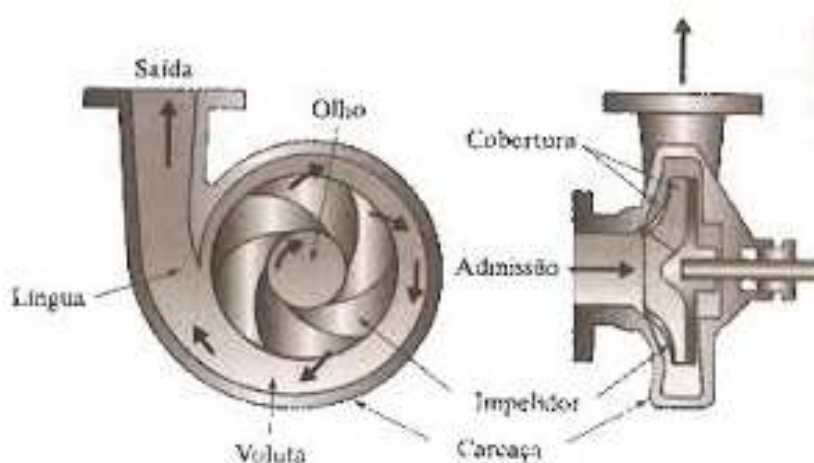
Na CAG as bombas centrífugas são utilizadas na recirculação de água gelada e água de condensação.



A disponibilidade de energia elétrica como fator econômico e o desenvolvimento de turbinas a vapor provocaram um estudo mais acurado nas terias hidráulicas das bombas centrífugas visando o seu aprimoramento técnico industrial.

Isso é notório, pois as bombas centrífugas são mais adequadas para trabalhar com grandes vazões e pressões moderadas, entretanto atualmente já se consegue bombas centrífugas capazes de desenvolver mais de 150 bar de pressão no recalque (LIMA, 2003).

Figura 2.3 – Fluxo de líquido de uma bomba centrífuga



Fonte: <http://www.ksb.com.br> (2017)

O líquido é direcionado para a região central do rotor conforme demonstrado na figura 2.3, onde entra em movimento de rotação e é impelido para a extremidade do rotor pelo efeito da força centrífuga, adquirindo velocidade e percorrendo o contorno da carcaça onde parte dessa energia de velocidade é transformada em energia de pressão e é direcionada para fora da bomba pelo bocal de descarga (LIMA, 2003).

### 2.3.3 Compressor Parafuso

O compressor é um dos quatro componentes fundamentais para a realização do ciclo frigorífico (compressor, condensador, dispositivo de expansão e

evaporador) e tem a função de provocar a circulação do fluido refrigerante no circuito frigorífico. Para o funcionamento da instalação acrescentam-se mais três componentes: as tubulações de interligação dos componentes, o fluido refrigerante e os controles. Outros componentes são considerados acessórios e, se acrescentam no sistema para a adequação, segurança e melhoria de rendimento e operação de instalação (STOECKER; JABARDO, 2002).

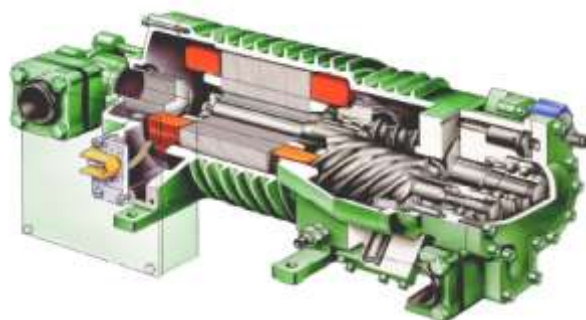
Os compressores frigoríficos dividem-se em dois grandes grupos:

- Compressores de deslocamento positivo ou volumétrico;
- Compressores centrífugos ou turbo compressores.

O compressor utilizado no equipamento em estudo é do tipo parafuso semi-hermético que se enquadra no grupo de deslocamento positivo ou volumétrico.

Os compressores do tipo parafuso se caracterizam por apresentar um sistema de funcionamento realizado por poucos componentes conforme demonstrado na figura 2.4 em corte. Basicamente é composto por carcaça, pares de fusos chamados de macho e fêmea, mancais de rolamentos, controle de capacidade do tipo válvula deslizante, canais de lubrificação e ponto de admissão e descarga de vapor que acoplados por um motor elétrico realiza funções específicas para sua aplicação.

Figura 2.4 – Compressor parafuso semi-hermético em corte.



Fonte: <http://frioclimatizado.blogspot.com.br> (2017)

Geralmente estes compressores podem estar dispostos nas versões herméticas, semi-herméticas e abertos de acordo com as aplicações específicas.

De acordo com as características construtivas, geralmente permitem uma maior rotação na ponta do eixo e como seu funcionamento é baseado no deslocamento positivo de volume, podem ser selecionados para altos valores de capacidade frigorífica ocupando um menor espaço físico e um menor peso.

Geralmente um compressor parafuso de caracteriza por proporcionar alto rendimento frigorífico em função de suas características de funcionamento extinguir os chamados “espaços mortos” do compressor alternativo e geralmente atendem uma faixa de aplicação maior de regime de funcionamento em função da sua relação entre volumes ser contemplada com uma válvula deslizante que permite uma maior variação de capacidade, ou seja, de 0% a 100% (STOECKER; JABARDO, 2002).

#### 2.3.4 Trocador de Calor

Trocador de calor é um componente utilizado para realizar o processo da troca térmica entre dois fluidos em diferentes temperaturas. Este processo é comum em muitas aplicações da Engenharia. Podemos utilizá-los no aquecimento e resfriamento de ambientes, no condicionamento de ar, na produção de energia, na recuperação de calor e no processo químico.

Os mais comuns são os trocadores de calor em que um fluido se encontra separado do outro por meio de uma parede, através da qual o calor se escoar, estes tipos de trocadores são chamados recuperadores. Existem várias formas destes equipamentos, variando do simples tubo dentro de outro, até os condensadores e evaporadores de superfície complexa. Entre estes extremos, existe um vasto conjunto de trocadores de calor comuns tubulares. Essas unidades são largamente utilizadas, devido à possibilidade de serem construídas com grande superfície de transferência, em um volume relativamente pequeno, além de possibilitar a fabricação com ligas metálicas resistentes à corrosão e, são apropriados para o aquecimento, resfriamento, evaporação ou condensação de qualquer fluido.

Os trocadores de calor são designados por termos correspondentes às modificações que realizam nas condições de temperatura ou estado físico do fluido de processo. No caso de o equipamento operar com dois fluidos de processo,

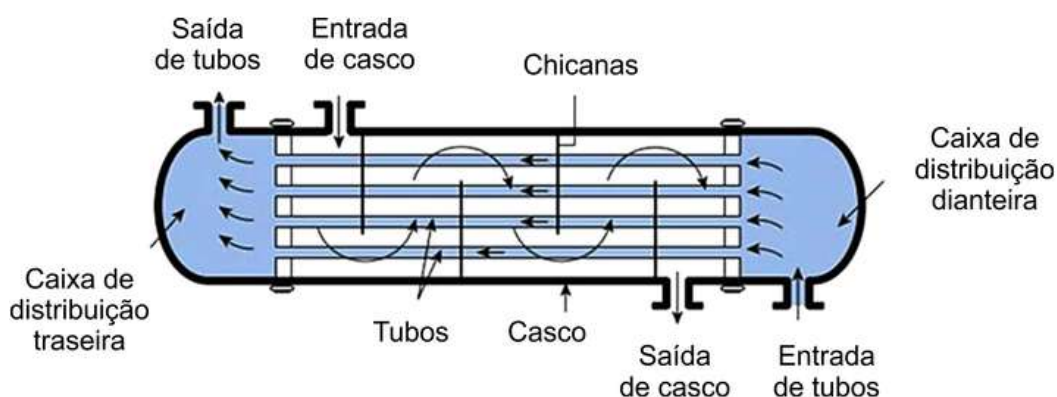
prevalece se possível, a designação correspondente ao serviço mais importante. Através deste critério, os trocadores de calor são classificados como:

Resfriador (*cooler*) – resfria um líquido ou gás por meio de água, ar ou salmoura;

Refrigerador (*chiller*) – resfria também um fluido de processo através da evaporação de um fluido refrigerante, como amônia, propano ou hidrocarbonetos clorofluorados;

Condensador (*condenser*) – retira calor de um vapor até a sua condensação parcial ou total, podendo inclusive sub-resfriar um líquido condensado. O termo “condensador de superfície, aplica-se ao condensador de vapor exausto de turbinas e máquinas de ciclos térmicos;

Figura 2.5 – Trocador de calor casco e tubos com um passe no casco e um passe nos tubos (modo de operação com escoamento cruzado em contracorrente)



Fonte: <http://www.cdcequipamentos.com/tipos-de-trocador-de-calor.html> (2017)

Os trocadores de calor do *chiller* é do tipo casco e tubo (*shell and tube*) apresentado na figura 2.5. Eles são constituídos basicamente por um feixe de tubos envolvidos por um casco, normalmente cilíndrico, circulando um dos fluidos externamente ao feixe e o outro pelo interior dos tubos. Os componentes principais dos trocadores tipo casco e tubo são representados pelo cabeçote de entrada, casco, feixe de tubos e cabeçote de retorno ou saída (GANGHIS, 2017).

## 2.4 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo procurou-se mostrar os principais equipamentos que compõe a Central de água Gelada e o funcionamento de cada um deles.

No capítulo 4 serão analisados os modos de falha dos componentes dos equipamentos apresentados nesse capítulo e as estratégias de manutenção visando eliminar ou monitorar o modo de falha. Todas as etapas de implementação do MCC serão apresentadas nesse capítulo.

No próximo capítulo serão demonstrados os principais conceitos de confiabilidade que serão utilizados nos componentes do presente capítulo.

## 3. MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

Neste capítulo serão apresentados os conceitos de Manutenção Centrada na Confiabilidade, sendo explanado por diversos autores que foram utilizados como referencial teórico no desenvolvimento do capítulo 4.

### 3.1 INTRODUÇÃO

A aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade - MCC passa pela mudança de comportamento e na forma de pensar em manutenção de ativos, e não se consegue de um dia para o outro, isso leva tempo, pois é preciso quebrar alguns paradigmas sobre manutenção.

John Moubray (2000, p. 7) define Manutenção Centrada em Confiabilidade como “um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer o que os seus usuários querem que ele faça no seu contexto operacional presente”.

O MCC é uma metodologia que analisa as funções do sistema/equipamento e seus modos de falhas, onde é aplicado um critério de priorização baseado em fatores de segurança, ambientais, operacionais e econômicos, para identificar as tarefas de manutenção adequadas (MOUBRAY, 2000; SIQUEIRA, 2005).

O MCC teve sua origem nos anos 50, nos Estados Unidos, à partir da análise de falhas em equipamentos militares. Criado em 1960 pela *Federal Aviation*

*Administration*, o grupo de estudo liderado pelo então Vice-Presidente de Planejamento de Manutenção, Thomas D. Matteson, em conjunto com sua equipe de engenheiros, desenvolveram o programa de confiabilidade para a indústria aeronáutica, para aumentar a confiabilidade dos equipamentos a um custo economicamente viável, pois as técnicas tradicionais de manutenção eram insuficientes (MOUBRAY, 2000; SIQUEIRA, 2005).

Siqueira (2005, p. 3), afirma que, no que diz respeito a MCC, teve seu início nos processos tecnológicos que se desenvolveram após a Segunda Guerra Mundial. Tais processos começaram em pesquisas da indústria bélica americana e logo seguida pelos avanços na automação industrial em conjunto da evolução de sistemas informatizados presentes em todos os aspectos da sociedade.

Com a exigência por melhores resultados e flexibilidade nos meios de produção, todo esse processo evolutivo ocasionou em um movimento que causou maior dependência da sociedade aos métodos automáticos de produção. (SIQUEIRA, 2005, p. 4).

Atualmente o projeto de manutenção exige-se que seja estruturado de forma transparente e auditável. Esses anseios induzem ao surgimento dessa metodologia chamada de Manutenção Centrada na Confiabilidade. (SIQUEIRA, 2005, p. 4).

O primeiro evento que originou a criação do MCC, foi a necessidade da *Boing* de certificar a linha de aeronaves 747, pela *Federal Aviation Authority* (FAA) nos Estados Unidos. Esta aeronave tinha um nível de automação que não era visto em voos comerciais, marcado ainda pelo grande número de assentos, o triplo em relação à maior aeronave existente na época. A utilização de técnicas tradicionais conhecidas na época não viabilizaria o cumprimento dos requisitos das autoridades aeronáuticas americanas. Isto motivou a United Airlines criar um novo conceito de manutenção que posteriormente foi chamado de *Reliability Centered Maintenance* (RCM) ou Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC).

“A marinha americana também tornou obrigatória a MCC para todas as modificações em sistemas navais que apresentassem benefícios potenciais, iniciando sua normalização e expansão para outras áreas militares e civis.” (SIQUEIRA, 2005, p. 7).

Siqueira (2005, p. 11) afirma que a MCC é o conjunto de ações programadas e sistematizadas usadas para aperfeiçoar as estratégias de planejamento da manutenção, sejam elas, ações corretivas, preventivas ou melhorias.

### 3.2 NORMALIZAÇÃO DA MCC

O MCC é uma comprovada, e respeitada metodologia de desenvolvimento de planos e ações para confiabilidade de uso generalizado na maioria dos setores industriais. Para direcionar a sua aplicação e utilização, foram criadas normas como forma de guia para implementação e orientação:

SAE JA1011/12 (MCC - Manutenção Centrada em Confiabilidade): Em 1999, a necessidade de se aplicar corretamente o MCC, a Sociedade Americana de Engenheiros Automotivos (SAE) publicou a norma SAE JA1011: “Critérios de Avaliação de Processos de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC)”. Em 2002, a SAE publica a norma SAE JA1012: “Um Guia para Manutenção Centrada em Confiabilidade”, que consiste em detalhar o entendimento dos conceitos da norma SAE JA1011. A norma SAE JA1012 pode ser utilizada para verificar a genuidade de uma metodologia de manutenção em um processo MCC (MORTELARI; SIQUEIRA; PIZZATI, 2012).

PAS 55 (Gestão de Ativos): O PAS 55 foi publicado em 2004 em resposta à demanda da indústria por um padrão para gerenciamento de ativos. Aplicado em qualquer tipo de estrutura organizacional onde o ativo físico é um fator chave para alcançar o sucesso. O PAS 55 define o que deve ser feito e não como fazê-lo, e que os métodos para alcançar o objetivo são escolhidos de cada organização (MORTELARI; SIQUEIRA; PIZZATI, 2012).

### 3.3 OBJETIVOS DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

Para Lafraia (2001, p. 238), o objetivo do MCC é “assegurar que um sistema ou item continue a preencher as suas funções desejadas”. A saúde financeira de uma organização depende de uma operação continuada sem intervenções para manutenção.

No velho paradigma da Manutenção, o objetivo era otimizar a disponibilidade da planta ao menor custo possível, enquanto que no novo, a Manutenção afeta todos os aspectos do negócio, como segurança, integridade ambiental, eficiência energética e qualidade do produto, e não apenas a disponibilidade da planta e custo (DUTRA, 2012).

A MCC tem o objetivo de melhorar o sistema estudado promovendo uma redução dos custos e aumentando a segurança, utilizando as tarefas mais importantes de manutenção. (SIQUEIRA, 2005).

Segundo Moubray (2000), os resultados obtidos na implementação da MCC são:

- Maior segurança humana e ambiental;
- Melhoria operacional em termos de qualidade e produtividade;
- Melhor relação custo-benefício dos sistemas;
- Criação de um banco de dados completos para a manutenção;
- Melhor desempenho dos itens físicos;

### 3.4 APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

A partir de John Moubray, a metodologia MCC tem sido aplicada nos mais diversos seguimentos de mercado e das mais variadas formas, porém sempre apresentando resultados benéficos quando bem aplicada (MORTELARI; SIQUEIRA; PIZZATI, 2012).

A aplicação da confiabilidade com ferramenta de Gestão de Ativos nas organizações vem aumentando consideravelmente nos últimos. Aspectos como segurança, meio ambiente e, nos dias atuais principalmente, os custos têm norteado empresas a procurarem uma resposta eficaz para a solução das falhas que ocorrem no dia a dia em seus processos produtivos. A confiabilidade, portanto, aliada a outras ferramentas, se torna cada vez mais decisiva no fator competitividade empresarial (MORTELARI; SIQUEIRA; PIZZATI, 2012).

Para se aplicar o processo de MCC em uma organização, é preciso mapear os ativos para saber quais serão submetidos a essa técnica. Para facilitar o mapeamento toda empresa que possui um sistema de manutenção eficiente, possui



em seus arquivos um registro completo de todos seus equipamentos contendo histórico de falhas, bem como as intervenções efetuadas nesses.

Segundo Moubray (2000, p. 7), o processo de MCC implica em sete perguntas sobre cada um dos itens sob revisão ou sob análise crítica, como a seguir:

- Quais são as funções e padrões de desempenho de um ativo no seu contexto presente de operação?
- De que forma ele falha em cumprir suas funções?
- O que causa cada falha funcional?
- O que acontece quando ocorre cada falha?
- De que forma cada falha importa?
- O que pode ser feito para predizer ou prevenir cada falha?
- O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa proativa apropriada?

O sucesso na aplicação do MCC depende de um meticuloso planejamento e preparação, e se aplicado corretamente o MCC contribui para notáveis melhorias na eficácia da Manutenção. Os elementos chave do sucesso do planejamento são: a decisão de quais equipamentos irão se beneficiar do MCC, os recursos necessários para aplicação do RCM, a decisão de quem irá acompanhar o retorno do investimento, etc. (MOUBRAY, 2000).

A implantação do MCC gera uma redução das atividades de manutenção e conseqüentemente os custos na ordem de 30 a 40%. O MCC é um processo contínuo e sua aplicação deve ser avaliada de acordo com o tempo de operação bem como da experiência acumulada, visto que no início de sua aplicação a frequência de manutenção é considerada conservadora, pois não há um histórico ou informação específica disponível. Com o passar do tempo e com uma aplicação continuada, dados são obtidos e dessa forma nos permite avaliar a efetividade do programa (LAFRAIA, 2001).

Podemos destacar alguns benefícios com a aplicação do MCC:

- Redução na carga de trabalho de Manutenção Preventiva;
- Aumento da disponibilidade dos ativos;
- Aumento da vida útil dos ativos;
- Redução do número de peças sobressalentes;
- Pessoal especializado em planejamento e manutenção;
- Rastreamento das decisões;
- Motivação da equipe (LAFRAIA, 2001).

### 3.5 NÍVEL DE ANÁLISE

Um nível de análise efetuado em um nível muito alto pode tornar-se superficial, enquanto em um nível muito baixo torna-se, difícil o entendimento e gerenciamento.

#### 3.5.1 Nível Muito Baixo

Um dos erros mais comuns no processo do RCM é fazer a análise em um nível muito baixo na hierarquia do equipamento.

Em um nível muito baixo, fica difícil definir as funções, juntamente com seus padrões de desempenho, bem como a descrição dos efeitos e consequências.

A definição sobre qual sistema pertence os componentes fica complicada, além dos modos de falhas se repetirem para subsistemas analisados separadamente. Malhas de proteção podem ter seus componentes em mais de um subsistema (MOUBRAY, 2000).

#### 3.5.2 Nível Muito Alto

Ao iniciar o estudo em um nível muito alto, a função primária deverá contemplar centenas de modos de falhas, sendo que alguns poderão ser esquecidos.

As principais vantagens de começar a análise neste nível são:

- As funções e padrões de desempenho são mais fáceis de definir;
- É mais fácil avaliar as consequências das falhas;
- Identificar e analisar as malhas de controle são mais fáceis;
- Há menos repetições de funções e modos de falhas;
- Não será necessária uma nova planilha para cada novo subsistema (MOUBRAY, 2000).

Devido os problemas relacionados com as análises de níveis altos e baixos, é aconselhável levar a análise a um nível intermediário.

### 3.6 CONTEXTO OPERACIONAL

A fase inicial de uma análise de MMC consiste na elaboração de um descritivo com as informações necessárias para o entendimento completo do processo em que o item é usado, do papel desempenhado e de sua relevância para o negócio como um todo.

Deverão ser respondidas as seguintes questões:

- Qual o Sistema a ser estudado?
- Quais as razões levaram o estudo desse Sistema?
- Qual a importância desse Sistema para o negócio da empresa?
- Como é o processo produtivo e quais são os padrões de desempenho?
- Existe redundância ou contingência em caso de falha?
- Quais são os impactos ambientais e riscos de segurança envolvidos?
- Quais são os limites (fronteiras) para o estudo?

Nesta etapa deverá ficar bem claro as funções primárias e os padrões de desempenho esperados pelo sistema (MOUBRAY, 2000).

O adequado entendimento do contexto operacional demanda que os seguintes fatores sejam considerados: Fluxos e processos, Redundância, Padrões de Qualidade, Padrões de meio ambiente, Riscos de segurança, Sistemas

de turnos, Trabalho em processo, Tempo de reparo, Sobressalentes, Demanda do mercado e Suprimento de matérias-primas (MOUBRAY, 2000).

### 3.7 FUNÇÕES

Cada ativo tem mais de uma função e se o objetivo da manutenção é garantir que o ativo cumpra as suas funções, elas devem ser identificadas juntamente com os seus padrões de desempenho.

#### 3.7.1 Considerações Normatizadas e Bibliográficas:

SAE JA1011/1999 (Pg. 04 item 3.13) e SAE JA1012/2002 (Pg. 06 item 3.13) Aquilo que o proprietário ou usuário do ativo físico ou sistema deseja que o mesmo faça.

SAE J1739/2002 (Pg. 31 item 5.2.9) → A descrição da função deve levar em conta normas aplicáveis de desempenho, de material, de processo, ambientais e de segurança.

Moubray, 2001 (Pg. 22 item 2.1) → A descrição da função deve consistir de um verbo, um objeto e um padrão desejado de desempenho.

#### 3.7.2 Classificação das Funções

Um sistema raramente desempenha uma única função. Em geral, existe uma hierarquia de funções associadas a cada sistema, que inclui sua finalidade original, e as funções secundárias e auxiliares. A importância da identificação de todas estas funções reside de fato de que muitas falhas operacionais se originam em funções secundárias ou auxiliares (SIQUEIRA, 2012).

As funções são divididas em duas categorias principais: funções primárias e funções secundárias e depois em várias subcategorias.

### 3.7.3 Funções Primárias

As funções primárias estão associadas à razão pela qual o ativo foi criado. Para Moubray (2000), as empresas adquirem ativos físicos para uma, e possivelmente duas, raramente para mais de três razões primárias.

### 3.7.4 Funções Secundárias

Por ser menos preciso que as funções principais, as funções secundárias servem para aumentar o valor agregado do item, e a perda dessa função pode ocasionar graves consequências e algumas vezes mais sérias do que a perda de uma função primária (MOUBRAY, 2000).

Para identificar as funções secundárias, é importante estar atento aos seguintes aspectos:

- Integridade ambiental;
- Segurança/ Integridade estrutural;
- Controle/ Contenção/ Conforto;
- Aparência;
- Proteção;
- Economia/ Eficiência;
- Funções supérfluas.

### 3.7.5 Padrões de Desempenho

A finalidade da manutenção é garantir que o ativo realize aquilo que os usuários esperem que ele faça. A amplitude que qualquer usuário deseja que um ativo faça, pode ser chamado como padrão mínimo de desempenho.

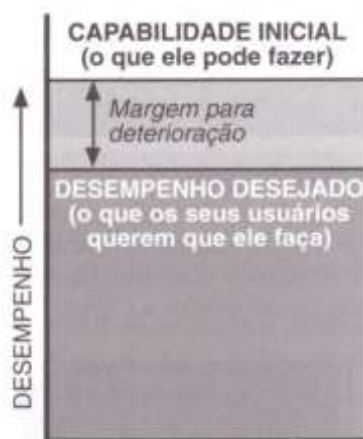
Os padrões de desempenho podem ser múltiplos, quantitativos, qualitativos, absolutos ou variáveis.

O desempenho pode ser definido de dois modos:

- Desempenho desejado: é o que o usuário espere que o ativo faça;

- Capacidade intrínseca: é o que o ativo pode fazer.

Figura 3.1 – Permitindo a deterioração



Fonte: Moubray 2000 p.23

A figura 3.1 demonstra o desempenho desejado de um equipamento que deve estar localizado na zona compreendida entre o padrão mínimo de desempenho e a capacidade inicial. A manutenção deve manter a performance sempre acima do padrão de desempenho mínimo almejado pelo usuário. A determinação do que o ativo é capaz de produzir, assim como o desempenho mínimo que o usuário deseja no contexto do item físico que está em uso, é de suma importância quando se deseja desenvolver um programa de MCC (MOUBRAY, 2000).

### 3.8 FALHAS

“Prevenir e corrigir falhas constituem os objetivos primários da manutenção. Para isso é necessário conhecer as formas como os sistemas falham” (SIQUEIRA, 2012, p.51). Segundo MOUBRAY (2000, p.46) “falha é definida como a incapacidade de qualquer ativo de fazer o que seu usuário quer que ele faça”. Portanto, podemos dizer que a falha ocorre quando o ativo vem a apresentar algum defeito ou ocorrência de omissão de função do mesmo.

“O estudo das falhas constitui parte essencial da Manutenção Centrada na Confiabilidade, seguindo-se à identificação e documentação das funções, como

parte da Segunda Etapa do Processo de RCM” (SIQUEIRA, 2012, p.51). Este processo “[...] propõe analisar as falhas através de sua classificação, identificação e documentação, associando-as às funções do sistema, etapas que são realizadas através da análise dos modos de falhas e os efeitos (FMEA)” (SIQUEIRA, 2012, p.51).

### 3.8.1 Considerações Normatizadas e Bibliográficas:

SAE JA1011/1999 (Pg. 04 item 3.14) e SAE JA1012/2002 (Pg. 06 item 3.14)  
→ Um estado no qual um ativo físico ou sistema é incapaz de desempenhar uma função específica com o desejável nível de desempenho. Equivalente ao conceito de “Pane” da NBR-5462.

Moubray, 2001 (Pg. 47 item 3.2) → Incapacidade de um ativo cumprir com a sua função com um padrão de desempenho aceitável pelo usuário.

### 3.8.2 Conceitos Correlatos

A falha funcional pode acarretar na perda total o parcial da função:

Falha Total: É quando há a perda total da capacidade do item em realizar a sua função.

Falha Parcial: É quando há a perda parcial da capacidade do item em realizar a sua função.

Categorias da falha funcional:

Evidente: Detectável pelo operador durante sua atividade normal.

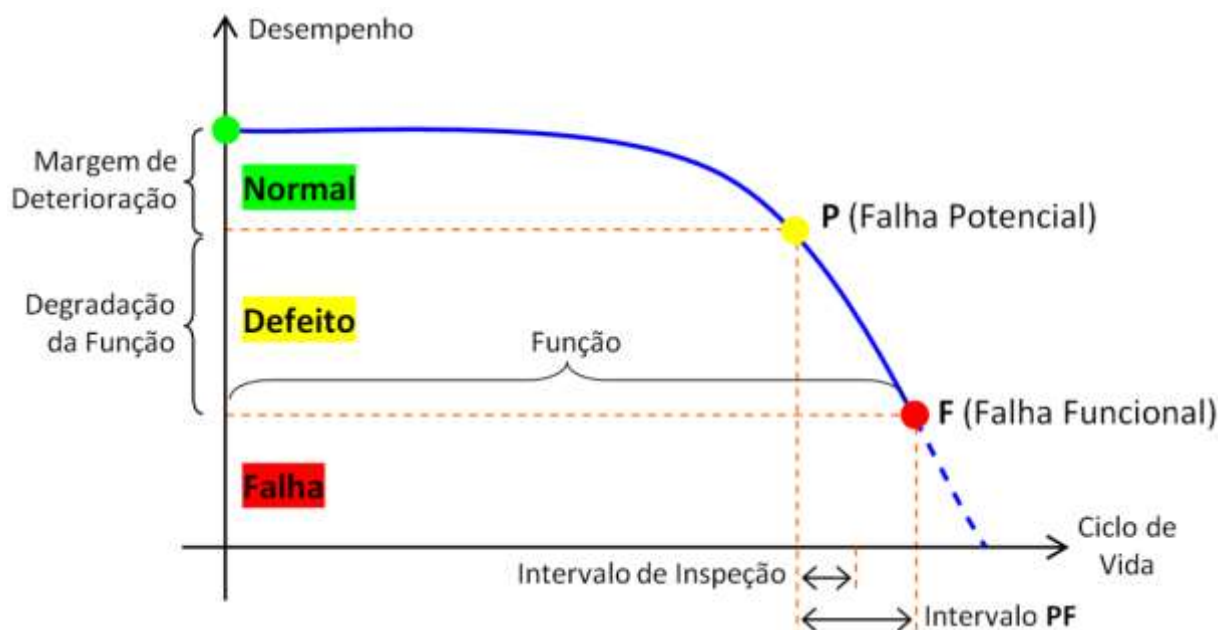
Ocultas: Não é detectável pelo operador durante sua atividade normal.

Múltipla: Combinação de falha oculta com uma segunda falha.

Falha Potencial → Condição identificável e mensurável que indica uma Falha Funcional pendente ou em processo de ocorrência.

Desvio → Desvio, das características especificadas para um item/ativo/sistema, o qual é detectável e não causa perda total da função requerida (RIGONI, 2009, P.102)

Figura 3.2 – Intervalo PF



Fonte: Rigoni, 2009

A figura 3.2 ilustra o processo da falha, chamada de curva P-F. A curva apresenta como a falha inicia e vai se deteriorando até o ponto que seja possível detectá-la no ponto “P”. Se nada for feito para corrigir, o processo de deterioração continua até o ponto da falha funcional “F”.

### 3.8.3 Modos de Falhas

São os eventos causadores das falhas funcionais. O modo de falha é o que gera a falha funcional, ou seja, a(s) causa(s) raiz(es) da falha funcional.

O processo de antecipar as falhas funcionais é aplicado a cada modo de falha individualmente, ou seja, a manutenção é realmente gerenciada ao nível individual de cada modo de falha.

Descrevendo e identificando um modo de falha:

A descrição do modo de falha deve consistir de pelo menos um substantivo e um verbo;



A quantidade de modos de falha pode antecipar ou atrasar uma análise, portanto há algumas regras que podem ser consideradas ao registrá-las:

Considerar modos de falha que fazem parte do histórico do ativo;

Registrar os modos de falha referenciados no plano de manutenção atual;

Registrar os modos de falha que ainda não ocorreram, mas que tem grande probabilidade de ocorrer;

Considerar modos de falha com pouca probabilidade de ocorrer, mas caso ocorra, as consequências são graves.

O uso de verbos específicos e nível de detalhes utilizados na descrição torna possível a seleção da política de gerenciamento de falha mais adequada;

Os modos de falhas relativos a atuação dos dispositivos de proteção que paralisam a operação do ativo devem ser listados na função primária do item;

Possíveis erros humanos devem ser considerados (MOUBRAY, 2000).

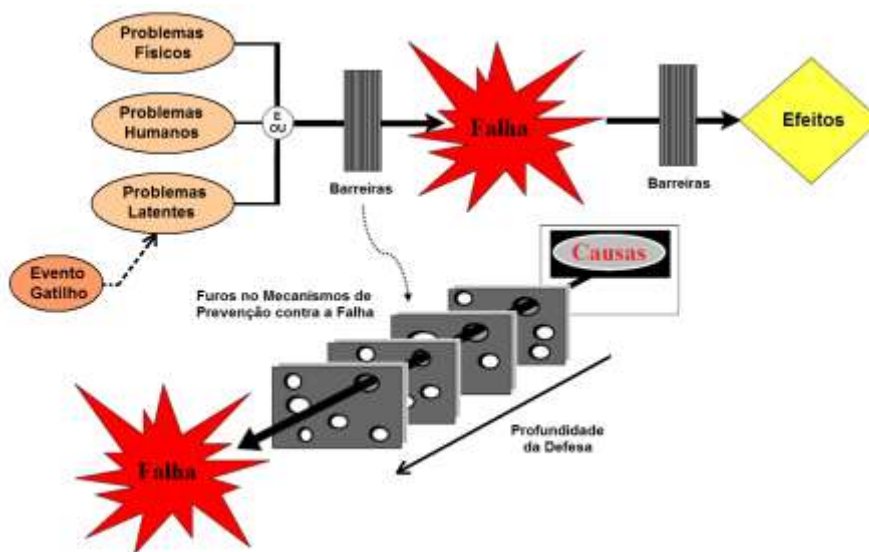
#### 3.8.4 Causas dos Modos de Falhas

“Modos de falha deverão ser identificados ao nível de causa em que seja possível identificar apropriadamente uma política de gerenciamento de falha” (SAE JA 1011, seção 5.3.3).

A causa raiz é usada em conexão com a análise da falha, sendo possível chegar ao último nível que levou a ocorrência da falha (SAE JA 1012).

As causas estão relacionadas ao por que da ocorrência do modo de falha, gerando a falha funcional.

Figura 3.3 – Análise das Causas Raízes das Falhas



Fonte: Rigoni, 2009

As causas das falhas podem ser do tipo físico, humano e latente (fig. 3.3) e para sua ocorrência é preciso que os mecanismos de prevenção não bloqueiem ou detecte a falha.

### 3.8.5 Efeitos da Falha

São os resultados para o sistema em decorrências da presença de um modo de falha, sendo perceptível externamente.

Para (MOUBRAY 2000) o quarto passo no processo RCM sugere listar os efeitos da falha, descrevendo todas as informações necessárias para suportar a avaliação de consequências da falha, dentre essas se incluem:

- Qual a evidência de que a falha ocorreu?
- De que modo ela coloca uma ameaça à segurança ou ao meio ambiente?
- De que modo ela afeta a produção ou operação?
- Qual o dano físico que é causado pela falha?
- O que deve ser feito para reparar a falha?

### 3.8.6 Consequências de Falhas

“As consequências de todos os modos de falhas devem ser formalmente categorizadas” (SAE JA1011, seção 5.5.1)

De acordo Siqueira (2012, p. 109) dependendo da instalação, uma falha pode gerar consequências insignificantes ou desprezíveis, ou afetar sistemas vitais para empreendimento e a sociedade ou a segurança dos seres humanos.

Dependendo da ocorrência da falha, as consequências poderão ser simples ou complexas podendo afetar diretamente a produção, serviços, qualidades, segurança, meio ambiente, incidindo significativamente em aumento do custo operacional e do consumo em geral conforme demonstrado na figura 3.4.

Caso os modos de falhas não sejam prevenidos ou antecipados, o tempo e esforço necessários a serem gastos para corrigi-los afetariam a empresa porque esses recursos poderiam ser melhores utilizados em outra aplicação.

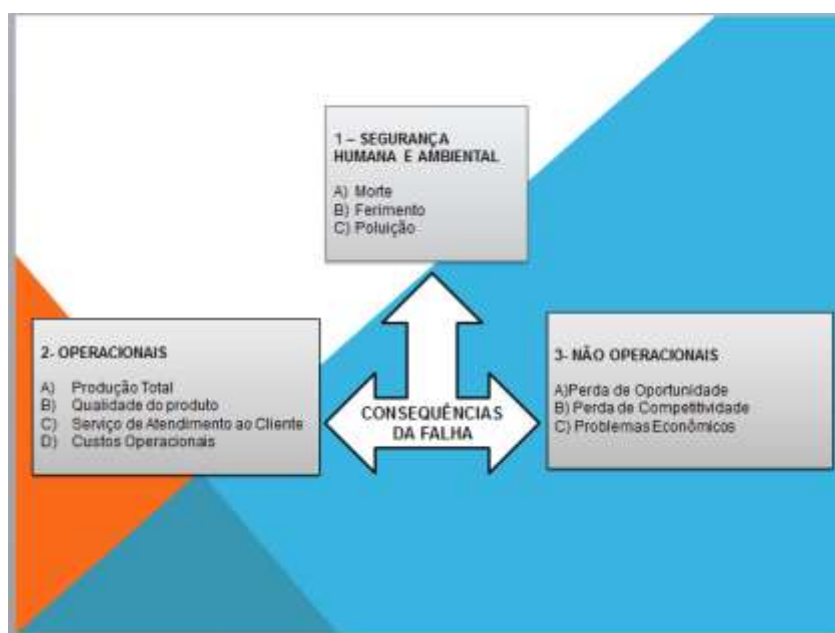
A severidade das consequências provocados pelos modos falha irá ajudar a empresar a direcionar melhor os seus recursos. Para consequências muito sérias, serão então adotadas medidas para preveni-las ou antecipa-las a tempo de reduzir ou eliminar as consequências. Se o modo de falha gerar consequências de baixa criticidade, a organização poderá tomar ações apenas quando o evento ocorrer (SAE JA 1012).

À análise das consequências da falha são divididas em dois tipos:

Falha Evidente: é aquela que quando acontece torna-se visível à equipe de operação e/ou manutenção sob condições normais, acarretando uma parada ininterrupta do equipamento, perda da qualidade do produto ou podem ser visíveis aos sentidos do ser humano (audição, visão, olfato, tato etc.) caracterizados como efeitos físicos - odores, ruídos, vazamentos entre outros.

Para (MOUBRAY, 2000) as falhas evidentes são classificadas em três grupos, com consequência sobre a segurança humana e ambiental, com consequências operacionais e com consequências não operacionais conforme descrito na figura abaixo.

Figura 3.4 – Consequência de Falhas



Fonte: Adaptado de Lafraia, 2001

Falha Oculta: falha que não se torna evidente para o operador ou ao profissional de manutenção é conceituada como Falhas ocultas. Estas falhas não impactam diretamente na produção, mas acontecendo um evento deste tipo há uma grande probabilidade de ocorrência das falhas múltiplas, normalmente com consequências bruscas para o processo produtivo, devido ao fato destas falhas estarem associadas diretamente aos dispositivos de proteção do sistema com o único propósito de evitar ou minimizar as ocorrências de falhas evidentes.

Siqueira (2012, p. 116) afirma que a ocorrência de falha oculta, em combinação com um segundo evento/falha, causa uma perda de função ou dano secundário que poderá ter um efeito adverso na segurança operacional e no meio ambiente. Ainda cita que o RCM considera que neste caso, a manutenção preventiva será justificável se garantir a disponibilidade necessária para reduzir a probabilidade de falha múltipla a um nível aceitável. Caso contrário, se a mudança de projeto não for mais atrativa realiza-se apenas reparos funcionais.

### 3.9 POLÍTICAS DE MANUTENÇÃO

São os tipos de manutenção utilizados para prevenir ou antecipar aos modos de falhas descritos.

#### 3.9.1 Tarefas Proativas

São tarefas rotineiras construídas para prever ou prevenir a falha:

**Tarefa sob condição:** As maiorias das falhas apresentam algum tipo de aviso que estão prestes a acontecer. Os avisos informados são conhecidos como falhas potenciais e são definidas como condições físicas identificáveis que indicam que uma falha funcional está próxima de ocorrer ou está ocorrendo. A manutenção condicional inclui a manutenção preventiva, manutenção baseada na condição e monitoramento de condição. A frequência é determinada por um período inferior ao interval P-F que normalmente é a metade do intervalo.

**Restauração programada:** Consiste na revisão de um conjunto ou refabricação de um componente a uma idade limite especificada ou antes independente da sua condição naquele momento.

**Descarte programado:** Implica na substituição de um item em uma vida útil especificada, independente da sua condição naquele momento.

O MCC fornece critérios de fácil compreensão para se decidir que tarefa de manutenção é tecnicamente viável, em que frequência ela deve ser executada e por quem.

#### 3.9.2 Ações Default

São ações que tratam do estado da falha e são escolhidas, quando não é possível identificar uma tarefa proativa efetiva. Ações default incluem busca de falha, reprojeção, rodar até falhar. São tarefas de manutenção corretiva (MOUBRAY, 2000).

### 3.10 SINTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Este capítulo permite demonstrar os conceitos de Manutenção Centrada na Confiabilidade para que se consiga aplicar todo esse referencial teórico no sistema em estudo com o objetivo de elaborar planos de manutenção mais enxutos buscando o resgate da confiabilidade dos equipamentos.

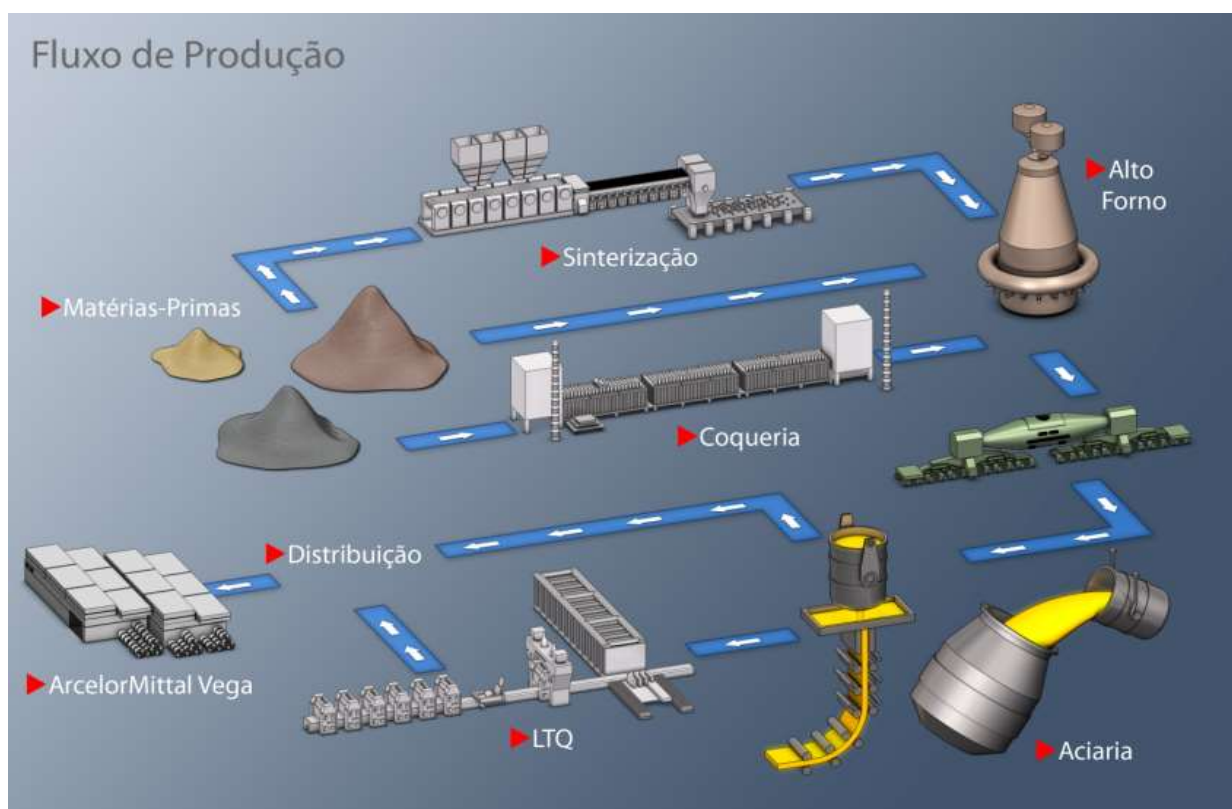
Os conceitos apresentados aqui juntamente com os que serão analisados no próximo capítulo serão utilizados desenvolver o capítulo 4.

#### 4. ESTUDO DE MCC PARA UMA CENTRAL DE ÁGUA GELADA

Este estudo visa implantar a Manutenção Centrada na Confiabilidade para uma Central de Água Gelada – CAG de uma Aciaria já descrita nos capítulos 2 e 3 desse trabalho.

A parada não programada desse equipamento em período superior a 04 horas tem como consequência a parada da Aciaria, pois a falta de água gelada para a realização da climatização dos ambientes já citados acima, gera aquecimento dos ambientes e desarmes dos componentes eletroeletrônicos para os equipamentos do processo produtivo da Aciaria.

Figura 4.1 – Fluxo de Produção da ArcelorMittal Tubarão.



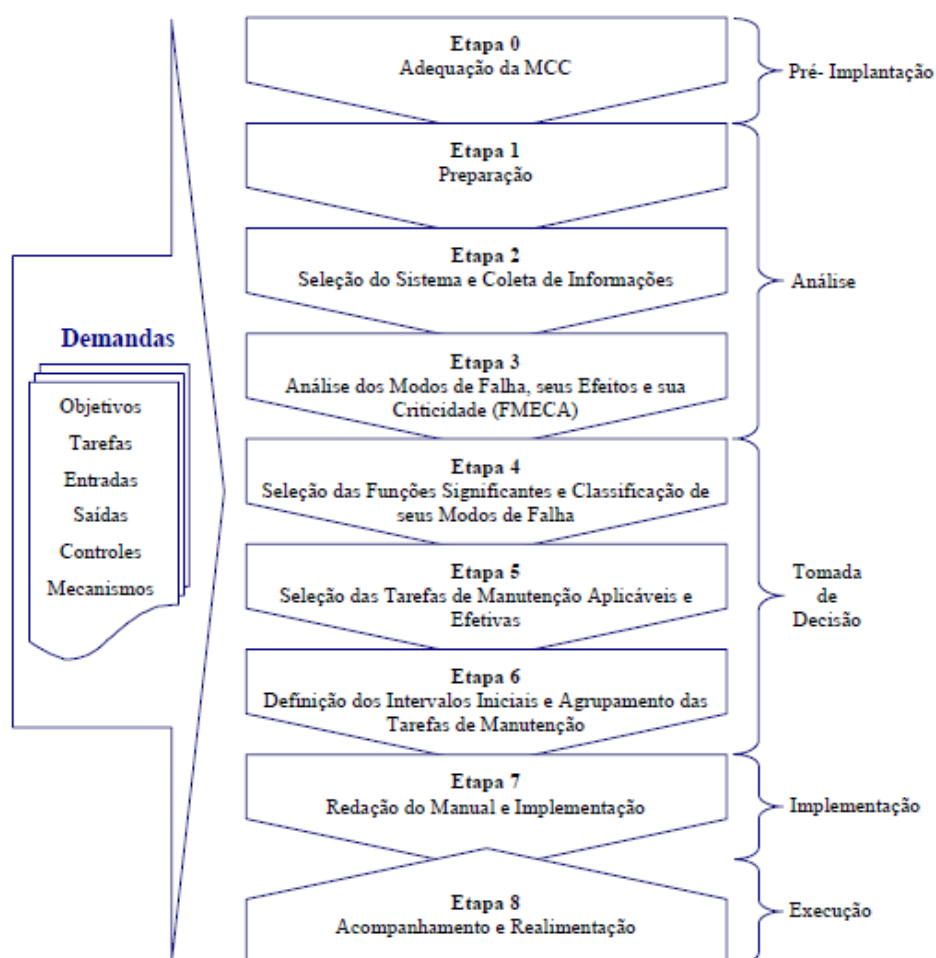
Fonte: ArcelorMittal Tubarão, 2015

A figura 4.1 apresenta o fluxo produtivo da empresa com as unidades operacionais que são impactadas com a parada do processo.

#### 4.1 ETAPAS DE IMPLANTAÇÃO DO MCC

Para auxiliar a implantação do programa de MCC será utilizado como referência um modelo desenvolvido pelo RIGONI, 2009 que incorpora todos os aspectos sugeridos pelas bibliografias de alguns autores (NOWLAN e HEAP, 1978; SMITH, 1993; SMITH e HINCHCLIFFE, 2004; MOUBRAY, 2001; NASA, 2000; IEC 60300-3-11, 1999; SAE JA 1012, 2002; ABS, 2004) e o Plano Diretor de gestão de Ativos da ArcelorMittal Tubarão FCSA.

Figura 4.2 – Procedimento de Referência para Implantação da MCC.



Fonte: Rigoni, 2009.

As etapas da figura 4.2 serão abordadas no desenvolvimento desse capítulo.



#### 4.1.1 Etapa 0 - Adequação da MCC

Objetivos: Verificar se a gestão da manutenção fundamentada na MCC, com seus requisitos e características metodológicas e filosóficas, é a mais adequada para a empresa/sistema, considerando suas disponibilidades e limitações. (RIGONI, 2009, p. 102).

Tarefas: Comparar e verificar o grau de aderência das características da empresa/sistema com as necessidades e exigências de um programa de MCC. (RIGONI, 2009, p. 102)

A ArcelorMittal Aços Planos América do Sul (FCSA) iniciou em 2013 a implantação do Programa Manutenção 5 Estrelas que é uma ferramenta gerencial de avaliação da manutenção das diversas áreas da empresa e tem como principal objetivo a consolidação de elementos fundamentais da manutenção. Nesse programa está sendo utilizado o MCC como metodologia que irá suportar a manutenção na geração de planos de manutenção efetivos, visando ao aumento da confiabilidade dos ativos e redução do custo de manutenção.

O programa é acompanhando mensalmente pela Diretoria e pelos diversos níveis Gerencias da empresa que dão o suporte necessário para a implantação do programa como:

- Consultoria de empresas especializada em implantação de programas de MCC;

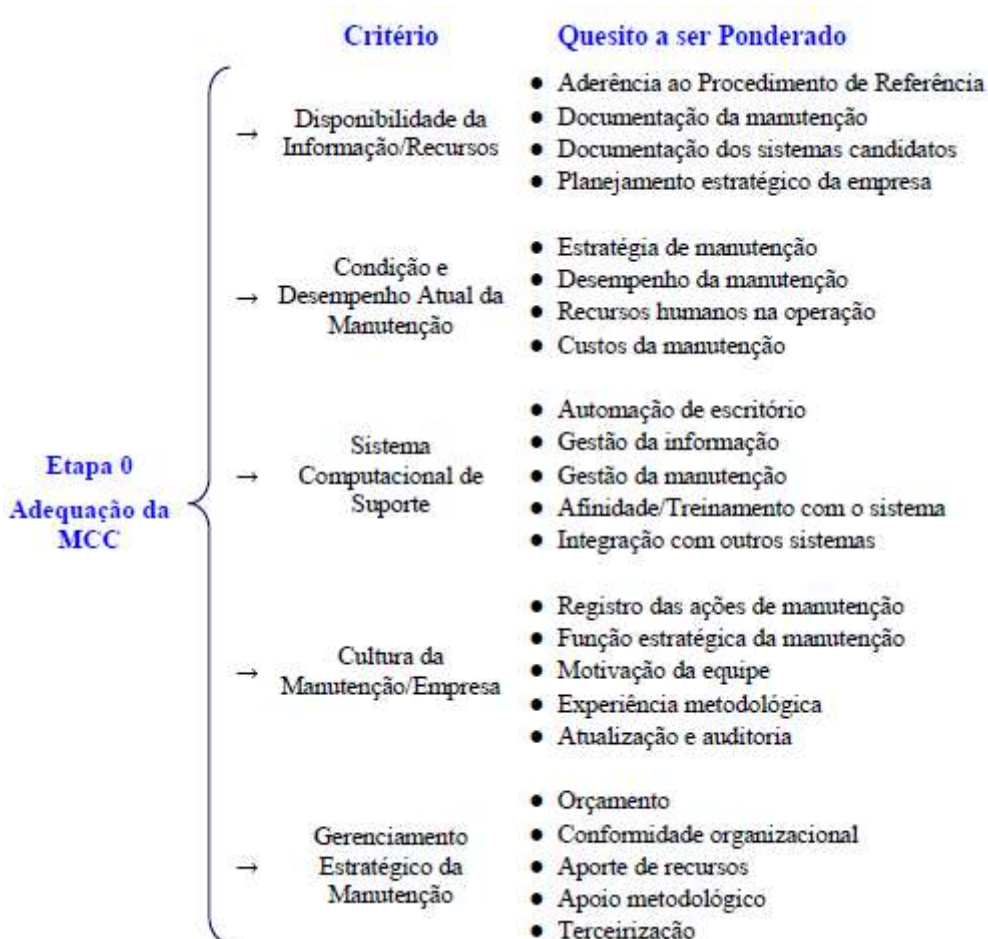
- Formação de Facilitadores para implantação do MCC;

- Estrutura física com diversas salas para condução de diversos estudos de MCC simultaneamente;

- Disponibilidade do pessoal para realizarem os estudos de MCC.

Para Rigoni (2009, p. 118) os seguintes critérios da figura 4.3 compõe a avaliação dos pré-requisitos da Etapa 0:

Figura 4.3 – Avaliação dos Pré-Requisitos da Etapa 0.

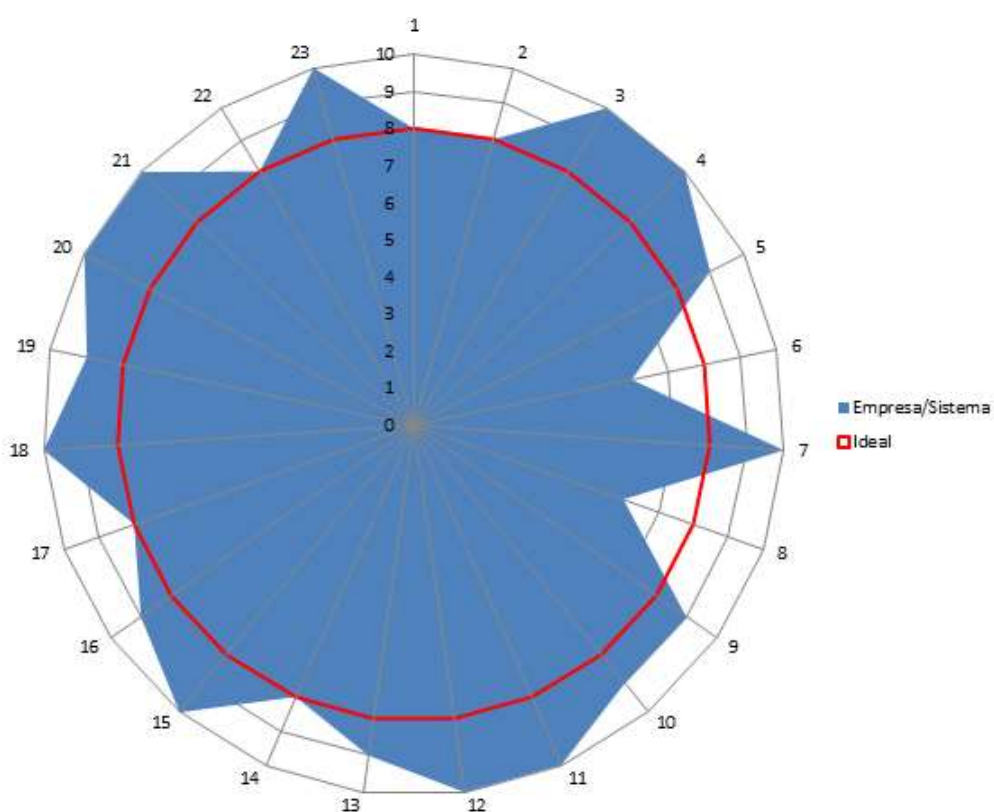


Fonte: Rigoni, 2009.

Foi realizado a avaliação de pré-requisitos adotando um padrão ideal de aderência igual a 8 para cada item dos 5 critérios avaliados. Foi admitido este valor no trabalho em função do material de apoio fornecido nas aulas do curso de Especialização de Engenharia da Confiabilidade.

O diagrama radar abaixo está apresentando o grau de aderência da ArcelorMittal Tubarão a adequação do MCC.

Figura 4.4 – Diagrama de Aderência ao MCC.



Fonte: O Autor 2017.

A avaliação realizada a mostrou que a MCC é adequada para a ArcelorMittal Tubarão em seu estágio atual de desenvolvimento e estruturação, pois atendeu na grande maioria os quesitos avaliados e em alguns casos, superou a condição ideal de implantação.

Dois requisitos (Desempenho da Manutenção e Custos da Manutenção) ficaram abaixo da condição ideal (ideal = 8), mas um plano de ação foi criado nos formulários da Etapa 0 nas figuras 4.25 a 4.29 nas paginas 72 a 74 para atendimento aos requisitos.

#### 4.1.2 Etapa 01 – Preparação

Objetivos: Formação da equipe e planejamento para a implantação da MCC.

Tarefas: Preparar, organizar e estruturar a equipe de implantação da MCC; definir a abrangência de aplicação do programa; alocar os recursos necessários; elaborar metodologia e estratégia de execução; definir sobre as necessidades relacionadas a treinamento, organização e estruturação; documentar de forma auditável as premissas e conclusões dessa etapa (RIGONI, 2009, p. 103).

A equipe de implantação do MCC é composta por 01 Especialista de Refrigeração, 01 Supervisor de Manutenção, 01 Técnico de Inspeção e Técnico de Manutenção. O Especialista de Refrigeração foi indicado para ser o facilitador do programa onde foi capacitado nos cursos de Introdução ao RCM e Facilitador de RCM, além da especialização em Engenharia da Confiabilidade. Os demais membros da equipe passaram pela capacitação básica do RCM.

O patrocinador do Programa de MCC é o Diretor Industrial que está disponibilizando todos os recursos necessários para a implantação do programa na empresa.

O método utilizado para implementação do MCC foi baseado na criticidade dos ativos onde foi determinada de forma padronizada, seguindo critérios e pesos definidos nas figuras 4.5 a 4.7.

Os critérios de classificação da criticidade estão inseridos no CMMS da ArcelorMittal Tubarão.

Figura 4.5 – Critérios de Criticidade para Equipamentos.

ITEM	FATOR DE FALHA	PESO	CRITÉRIO	NOTA
1	Influência na produção	10	Não para a produção da área operacional*.	0
			Para a produção da área operacional, porém, sem afetar a produção da unidade operacional*.	3
			Para a produção da área operacional, afetando o plano de produção da unidade operacional.	5
2	Influência na qualidade do produto	10	Não influi na qualidade do produto da área operacional.	0
			Influi na qualidade do produto da área operacional.	3
			Influi na qualidade do produto da unidade operacional.	5
3	Influência no meio ambiente	10	Não influi no meio ambiente.	0
			A falha provoca impacto médio no meio ambiente, sujeito a penalidades legais.	3
			A falha provoca impacto grave no meio ambiente, com penalidade legal e/ou perda de imagem.	5
4	Influência na segurança pessoal	10	Não influi na segurança pessoal.	0
			Existe risco de acidente pessoal, em caso de falha.	3
			Existe alto potencial de acidente pessoal, em caso de falha.	5
5	Existência de stand by (Ver item 5.1)	8	Possui stand by ou não necessita (não afeta a produção).	0
			Afeta a produção da área operacional e não possui stand by.	3
			Afeta a produção da unidade operacional e não possui stand by.	5
6	Ocorrência de falhas.	10	Alta confiabilidade, normalmente não há ocorrência de falhas. $R(30 \text{ dias}) \geq 95\%$	0
			Média confiabilidade, há ocorrência de falhas esporádicas e/ou aleatórias. $75\% \leq R(30 \text{ dias}) < 95\%$	3
			Baixa confiabilidade, ocorrência frequente de falhas. $R(30 \text{ dias}) < 75\%$ .	5
7	Recuperação da produção após reparo	8	Imediata.	0
			Recuperação rápida das condições normais de produção, após reparo (< 8 horas).	3
			Recuperação demorada das condições normais de operação, após reparo (> 8 horas).	5
8	Influência no custo de produção	8	Não afeta o custo de produção da unidade operacional.	0
			Afeta o custo de produção da unidade operacional.	5

Fonte: Plano Diretor de Manutenção e Gestão de Ativos FCSA, 2013.

Foi aplicado um fator de correção da criticidade em função da necessidade de utilização do equipamento na planta para atender o plano de produção no cenário mais atual.

Figura 4.6 – Fator de Correção para Faixa de Criticidade.

ÍNDICE DE TRABALHO PLANEJADO (%)	FATOR DE CORREÇÃO
80 a 100	1,0
60 a 79	0,8
40 a 59	0,6
20 a 39	0,4
0 a 19	0,2

Fonte: Plano Diretor de Manutenção e Gestão de Ativos FCSA, 2013.

Para os equipamentos classificados com criticidade “A”, é avaliado se a sua parada em até 08 horas, para a produção final da unidade operacional e/ ou afeta o plano de vendas. Se a resposta for sim, o equipamento será classificado como “AA”.

A figura 4.7 apresenta a forma de classificação final da criticidade.

Figura 4.7 – Classificação Final de Criticidade.

FAIXA DE CRITICIDADE	ÍNDICE DE CRITICIDADE	TIPO	PERCENTUAL ESPERADO*
≥196	AA	Para a usina	< 5%
	A	Alta	~20%
≥ 132 < 196	B	Média	~50%
< 132	C	Baixa	~25%

Fonte: Plano Diretor de Manutenção e Gestão de Ativos FCSA, 2013.

Na avaliação da CAG, conforme os critérios acima o ativo foi classificado como “AA”, demonstrando a necessidade de um estudo mais aprofundado sobre o sistema para a uma gestão mais eficaz da manutenção, resultando em um plano de manutenção mais robusto.

Baseado na criticidade da CAG, as diretrizes mínimas de manutenção deverão ser seguidas conforme figura 4.8 que contempla a aplicação do RCM na elaboração dos planos de manutenção.

Figura 4.8 – Diretrizes de Manutenção em Função da Criticidade do Ativo.

CLASSE DE CRITICIDADE	TÉCNICA PARA ELABORAÇÃO DOS PLANOS DE MANUTENÇÃO (a)	MONITORAMENTO MÍNIMO RECOMENDADO	GESTÃO DE FALHAS (ver item 5.2)	POLÍTICA DE SOBRESSALENTES (ver item 5.5)	PLANO DE CONTINGÊNCIA	INSPEÇÃO DO EQUIPAMENTO
AA	RCM. A elaboração do plano deverá ser executada pelos especialistas de manutenção + área de confiabilidade/ unidade técnica + área de tecnologia de manutenção.	Monitoramento on-line, sempre que possível.	Análise de falhas completa com relatório de engenharia para todas as falhas. Plano de ação deverá ser acompanhado gerencialmente e implantado pela área de manutenção.	Tipo = Y00 (Estratégico). Alguns sobressalentes podem não ser vitais para o equipamento, podendo ser classificados como Y01, Y02 ou Y03 após justificativa.	Mandatário (ver item 5.3)	Deverá ser designado o(s) melhor(es) inspetor(es), mesmo que os equipamentos estejam em áreas distintas.

Fonte: Plano Diretor de Manutenção e Gestão de Ativos FCSA, 2013.

Figura 4.9 – Cronograma de Implantação do MCC na CAG.

Etapas a serem desenvolvidas:												
1	Delimitação do sistema a ser estudado.											
2	Definir a equipe que irá participar do estudo do RCM.											
3	Descrever as funções, falhas funcionais e modos de falhas dos equipamentos que compõe o sistema.											
4	Classificar a faixa de risco e criticidade dos efeitos dos modos de falhas.											
5	Definir as técnicas de manutenção utilizando a matriz de decisão.											
6	Definir os intervalos de execução e agrupar as tarefas de manutenção.											
7	Criar os planos de manutenção no sistema informatizado de manutenção da ArcelorMittal Tubarão.											
8	Elaborar lista dos sobressalentes críticos.											
9	Elaborar plano de contingência para o sistema estudado.											
Cronograma de atividades:												
Etapa	2017											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												

Fonte: O Autor 2017

As reuniões de estudo do MCC foram agendas conforme demonstrado na figura 4.9, em consenso com a equipe de implantação para serem realizadas todas às sextas feiras com quatro horas de duração de 13:00 às 17:00 entre os meses de março e agosto/2017, conforme o cronograma de implantação.

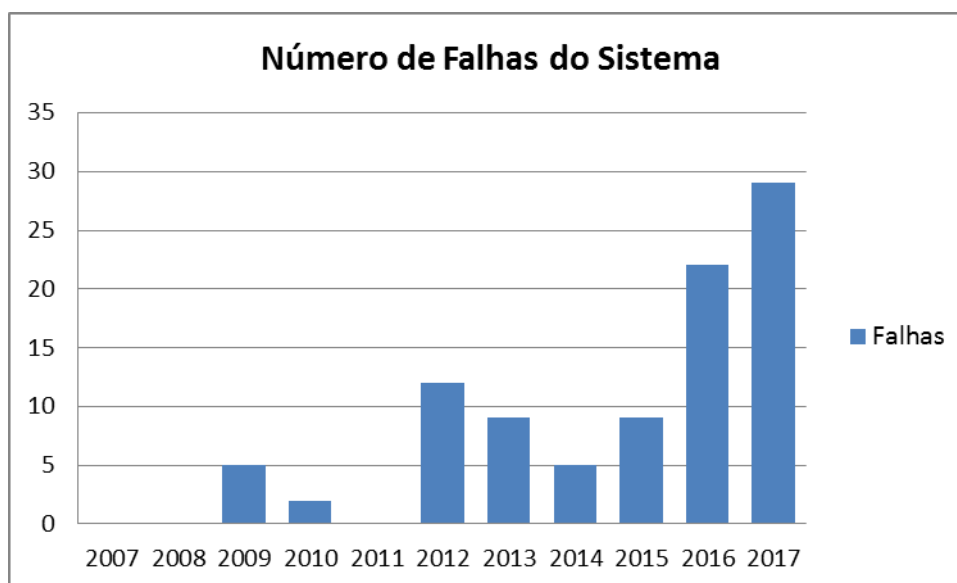
#### 4.1.3 Etapa 02 - Seleção do Sistema e Coleta de Informação

Objetivos: Identificar e documentar o sistema que será submetido à análise da MCC. (RIGONI, 2009, p. 103).

Tarefas: Definir e aplicar critérios quantitativos ou qualitativos para a seleção do sistema para o qual a MCC será aplicada, documentar o sistema selecionado e suas fronteiras. (RIGONI, 2009, p. 103).

Além da criticidade do sistema para o processo, o aumento do número de falhas ao longo do tempo também corrobora para a escolha da Central de Água Gelada da Aciaria, conforme apresentado na figura 4.10.

Figura 4.10 – Histórico de falhas da CAG no período de ago/07 à ago/17.



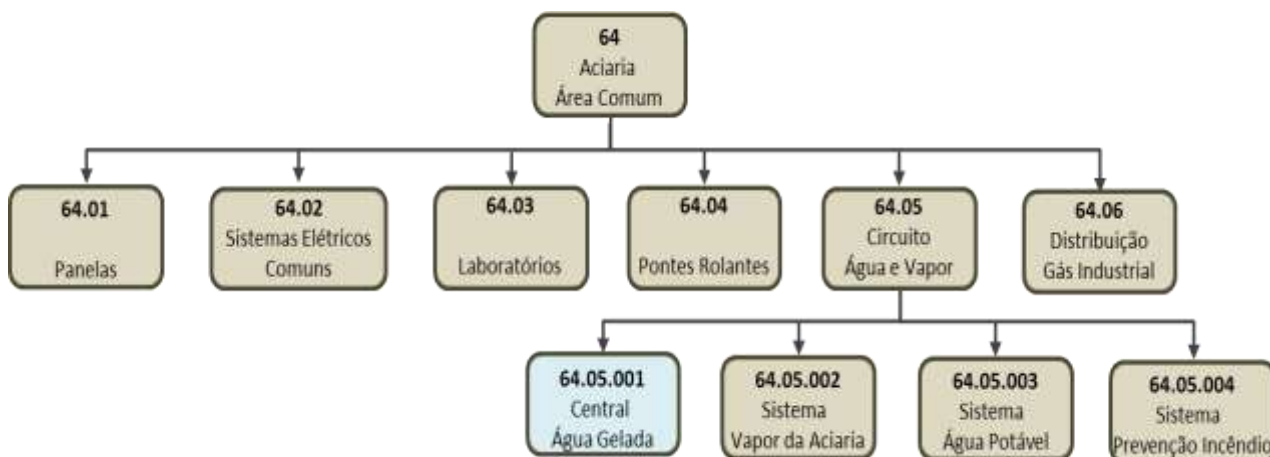
Fonte: CMMS da ArcelorMittal Tubarão, 2017

Apesar do aumento ocorrência de falhas na CAG no período mostrado na figura acima, nenhuma dessas falhas interromperam a operação da Aciaria, pois apenas 16% das falhas ocorridas provocaram a falha total da função primária do sistema e na ocorrência dessas falhas foi possível a atuação da equipe de manutenção em um tempo inferior a 04 horas que é a autonomia da planta sem o recebimento de água gelada.

O estudo do MCC se limita na Central de Água Gelada conforme demonstrado na figura 4.11, com as fronteiras bem definidas. A equipe não abordará no estudo nenhuma especialidade que não esteja inserida no âmbito da refrigeração por não terem conhecimentos técnicos sobre o assunto.



Figura 4.11 – Fluxograma do sistema selecionado.



Fonte: CMMS da ArcelorMittal Tubarão, 2017

O sistema em estudo está no 3º nível da árvore de cadastro de ativos da ArcelorMittal Tubarão.

#### 4.1.3.1 Contexto Operacional

Conforme mencionado no início desse capítulo apenas o *chiller* N°3 (unidade de refrigeração) sem encontra em operação, pois os *Chiller's* N°1 e N°2 chegaram ao fim do ciclo de vida em decorrência das inúmeras falhas e obsolescência de sobressalentes. Para os demais equipamentos da CAG existe redundância.

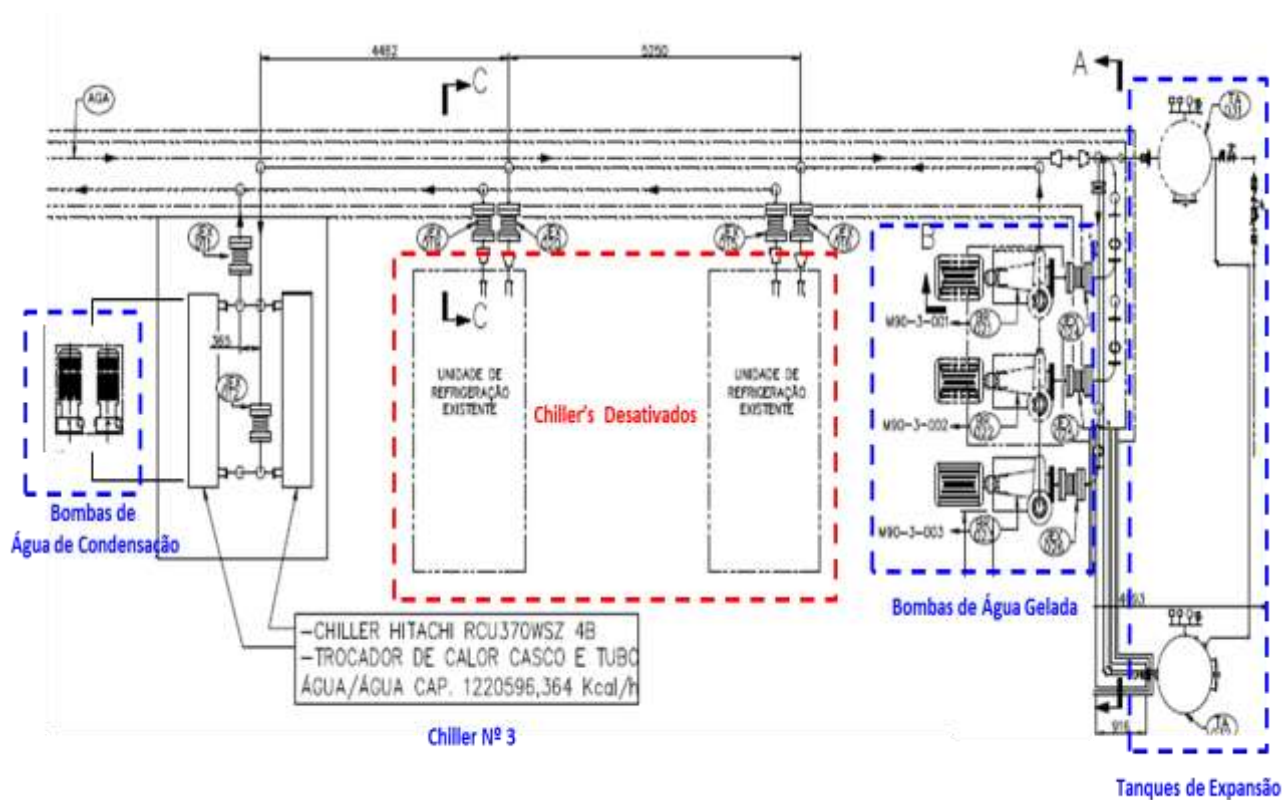
A falha do sistema em estudo não gera impactos ao meio ambiente e segurança dos empregados envolvidos no processo.

A autonomia da planta da sem o fornecimento de água gelada é de 04 horas e varia dependendo do ritmo de produção e temperatura externa. A equipe especializada em refrigeração trabalha em horário administrativo, mas a empresa possui equipes multidisciplinares que trabalha em regime de turno que estão realizam o primeiro combate na ausência da equipe especializada em refrigeração.

Os parâmetros operacionais do sistema foram apresentados na seção 2.2.

Na figura 4.12 está sendo representado um fluxograma do sistema em estudo com os equipamentos que compõe esse estudo.

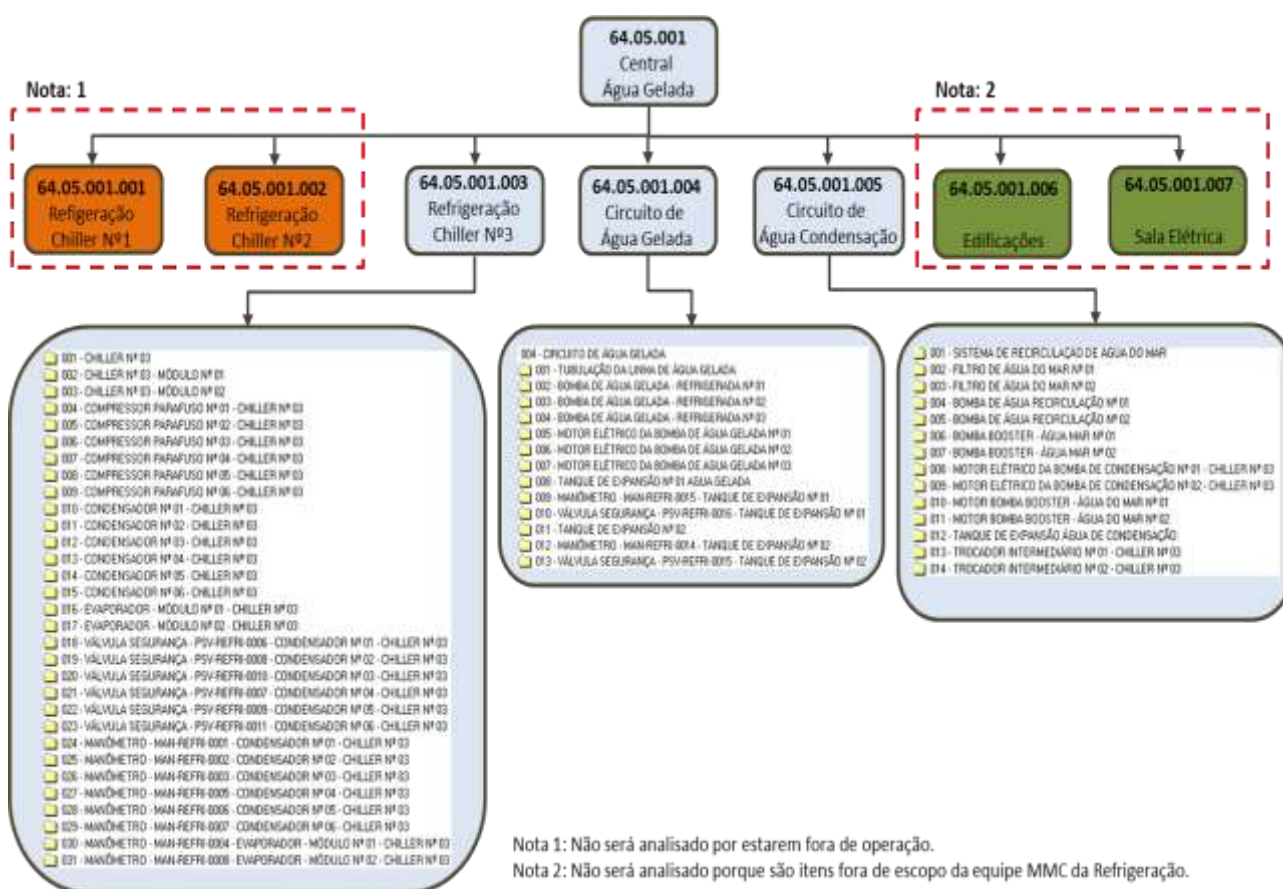
Figura 4.12 – Fluxograma da CAG com os *Chiller's*, bombas de água gelada, bombas de água de condensação e tanques de expansão.



Fonte: ArcelorMittal Tubarão, 2017

A figura 4.13 apresenta o cadastro da Central de Água Gelada da Aciaria até o nível de manutenibilidade, onde se exclui os *Chiller's* N°1 e N°2, edificações e sala elétrica.

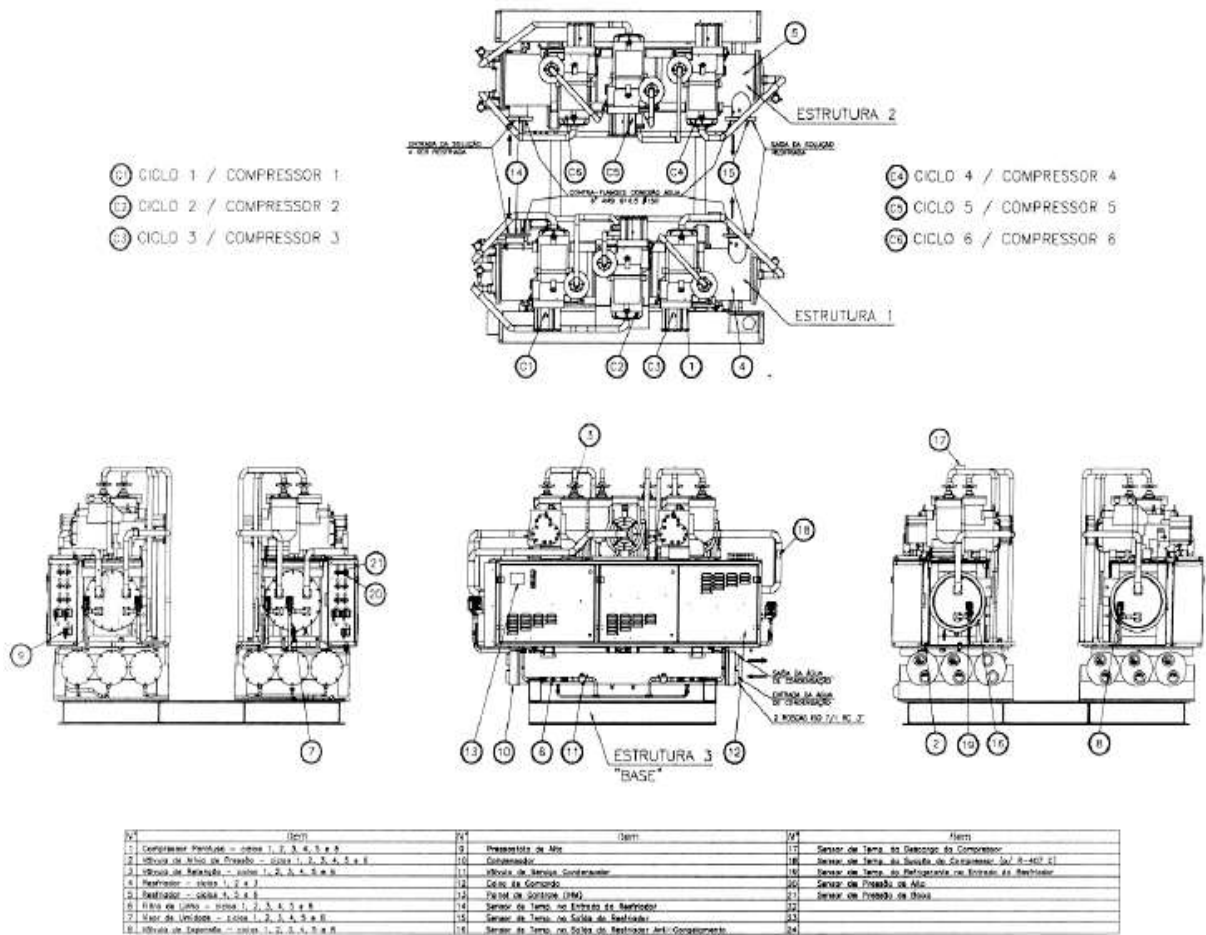
Figura 4.13 – Cadastro da CAG até o nível de manutenibilidade.



Fonte: ArcelorMittal Tubarão, 2017

A figura 4.14 apresenta os componentes do *Chiller* N°3 composto por 6 ciclos de refrigeração com 370 TR de capacidade frigorífica.

Figura 4.14 – Componentes do *Chiller* N°3



Fonte: Manual Chiller Samurai Hitachi, 2006

A fotografia 4.1 apresenta o conjunto de bombas de água gelada da CAG com capacidade de 186m<sup>3</sup>/h de vazão cada bomba. O sistema funciona com 02 bombas em operação e uma na condição de *stand by*.

Fotografia 4.1 – Bombas de água gelada.



Fonte: ArcelorMittal Tubarão, 2017

Os tanques de expansão apresentados na fotografia 4.2 desempenham uma função extremamente importante no ciclo de funcionamento da CAG, mantendo a devida pressurização na tubulação de água gelada e evitando que bolhas se formem em seu interior. Aspectos importantes de controle se referem aos níveis de água que são monitorados por sensores de níveis e pressão interna de 3 kgf/cm<sup>2</sup>

Fotografia 4.2 – Tanques de expansão de água gelada.



Fonte: ArcelorMittal Tubarão, 2017

A fotografia 4.3 apresenta o conjunto de bombas de água de condensação da CAG com capacidade de 222m<sup>3</sup>/h de vazão cada bomba. O sistema funciona com 01 bomba em operação e a outra na condição de *stand by*.

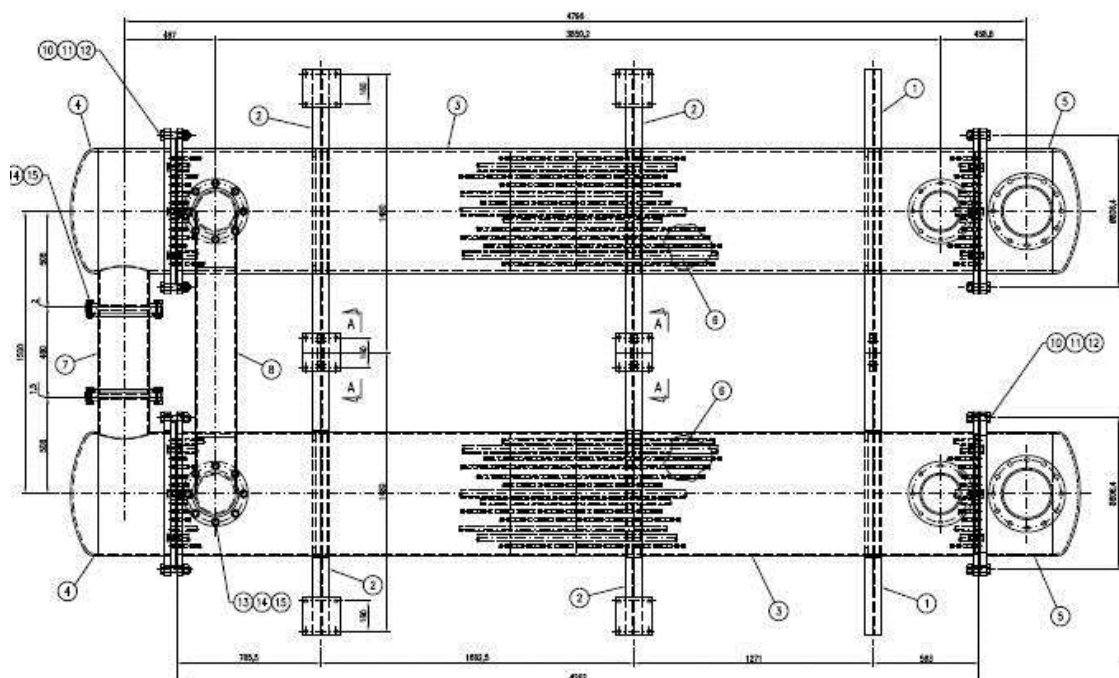
Fotografia 4.3 – Bombas de água de condensação.



Fonte: ArcelorMittal Tubarão, 2017

Os trocadores de calor intermediário apresentados na figura 4.15 são responsáveis por absorver o calor da água de condensação do *Chiller* N<sup>o</sup>3 e rejeitar esse calor na água do mar. O sistema opera com os dois trocadores de calor ao mesmo tempo.

Figura 4.15 – Trocadores de Calor Intermediário.



Fonte: ArcelorMittal Tubarão, 2017

O formulário dessa etapa encontra-se no quadro 4.1 na página 75 desse trabalho.

#### 4.1.4 Etapa 03 – Análise dos Modos de Falhas, seus Efeitos e sua Criticidade.

Objetivos: Identificar e documentar todas as funções do sistema selecionado na etapa 2, seus modos de falha, efeitos provocados pelas falhas funcionais, causas dos modos de falhas e avaliação de sua criticidade (RIGONI, 2009, p. 104).

Tarefas: Conduzir e documentar o processo de FMECA, avaliar seus modos de falha em relação a sua criticidade, levando em consideração a severidade dos efeitos e a frequência das ocorrências das causas dos modos de falhas e a probabilidade de detecção das causas do modo de falha. (RIGONI, 2009, p. 104).

O *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA), análise de modos e efeitos de falha é uma ferramenta que identifica e prioriza falhas potenciais em equipamentos, processos e sistemas. O FMEA hierarquiza as falhas potenciais e direciona ações de manutenção que visam evita-las (SMITH; KEITH, 2008).

Além do FMEA, é comum a utilização da sigla FMECA, que significa Análise de Criticidade, Modos e Efeitos de Falhas. A principal diferença entre FMEA e FMECA está no fato que a primeira é uma técnica mais ligada ao aspecto qualitativo, sendo muito utilizada na avaliação de projetos, enquanto a segunda inclui o que se denomina Análise Crítica (CA –*Criticality Analysis*). A Análise Crítica é um método quantitativo utilizado para classificar os modos e efeitos de falhas críticas levando em consideração suas probabilidades de ocorrência.

A identificação da função de cada componente, seus modos potenciais de falha, seus efeitos e suas causas e, por consequência, a classificação dos graus de criticidade, são resultados da aplicação da ferramenta de Análise de Criticidade e Modo de Efeito de Falhas (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

O FMECA da CAG está demonstrado nos quadros 4.2 a 4.4 nas páginas 80 a 95.

#### 4.1.5 Etapa 04 - Seleção das Funções Significantes e Classificação de seus Modos de Falhas.

Objetivos: Para Rigoni (2009, p.105) “analisar cada função identificada na etapa anterior e determinar se a falha funcional tem efeito significativo, caso haja, classificar seus modos de falha de acordo com os pilares da MCC: segurança, meio ambiente, operação e economia do processo”.

Tarefas: Para Rigoni (2009, p.105) “elaborar critérios para as funções identificadas na etapa 3; elaborar os critérios para a definição se um modo de falha ou seus efeitos são ou não evidentes, se há impacto ambiental, de segurança, econômico ou operacional.”

Nessa etapa foi realizada a priorização dos modos de falhas, baseado no risco de cada modo de falha, para posterior análise.

O risco de cada modo de falha foi definido através do resultado do produto, severidade, ocorrência e detecção.



$$\text{Risco} = \text{Severidade} \times \text{Ocorrência} \times \text{Detecção}$$

As figuras 4.16 a 4.21 irão apresentar os critérios que foram utilizados para classificar a severidade, ocorrência e detecção.

Figura 4.16 – Classificação de Severidade.

TABELA DE SEVERIDADE DAS CONSEQUÊNCIAS	
Severidade das consequências	Ranking
Marginal: A falha não teria efeito real no sistema. O cliente provavelmente nem notaria a falha.	1
Baixa: A falha causa apenas pequenos transtornos ao cliente. O cliente notará provavelmente leves variações no desempenho do sistema.	2
	3
Moderada: A falha ocasiona razoável insatisfação no cliente. O cliente ficará desconfortável e irritado com a falha. O cliente notará razoável deterioração no desempenho do sistema.	4
	5
	6
Alta: Alto grau de insatisfação do cliente. O sistema se torna inoperável. A falha não envolve riscos à segurança operacional ou o descumprimento de requisitos legais.	7
	8
Muito Alta: A falha envolve riscos à operação segura do sistema e/ou descumprimento de requisitos legais.	9
	10

Fonte: Plano Diretor de Manutenção e Gestão de Ativos FCSA, 2013.

Figura 4.17 – Classificação de Ocorrência.

TABELA DE PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA		
Probabilidade de Falha	Ranking	Taxa de Falhas
Remota: A falha é improvável.	1	< 1 em 106
Baixa: Relativamente poucas falhas.	2	1 em 20.000
	3	1 em 40.000
Moderada: Falhas ocasionais.	4	1 em 1.000
	5	1 em 400
	6	1 em 80
Alta: Falhas repetitivas.	7	1 em 40
	8	1 em 20
Muito alta: Falhas quase que inevitáveis.	9	1 em 8
	10	1 em 2

Fonte: Plano Diretor de Manutenção e Gestão de Ativos FCSA, 2013.

Figura 4.18 – Classificação de Detecção.

TABELA DE PROBABILIDADE DE DETECÇÃO	
Probabilidade de Detecção	Ranking
Muito Alta: A falha será certamente detectada durante o processo de projeto/fabricação/montagem/ operação.	1
	2
Alta: Boa chance de determinar a falha.	3
	4
Moderada: 50% de chance de determinar a falha.	5
	6
Baixa: Não é provável que a falha seja detectável.	7
	8
Muito Baixa: A falha é muito improvavelmente detectável.	9
Absolutamente indetectável: A falha não será detectável, com certeza.	10

Fonte: Plano Diretor de Manutenção e Gestão de Ativos FCSA, 2013.

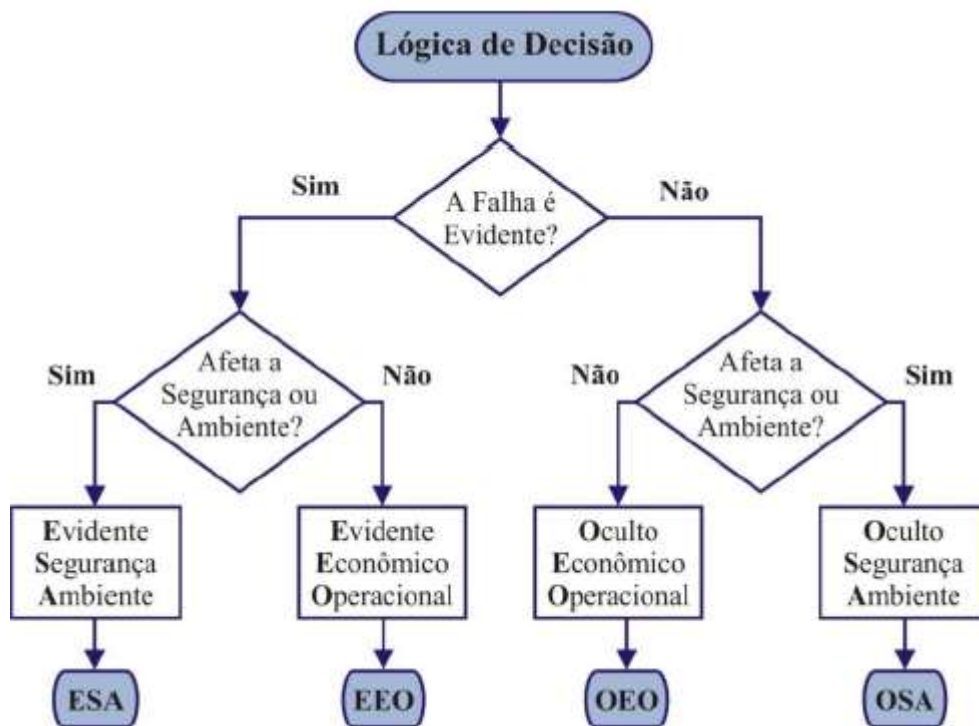
Foram priorizados os modos de falhas conforme as faixas abaixo:

- Baixa: 1 até 79;
- Média: 80 até 124;
- Alta: 125 até 1000.

Os modos de falhas que se enquadraram no risco médio e alto, foram analisados na matriz de decisão da figura 4.19, os demais não foram analisados por se tratar de risco de perda baixo. Através de experiências de implantação anteriores, e técnicas adotadas por outras empresas, mostra que a priorização encurta o tempo de análise e deixa os planos de manutenção mais enxutos (FCSA, 2013)

A figura 4.19 apresenta diagrama da lógica de decisão que foi utilizado na classificação dos modos de falhas das funções significantes.

Figura 4.19 – Lógica de Decisão da Classificação dos Modos de Falhas.



Fonte: Rigoni, 2009.

Os Formulários da seleção das funções significantes e classificação dos seus modos de falhas estão demonstrados nos quadros 4.5 a 4.7 nas páginas 99 a 103.

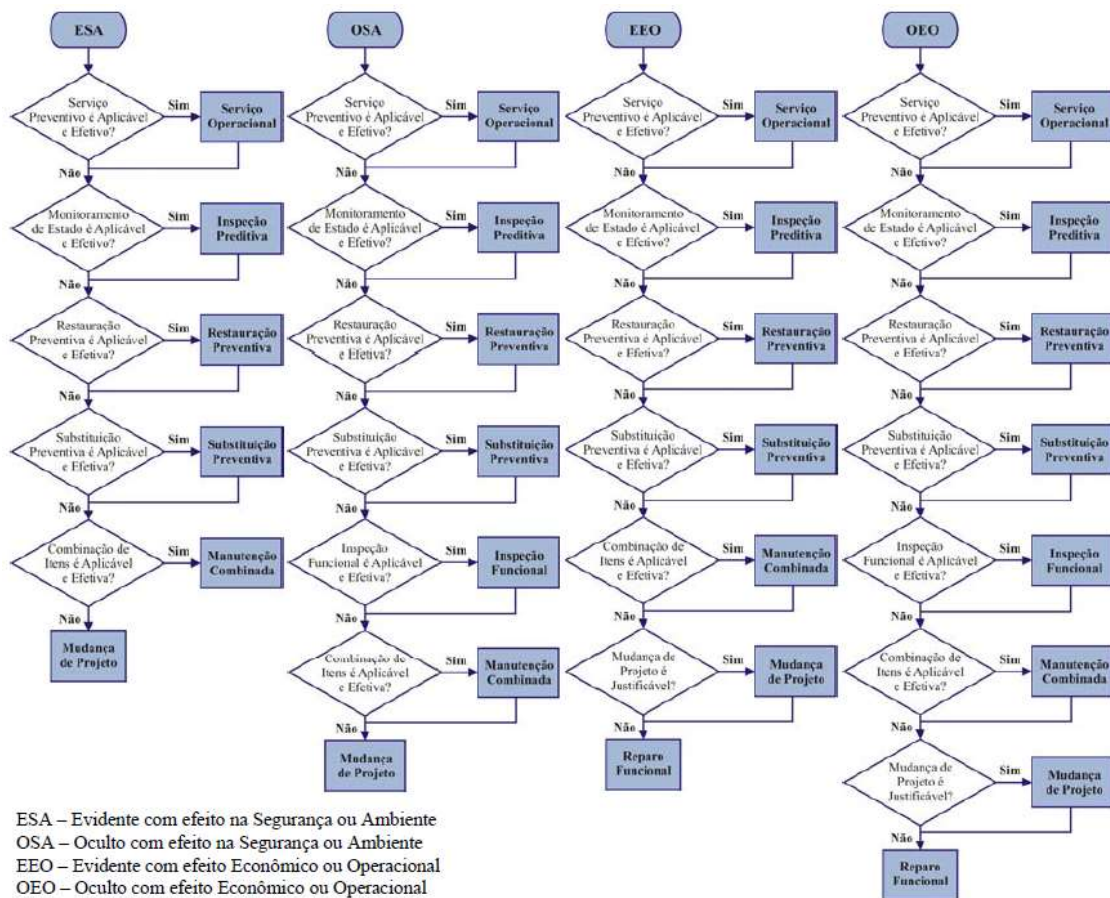
#### 4.1.6 Etapa 05 - Seleção das Tarefas de Manutenção Aplicáveis e Efetivas.

Objetivos: determinar quais as tarefas de manutenção são aplicáveis e efetivas para cada uma das funções significativas identificadas e caracterizadas na Etapa 4 (RIGONI, 2009, p. 107).

Tarefas: definir os critérios para as atividades de manutenção; aplicar o diagrama de decisão das tarefas aplicáveis e efetivas da manutenção e documentar o processo de seleção das tarefas de manutenção. (RIGONI, 2009, p. 107).

A tarefa mais difícil do RCM é a definição de qual tarefa utilizar para se eliminar ou monitorar os modos de falha. Para facilitar essa decisão foi utilizada a matriz de decisão mostrada na figura 4.20.

Figura 4.20 – Seleção de Tarefas de Manutenção.



A estrutura de texto que comportará as tarefas de manutenção deve se construída conforme a estrutura da figura 4.21. É constituído de uma “ação” com verbo no infinitivo, um “objeto” e “local” são utilizados para situar o ponto onde a ação será aplicada, um “método e a “medida padrão”.

Figura 4.21 – Exemplo de Estrutura de Texto para Inspeção em Cabos de Aço.

Verificar o número de fios partidos por 5 passos do cabo			Visual	< 10 fios
Ação	Objeto	Local	Método ou Ferramental	Medida Padrão

Fonte: Plano Diretor de Manutenção e Gestão de Ativos FCSA, 2013.

Os quadros 4.8 a 4.10 nas paginas 104 a 108 apresentam o desenvolvimento dessa etapa.

#### 4.1.7 Etapa 06 - Intervalos Iniciais e Agrupamento das Tarefas de Manutenção.

**Objetivos:** definir a periodicidade inicial das atividades de manutenção selecionadas na etapa 05 e otimizar as ações da equipe da manutenção. (RIGONI, 2009, p. 108).

**Tarefas:** estabelecer métodos e critérios para a definição da periodicidade da execução; definir métodos e critérios para a execução das atividades; agrupar de forma otimizada as tarefas de acordo com o tamanho da equipe de manutenção. (RIGONI, 2009, p. 108).

Nesta etapa é listada as tarefas de manutenção da etapa 05 e determinado o intervalo de manutenção para a execução dessas tarefas. A periodicidade para a execução dessas tarefas foi definida pela experiência do grupo de estudo, manual do equipamento e similaridade com outras instalações.

O desenvolvimento dessa etapa está apresentado nos quadros 4.11 a 4.13 nas páginas 110 a 113.

#### 4.1.8 Etapa 07 – Redação do Manual e Implementação.

Objetivos: redigir o manual de manutenção e implementar as ações propostas pela MCC com base nas conclusões das etapas anteriores. (RIGONI, 2009, p. 109).

Tarefas: redigir o manual contendo a descrição detalhada do sistema e seus componentes; da política adotada pela manutenção em relação às atividades não significativas na etapa 4. (RIGONI, 2009, p. 109).

Todas as informações geradas ao longo do processo de implementação das etapas devem ser documentadas e disponibilizadas para os setores envolvidos com o programa de MCC.

Em função da implantação recente do MCC na Central de Água Gelada, foi decidido que o manual será elaborado após a primeira rodada de execução dos planos, pois poderão surgir alguns ajustes.

#### 4.1.9 Etapa 08 – Acompanhamento e Realimentação

Objetivos: executar acompanhamento e a realimentação do programa da MCC, ao longo de todo seu ciclo de vida. (RIGONI, 2009, p. 109).

Tarefas: definição dos indicadores de desempenho do programa da MCC; definição dos índices de desempenho a serem alcançados pela MCC. Estruturar as rotinas e estratégias para a coleta de informações que irão contribuir os indicadores de desempenho. (RIGONI, 2009, p. 110).

Está etapa não foi realizada em função da recente implantação da MCC na CAG da Aciaria.

## 4.2 FORMULÁRIOS DE IMPLEMENTAÇÃO DO MCC.

Nas próximas paginas serão demonstradas as figuras com o desenvolvimento das etapas.

Quadro 4.1 – Formulário Etapa 0 Critério 1.

Crítérios	Quesitos a serem ponderados	Aderência (0 a 10)	Ideal	Justificativa (Aderência < Ideal)	Plano de Ação
<b>Critério 1 (C1)</b> Disponibilidade da Informação e/ou Recursos	Q1 Será adotado um procedimento de referência e/ou norma para implantação da MCC. A equipe de implantação conhece este procedimento/norma e todas as entradas/necessidades deste procedimento/norma estão disponíveis.	8	8		
	Q2 Existe uma documentação consistente das ações de manutenção. Exemplos: Ordens de Serviço consistentes, MTBF (Tempo Médio Entre Falhas), MTTR (Tempo Médio Para Reparo), histórico de falhas, etc...	8	8		
	Q3 Os sistemas candidatos à implantação da MCC possuem uma documentação técnica adequada. Exemplos: Projetos, manuais, relatórios de ensaio, etc...	10	8		
	Q4 O planejamento estratégico da empresa está documentado de forma auditável. Este planejamento contempla a manutenção e particularmente a MCC como estratégia para gestão de ativos.	10	8		

Fonte: O Autor 2017.

Quadro 4.2 – Formulário Etapa 0 Critério 2.

Crítérios	Quesitos a serem ponderados	Aderência (0 a 10)	Ideal	Justificativa (Aderência < Ideal)	Plano de Ação
Critério 2 (C2)  Condição e Desempenho Atual da Manutenção	Q1 O percentual de Inspeções Preditivas ou Manutenção Baseada na Condição é significativo quando comparado à Manutenção Preventiva Sistemática (baseada no tempo) ou Corretiva. Portanto, a equipe de manutenção tem experiência em Técnicas Preditivas e Manutenção Baseada na Condição.	9	8		
	Q2 O desempenho atual da manutenção é satisfatório e homogêneo em todo o sistema fabril, contando com uma equipe adequadamente preparada e eficaz para o desempenho de sua função.	6	8	Recentemente a equipe de manutenção recebeu 5 novos empregados que precisam de qualificação em refrigeração.	Treinar os novos empregados em refrigeração.
	Q3 Para o sistema, no qual se pretende implantar a MCC, historicamente o número de operadores, no chão de fábrica, é pequeno quando comparado a sistemas similares em outras plantas ou empresas.	10	8		
	Q4 Os custos diretos e indiretos devidos à manutenção são altos com o sistema atual de gestão da manutenção, quando comparados a outros sistemas similares em outras plantas ou empresas.	6	8	Manutenções recorrentes no equipamento está acontecendo nos últimos 3 anos devido corrosão e fim de vida útil de alguns componentes.	Substituição dos componentes que estão apresentando falhas.

Fonte: O Autor 2017.

Quadro 4.3 – Formulário Etapa 0 Critério 3.

Crítérios	Quesitos a serem ponderados	Aderência (0 a 10)	Ideal	Justificativa (Aderência < Ideal)	Plano de Ação
Critério 3 (C3)  Sistema Computacional de Suporte	Q1 Para auxiliar a implantação do programa de MCC, um sistema computacional de automação de escritório (processamento de texto e planilhas eletrônicas) estará disponível, ou então, a equipe de implantação contará com um software específico para concepção do programa de MCC.	9	8		
	Q2 A empresa dispõe de um sistema de gestão da informação integrado, que atende de forma satisfatória às necessidades do setor/equipe de manutenção. Este sistema estará disponível para a equipe de implantação e também para a gestão do programa de MCC após a sua implantação.	9	8		
	Q3 A gestão da manutenção conta com um sistema computacional adequadamente dimensionado para o tamanho da empresa e do sistema que se quer implantar a MCC.	10	8		
	Q4 O sistema computacional de gestão da manutenção é de uso amigável, toda a equipe possui treinamento adequado para utilizá-lo e sua utilização faz parte da rotina de trabalho da equipe de manutenção.	10	8		
	Q5 O sistema computacional de gestão da manutenção permite integração com softwares específicos de implantação e gestão da MCC. Caso contrário, conta com no mínimo as seguintes funcionalidades: inclusão de novas tarefas com períodos customizados; controle estatístico da manutenção; e agrupamento de tarefas de manutenção de forma otimizada.	9	10		

Fonte: O Autor 2017.



Quadro 4.4 – Formulário Etapa 0 Critério 4.

Critérios	Quesitos a serem ponderados	Aderência (0 a 10)	Ideal	Justificativa (Aderência < Ideal)	Plano de Ação
<b>Critério 4 (C4)</b>  <b>Cultura da Manutenção e/ou Empresa</b>	Q1 O setor e/ou equipe de manutenção atual registra suas ações de forma suficientemente detalhada para suportar uma análise estatística de tais ações.	8	8		
	Q2 A manutenção tem função estratégica dentro da empresa e ocupa um lugar de destaque na estrutura organizacional, assumindo um papel importante na gestão dos ativos físicos da empresa.	10	8		
	Q3 A equipe e/ou setor de manutenção, em suas diferentes categorias profissionais, são motivados, cooperativos e conscientes de seu papel estratégico dentro de empresa.	9	10		
	Q4 Outras metodologias de gestão da manutenção foram previamente adotadas e/ou estudadas e, por algum critério de consenso da empresa, culminaram com a adoção da MCC. Portanto, é possível afirmar que a empresa e a equipe/setor de manutenção têm afinidade com métodos mais elaborados de gestão da manutenção.	8	8		
	Q5 O atual programa de manutenção é continuamente atualizado e auditado por pessoal interno ou externo à empresa ou setor de manutenção.	10	10		

Fonte: O Autor 2017.

Quadro 4.5 – Formulário Etapa 0 Critério 5.

Critérios	Quesitos a serem ponderados	Aderência (0 a 10)	Ideal	Justificativa (Aderência < Ideal)	Plano de Ação
<b>Critério 5 (C5)</b>  <b>Gerenciamento Estratégico da Manutenção</b>	Q1 Existe um orçamento para viabilizar a implantação da MCC e que supra as seguintes necessidades: treinamento de pessoal dentro da filosofia da MCC; disponibilidade de recursos humanos; implantação de ações preditivas; e, implementação de sistemas computacionais de suporte a MCC, caso necessário.	9	8		
	Q2 As decisões referentes às estratégias de gestão da manutenção estão em conformidade e tem suporte por outros setores da empresa, o que caracteriza o bom relacionamento institucional.	10	8		
	Q3 Os níveis gerenciais veem a manutenção como investimento e não como um custo. Portanto, é possível afirmar que a MCC foi adotada como uma das estratégias para uma gestão mais eficaz dos ativos físicos.	10	8		
	Q4 A MCC é visualizada como parte de um processo geral/global de gerenciamento da manutenção, com métodos e técnicas, podendo coexistir outras metodologias de gestão da manutenção em paralelo ou integrado ao MCC.	8	8		
	Q5 Grande parte da manutenção é terceirizada, entretanto, seus controles, registros e demais itens de gestão estão a cargo da empresa ou seu representante. Portanto, neste caso, não há problemas com a Gestão do Conhecimento inerente à manutenção.	10	10		

Fonte: O Autor 2017.

Quadro 4.6 – Formulário Etapa 2 - Tabela de Definição de Fronteiras

Responsável pela Análise: Giussepp Morais	Equipe: Giussepp Morais, Naum Filho, Gustavo Lemos e Maurício Farah.	Data: 24/03/17
Auditado por: ITC - Gerência de Tecnologia e Confiabilidade de Manutenção		Página / De:

Sistema	Central de Água Gelada			Id_Sistema	CAG
Id_Subistema	Subsistema	Id_Função	Função	Id_Componente	Componente
CH3	Chiller Nº3	1	Retirar até 370 TR de calor da água gelada mantendo a temperatura entre 6,7 °C à 12,2 °C.	1.1	Compressor Nº1
				1.2	Compressor Nº2
				1.3	Compressor Nº3
				1.4	Compressor Nº4
				1.5	Compressor Nº5
				1.6	Compressor Nº6
				1.7	Evaporador Nº1
				1.8	Evaporador Nº2
				1.9	Condensador Nº 1
				1.10	Condensador Nº 2
				1.11	Condensador Nº 3
				1.12	Condensador Nº 4
				1.13	Condensador Nº 5
				1.14	Condensador Nº 6
				1.15	Painel de Controle Nº1
				1.16	Painel de Comando Nº1
				1.17	Painel de Controle Nº2
				1.18	Painel de Comando Nº2
				1.19	Válvula Alívio de Pressão Nº1
				1.20	Válvula Alívio de Pressão Nº2
				1.21	Válvula Alívio de Pressão Nº3
				1.22	Válvula Alívio de Pressão Nº4
				1.23	Válvula Alívio de Pressão Nº5

Id_Subistema	Subistema	Id_Função	Função	Id_Componente	Componente
				1.24	Válvula Alívio de Pressão Nº6
				1.25	Válvula de Retenção Nº1
				1.26	Válvula de Retenção Nº2
				1.27	Válvula de Retenção Nº3
				1.28	Válvula de Retenção Nº4
				1.29	Válvula de Retenção Nº5
				1.30	Válvula de Retenção Nº6
				1.31	Filtro de Linha Nº1
				1.32	Filtro de Linha Nº2
				1.33	Filtro de Linha Nº3
				1.34	Filtro de Linha Nº4
				1.35	Filtro de Linha Nº5
				1.36	Filtro de Linha Nº6
				1.37	Válvula de Expansão Nº1
				1.38	Válvula de Expansão Nº2
				1.39	Válvula de Expansão Nº3
				1.40	Válvula de Expansão Nº4
				1.41	Válvula de Expansão Nº5
				1.42	Válvula de Expansão Nº6
				1.43	Válvula de Retenção Nº1
				1.44	Válvula de Retenção Nº2
				1.45	Válvula de Retenção Nº3
				1.46	Válvula de Retenção Nº4
				1.47	Válvula de Retenção Nº5
				1.48	Válvula de Retenção Nº6
				1.49	Visor de Umidade Nº1
				1.50	Visor de Umidade Nº2
				1.51	Visor de Umidade Nº3
				1.52	Visor de Umidade Nº4
				1.53	Visor de Umidade Nº5
				1.54	Visor de Umidade Nº6
				1.55	Pressostato de Alta Nº1
				1.56	Pressostato de Alta Nº2
				1.57	Pressostato de Alta Nº3
				1.58	Pressostato de Alta Nº4
				1.59	Pressostato de Alta Nº5

Id_Subistema	Subistema	Id_Função	Função	Id_Componente	Componente
				1.60	Pressostato de Alta Nº6
				1.61	Sensor de Pressão Alta Nº1
				1.62	Sensor de Pressão Alta Nº2
				1.63	Sensor de Pressão Alta Nº3
				1.64	Sensor de Pressão Alta Nº4
				1.65	Sensor de Pressão Alta Nº5
				1.66	Sensor de Pressão Alta Nº6
				1.67	Sensor de Pressão Baixa Nº1
				1.68	Sensor de Pressão Baixa Nº2
				1.69	Sensor de Pressão Baixa Nº3
				1.70	Sensor de Pressão Baixa Nº4
				1.71	Sensor de Pressão Baixa Nº5
				1.72	Sensor de Pressão Baixa Nº6
				1.73	Sensor Temperatura de Entrada Evaporador Nº1
				1.74	Sensor Temperatura de Saída Evaporador Nº1
				1.75	Sensor Temperatura de Entrada Evaporador Nº2
				1.76	Sensor Temperatura de Saída Evaporador Nº2
				1.77	Sensor de Anti-Congelamento Nº1
				1.78	Sensor de Anti-Congelamento Nº2
				1.79	Sensor Temp. Descarga Nº1
				1.80	Sensor Temp. Descarga Nº2
				1.81	Sensor Temp. Descarga Nº3
				1.82	Sensor Temp. Descarga Nº4
				1.83	Sensor Temp. Descarga Nº5
				1.84	Sensor Temp. Descarga Nº6
				1.85	Sensor Temp. Sucção Nº1
				1.86	Sensor Temp. Sucção Nº2
				1.87	Sensor Temp. Sucção Nº3
				1.88	Sensor Temp. Sucção Nº4
				1.89	Sensor Temp. Sucção Nº5
				1.90	Sensor Temp. Sucção Nº6
				1.91	Sensor Temp. Refrig. Nº1

Id_Subistema	Subsistema	Id_Função	Função	Id_Componente	Componente
				1.92	Sensor Temp. Refrig. Nº2
				1.93	Sensor Temp. Refrig. Nº3
				1.94	Sensor Temp. Refrig. Nº4
				1.95	Sensor Temp. Refrig. Nº5
				1.96	Sensor Temp. Refrig. Nº6
CAGL	Circuito de Água Gelada	2	Recircular a água de gelada entre o <i>Chiller</i> e os fan coils a uma vazão de 372 m <sup>3</sup> /h	2.1	Motor Elétrico Nº1
				2.2	Acoplamento Nº1
				2.3	Bomba Nº1
				2.4	Manômetro Nº1
				2.5	Motor Elétrico Nº2
				2.6	Filtro de Água Nº1
				2.7	Acoplamento Nº2
				2.8	Bomba Nº2
				2.9	Manômetro Nº2
				2.10	Filtro de Água Nº2
				2.11	Motor Elétrico Nº3
				2.12	Acoplamento Nº3
				2.13	Bomba Nº3
				2.14	Manômetro Nº3
				2.15	Filtro de Água Nº3
				2.16	Tanque de Expansão Nº1
				2.17	Válvula de Segurança Nº1
				2.18	Manômetro do Tanque de Expansão Nº1
				2.19	Tanque de Expansão Nº2
				2.20	Válvula de Segurança Nº2
				2.21	Manômetro do Tanque de Expansão Nº2
CACD	Circuito de Água de Condensação	3	Rejeitar 400 TR de calor e recircular a água de condensação entre o <i>Chiller</i> e os trocadores de calor intermediário a uma vazão de 222 m <sup>3</sup> /h	3.1	Motor Elétrico Nº1
				3.2	Acoplamento Nº1
				3.3	Bomba Nº1

<b>Id_Subistema</b>	<b>Subsistema</b>	<b>Id_Função</b>	<b>Função</b>	<b>Id_Componente</b>	<b>Componente</b>
				3.4	Manômetro Nº1
				3.5	Motor Elétrico Nº2
				3.6	Filtro de Água Nº1
				3.7	Acoplamento Nº2
				3.8	Bomba Nº2
				3.9	Manômetro Nº2
				3.10	Filtro de Água Nº2
				3.11	Trocador de Calor Nº1
				3.12	Trocador de Calor Nº2
				3.13	Tubulação de Interligação

Fonte: O Autor 2017.

Quadro 4.7 – Formulário Etapa 03 - Análise dos Modos de Falha, seus Efeitos e sua Criticidade (FMECA) do *Chiller* Nº3

Responsável pela Análise: Giussepp Morais	Equipe: Giussepp Morais, Naum Filho, Gustavo Lemos e Maurício Farah.	Data: 07/04/17
Auditado por: ITC - Gerência de Tecnologia e Confiabilidade de Manutenção		Página / De:
Sistema: Central de Água Gelada da Aciaria		Id_Sistema: CAG
Subsistema Analisado: <i>Chiller</i> Nº3		Id_Subsistema: CH3

Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
1	Refrigerar a água gelada mantendo a temperatura entre 6,7 °C a 12,2 °C.	1	Não retirar calor da água gelada.	1	Placa eletrônica principal queimada.	Parada do <i>Chiller</i> .	Aumento da temperatura de água gelada.	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Desarme dos equipamentos do processo.	8	- Contaminação por umidade. - Contaminação por poeira. - Mau contato nas conexões dos cabos elétricos. - Aterramento mal fixado. - Variação de tensão. - Fim de vida útil.	3	Inspeção geral.	6	144

Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
				2	Transformador de comando queimado.	Parada do <i>Chiller</i> .	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Desarme dos equipamentos do processo.	8	- Variação de tensão. - Aterramento mal fixado. - Sobrecarga. - Aquecimento. - Fim de vida útil	5	Inspeção geral.	5	200
				3	Cabo elétrico de comando rompido.	Parada do <i>Chiller</i> .	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Desarme dos equipamentos do processo..	8	- Prensamento dos cabos. - Tencionamento dos cabos.	1	Nenhum controle.	6	48
				4	Cabo elétrico de comando desconectado	Parada do <i>Chiller</i> .	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Desarme dos equipamentos do processo.	8	- Tensionamento dos cabos.	1	Inspeção geral.	6	48
				5	Cabo elétrico de comando folgado.	Parada do <i>Chiller</i> .	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Desarme dos equipamentos do processo.	8	- Variação de temperatura nas conexões.	3	Inspeção geral.	6	144



Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
				6	Cabo elétrico de alimentação rompido.	Parada do <i>Chiller</i> .	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Desarme dos equipamentos do processo.	8	- Prensamento dos cabos. - Tencionamento dos cabos.	1	Nenhum controle.	3	24
				7	Cabo elétrico de alimentação desconectado	Parada do <i>Chiller</i> .	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Desarme dos equipamentos do processo.	8	- Tensionamento dos cabos.	3	Inspeção geral.	3	72
				8	Cabo elétrico de alimentação folgado.	Parada do <i>Chiller</i> .	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Desarme dos equipamentos do processo.	8	- Variação de temperatura nas conexões.	3	Inspeção geral.	6	144
				9	Chave de fluxo desregulada.	Parada do <i>Chiller</i> .	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Desarme dos equipamentos do processo.	8	- Mola de ajuste da chave fluxo quebrada. - Perda da elasticidade da mola da chave de fluxo. - Palheta com corrosão. - Palheta quebrada.	5	Inspeção aleatória.	6	240

Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
				10	Sensor de temperatura de água gelada queimado.	Parada do <i>Chiller</i> .	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Desarme dos equipamentos do processo.	8	- Oxidação dos bornes. - Variação de tensão. - Mau fixação do aterramento. - Fim de vida útil. - Curto circuito.	5	Nenhum controle.	3	120
				11	Cabo do sensor de temperatura de água gelada desconectado.	Parada do <i>Chiller</i> .	Aumento da temperatura de água gelada.	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Desarme dos equipamentos do processo.	8	- Cabo tensionado.	3	Inspeção geral.	3	72
		2	Refrigerar a água gelada mantendo a temperatura superior à 12,2 °C.	1	Tubulação frigorífica furada.	- Vazamento de fluido refrigerante. - Redução da capacidade de refrigeração do equipamento.	Aumento da temperatura de água gelada.	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme do processo	6	- Corrosão	3	Inspeção geral.	5	90
				2	Compressor queimado	- Parada de um circuito frigorífico. - Redução da capacidade de refrigeração do equipamento	Aumento da temperatura de água gelada.	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme do processo.	6	- Baixo isolamento do motor do compressor. - Aquecimento do motor elétrico. - Alta temperatura de superaquecimento do circuito frigorífico. - Mau contato nas	5	- Inspeção de medição de temperatura. - Inspeção aleatória de medição resistência ôhmica do motor.	4	120

Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
										conexões dos cabos de alimentação do motor. - Oxidação dos bornes. - Mau contato dos contatores.				
				3	Compressor quebrado	- Parada de um circuito frigorífico. - Redução da capacidade de refrigeração do equipamento	Aumento da temperatura de água gelada.	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme do processo.	6	- Nível de óleo baixo. - Óleo Contaminado. - Óleo em fim de vida útil. - Desbalanceamento termodinâmico. - Umidade no circuito frigorífico. - Contaminação do circuito frigorífico.	4	Inspeção geral.	4	96
				4	Válvula de expansão com vazamento.	- Parada de um circuito frigorífico. - Redução da capacidade de refrigeração do equipamento	Aumento da temperatura de água gelada.	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme do processo.	6	- Corrosão do capilar. - Vibração do capilar.	3	Inspeção geral.	5	90
				5	Válvula de expansão obstruída	- Parada de um circuito frigorífico. - Redução da capacidade de refrigeração do equipamento	Aumento da temperatura de água gelada.	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme do processo.	6	Contaminação do circuito frigorífico.	3	Inspeção de medição de pressão.	5	90

Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
				6	Válvula de alívio com vazamento.	- Parada de um circuito frigorífico. - Redução da capacidade de refrigeração do equipamento	Aumento da temperatura de água gelada.	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme do processo.	6	- Conexão folgada. - Válvula descalibrada. - Sede danificada.	3	Tarefa de calibração da válvula.	5	90
				7	Filtro de linha obstruído.	- Parada de um circuito frigorífico. - Redução da capacidade de refrigeração do equipamento	Aumento da temperatura de água gelada.	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme do processo.	6	Contaminação do circuito frigorífico.	4	Nenhum controle	5	120
				8	Solenóide da linha de líquido queimada.	- Parada de um circuito frigorífico. - Redução da capacidade de refrigeração do equipamento	Aumento da temperatura de água gelada.	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme do processo.	6	- Conexão folgada. - Curto circuito. - Fim de vida útil	4	Nenhum controle	4	96
				9	Solenóide da linha de líquido com cabo desconectado.	- Parada de um circuito frigorífico. - Redução da capacidade de refrigeração do equipamento	Aumento da temperatura de água gelada.	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme do processo.	6	- Cabo tencionado.	2	Inspeção geral.	4	48

Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
				10	Sensor de temperatura do circuito frigorífico descalibrado	- Parada de um circuito frigorífico. - Redução da capacidade de refrigeração do equipamento	Aumento da temperatura de água gelada.	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme do processo.	6	- Oxidação dos bornes. - Conexão folgada. - Mau fixação do aterramento. - Curto Circuito. - Fim de vida útil. - Sobretensão	6	Nenhum controle	4	144
				11	Sensor de temperatura do circuito frigorífico queimado.	- Parada de um circuito frigorífico. - Redução da capacidade de refrigeração do equipamento	Aumento da temperatura de água gelada.	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme do processo.	6	- Oxidação dos bornes. - Conexão folgada. - Mau fixação do aterramento. - Curto Circuito. - Fim de vida útil. - Sobretensão	4	Nenhum controle	3	72
				12	Sensor de temperatura do circuito frigorífico desconectado.	- Parada de um circuito frigorífico. - Redução da capacidade de refrigeração do equipamento	Aumento da temperatura de água gelada.	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme do processo.	6	- Cabo tencionado.	3	Inspeção geral.	3	54
				13	Transdutor de pressão queimado.	- Parada de um circuito frigorífico. - Redução da capacidade de refrigeração do equipamento	Aumento da temperatura de água gelada.	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme do processo.	6	- Oxidação dos bornes. - Conexão folgada. - Mau fixação do aterramento. - Curto Circuito. - Fim de vida útil. - Sobretensão	3	Nenhum controle	3	54

Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
					Transdutor de pressão descalibrado	- Parada de um circuito frigorífico. - Redução da capacidade de refrigeração do equipamento	Aumento da temperatura de água gelada.	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme do processo.	6	- Oxidação dos bornes. - Conexão folgada. - Mau fixação do aterramento. - Curto Circuito. - Fim de vida útil. - Sobreensão	3	Nenhum controle	4	72
				14	Transdutor de pressão desconectado	- Parada de um circuito frigorífico. - Redução da capacidade de refrigeração do equipamento	Aumento da temperatura de água gelada.	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme do processo.	6	- Cabo tensionado.	3	Inspeção geral.	4	72
				15	Placa eletrônica do compressor queimada.	- Parada de um circuito frigorífico. - Redução da capacidade de refrigeração do equipamento	Aumento da temperatura de água gelada.	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme do processo.	6	- Contaminação por umidade. - Contaminação por poeira. - Mau contato nas conexões dos cabos elétricos. - Aterramento mal fixado. - Variação de tensão. - Fim de vida útil.	3	Inspeção geral.	6	108
				16	Evaporador obstruído.	- Redução da capacidade de refrigeração do equipamento	Aumento da temperatura de água gelada.	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle.	6	- Contaminação do circuito de água gelada. - Elemento filtrante de água gelada danificado. - Deficiência do	3	Tratamento de água.	5	120

Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
								- Risco de desarme do processo.		tratamento de água.				
				17	tubo do evaporador furado.	- Parada de um circuito frigorífico. - Redução da capacidade de refrigeração do equipamento	Aumento da temperatura de água gelada.	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme do processo.	6	- Contaminação da água gelada por materiais sólidos. - Congelamento da água. - Deficiência no tratamento de água. - Alta velocidade de água. - Alta pressão de água. - Alta pressão do circuito frigorífico. - Corrosão.	5	Tratamento de água.	4	120
				18	Casco do evaporador furado.	- Redução da capacidade de refrigeração do equipamento	Aumento da temperatura de água gelada.	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme do processo.	4	- Deficiência no tratamento de água. - Corrosão.	2	Tratamento de água.	4	32
				19	Solenóide de controle de capacidade do compressor queimada.	- Parada de um circuito frigorífico. - Redução da capacidade de refrigeração do equipamento	Aumento da temperatura de água gelada.	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme do processo.	6	- Oxidação dos bornes. - Conexão folgada. - Mau fixação do aterramento. - Curto Circuito. - Fim de vida útil. - Sobretenção	3	Nenhum controle	4	72
				20	Pressostatos desregulado	- Parada de um circuito	Aumento da temperatura	- Aumento da temperatura das	6	- Vibração. - Oxidação.	4	Nenhum controle	6	144

Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
						frigorífico. - Redução da capacidade de refrigeração do equipamento	de água gelada.	salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme do processo.						
				21	Sensor de temperatura de água gelada descalibrado	Parada do <i>Chiller</i> .	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Desarme dos equipamentos do processo.	8	- Oxidação dos bornes. - Variação de tensão. - Mau fixação do aterramento. - Fim de vida útil. - Curto circuito.	5	Nenhum controle.	3	120
2	Controlar a temperatura de saída de água dos evaporadores.	1	Não Controlar a temperatura de saída de água dos evaporadores.	1	Sensor de temperatura de água gelada queimado.	Parada do <i>Chiller</i> .	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Desarme dos equipamentos do processo.	8	- Oxidação dos bornes. - Variação de tensão. - Mau fixação do aterramento. - Fim de vida útil. - Curto circuito.	5	Nenhum controle.	3	120
				2	Sensor de temperatura de água gelada descalibrado	Parada do <i>Chiller</i> .	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Desarme dos equipamentos do processo.	8	- Oxidação dos bornes. - Variação de tensão. - Mau fixação do aterramento. - Fim de vida útil. - Curto circuito.	5	Nenhum controle.	3	120
				3	Cabo do sensor de temperatura	Parada do <i>Chiller</i> .	Aumento da temperatura	- Aumento da temperatura das	8	- Cabo tensionado.	3	Inspeção geral.	3	72



Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
					de água gelada desconectado.		de água gelada.	salas elétricas e cabines de controle. - Desarme dos equipamentos do processo.						
				4	Placa eletrônica de controle de temperatura.	- Parada de um circuito frigorífico. - Redução da capacidade de refrigeração do equipamento	Aumento da temperatura de água gelada.	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme do processo.	6	- Contaminação por umidade. - Contaminação por poeira. - Mau contato nas conexões dos cabos elétricos. - Aterramento mal fixado. - Variação de tensão. - Fim de vida útil.	3	Inspeção geral.	6	108
3	Rejeitar o calor da água absorvido nos ambientes climatizados para o trocador de calor intermediário.	1	Rejeitar parcialmente o calor da água absorvido nos ambientes climatizados para o trocador de calor intermediário.	1	Condensador obstruído.	- Redução da capacidade de refrigeração do equipamento	Aumento da temperatura de água gelada.	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme do processo.	6	- Contaminação do circuito de água de condensação. - Contaminação com água do mar. - Elemento filtrante de água de condensação danificado. - Deficiência do tratamento de água.	5	Tratamento de água.	4	120
				2	Tubo do condensador furado.	- Parada de um circuito frigorífico. - Redução da	Aumento da temperatura de água gelada.	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de	6	- Contaminação da água gelada por materiais sólidos. - Deficiência no	3	Tratamento de água.	3	54

Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
						capacidade de refrigeração do equipamento		controle. - Risco de desarme do processo.		tratamento de água. - Alta velocidade de água. - Alta pressão de água. - Alta pressão do circuito frigorífico. - Corrosão.				
				3	Casco do condensador furado.	- Parada de um circuito frigorífico. - Redução da capacidade de refrigeração do equipamento	Aumento da temperatura de água gelada.	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme do processo.	6	- Deficiência no tratamento de água. - Corrosão.	1	Tratamento de água.	4	24
4	Aliviar as pressões dos trocadores de calor.	1	Não aliviar as pressões dos trocadores de calor.	1	Válvula de alívio travada.	- Elevação da pressão interna dos trocadores de calor. - Rompimento do trocador de calor ou tubulação frigorífica com risco de lesão. - Redução da capacidade de refrigeração do equipamento	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme do processo.	10	- Corrosão. - Incrustação.	3	Teste e calibração das válvulas.	8	240
				2	Válvula de alívio descalibrada.	- Vazamento de fluido refrigerante. - Redução da capacidade de	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle.	10	- Perda da elasticidade da mola de ajuste.	3	Calibração das válvulas.	8	240

Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
						refrigeração do equipamento		- Risco de desarme do processo.						
5	Sustentar os componentes do <i>Chiller's</i> .	1	Não sustentar os componentes do <i>Chiller's</i>	1	Estrutura metálica corroída.	- Parada do <i>Chiller</i> . - Risco de lesão.	Aumento da temperatura de água gelada.	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Desarme dos equipamentos do processo.	8	- Deficiência de pintura.	5	Inspeção geral.	3	120

Fonte: O Autor 2017.

Quadro 4.8 – Formulário Etapa 03 - Análise dos Modos de Falha, seus Efeitos e sua Criticidade (FMECA) do Circuito de Água Gelada.

Responsável pela Análise: Giussepp Morais	Equipe: Giussepp Morais, Naum Filho, Gustavo Lemos e Maurício Farah.	Data: 07/04/17
Auditado por: ITC - Gerência de Tecnologia e Confiabilidade de Manutenção		Página / De:
Sistema: Central de Água Gelada da Aciaria		Id_Sistema: CAG
Subsistema Analisado: Circuito de Água Gelada		Id_Subsistema: CAGL

Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
1	Conduzir o fluxo de água gelada a uma vazão entre 112,6 m <sup>3</sup> /h à 285 m <sup>3</sup> /h.	1	Não conduzir o fluxo de água gelada.	1	Falta de água de reposição (Make Up)	- Nível baixo de água no tanque de expansão. - Desarme do <i>Chiller</i> por falta de fluxo.	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Desarme dos equipamentos do processo.	5	Obstrução da tubulação de reposição.	2	Nenhum controle	5	50
				2	Pressostato do tanque de	- Cavitação das bombas de água	Aumento da temperatura	- Aumento da temperatura das	5	- Vibração. - Oxidação.	2	Nenhum controle	6	60

Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
					expansão desregulado.	gelada. - Desarme do <i>Chiller</i> por falta de fluxo.	de água gelada	salas elétricas e cabines de controle. - Desarme dos equipamentos do processo.						
				3	Transdutor de pressão do tanque de expansão descalibrado	- Cavitação das bombas de água gelada. - Desarme do <i>Chiller</i> por falta de fluxo.	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Desarme dos equipamentos do processo.	5	- Oxidação dos bornes. - Conexão folgada. - Mau fixação do aterramento. - Curto Circuito. - Fim de vida útil. - Sobretensão	2	Nenhum controle	6	60
				4	Transdutor de pressão do tanque de expansão desconectado	- Cavitação das bombas de água gelada. - Desarme do <i>Chiller</i> por falta de fluxo.	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Desarme dos equipamentos do processo.	5	- Cabo tencionado.	2	Nenhum controle	4	40
				5	Sensor de nível do tanque de expansão queimado	- Nível baixo de água no tanque de expansão. - Desarme do <i>Chiller</i> por falta de fluxo.	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Desarme dos equipamentos do processo.	5	- Oxidação dos bornes. - Conexão folgada. - Mau fixação do aterramento. - Curto Circuito. - Fim de vida útil. - Sobretensão	2	Nenhum controle	6	60
				6	Válvula solenoide do	- Nível baixo de água no tanque	Aumento da temperatura	- Aumento da temperatura das	5	- Oxidação dos bornes. - Conexão folgada.	3	Nenhum controle	5	75

Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Deteção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
					tanque de expansão queimada	de expansão. - Desarme do <i>Chiller</i> por falta de fluxo.	de água gelada	salas elétricas e cabines de controle. - Desarme dos equipamentos do processo.		- Mal fixação do aterramento. - Curto Circuito. - Fim de vida útil. - Sobretensão				
		2	Conduzir o fluxo de água gelada a uma vazão inferior 112,6 m <sup>3</sup> /h.	1	Queima do motor elétrico da bomba de água gelada.	Redução da vazão de água em 50%.	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Desarme dos equipamentos do processo.	8	- Travamento dos rolamentos do motor e bomba. - Baixo isolamento. - Alta temperatura. - Conexões elétricas folgadas. - Oxidação nas conexões elétricas. - Curto circuito. - Mal contato dos contadores.	4	Nenhum controle	3	96
				2	Acoplamento quebrado.	Redução da vazão de água em 50%..	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Desarme dos equipamentos do processo.	8	- Desbaste. - Sobrecarga no acoplamento. - Desalinhamento do conjunto moto bomba.	2	Nenhum controle	4	64
				3	Bomba quebrada	Redução da vazão de água em 50%.	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle.	8	- Nível baixo de óleo. - Fim da vida útil do óleo. - Desalinhamento do conjunto moto bomba. - Sobrecarga da bomba.	5	Nenhum controle	3	120

Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
								- Desarme dos equipamentos do processo.						
				4	Filtro de água obstruído.	- Cavitação das bombas de água gelada.	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme dos equipamentos do processo.	6	- Deficiência no tratamento da água gelada.	3	Acompanhamento qualidade da água.	4	72
				5	Tubulação obstruída.	Redução da pressão na linha de sucção das bombas.	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme dos equipamentos do processo.	6	- Deficiência no tratamento da água gelada.	3	Acompanhamento qualidade da água.	4	72
				6	Entrada de ar na tubulação.	- Redução da pressão na linha de sucção das bombas. - Cavitação das bombas de água gelada.	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme dos equipamentos do processo.	8	- Vazamento nas gaxetas das bombas. - Purgador obstruído ou travado.	4	Nenhum controle.	4	128
				7	Junta de expansão	Vazamento de água.	Aumento da temperatura	- Aumento da temperatura das	6	- Alta pressão de recalque.	4	Nenhum controle	3	72

Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Deteção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
					furada.		de água gelada	salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme dos equipamentos do processo.		- Fim de vida útil.				
				8	Bomba reserva em falha	Não operar quando for feito a inversão das bombas.	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme dos equipamentos do processo.	8	- Travamento dos componentes mecânicos. - Vazamento de água.	3	Nenhum controle	4	96

Fonte: O Autor 2017.



Quadro 4.9 – Formulário Etapa 03 - Análise dos Modos de Falha, seus Efeitos e sua Criticidade (FMECA) do Circuito de Água Condensação.

Responsável pela Análise: Giussepp Morais	Equipe: Giussepp Morais, Naum Filho, Gustavo Lemos e Maurício Farah.	Data: 07/04/17
Auditado por: ITC - Gerência de Tecnologia e Confiabilidade de Manutenção		Página / De:
Sistema: Central de Água Gelada da Aciaria		Id_Sistema: CAG
Subsistema Analisado: Circuito de Água Condensação		Id_Subsistema: CACD

Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
1	Conduzir o fluxo de água de condensação a uma vazão de 222 m <sup>3</sup> /h	1	Não conduzir o fluxo de água de condensação.	1	Falta de água de reposição (Make Up)	- Nível baixo de água no tanque de expansão. - Desarme do <i>Chiller</i> por falta de fluxo.	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Desarme dos equipamentos do processo.	5	Obstrução da tubulação de reposição.	2	Nenhum controle	5	50
				2	Queima do motor elétrico da bomba de água gelada.	Desarme do <i>Chiller</i> por falta de fluxo.	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle.	8	- Travamento dos rolamentos do motor e bomba. - Baixo isolamento. - Alta temperatura.	4	Nenhum controle	3	96

Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
								- Desarme dos equipamentos do processo.		- Conexões elétricas folgadas. - Oxidação nas conexões elétricas. - Curto circuito. - Mal contato dos contadores.				
				3	Acoplamento quebrado.	Desarme do <i>Chiller</i> por falta de fluxo.	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Desarme dos equipamentos do processo.	8	- Desbaste. - Sobrecarga no acoplamento. - Desalinhamento do conjunto moto bomba.	2	Nenhum controle	4	64
				4	Bomba quebrada	Desarme do <i>Chiller</i> por falta de fluxo.	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Desarme dos equipamentos do processo.	8	- Nível baixo de óleo. - Fim da vida útil do óleo. - Desalinhamento do conjunto moto bomba. - Sobrecarga da bomba.	5	Nenhum controle	3	120
				5	Bomba reserva em falha.	- Bomba reserva não funcionará na inversão de bombas. - Desarme do <i>Chiller</i> por falta de fluxo.	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Desarme dos equipamentos do processo.	8	- Travamento dos componentes mecânicos; - Vazamento de água pela bomba.	3	Nenhum controle	4	96

Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Deteção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
		2	Conduzir o fluxo de água de condensação a uma vazão de 222 m <sup>3</sup> /h	1	Filtro de água de recirculação obstruído.	- Cavitação das bombas de água. - Aumento da pressão de condensação e desarme parcial do <i>Chiller</i> .	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme dos equipamentos do processo.	6	- Deficiência no tratamento da água gelada.	4	Acompanhamento qualidade da água.	4	96
				2	Tubulação de água de recirculação obstruída.	Redução da pressão na linha de sucção das bombas. - Aumento da pressão de condensação e desarme parcial do <i>Chiller</i> .	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme dos equipamentos do processo.	6	- Deficiência no tratamento da água gelada.	3	Acompanhamento qualidade da água.	4	72
				3	Entrada de ar na tubulação de água de recirculação.	- Redução da pressão na linha de sucção das bombas. - Cavitação das bombas de água. - Aumento da pressão de condensação e desarme parcial do <i>Chiller</i> .	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme dos equipamentos do processo.	6	- Vazamento nas gaxetas das bombas. - Purgador obstruído ou travado. - Vazamento nas juntas de expansão da bomba.	5	Nenhum controle.	4	120
				4	Tubulação de água de	- Redução da pressão na linha	Aumento da temperatura	- Aumento da temperatura das	6	Corrosão.	4		3	72

Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Deteção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
					recirculação com vazamento.	de sucção das bombas. - Cavitação das bombas de água. - Aumento da pressão de condensação e desarme parcial do <i>Chiller</i> .	de água gelada	salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme dos equipamentos do processo.						
				5	Trocador de calor intermediário obstruído.	-Aumento da temperatura da água de condensação. - Aumento da pressão de condensação e desarme parcial do <i>Chiller</i> .	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme dos equipamentos do processo.	6	Filtro de água do mar danificado.	2	Inspeção geral.	5	60
				6	Vazamento de água no trocador de calor intermediário.	-Aumento da temperatura da água de condensação. - Aumento da pressão de condensação e desarme parcial do <i>Chiller</i> .	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme dos equipamentos do processo.	6	- Corrosão dos tubos internos. - Desgaste dos tubos internos. - Desgaste do espelho. - Corrosão no casco e tampas. - Corrosão nos tirantes internos.	4	Inspeção geral.	5	120
				7	Tubulação de água do mar com vazamento.	-Aumento da temperatura da água de condensação. - Aumento da	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle.	6	Corrosão.	6		3	108

Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
						pressão de condensação e desarme parcial do <i>Chiller</i> .		- Risco de desarme dos equipamentos do processo.						
				8	Vazamento nas juntas de expansão.	-Aumento da temperatura da água de condensação. - Aumento da pressão de condensação e desarme parcial do <i>Chiller</i> .	Aumento da temperatura de água gelada	- Aumento da temperatura das salas elétricas e cabines de controle. - Risco de desarme dos equipamentos do processo.	6		5		3	90

Fonte: O Autor 2017.

Quadro 4.10 – Formulário Etapa 04 – Seleção das Funções Significantes e Classificação dos seus Modos de Falha do *Chiller* Nº3.

Responsável pela Análise: Giussepp Morais	Equipe: Gustavo Lemos, Maurício Farah e Naum Filho	Data: 05/05/2017
Auditado por: ITC - Gerência de Tecnologia e Confiabilidade de Manutenção		Página / De:
Sistema: Central de Água Gelada da Aciaria		Id_Sistema: CAG
Subsistema Analisado: <i>Chiller</i> Nº3		Id_Subsistema: CH3

Id_Função	Id_Falha_Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha é Evidente?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha afeta a Segurança e/ou o Meio Ambiente?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha tem conseqüências Econômicas e/ou Operacionais?	<b>Categoria</b> ESA – Evidente Segurança Ambiente EEO – Evidente Econômico Operacional OSA – Oculto Segurança Ambiente OEO – Oculto Econômico Operacional
1	1	1	Placa eletrônica principal queimada.	S	N	S	EEO
1	1	2	Transformador de comando queimado.	S	N	S	EEO
1	1	5	Cabo elétrico de comando folgado.	S	N	S	EEO
1	1	8	Cabo elétrico de alimentação folgado.	S	N	S	EEO
1	1	9	Chave de fluxo desregulada.	N	N	S	OEO
1	1	10	Sensor de temperatura de água gelada queimado.	S	N	S	EEO

Id_Função	Id_Falha_Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha é Evidente?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha afeta a Segurança e/ou o Meio Ambiente?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha tem conseqüências Econômicas e/ou Operacionais?	<b>Categoria</b> ESA – Evidente Segurança Ambiente EEO – Evidente Econômico Operacional OSA – Oculto Segurança Ambiente OEO – Oculto Econômico Operacional
1	2	1	Tubulação frigorífica furada.	S	N	S	EEO
1	2	2	Compressor queimado.	S	N	S	EEO
1	2	3	Compressor quebrado	S	N	S	EEO
1	2	4	Válvula de expansão com vazamento.	S	N	S	EEO
1	2	5	Válvula de expansão obstruída.	S	N	S	EEO
1	2	6	Válvula de alívio com vazamento.	S	N	S	EEO
1	2	7	Filtro de linha obstruído.	S	N	S	EEO
1	2	8	Solenóide da linha de líquido queimada.	S	N	S	EEO
1	2	10	Sensor de temperatura do circuito frigorífico descalibrado.	S	N	S	EEO
1	2	15	Placa eletrônica do compressor queimada.	S	N	S	EEO
1	2	16	Evaporador obstruído.	S	N	S	EEO
1	2	17	Tubo do evaporador furado.	S	N	S	EEO
1	2	20	Pressostato desregulado.	N	N	S	OEO

Id_Função	Id_Falha_Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha é Evidente?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha afeta a Segurança e/ou o Meio Ambiente?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha tem conseqüências Econômicas e/ou Operacionais?	<b>Categoria</b> ESA – Evidente Segurança Ambiente EEO – Evidente Econômico Operacional OSA – Oculto Segurança Ambiente OEO – Oculto Econômico Operacional
1	2	21	Sensor de temperatura de água gelada descalibrado.	S	N	S	EEO
2	1	1	Sensor de temperatura de água gelada queimado.	S	N	S	EEO
2	1	2	Sensor de temperatura de água gelada descalibrado	S	N	S	EEO
2	1	4	Placa eletrônica de controle de temperatura.	S	N	S	EEO
3	1	1	Condensador obstruído.	S	N	S	EEO
4	1	1	Válvula de alívio travada.	N	S	S	OSA
4	1	2	Válvula de alívio descalibrada.	N	S	S	OSA
5	1	1	Não sustentar os componentes do <i>Chiller's</i>	S	S	S	ESA

Fonte: O Autor 2017.



Quadro 4.11 – Formulário Etapa 04 – Seleção das Funções Significantes e Classificação dos seus Modos de Falha do Circuito de Água Gelada.

Responsável pela Análise: Giussepp Morais	Equipe: Gustavo Lemos, Maurício Farah e Naum Filho	Data: 05/05/2017
Auditado por: ITC - Gerência de Tecnologia e Confiabilidade de Manutenção		Página / De:
Sistema: Central de Água Gelada da Aciaria		Id_Sistema: CAG
Subsistema Analisado: Circuito de Água Gelada		Id_Subsistema: CAGL

Id_Função	Id_Falha_Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha é Evidente?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha afeta a Segurança e/ou o Meio Ambiente?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha tem conseqüências Econômicas e/ou Operacionais?	Categoria ESA – Evidente Segurança Ambiente EEO – Evidente Econômico Operacional OSA – Oculto Segurança Ambiente OEO – Oculto Econômico Operacional
1	2	1	Queima do motor elétrico da bomba de água gelada.	S	N	S	EEO
1	2	3	Bomba quebrada.	S	N	S	EEO
1	2	6	Entrada de ar na tubulação.	S	N	S	EEO
1	2	8	Conjunto motor bomba reserva em falha.	N	N	S	OEO

Fonte: O Autor 2017.

Quadro 4.12 – Formulário Etapa 04 – Seleção das Funções Significantes e Classificação dos seus Modos de Falha do Circuito de Água Condensação.

Responsável pela Análise: Giussepp Morais	Equipe: Gustavo Lemos, Maurício Farah e Naum Filho.	Data: 05/05/2017
Auditado por: ITC - Gerência de Tecnologia e Confiabilidade de Manutenção		Página / De:
Sistema: Central de Água Gelada da Aciaria		Id_Sistema: CAG
Subsistema Analisado: Circuito de Água de Condensação		Id_Subsistema: CACD

Id_Função	Id_Falha_Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha é Evidente?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha afeta a Segurança e/ou o Meio Ambiente?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha tem conseqüências Econômicas e/ou Operacionais?	Categoria ESA – Evidente Segurança Ambiente EEO – Evidente Econômico Operacional OSA – Oculto Segurança Ambiente OEO – Oculto Econômico Operacional
1	1	2	Queima do motor elétrico da bomba de água condensação.	S	N	S	EEO
1	1	4	Bomba quebrada.	S	N	S	EEO
1	1	5	Conjunto motor bomba reserva em falha.	N	N	S	OEO
1	2	1	Filtro de água de recirculação obstruído.	S	N	S	EEO
1	2	3	Entrada de ar na tubulação de água de recirculação.	S	N	S	EEO

1	2	6	Vazamento de água no trocador de calor intermediário.	S	N	S	EEO
1	2	7	Tubulação de água do mar com vazamento.	S	N	S	EEO
1	2	8	Vazamento nas juntas de expansão.	S	N	S	EEO

Fonte: O Autor 2017.

Quadro 4.13 – Formulário Etapa 05 – Seleção das Tarefas de Manutenção Aplicáveis e Efetivas do *Chiller* Nº3.

Responsável pela Análise: Giussepp Morais	Equipe: Gustavo Lemos, Maurício Farah e Naum Filho	Data: 19/05/17
Auditado por: ITC - Gerência de Tecnologia e Confiabilidade de Manutenção		Página / De:
Sistema: Central de Água Gelada da Aciaria		Id_Sistema: CAG
Subsistema Analisado: <i>Chiller</i> Nº3		Id_Subsistema: CH3

Id_Função	Id_Falha_Funcional	Id_Modo de Falha	Consequência ESA – Evidente Segurança Ambiente EEO – Evidente Econômico Operacional OSA – Oculto Segurança Ambiente OEO – Oculto Econômico Operacional	Tarefas Possíveis								Tarefa Proposta	Id_Tarefa
				Serviço Operacional	Inspeção Preditiva	Restauração Preventiva	Substituição Preventiva	Inspeção Funcional	Manutenção Combinada	Mudança de Projeto	Reparo Funcional		
1	1	1	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	S	N	N	N	N	N	N	- Inspeção sensitiva visual de verificar a condição de vedação do painel de controle.	1
1	1	2	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	N	N	N	N	N	N	S	- Manutenção corretiva. Troca do transformador de comando.	2
1	1	5	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	N	S	N	N	N	N	N	- Manutenção preventiva de reaperto das conexões elétricas do circuito de comando.	3
1	1	8	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	N	S	N	N	N	N	N	- Manutenção preventiva de reaperto das conexões elétricas do circuito de alimentação.	4
1	1	9	OEO – Oculto Econômico Operacional	N	N	N	N	S	N	N	N	- Teste de funcionamento da chave de fluxo com baixa vazão de água.	5
1	1	10	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	N	N	N	N	N	N	S	- Manutenção corretiva. Troca do sensor de temperatura.	6

Id_Função	Id_Falha_Funcional	Id_Modo de Falha	Consequência ESA – Evidente Segurança Ambiente EEO – Evidente Econômico Operacional OSA – Oculto Segurança Ambiente OEO – Oculto Econômico Operacional	Tarefas Possíveis								Tarefa Proposta	Id_Tarefa
				Serviço Operacional	Inspeção Preditiva	Restauração Preventiva	Substituição Preventiva	Inspeção Funcional	Manutenção Combinada	Mudança de Projeto	Reparo Funcional		
1	2	1	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	S	N	N	N	N	N	N	- Inspeção sensitiva visual de verificação de vazamento de fluido refrigerante nos circuitos frigoríficos.	7
1	2	2	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	N	N	N	N	S	N	N	- Inspeção preditiva de medição da resistência ôhmica do motor do compressor. Resistência $\geq 10M\Omega$ .	8
1	2	2	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	N	N	N	N	S	N	N	- Inspeção preditiva de medição de temperatura do motor. Temperatura $\leq 90$ °C.	9
1	2	3	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	N	N	N	N	S	N	N	- Inspeção preditiva de medição do superaquecimento do circuito frigorífico. S.A: 6 °C a 12 °C.	10
1	2	3	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	N	N	N	N	S	N	N	- Análise de ferrografia e físico-químico do óleo.	11
1	2	4	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	N	N	N	N	N	N	S	- Manutenção corretiva. Troca da válvula de expansão.	12
1	2	5	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	N	N	N	N	N	N	S	- Manutenção corretiva. Desobstrução da válvula de expansão.	13
1	2	6	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	S	N	N	N	N	N	N	- Inspeção sensitiva visual de verificação de vazamento de fluido refrigerante nas válvulas de alívio.	14
1	2	7	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	S	N	N	N	N	N	N	- Inspeção preditiva de medição do diferencial de temperatura na entrada e saída do filtro. Diferencial $\leq 1,0$ °C.	15
1	2	8	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	N	N	N	N	N	N	S	- Manutenção corretiva. Troca da solenoide.	16
1	2	10	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	N	N	N	N	N	N	S	- Manutenção corretiva. Troca dos sensores de temperatura do circuito frigorífico.	17
1	2	15	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	N	N	N	N	N	N	S	- Manutenção corretiva. Troca da placa eletrônica de controle dos compressores;	18

Id_Função	Id_Falha_Funcional	Id_Modo de Falha	Consequência ESA – Evidente Segurança Ambiente EEO – Evidente Econômico Operacional OSA – Oculto Segurança Ambiente OEO – Oculto Econômico Operacional	Tarefas Possíveis								Tarefa Proposta	Id_Tarefa
				Serviço Operacional	Inspeção Preditiva	Restauração Preventiva	Substituição Preventiva	Inspeção Funcional	Manutenção Combinada	Mudança de Projeto	Reparo Funcional		
1	2	16	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	S	N	N	N	N	N	N	- Inspeção de verificação dos resultados do relatório de qualidade da água.	19
1	2	17	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	S	N	N	N	N	N	N	- Tratado nas tarefas 5 e 15.	20
1	2	20	OEO – Oculto Econômico Operacional	N	N	N	N	S	N	N	N	- Inspeção de funcionamento dos pressostato de baixa e alta. Parâmetros: Baixa - ≤25 psi, Alta - ≥ 290 psi.	21
1	2	21	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	N	N	N	N	N	N	S	Tratado na tarefa 6.	22
2	1	1	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	N	N	N	N	N	N	S	Tratado na tarefa 6.	23
2	1	2	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	N	N	N	N	N	N	S	Tratado na tarefa 6.	24
2	1	4	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	N	N	N	N	N	N	S	Manutenção corretiva. Troca da placa de controle de temperatura.	25
3	1	1	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	S	N	N	N	N	N	N	Inspeção preditiva de medição do aprouch do condensador. Parâmetro: 0 °C a 4 °C.	26
4	1	1	OSA – Oculto Segurança Ambiente	N	N	N	N	S	N	N	N	- Teste de funcionamento da válvula de alívio. Pressão de abertura 25 kgf/cm <sup>2</sup>	27
4	1	2	OSA – Oculto Segurança Ambiente	N	N	N	N	S	N	N	N	- Inspeção de verificação da calibração da válvula de alívio. Pressão de abertura 25 kgf/cm <sup>2</sup>	28
5	1	1	ESA – Evidente Segurança Ambiente	N	S	N	N	N	N	N	N	- Inspeção sensitiva visual de verificação de corrosão na estrutura metálica do <i>Chiller</i> .	29

Quadro 4.14 – Formulário Etapa 05 – Seleção das Tarefas de Manutenção Aplicáveis e Efetivas do Circuito de Água Gelada.

Responsável pela Análise: Giussepp Morais	Equipe: Gustavo Lemos, Maurício Farah e Naum Filho	Data: 19/05/17
Auditado por: ITC - Gerência de Tecnologia e Confiabilidade de Manutenção		Página / De:
Sistema: Central de Água Gelada da Aciaria		Id_Sistema: CAG
Subsistema Analisado: Circuito de Água Gelada		Id_Subsistema: CAGL

Id_Função	Id_Falha_Funcional	Id_Modo de Falha	Consequência ESA – Evidente Segurança Ambiente EEO – Evidente Econômico Operacional OSA – Oculto Segurança Ambiente OEO – Oculto Econômico Operacional	Tarefas Possíveis								Tarefa Proposta	Id_Tarefa
				Serviço Operacional	Inspeção Preditiva	Restauração Preventiva	Substituição Preventiva	Inspeção Funcional	Manutenção Combinada	Mudança de Projeto	Reparo Funcional		
1	2	1	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	N	N	N	N	N	N	S	- Manutenção corretiva. Troca do motor elétrico.	1
1	2	3	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	S	N	N	N	N	N	N	- Inspeção sensitiva visual de coloração e nível do óleo.	2
1	2	6	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	S	N	N	N	N	N	N	- Inspeção sensitiva visual de vazamento de água no selo de vedação da bomba.	3
1	2	8	OEO – Oculto Econômico Operacional	N	N	N	N	S	N	N	N	- Teste de funcionamento do conjunto motor bomba reserva.	4

Fonte: O Autor 2017.

Quadro 4.15 – Formulário Etapa 05 – Seleção das Tarefas de Manutenção Aplicáveis e Efetivas do Circuito de Água Condensação

Responsável pela Análise: Giussepp Morais	Equipe: Gustavo Lemos, Maurício Farah e Naum Filho	Data: 19/05/17
Auditado por: ITC - Gerência de Tecnologia e Confiabilidade de Manutenção		Página / De:
Sistema: Central de Água Gelada da Aciaria		Id_Sistema: CAG
Subsistema Analisado: Circuito de Água de Condensação		Id_Subsistema: CACD

Id_Função	Id_Falha_Funcional	Id_Modo de Falha	Consequência ESA – Evidente Segurança Ambiente EEO – Evidente Econômico Operacional OSA – Oculto Segurança Ambiente OEO – Oculto Econômico Operacional	Tarefas Possíveis								Tarefa Proposta	Id_Tarefa
				Serviço Operacional	Inspeção Preditiva	Restauração Preventiva	Substituição Preventiva	Inspeção Funcional	Manutenção Combinada	Mudança de Projeto	Reparo Funcional		
1	1	2	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	N	N	N	N	N	N	C	- Manutenção corretiva. Troca do motor elétrico.	1
1	1	4	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	S	N	N	N	N	N	N	- Inspeção sensitiva visual de coloração e nível do óleo.	2
1	1	5	OEO – Oculto Econômico Operacional	N	N	N	N	S	N	N	N	- Teste de funcionamento do conjunto motor bomba reserva.	3
1	2	1	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	S	N	N	N	N	N	N	- Inspeção preditiva de pressão da bomba. Sucção: 0,2 kgf/cm <sup>2</sup> Recalque: 2,2 Kgf/cm <sup>2</sup>	4
1	2	3	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	S	N	N	N	N	N	N	- Inspeção sensitiva de vazamento no selo da bomba.	5
1	2	6	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	N	N	N	N	S	N	N	- Substituição dos anodos de sacrifício das tampas do trocador de calor intermediário.	6



Id_Função	Id_Falha_Funcional	Id_Modo de Falha	Consequência ESA – Evidente Segurança Ambiente EEO – Evidente Econômico Operacional OSA – Oculto Segurança Ambiente OEO – Oculto Econômico Operacional	Tarefas Possíveis								Tarefa Proposta	Id_Tarefa
				Serviço Operacional	Inspeção Preditiva	Restauração Preventiva	Substituição Preventiva	Inspeção Funcional	Manutenção Combinada	Mudança de Projeto	Reparo Funcional		
1	2	6	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	N	N	N	N	S	N	N	- Inspeção preditiva de pressão de água de reposição: 3,0 kgf/cm <sup>2</sup>	7
1	2	7	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	S	N	N	N	N	N	N	- Inspeção sensitiva visual de corrosão na tubulação de água do mar.	8
1	2	8	EEO - Evidente Econômico Operacional	N	S	N	N	N	N	N	N	- Inspeção visual de vazamento de água nas junta de expansão do circuito de água de condensação.	9

Fonte: O Autor 2017.

Quadro 4.16 – Formulário Etapa 06 – Definição dos Intervalos Iniciais e Agrupamento das Tarefas de Manutenção do *Chiller* Nº3.

Responsável pela Análise: <b>Giussepp Morais</b>	Equipe: <b>Gustavo Lemos, Maurício Farah e Naum Filho</b>	Data: <b>02/06/17</b>
Auditado por: <b>ITC - Gerência de Tecnologia e Confiabilidade de Manutenção</b>		Página / De:
Sistema: <b>Central de Água Gelada da Aciaria</b>		Id_Sistema: <b>CAG</b>
Subsistema Analisado: <b>Chiller Nº3</b>		Id_Subsistema: <b>CH3</b>

Id_Função	Id_Falha_Funcional	Id_Modo de Falha	Id_Tarefa	Descrição da Tarefa Proposta	Intervalo Inicial	Agrupamento da Tarefa	Equipe Responsável
1	1	1	1	Inspeção sensitiva visual de verificar a condição de vedação do painel de controle.	112 dias	C	Inspetor de Refrigeração.
1	1	5	3	Manutenção preventiva de reaperto das conexões elétricas do circuito de comando.	Anual	D	Eletricista de Refrigeração.
1	1	8	4	Manutenção preventiva de reaperto das conexões elétricas do circuito de alimentação.	Anual	D	Eletricista de Refrigeração.
1	1	9	5	Teste de funcionamento da chave de fluxo com baixa vazão de água	Anual	D	Inspetor de Refrigeração.
1	2	1	7	Inspeção sensitiva visual de verificação de vazamento de fluido refrigerante nos circuitos frigoríficos.	28 dias	A	Inspetor de Refrigeração.

Id_Função	Id_Falha_Funcional	Id_Modo de Falha	Id_Tarefa	Descrição da Tarefa Proposta	Intervalo Inicial	Agrupamento da Tarefa	Equipe Responsável
1	2	2	8	- Inspeção preditiva de medição da resistência ôhmica do motor do compressor. Resistência $\geq 10M\Omega$ .	Anual	D	Eletricista de Refrigeração.
1	2	2	9	- Inspeção preditiva de medição de temperatura do motor. Temperatura $\leq 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .	28 dias	A	Inspetor de Refrigeração.
1	2	3	10	- Inspeção preditiva de medição do superaquecimento do circuito frigorífico. S.A: $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .	28 dias	A	Inspetor de Refrigeração.
1	2	3	11	Análise de ferrografia e físico-químico do óleo	112 dias	C	Inspetor de Refrigeração.
1	2	6	14	Inspeção sensitiva visual de verificação de vazamento de fluido refrigerante nas válvulas de alívio.	28 dias	A	Inspetor de Refrigeração.
1	2	7	15	Inspeção preditiva de medição do diferencial de temperatura na entrada e saída do filtro. Diferencial $\leq 1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$	28 dias	A	Inspetor de Refrigeração.
1	2	16	19	Inspeção de verificação dos resultados do relatório de qualidade da água	28 dias	A	Inspetor de Refrigeração.
1	2	20	21	Inspeção de funcionamento dos pressostato de baixa e alta. Parâmetros: Baixa - $\leq 25\text{ psi}$ , Alta - $\geq 290\text{ psi}$ .	Anual	D	Inspetor de Refrigeração.
3	1	1	26	Inspeção preditiva de medição do aprouch do condensador. Parâmetro: $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ .	56 dias	B	Inspetor de Refrigeração.
4	1	1	27	Teste de funcionamento da válvula de alívio, $25\text{ kgf/cm}^2$ .	Anual	D	Equipe NR13
4	1	2	28	Inspeção de verificação da calibração da válvula de alívio, $25\text{ kgf/cm}^2$ .	Anual	D	Equipe NR13
5	1	1	29	Inspeção sensitiva visual de verificação de corrosão na estrutura metálica do <i>Chiller</i> .	112 dias	C	Inspetor de Refrigeração.

Quadro 4.17 – Formulário Etapa 06 – Definição dos Intervalos Iniciais e Agrupamento das Tarefas de Manutenção do Circuito de Água Gelada.

Responsável pela Análise: Giussepp Morais	Equipe: Gustavo Lemos, Maurício Farah e Naum Filho	Data: 02/06/17
Auditado por: ITC - Gerência de Tecnologia e Confiabilidade de Manutenção		Página / De:
Sistema: Central de Água Gelada da Aciaria		Id_Sistema: CAG
Subsistema Analisado: Circuito de Água Gelada		Id_Subsistema: CAGL

Id_Função	Id_Falha_Funcional	Id_Modo de Falha	Id_Tarefa	Descrição da Tarefa Proposta	Intervalo Inicial	Agrupamento da Tarefa	Equipe Responsável
1	2	3	2	- Inspeção sensitiva visual de coloração e nível do óleo.	28 dias	A	Inspetor de Refrigeração.
1	2	6	3	- Inspeção sensitiva visual de vazamento de água no selo de vedação da bomba.	28 dias	A	Inspetor de Refrigeração.
1	2	8	4	- Teste de funcionamento do conjunto motor bomba reserva.	112 dias	C	Inspetor de Refrigeração.

Fonte: O Autor 2017.

Quadro 4.18 – Formulário Etapa 06 – Definição dos Intervalos Iniciais e Agrupamento das Tarefas de Manutenção do Circuito de Água Condensação.

Responsável pela Análise: Giussepp Morais	Equipe: Gustavo Lemos, Maurício Farah e Naum Filho	Data: 02/06/17
Auditado por: ITC - Gerência de Tecnologia e Confiabilidade de Manutenção		Página / De:
Sistema: Central de Água Gelada da Aciaria		Id_Sistema: CAG
Subsistema Analisado: Circuito de Água de Condensação		Id_Subsistema: CACD

Id_Função	Id_Falha_Funcional	Id_Modo de Falha	Id_Tarefa	Descrição da Tarefa Proposta	Intervalo Inicial	Agrupamento da Tarefa	Equipe Responsável
1	1	4	2	- Inspeção sensitiva visual de coloração e nível do óleo.	28 dias	A	Inspetor de Refrigeração.
1	1	5	3	- Teste de funcionamento do conjunto motor bomba reserva.	112 dias	C	Inspetor de Refrigeração.
1	2	1	4	- Inspeção preditiva de pressão da bomba.	28 dias	A	Inspetor de Refrigeração.
1	2	3	5	- Inspeção sensitiva de vazamento no selo da bomba.	28 dias	A	Inspetor de Refrigeração.
1	2	6	6	- Substituição dos anodos de sacrifício das tampas do trocador de calor intermediário.	Bianual	E	Mecânico de Refrigeração.

Id_Função	Id_Falha_Funcional	Id_Modo de Falha	Id_Tarefa	Descrição da Tarefa Proposta	Intervalo Inicial	Agrupamento da Tarefa	Equipe Responsável
1	2	6	7	- Inspeção preditiva de pressão de água de reposição: 3,0 kgf/cm <sup>2</sup>	28 dias	A	Inspetor de Refrigeração.
1	2	7	8	- Inspeção sensitiva visual de corrosão na tubulação de água do mar.	56 dias	B	Inspetor de Refrigeração.
1	2	8	9	- Inspeção visual de vazamento de água nas juntas de expansão do circuito de água de condensação.	56 dias	B	Inspetor de Refrigeração.

Fonte: O Autor 207.

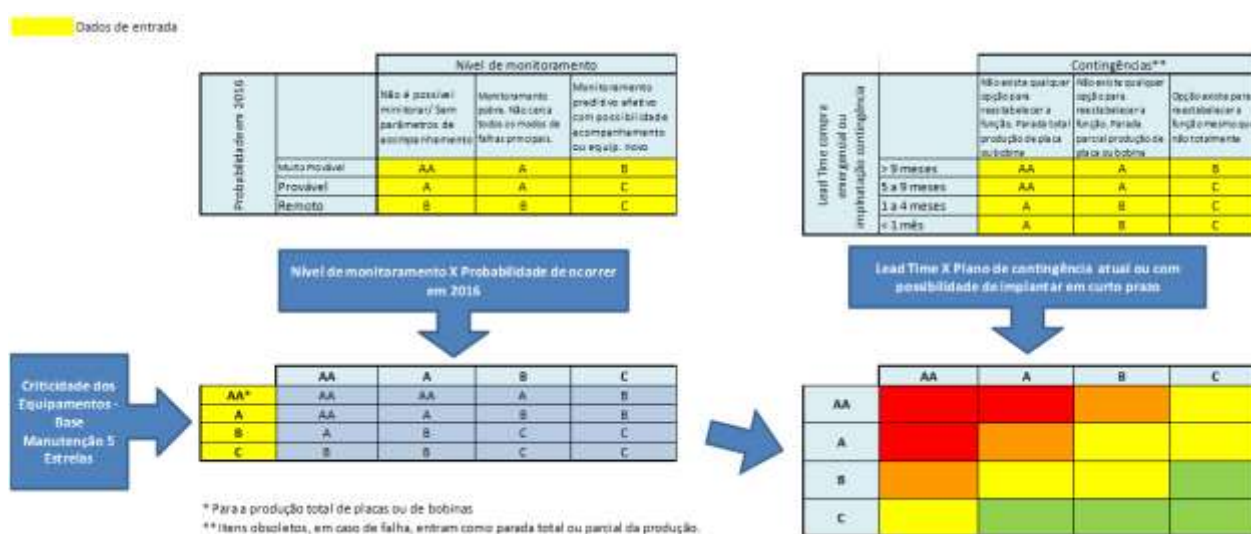
### 4.3 SOBRESSALENTES CRÍTICOS

A definição de criticidade de sobressalentes não está relacionada diretamente somente a criticidade do equipamento, ou seja, o sobressalente de um equipamento crítico não necessariamente é crítico (Plano Diretor FCSA, 2013).

Os seguintes critérios foram considerados para determinar os sobressalentes críticos o sistema em estudo:

- Criticidade do equipamento;
- Tempo de suprimento;
- Custo do sobressalente;
- Nível de monitoramento;
- Contingência.

Figura 4.22 – Modelo de Priorização de Sobressalentes Críticos



Fonte: FCSA, 2013

A forma utilizada para priorização dos sobressalentes está demonstrada na figura 4.22.

Após análise utilizando a metodologia acima, foram classificados como críticos os seguintes sobressalentes:

- Placa eletrônica principal;
- Transformador de comando;
- Sensor temperatura água gelada;
- Válvula de expansão;
- Solenoide da linha de líquido;
- Sensor temperatura circuito frigorífico;
- Placa eletrônica de controle dos compressores;
- Transdutor de pressão.

#### 4.4 PLANO DE CONTINGÊNCIA

O plano de contingência foi montado para obter ações de respostas rápidas em caso de falha de algum equipamento da CAG.

O plano da Quadro 4.19 descreve a condição operacional da CAG e os riscos associados às possíveis falhas.

Orientação de ações imediatas estão descritas para informar a equipe de operação e manutenção o que fazer em caso de falha que comprometa a performance do sistema.

Ações para o gerenciamento dos riscos também estão informadas nesse plano, na qual é exigida capacitação de toda a equipe para execução do plano.



Quadro 4.19 – Plano de Contingência da CAG.

Plano de Contingência							
Item	Processo	Equipamento	Condição Operacional	Riscos	Contingenciamento		Gerenciamento dos Riscos
					Operação	Manutenção	
1	Aciaria - CAG	Chiller N° 1, N° 2 e N° 3	Atualmente os chiller N°1 e N°2 estão fora de operação devido falha nos compressores frigoríficos e Chiller N°3 em operação sem impacto relevante na temperatura da água gelada. Chiller N° 3 possui seis circuitos frigoríficos independentes. A central de água gelada atende todos os ambientes (salas elétricas e de controle) da Aciaria que são climatizados através de fan coils. É utilizado um trocador de calor intermediário que faz a troca de calor da água do mar com água industrial (circuito fechado) que será utilizada no processo de condensação do chiller N°3.	Falha em um dos circuitos frigoríficos do chiller N° 3.	Percebe um pequeno aumento da temperatura na sala de controle dos púlpitos e laboratório químico que aciona a equipe de refrigeração.	A equipe de refrigeração realiza o atendimento sem realizar nenhum tipo de contingenciamento.	- Acompanhamento dos indicadores de falha. - Elaboração de análise de falha. - Cumprimento do plano de Ação. - Revisão dos planos com base no FMECA. - Garantir o cumprimento do Plano de Inspeção.
				Falha em mais de um circuito frigorífico do chiller N° 3.	Percebe um aumento da temperatura na sala de controle dos púlpitos e laboratório químico que aciona a equipe de refrigeração.	A equipe de refrigeração realiza o atendimento. Caso o tempo de atendimento for superior a 8:00 deverá: - Desligar um fan coil da Cracia; - Desligar o fan coil do pulpito dos convertedores; - Desligar os fan coils da CAG e abrir as portas; Desligar um fan coil da sala elétrica do RH2; Desligar um fancoil da sala elétrica do KR; - Desligar dois fan coils da sala elétrica 2º piso.	- Garantir estoque mínimo de sobressalentes críticos para as manutenções. - Instalar um Chiller reserva.
				Falha geral do chiller N° 3.	Percebe um aumento da temperatura na sala de controle dos púlpitos e laboratório químico que aciona a equipe de refrigeração.	A equipe de refrigeração realiza o atendimento. Caso o tempo de atendimento for superior a 8:00 deverá: - Instalar ACJ's, Split System e AC móvel nas salas elétricas; - Alugar um chiller;	
				Falta de água do mar.	Percebe um aumento da temperatura na sala de controle dos púlpitos e laboratório químico que aciona a equipe de refrigeração.	Utilizar água industrial para condensação no chiller N° 3.	- Acompanhamento dos indicadores de falha. - Elaboração de análise de falha. - Cumprimento do plano de Ação. - Realizar a troca do trecho de tubulação de água industrial que apresenta vazamentos.
				Falha no trocador de calor intermediário chiller N°3	Sem atuação.	Utilizar água industrial nos condensadores do chiller passando pela linha alternativa.	- Completar a interligação da rede alternativa de água de alimentação dos condensadores.

Fonte: O Autor 2017.

As ações coordenadas para dirigir e controlar os riscos são informadas nesse plano.

## 5 CONCLUSÃO

O uso da confiabilidade nas empresas tem aumentado a cada ano e passou a ser uma estratégia para ganhar mercado por manterem os equipamentos sempre disponíveis quando requeridos e com baixo custo de manutenção.

A metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade foi utilizada para aumentar a confiabilidade atual de um sistema que vem aumentando a taxa de falha, nos últimos 2 anos, causada pela deterioração dos componentes por meio de um plano de manutenção que trata todos os modos de falhas significantes.

Não foi possível analisar os resultados pós implantação do MCC, pois essa etapa aconteceu recentemente, sendo preciso um tempo maior para o acompanhamento dos resultados e indicar os ganhos.

As dificuldades encontradas para o desenvolvimento das etapas principalmente estão na disponibilidade da equipe montada para realizar o estudo e as tarefas de rotina concorriam com o desenvolvimento da MCC. Um fator que contribui bastante para a segurança da realização desse estudo foi o apoio da diretoria e gerências nesse projeto, acreditando que o MCC poderá mudar o patamar de manutenção da empresa.

Com a implantação desse estudo a Central de Água gelada da Aciaria passou a contar com um plano de manutenção estruturado, baseado em uma metodologia que já se mostrou eficaz em estudo com outros equipamentos. Uma relação de sobressalentes críticos foi gerada melhorando a gestão dos sobressalentes da CAG, com o objetivo de disponibilizar o mais rápido possível os sobressalentes aplicáveis na função principal dos equipamentos e reduzindo o custo com estoque de itens que não geram impacto relevante no processo.

A criação do plano de contingência direcionou as equipes de operação e manutenção nas ações em que devem ser realizadas em caso de falha que comprometa a estabilidade do processo da Aciaria.

Espera-se que com a implementação do MCC, o custo de manutenção da empresa reduza, uma vez que esta proposta possa incrementar o planejamento de manutenção e, também servir como base para outras aplicações da Manutenção Centrada na Confiabilidade em outros equipamentos.

## 5.1 TRABALHOS FUTUROS

Para que esse estudo possa ser um programa efetivo e auditável, é preciso que a etapa 07, Redação do Manual e etapa 08, Acompanhamento e Realimentação sejam realizados.

As equipes que irão realizar as tarefas propostas pelos planos deverão ser capacitadas nas atividades inéditas, para garantir que não se tenha falha de execução da manutenção.

Este trabalho foi construído baseado em uma análise qualitativa dos modos de falhas e da frequência de execução das tarefas propostas, um novo estudo baseado em dados quantitativos poderá aumentar ainda mais a confiabilidade do sistema e otimizar os planos de manutenção.

Uma análise do *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA) poderá ser feita para apoiar na decisão de substituição dos *Chiller* N°1 e N°2 que estão fora de operação em um único equipamento novo.

## REFERÊNCIAS

- CABRAL, j. **Organização e Gestão da Manutenção: Dos Conceitos à Prática**. Ed. Lidel, 2006.
- CDC – EQUIPAMENTOS. Disponível em: < <http://www.cdcequipamentos.com/tipos-de-trocador-de-calor.html>>. Acesso em: 19 set. 2017
- CHAVEZ, L. M. C. G.; MEDEIROS, F. E. de. **Engenharia de manutenção: fator de mudança**. In: 13º Congresso Brasileiro de Manutenção. 1998, Salvador. Anais. Rio de Janeiro: ABRAMAN,1998. CD-ROM.
- DESHPANDE, V.S; MODAK, J.P. **Application of RCM for safety considerations in a steel plant**. Reliability Engineering and System Safety. Vol. 78, p. 325–334, 2002.
- DUTRA, Thiago. **Engenharia de Manutenção no Brasil**. Indicadores de Manutenção de Classe Mundial. Jul. 2013. Disponível em: <http://brasilengenhariademanutencao.blogspot.com.br/search/label/Definições>. Acesso em: 20 Set. 2017.
- EMAGISTER – GRUPO DE REFRIGERACIÓN. Disponível em: <[http://grupos.emagister.com/imagen/ciclo\\_frigorifico/](http://grupos.emagister.com/imagen/ciclo_frigorifico/)>. Acesso em: 02 set. 2017.
- FOGLIATO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luiz Duarte. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- GANGHIS, D. **Apostila Trocadores de Calor**. Disponível em: <[http://www.ifba.edu.br/professores/diogenesgaghis/TC\\_Transfer%C3%Aancia%20de%20Calor/Apostila%20de%20Trocadores%20de%20Calor.doc](http://www.ifba.edu.br/professores/diogenesgaghis/TC_Transfer%C3%Aancia%20de%20Calor/Apostila%20de%20Trocadores%20de%20Calor.doc)>. Acesso em 19 set 2017
- KARDEC, A.; NASFIC, J. **Manutenção: função estratégica**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.
- KSB – FABRICANTE DE BOMBAS CENTRÍFUGAS. Disponível em: < <http://www.ksb.com.br>>. Acesso em: 13 set. 2017
- LAFRAIA, João Ricardo Barusso. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- LIMA, Epaminondas Pio C. **Mecânica das Bombas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.
- MORTELARI, Denis; SIQUEIRA, Kleber; PIZZATI, Nei. **O RCM na Quarta Geração da Manutenção de Ativos**. São Paulo: RG Editores, 2012.
- MOUBRAY, John. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. (Reliability-Centered Maintenance – RCM). Trad. Kleber Siqueira. São Paulo: Aladon, 2000.

PLANO DIRETOR DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS, FCSA. 2013. Disponível em: <<http://portalcorp.tubarao.com.br/Corporativo/Documents/Manutenção/Plano%20Diretor%20de%20Manutenção%20e%20Gestão%20de%20Ativos.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2017.

PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio Nascif. **Manutenção: Função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark 2ª Edição, 2001.

RIGONI, Emerson. **Metodologia para implantação da manutenção centrada na confiabilidade: uma abordagem fundamentada em Sistemas Baseados em Conhecimento e Lógica Fuzzy**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia, Florianópolis, 2009.

SAE JA 1012. **A Guide to the Reliability Centered Maintenance (RCM) standard**. Society of automotive Engineers, 2002.

SILVA, Edna L. & MENEZES, Estera M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração da Dissertação**. 4ª. ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

SMITH R.; R. KEITH R. K. **Rules of thumb for maintenance and reliability engineers**. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2008.

SIQUEIRA, Iony Patriota de. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

SIQUEIRA, Iony Patriota de. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2012.

STOECKER, W. F. e SAIZ JABARDO, J. M., 2a Edição, **Refrigeração Industrial**, Edgard Bücher Ltda, São Paulo, 2002.