

**CENTRO UNIVERSITÁRIO CAMPO LIMPO PAULISTA - UNIFACCAMP
ENGENHARIA ELETRÔNICA**

SISTEMA DE GRAMPOS PARA TIRISTORES

**GUILHERME DOS SANTOS PACÍFICO
DIEGO RODRIGO ALVES
RAFAEL DE CARLI**

**Campo Limpo Paulista - SP
Dezembro – 2018**

Guilherme dos Santos Pacífico

Diego Rodrigo Alves

Rafael de Carli

SISTEMA DE GRAMPOS PARA TIRISTORES

Trabalho de conclusão apresentado ao Centro Universitário Campo Limpo Paulista – UNIFACCAMP, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Martinewski

Prof. Francisco Coelho de Oliveira

Campo Limpo Paulista - SP

Dezembro – 2018

**CENTRO UNIVERSITÁRIO CAMPO LIMPO PAULISTA - UNIFACCAMP
ENGENHARIA ELETRÔNICA**

SISTEMA DE GRAMPOS PARA TIRISTORES

RA 20590 - Guilherme dos Santos Pacífico

RA 20276 - Diego Rodrigo Alves

RA 20173 - Rafael de Carli

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Martinewski

Banca Examinadora:

Prof.

Convidado

Prof. Dr. Alexandre Martinewski

Orientador

Prof. Dr. Alexandre Martinewski

Coordenador

Campo Limpo Paulista - SP

Dezembro – 2018

DEDICATÓRIA

“Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, autor de meu destino, meu guia, socorro presente na hora da angústia, á memória da minha esposa Eliana Aparecida Camargo Alves que faleceu respectivamente em 29/08/2017, aos meus filhos Gabriel Henrique Alves e Sophia Camily Alves e aos meus familiares.”

Diego Rodrigo Alves

AGRADECIMENTO

“Aos amigos Rafael de Carli e Guilherme dos Santos Pacifico pelo incentivo e grande ajuda com o fornecimento de material para a realização deste trabalho”

Diego Rodrigo Alves

Nunca desistir

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

RESUMO

Será desenvolvido um novo projeto de grampos onde o sistema disponibilizará um controle de pressão sobre os tiristores do conversor de média frequência. Esperamos atingir o torque de ajuste especificado pelo fabricante dos tiristores para facilitar a manutenção e substituição. Adotando este sistema será atingido uma manutenção mais rápida e eficiente na troca do componente e mantendo suas especificações técnicas de instalações. A pesquisa se base nos dados de indicadores do programa de TPM da empresa Stell Forging utilizando as ferramentas de MTBF, MTTR e custos de manutenção.

Palavras Chaves: Tiristores, Sistema de grampos, Manutenção

LISTA DE SIGLAS

MTBF - Mean Time Between Failure (tempo médio entre falhas)

MTTR - Mean Time to Repair (tempo médio para reparo)

TPM - Total Productive Maintenance (manutenção produtiva total)

MF - Média Frequência

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR- Norma Brasileira

ISO- International Organization for Standardization (Organização Internacional de Normalização)

PDCA- PLAN, DO, CHECK, ACT (Planejar, Executar, Verificar, Agir)

SAP- Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung (Sistemas, Aplicativos e Produtos para Processamento de Dados.

O.S- Ordem de serviço

GAP- Lacuna

Datasheet- Folha de dados

CC- Corrente Contínua

Lean- Manufatura Enxuta

TPS- Transaction Processing Systems (Sistema de processamento de transações)

LISTA DE FIGURAS e GRÁFICOS

Figura 1 – Os 8 Pilares da manutenção produtiva total.....	pag. 20
Figura 2 – Diagrama de Ishikawa.....	pag.23
Figura 3 – Relatório A3 Report Manutenção.....	pag.27
Figura 4 - Frontal do Controle Eletrônico.....	pag.29
Figura 5 - Cartão de Controle do Retificador.....	pag.30
Figura 6 - Esquema Geral do Conversor Circuito Ressonante Paralelo.....	pag.32
Figura 7 - Corrente e Tensão Durante o Tempo da Sequência de Partida.....	pag.35
Figura 8 - Condição 1 Tiristores V1 e V3 estão conduzindo Corrente Id e Condição 2 Fase de Comutação.....	pag.37
Figura 9 - Condição 3 Os tiristores V2 e V4 estão conduzindo corrente Id e Condição 4 Fase de comutação.....	pag.38
Figura 10 Gráfico de Tempo das Correntes e Tensões Principais.....	pag.38
Figura 11 Diagrama de Blocos de Controle.....	pag.39
Figura 12 Diagrama de Blocos de Controle do Inversor.....	pag.44
Figura 13 Diagrama do Tempo da Tensão na Carga e Formação da Cadência de Operação.....	pag.45
Figura 14 Diagrama de Sinais Para Ligamento e Desligamento do Conversor...	pag.48
Figura 15 Tiristor.....	pag.50
Figura 16 Circuito de Refrigeração dos Grampos de Capacitores.....	pag.53
Figura 17 Circuito de Refrigeração Trafo de MF e Capacitores.....	pag.54
Figura 18 Desenho construtivo do Conjunto de grampo.....	pag.56
Figura 19 Mola prato.....	pag.57
Figura 20 Forma construtiva do sistema de grampo e tiristor.....	pag.60
Figura 21 Sistema de grampos projetado.....	pag.61
Figura 22 Sistema de grampo Antigo 1.....	pag.64
Figura 23 Sistema de grampo Antigo 2.....	pag.65
Figura 24 Sistema de grampo atual.....	pag.66
Figura 25 Projeto de grampos atual consolidado:.....	pag.67
Figura 26 Sistema de grampos instalados na máquina Sistema de grampo atual.....	pag 68

Gráfico 1 - Gráfico 1 – Exemplo de Gráfico de Pareto.....	pag 25
Gráfico 2 - Grafico de curva caracteristica mola prato (carga x deflexão).....	pag 57
Gráfico 3 - Característica da Mola Prato.....	pag 58
Gráfico 4 - Gráfico de Pareto Quebra da máquina 103307.....	pag 62

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Objetivo geral	14
1.1.1. Objetivos específicos.....	14
1.2. Problema.....	14
1.3. Justificativa.....	14
1.4. Metodologia.....	15
1.4.1. O Projeto.....	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1. Qualidade.....	16
2.2. Ferramentas da qualidade	18
2.2.1. TPM.....	18
2.2. Ferramentas da qualidade	22
2.2.1. Diagrama de Causa e Efeito.....	22
2.2.2. Como fazer o diagrama de Causa e Efeito.....	23
2.2.3. Estratificação	24
2.2.4. Análise de Pareto	24
2.2.5. Histograma	25
2.2.6. Brainstorming.....	25
2.3. A3 REPORT	25
2.3.1. Os sete elementos do pensamento A3 Report	26
3. CONCEITOS E FUNCIONAMENTO	28
3.1. Conversor Circuito Tanque Paralelo Para Aquecimento Indutivo.....	28
3.1.1. Aplicação e Vantagens	28
3.1.2. Construção	30

3.1.3.	Performance	33
3.1.4.	Sequência de partida.....	35
3.1.5.	Operação Normal	37
3.1.6.	Controle e regulação	39
3.2.	Conceitos e sistemas	50
3.2.1.	Tiristor.....	50
3.2.2.	Sistema refrigeração.....	51
3.2.3.	Grampos Originais.....	54
3.3.	Materiais e métodos	55
3.3.1.	Grampos.....	55
3.3.2.	Sistema de mola	57
3.3.3.	Projeto mecânico	59
3.3.4.	Sistema de pressão	60
4.	RESULTADOS	62
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

1. INTRODUÇÃO

O trabalho realizado teve início em 2012 onde era preciso aprimorar o sistema de grampo de tiristores de um conversor de média frequência situado em uma têmpera de indução, para isto, foi necessário analisar dados através do programa TPM (Manutenção produtiva total).

O grande desafio foi desenvolver o novo sistema de grampos com o torque ideal para o correto funcionamento e trazer resultados que justifiquem o investimento aplicado no equipamento.

Três ferramentas utilizadas no TPM foram fundamentais para encontrar o ponto crítico do sistema, o A3 Report teve como função encontrar a causas de quebra, em seguida utilizando o Diagrama de Ishikawa foi detectado o grampo para tiristores como ponto principal de quebra.

Após todo este estudo, iniciamos o projeto; O grampo foi fabricado em bloco de cobre com uma camada de níquel cromo para evitar oxidação.

A barra roscada e porcas são de latão para evitar problemas de aquecimento durante o uso do conjunto por se tratar de media frequência não podemos fazer uso de parafuso ou porcas de aço pois durante a condução pode haver o aquecimento dos componentes utilizados na montagem. O isolante utilizado para fazer a montagem foi a fibra de vidro.

Junto ao conjunto utilizamos molas pratos, este tipo de material pode ser montado de várias formas e proporciona um ajuste preciso na montagem e mantem o torque depois do conjunto montado.

Os tubos de refrigeração são de aço inox por se tratar de um sistema refrigerado necessita de componentes resistentes a água e com uma grande resistência mecânica e térmica.

Ao término do projeto, conclui-se que o resultado foi satisfatório, onde se alcançou diminuição das quebras no conversor, considerando que em 2018 estamos com 1,77% em relação ao total de horas de máquina parada, em 2014 tinha-se

32,38% em relação ao total de horas de máquina parada, o Projeto foi tema de Workshop na empresa, sendo apresentado para Gerência.

1.1. Objetivo geral

Iremos avaliar os dados de quebra e falha através do programa TPM, com isso iniciaremos nossa pesquisa para melhoria de desempenho do grampo no conversor de MF (Média Frequência).

1.1.1. Objetivos específicos

- Treinamento específico para equipe de manutenção;
- Atingir o menor custo de manutenção;
- Busca de maior eficiência e confiabilidade no sistema produtivo, operacional e manutenção.

1.2. Problema

Será que com o desenvolvimento de um novo projeto sobre sistema de grampos seja possível aplicar o torque ideal solucionando as falhas ocorridas atualmente?

1.3. Justificativa

A ideia da melhoria no sistema de grampos dos tiristores, é proporcionar para empresa um ganho significativo:

- Gerência: A máquina irá produzir de forma mais eficiente, assim atingindo as metas de produção mensal.
- Operador: tempo para treinamento, limpeza, organização e inspeção do equipamento.
- Manutenção: disponibilidade da máquina para manutenção programada e diminuição de corretivas que causam um enorme transtorno e perdas na produção.

1.4. Metodologia

De acordo com Godoy (2005), um estudo qualitativo tem como objetivo descobrir e compreender um fenômeno ou um processo, ou ainda as perspectivas e visão de mundo das pessoas nele inseridos. Assim, concluímos que metodologia é um método de trabalho que dá forma à pesquisa acadêmica ou científica.

Em um segundo momento o tema será trabalhado como um estudo de caso, pois o trabalho desenvolvido ficará circunscrito a um produto específico de uma única empresa, não impedindo que generalizações sejam feitas a posteriori. Godoy (2005) caracteriza o estudo de caso como um estudo exaustivo e profundo de um ou poucos objetos, de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento.

1.4.1. O Projeto

- Analisar os dados de quebra e falha através do Programa TPM
- Definir a causa raiz das quebras e falhas através da ferramenta A3 Report.
- Definir plano de ação robusto para solução da causa raiz apontada pelo A3 Report.
- Definir o projeto ou melhoria a ser aplicada no problema
- Executar o projeto ou melhoria
- Definir plano de manutenção preventivo
- Fazer treinamento do setor de manutenção mostrando os resultados alcançados
- Fazer workshop apresentando o projeto e seus respectivos ganhos para gerência

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Qualidade

A palavra qualidade, vem do latim 'qualitate'. Os principais autores sobre o tema, como Deming, Crosby, Juran e Feigenbaum, procuraram defini-la de acordo com uma série de princípios, os quais devem ser adequados para a implantação da qualidade nas organizações.

A norma brasileira ABNT NBR ISO 9000, define qualidade como: "Grau no qual um conjunto de características inerentes satisfaz a requisitos".

A qualidade de um produto ou serviço pode ser mensurada, quando essa, atende às necessidades de seus clientes de forma agradável. Além disso, cada pessoa tem uma visão diferente no momento de comprar um produto ou desfrutar de um serviço, pois, estarão baseadas naquilo que aprenderam, nas suas expectativas e em suas necessidades, que poderão ser distintas.

Sobre a evolução histórica dos estudos da qualidade, Garvin (2002) destaca quatro etapas: Inspeção; Controle Estatístico da Qualidade; Garantia da Qualidade; e Gerenciamento Estratégico da Qualidade.

As duas primeiras etapas tratam de métodos e ferramentas para certificar a qualidade do produto e da produção, seja através de inspeção ou controle estatístico.

A terceira etapa traz uma inovação ao buscar a garantia da qualidade de uma forma total, através da qualidade em todos os processos, desde a concepção e desenvolvimento até a entrega ao cliente através de bons serviços.

Já a última etapa trata de utilizar a qualidade como um fator estratégico e competitivo, relacionando qualidade à lucratividade.

Conceituar a qualidade pode ser muito arriscado por se tratar de uma palavra tão comum e popular, o que gera uma diversidade grande de significados, por isso serão utilizadas duas classificações que interagem entre si.

A primeira classificação é de Garvin (2002) que diz que a qualidade pode ser definida dentro de cinco abordagens principais, são elas:

- 1- **Transcendente:** Qualidade vai além das definições racionais e científicas, qualidade é uma percepção intuitiva, não se sabe por que algo possui qualidade, mas se sente e se sabe que esse algo é de qualidade;
- 2- **Baseada no produto:** A qualidade é baseada em uma série de especificações mensuráveis que a garantem e certificam;
- 3- **Baseada no usuário:** A qualidade parte da percepção do cliente, o que ele acha bom o satisfaz é de qualidade;
- 4- **Baseada na produção:** A qualidade é a eficiência em se produzir exatamente o que foi projetado, de forma otimizada e sem perdas;
- 5- **Baseada no valor:** É a definição que passa pelo custo e preço, quanto maior o desempenho com o menor preço ou custo, mais qualificado será o produto. Segundo Garvin (2002) dessas cinco abordagens pode-se identificar oito dimensões ou categorias da qualidade.

Dentro da abordagem baseada no produto tem-se as dimensões de desempenho, características e durabilidade.

Na abordagem baseada no usuário pode ser identificadas as dimensões de atendimento, estética e qualidade percebida.

Na abordagem baseada na produção tem-se as dimensões de conformidade e confiabilidade.

Dessa forma é construída uma conceituação de qualidade ampla, baseada em cinco abordagens e oito dimensões.

A segunda classificação é de Paladini (2000) que conceitua a qualidade baseada em dois elementos: Espacial; e Temporal.

1. A qualidade envolve muitos aspectos simultaneamente, ou seja, uma multiplicidade de itens. Essa seria a componente “espacial” do conceito;
2. A qualidade sofre alterações conceituais ao longo do tempo, isto é, trata-se de um processo evolutivo.

Essa seria a componente “temporal” do conceito, Paladini (2000, p. 24), diz que se deve acertar o conceito primeiro, o que seria a parte espacial, para se direcionar o processo da qualidade total posteriormente, o que seria a parte temporal.

Embora a qualidade seja difícil de se conceituar, é fundamental buscá-la incessantemente como uma maneira de se obter vantagem competitiva e diferencial estratégico.

Empresas que não investem em qualidade, desde os pequenos detalhes aos maiores planejamentos estratégicos integrados, estão perdendo espaço para outras que investem e colhem o retorno, seja ele através da fidelidade do cliente e da alta rentabilidade deste cliente satisfeito, ou evitando os desperdícios produtivos através de uma otimização das operações tornando-as mais eficientes.

O investimento na qualidade é tão importante ou até mais que os investimentos nas áreas funcionais da empresa.

2.2. Ferramentas da qualidade

2.2.1. TPM

A manutenção preventiva teve sua origem nos Estados Unidos e foi introduzida no Japão em 1950. Até então, a indústria japonesa trabalhava apenas com o conceito de manutenção corretiva, após a falha da máquina ou equipamento. Isso representava um Custo e um obstáculo para a melhoria de qualidade.

Na busca de maior eficiência da manutenção produtiva, por meio de um sistema compreensivo, baseado no respeito individual e na total participação dos empregados, surgiu a TPM, em 1970, no Japão.

Segundo Pinto e Xavier (2007) a evolução da manutenção pode ser dividida em 3 gerações.

A Primeira Geração abrange o período antes da Segunda Guerra Mundial, quando a indústria era pouco mecanizada, os equipamentos eram simples e, na sua grande maioria, superdimensionados.

Aliados a tudo isto, os autores ressaltam que, devido a conjuntura econômica da época, a questão da produtividade não era prioritária. Conseqüentemente, não era necessária uma manutenção sistemática; apenas serviços de limpeza, lubrificação e reparo após a quebra, ou seja, a manutenção era, fundamentalmente, corretiva.

Para os mesmos autores, a segunda geração inicia na Segunda Guerra Mundial até os anos 60. As pressões do período da guerra aumentaram a demanda por todo tipo de produtos, ao mesmo tempo que o contingente de mão de obra industrial diminuiu sensivelmente. Como consequência, neste período houve forte aumento da mecanização, bem como a complexidade das instalações industriais.

Começa a evidenciar-se a necessidade de maior disponibilidade, bem como, maior confiabilidade, tudo isto na busca do aumento da produtividade. A indústria estava bastante dependente do bom funcionamento das máquinas. Isto levou à ideia de que falhas dos equipamentos poderiam e deveriam ser evitadas, o que resultou no conceito de manutenção preventiva. (PINTO; XAVIER, 2007)

Os autores ainda ressaltam que na década de 60 está manutenção consistia de intervenções nos equipamentos, feitas a intervalo fixo e que o custo da manutenção também começou a se elevar muito em comparação com outros custos operacionais. Esse fato fez aumentar os sistemas de planejamento e controle de manutenção que, hoje, são partes integrantes da manutenção moderna.

Para Wyrebski (1997), a TPM, antes de tudo, deve ser encarada como uma filosofia de gestão empresarial centrada na disponibilidade total do equipamento para a produção. Tal filosofia deve ser seguida por todos os segmentos da empresa, desde a alta gerência até o operador do equipamento. A Manutenção Produtiva Total surgiu no Japão no período pós Segunda Guerra Mundial. As empresas Japonesas, até então famosas pela fabricação de produtos de baixa qualidade e arrasadas pela

destruição causada pela guerra, buscaram, na excelência da qualidade, uma alternativa para reverter o quadro na qual se encontravam. Com isso, os primeiros registros de implementação da TPM pertencem à empresa Nippon Denso, do grupo Toyota. No Brasil, essa filosofia começou a ser praticada em 1986.

O autor ressalta que a TPM é baseada em alguns aspectos chamados de pilares. Já Pinto e Xavier (2007) apresentam diferenciações nesses conceitos no que diz respeito à classificação ou à nomenclatura, entretanto não divergem nos princípios e metas que a TPM apresenta. Os pilares da TPM são apresentados na Figura 1.

Figura 1 – Os 8 Pilares da manutenção produtiva total



Fonte: Disponível em: (<https://www.citisystems.com.br/> acesso em 20/08/2018)

1º. Pilar- Manutenção autônoma:

Capacitação da mão de obra. Objetiva treinar e capacitar os operadores para que os mesmos se envolvam nas rotinas de manutenção e nas atividades de melhorias que previnem a deterioração dos equipamentos

2º. Pilar - Manutenção planejada:

Foca no Quebra zero e no aumento da eficiência e eficácia do equipamento. Atua sob três formas: planejamento das manutenções preditivas, preventivas e paradas. Enquanto que as duas primeiras objetivam eliminar paradas, a terceira, quando é necessária deve ser muito bem planejada a fim de proporcionar uma parada assertiva que siga o cronograma e os custos planejados. Por isso é cada vez mais comum as empresas utilizarem ferramentas de gestão de projetos aplicadas nas paradas.

3º Pilar - Manutenção da Qualidade

Zero Defeito, através do controle de equipamentos, materiais, ações das pessoas e métodos utilizados. Hoje em dia podemos citar algumas

ferramentas que auxiliam neste processo como sistemas automáticos de inspeção e controle da qualidade (sensores de visão, Micrômetro Laser e softwares online de controle estatístico de processo).

4º Pilar - Melhorias Específicas:

Objetiva reduzir o número de quebras e aumentar a eficiência global do equipamento através do envolvimento de times multidisciplinares compostos por engenheiros de processo, operadores e manutentores. Com um time de pessoas com conhecimento diversificado, a chance de melhorias eficazes serem implantadas é muito maior.

5º Pilar - Controle Inicial:

Reduzir o tempo de introdução do produto e processo. Se baseia na análise detalhada dos produtos e equipamentos antes mesmo de serem fabricados ou instalados. O objetivo é focar a energia em criar produtos fáceis de fazer e equipamentos fáceis de utilizar.

6ºPilar - Treinamento e Educação:

Elevar o nível e capacitação da mão de obra. Mão de obra escassa e sem conhecimento é um dos grandes problemas industriais atualmente. Como estamos em uma época direcionada à indústria 4.0 em que a tecnologia muda constantemente, o problema se agrava mais ainda e o treinamento torna-se parte fundamental do sucesso das empresas. A Educação e treinamento devem ser sistemáticos na companhia.

7º Pilar - Segurança, Higiene e Meio Ambiente:

Zero Acidente. Assegurar a segurança e prevenir impactos ambientais adversos, além de serem fundamentais atualmente, motiva os funcionários e faz com que a empresa conquiste mais clientes.

8º Pilar - Áreas Administrativas:

Reduzir as perdas administrativas e criar escritórios de alta eficiência. Como o departamento administrativo fornece recursos às atividades de

produção, a qualidade e a precisão das informações supridas por estes departamentos devem ser asseguradas.

Fonte: Disponível em: (<https://www.citisystems.com.br/> acesso em 20/08/2018)

2.2. Ferramentas da qualidade

2.2.1. Diagrama de Causa e Efeito

O diagrama de causa-efeito, também chamado diagrama de Ishikawa ou de espinha de peixe, é uma ferramenta simples muito utilizada em qualidade. Kaoru Ishikawa foi quem criou o diagrama em 1943 e o usava em ambientes industriais para verificar a dispersão na qualidade dos produtos e processos.

Trata-se de uma ferramenta que permite a identificação e análise das potenciais causas de variação do processo ou da ocorrência de um fenômeno, bem assim como da forma como essas causas interagem entre si.

Ela também é largamente utilizada para análise de problemas organizacionais.

Segundo Ishikawa (1993)

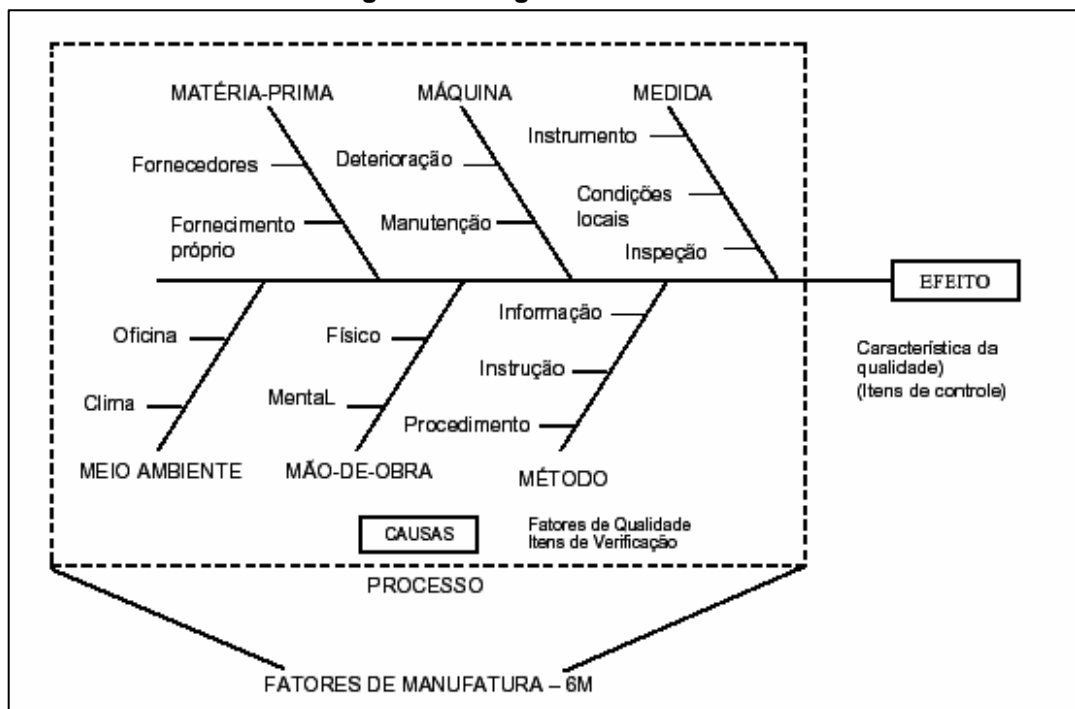
“A análise de processo é a análise que esclarece a relação entre os fatores de causa no processo e os efeitos como qualidade, custo, produtividade, etc., quando se está engajado no controle de processo. O controle de processo tenta descobrir os fatores de causa que impedem o funcionamento suave dos processos. Ele procura assim a tecnologia que possa efetuar o controle preventivo. Qualidade, custo e produtividade são efeitos ou resultados deste controle de processo.”

A ferramenta apresenta as causas de um problema em forma de espinha de peixe: as 6 M's: método, mão-de-obra, materiais, medidas, máquinas e meio ambiente. Na área de prestação de serviços geralmente as categorias básicas utilizadas são: procedimentos, pessoas, ponto, políticas, medição e meio ambiente. Com a utilização do diagrama de causa e efeito é possível determinar as causas dos problemas para atacá-los da melhor forma possível.

2.2.2. Como fazer o diagrama de Causa e Efeito

- O primeiro passo é definir o problema a ser estudado e o que se deseja obter.
- Estudar e conhecer o processo envolvido através de observação, documentação, troca de ideias com pessoas envolvidas.
- Fazer uma reunião com as pessoas envolvidas no processo e discutir o problema, é importante incentivar todos a exporem suas ideias, fazer um brainstorming.
- Após coletar todas as informações, organizá-las em: causas principais, secundárias, terciárias, eliminando informações sem importância.
- Montar o diagrama, e conferir com todos a representação da situação atual.
- Marcar aquilo que é mais importante para obter o objetivo que se pretende alcançar.

Figura 2 – Diagrama de Ishikawa



Fonte: (CAMPOS, 2004, p. 21)

Este conceito de divisibilidade de um processo permite controlar sistematicamente cada um deles separadamente, podendo desta maneira conduzir a um controle mais eficaz sobre o processo todo. Controlando-se os processos menores é possível localizar mais facilmente o problema e agir mais profundamente sobre sua causa. (CAMPOS, 2004, p.21)

2.2.3. Estratificação

A estratificação é uma ferramenta que consiste em dividir categorias, grupos, ou seja, estratos.

Visa auxiliar na análise e pesquisa para o desenvolvimento de oportunidades de melhoria, na medida em que é possível visualizar a composição real dos dados através dos estratos.

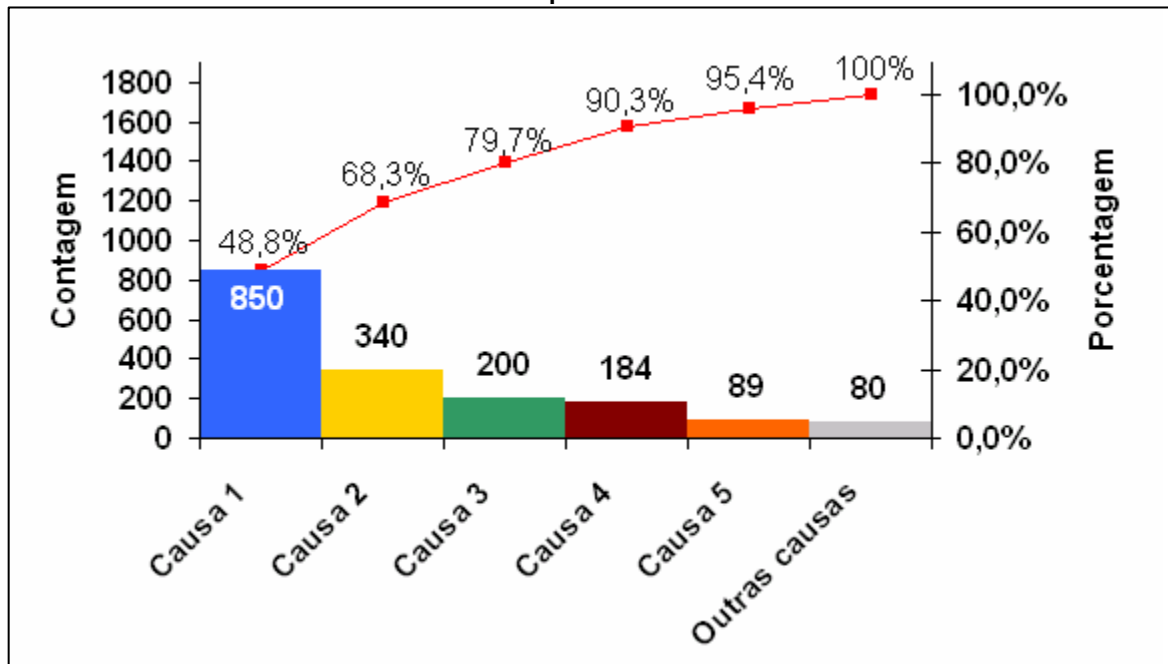
Por exemplo, pode-se imaginar o número de falhas em um processo em uma fábrica, essa informação não ajuda a entender o problema.

Quando o número total de falhas é estratificado por turno, por dia da semana, por horário, entre outras classificações é possível tirar informações importantes sobre onde ocorre o problema.

2.2.4. Análise de Pareto

A análise de Pareto é um método simples e poderoso para o gerenciador, pois o ajuda a classificar e priorizar os seus problemas. O Princípio de Pareto é uma técnica universal para separar os problemas em duas classes: os poucos fatores vitais e os outros são muitos, mas triviais. (Campos, 1994). O que significa que um ou dois elementos são responsáveis por 80% a 90% dos resultados atingidos. A análise de Pareto se inicia com a construção da carta de Pareto que é um formulário a partir do qual se constrói um gráfico de barras que é usado para indicar a importância relativa dos problemas em função de suas ocorrências.

Gráfico 1 – Exemplo de Gráfico de Pareto



Fonte: (AGUIAR, 2002)

2.2.5. Histograma

O histograma também é um gráfico de barras que mostra a distribuição de dados por categorias. Ele representa uma distribuição de frequência.

As frequências são agrupadas na forma de classes, nas quais é possível observar a tendência central dos valores e da variabilidade.⁷

2.2.6. Brainstorming

Brainstorming em inglês significa tempestade de ideias. Os indivíduos se reúnem em um grupo e dão ideias de forma totalmente livre, sem críticas e interpelações.

Geralmente a participação é voluntária e com prazo determinado. O propósito dessa ferramenta é lançar ideias e detalhá-las sem inibições, busca-se a diversidade de opiniões e contribui para o desenvolvimento das equipes.

2.3. A3 REPORT

O relatório A3 é uma ferramenta importante da filosofia lean onde estabelece uma estrutura concreta para implementar a gestão PDCA, o coração do TPS, ajuda a compreensão mais profunda do problema e do potencial oportunidade, além de

proporcionar ideias sobre como atacar um problema identificado por outras ferramentas do Lean. O relatório A3 facilita o alinhamento das informações entre a organização tornando o processo de solução dos problemas e a busca da melhoria contínua um trabalho em equipe. O relatório A3 não pode ser elaborado em isolamento apenas um indivíduo, o A3 deve ser criado por uma equipe multifuncional onde cada membro da equipe colaborará com sua opinião e experiência.

2.3.1. Os sete elementos do pensamento A3 Report

O A3 report, é além de um documento de solução de problemas ele é utilizado pela Toyota para cultivar o desenvolvimento intelectual de seus membros e gerentes que por meio desse documento desenvolvem um pensamento A3. Por trás desse pensamento o sistema A3 é baseado em 7 elementos:

- **Processo de raciocínio lógico** – Agir racionalmente no processo de tomada de decisão e na solução de problemas, identificação da causa e efeito por meio de pesquisas científicas e investigações.
- **Objetividade** – Compreensão da situação, racionalização dos pontos de vista para um plano de ação em conjunto.
- **Resultado no processo** – Foco no resultado, obter o resultado esperado, aplicar o PDCA da maneira correta e garantir o seu fluxo.
- **Síntese e visualização** – Ser claro e objetivo com as informações, comunicar-se de maneira clara e eficiente.
- **Alinhamento** – Comunicação tridimensional: horizontal através da organização, vertical em toda a hierarquia e em profundidade para frente e a para trás ao mesmo tempo.
- **Coerência interna e externa** – Abordagens consistentes de acordo com as metas e os valores da organização.
- **Ponto de vista sistêmico** – Manutenção das atividades, abordagem dos problemas encontrando uma forma sistêmica de promover a solução (SOBEK II DURWARD K.,2010)

Figura 3 – Relatório A3 Report Manutenção

Relatório A3 Report Manutenção		OS02:	Data: / /																				
Problemas/Objetivos do A3 Report (Analisar e Completar) INV: _____ KW: _____ OS01: _____ Tempo: _____ Identificação do problema (O que, onde, quando, como, quem): Defeito: Descrição da Solução (resumo):		Causas Raízes (ocorrência e detecção): Por que ocorreu o defeito? <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 20%;"></div> <div style="width: 20%;"></div> <div style="width: 20%;"></div> <div style="width: 20%;"></div> <div style="width: 20%;"></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 20%;"></div> <div style="width: 20%;"></div> <div style="width: 20%;"></div> <div style="width: 20%;"></div> <div style="width: 20%;"></div> </div> Causa raíz: _____																					
Análise do problema (Quais as causas que podem ter ocasionado o problema - Classificar): <input type="checkbox"/> P Causa potencial <input type="checkbox"/> C Causa contribuinte		Por que o reparo demorou mais de 4 horas? <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 20%;"></div> <div style="width: 20%;"></div> <div style="width: 20%;"></div> <div style="width: 20%;"></div> <div style="width: 20%;"></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 20%;"></div> <div style="width: 20%;"></div> <div style="width: 20%;"></div> <div style="width: 20%;"></div> <div style="width: 20%;"></div> </div> Causa raíz: _____																					
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 15%; text-align: center;"> Meio Ambiente Medição </div> <div style="width: 30%; text-align: center;"> Mão de Obra Materiais </div> <div style="width: 15%; text-align: center;"> Máquina Método </div> <div style="width: 30%; border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; height: 100px;"></div> </div>		Ações para corrigir o problema e evitar que ele volte: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 5%;">ITEM</th> <th style="width: 75%;">O que será feito para resolver o problema e evitar que ele ocorra novamente (Ações)</th> <th style="width: 10%;">Responsável pela ação</th> <th style="width: 10%;">Aprovação de Liber</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>		ITEM	O que será feito para resolver o problema e evitar que ele ocorra novamente (Ações)	Responsável pela ação	Aprovação de Liber																
ITEM	O que será feito para resolver o problema e evitar que ele ocorra novamente (Ações)	Responsável pela ação	Aprovação de Liber																				

3. CONCEITOS E FUNCIONAMENTO

3.1. Conversor Circuito Tanque Paralelo Para Aquecimento Indutivo

3.1.1. Aplicação e Vantagens

O processo de aquecimento indutivo é o aquecimento de metais pela indução de correntes de Foucault num material condutor pela aplicação de um campo eletromagnético alternado. A frequência do campo alternado é função da aplicação do trabalho de aquecimento indutivo a ser realizado e das dimensões do material a ser aquecido. Para frequências geradas entre 200 Hz e 10000 Hz, unidades conversoras estáticas (às vezes chamadas de inversores estáticos) usando semicondutores controláveis (tiristores) podem ser empregadas como um meio eficiente de gerar tais frequências.

Comparado com o conversor de frequência rotativo tipo motor – gerador, o gerador estático tem as seguintes vantagens especiais:

- Maior eficiência elétrica
- Menor perda em vazio
- Ótima troca de frequência para satisfazer uma aplicação particular
- Taxa de potência/peso favorável
- Prontidão operacional imediata
- Ausência de peças mecânicas móveis
- Pequenos tempos de reparos.

Os dados técnicos do equipamento apropriado são especificados na documentação inclusa no manual de instrução pertencente à ordem específica.

A parte analógica da eletrônica usa a técnica de alimentação $\pm 15V$. Na parte digital da eletrônica são usados circuitos integrados FZ 100 para assegurar a operação livre de interferência. Tanto quanto permitiram os parâmetros de projeto, foram usados circuitos integrados para que o tamanho fosse reduzido ao mínimo assim como a confiabilidade fosse aumentada ao máximo. Cada cartão é alimentado por $\pm 24V$ e a estabilização para $\pm 15V$ é feita em cada cartão pela incorporação de seu próprio circuito integrado regulador de tensão constante.

Figura 4 - Frontal do Controle Eletrônico

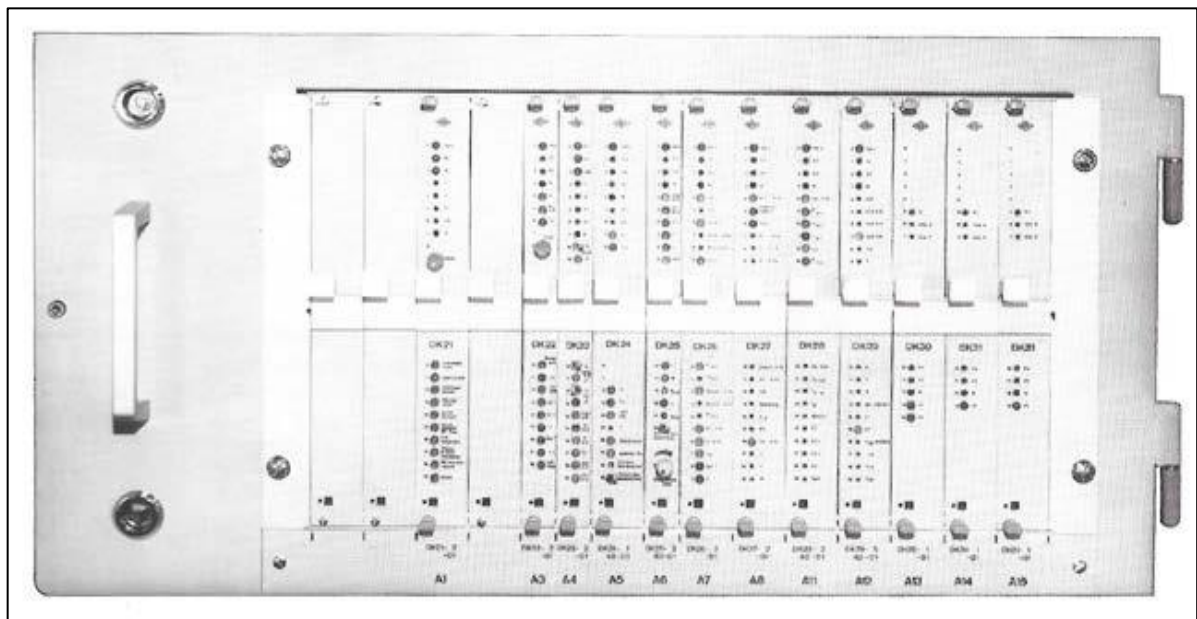
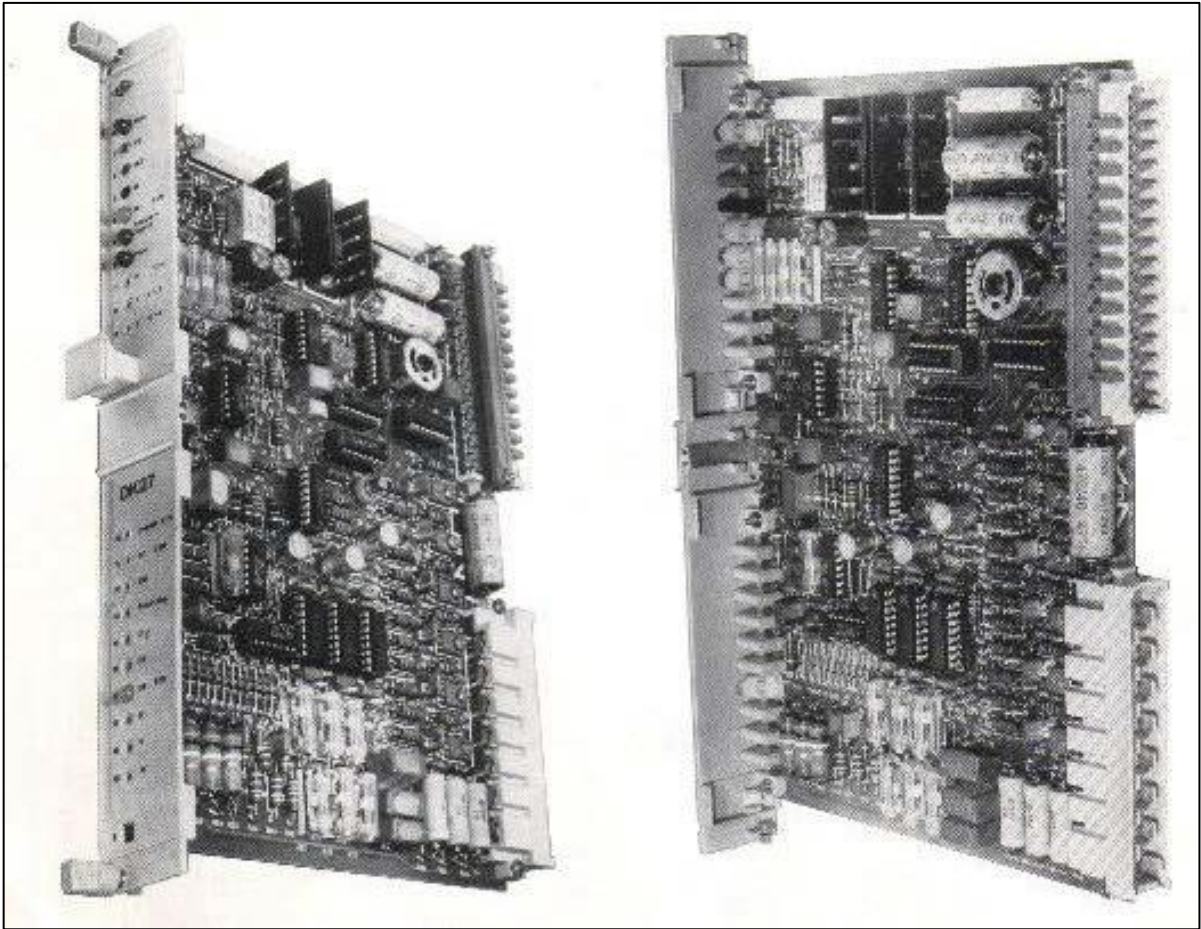


Figura 5 - Cartão de Controle do Retificador



3.1.2. Construção

Um armário do conversor geralmente contém as seguintes subseções

- **Seção de comando e controle**

Circuito eletrônico, para o controle do retificador e inversor e para regulação dos parâmetros de saída.

Contatores de comando para intertravamento de segurança e o sistema de chaveamento para a unidade completa.

- **Painel de entrada**

Conexão da rede com a chave geral de entrada, e o reator CC inter-circuito, refrigerado a água.

- **Painel do retificador**

Ponte retificadora trifásica totalmente controlada com conjunto de tiristores refrigerados a água, transformadores de isolamento de pulsos de disparo e circuito de proteção dos tiristores.

- **Painel do inversor CC-CA**

Ponte monofásica totalmente controlada com conjuntos de tiristores refrigerados a água, transformadores de isolamento de pulsos de disparo, circuito de proteção e tiristores da ponte de partida para início de oscilação do circuito tanque.

- **Painel de compensação**

Capacitores de MF para compensar o fator de potência da bobina indutora do circuito de carga do gerador.

O armário é provido de portas a prova de pó e umidade e painéis de proteção contra operação em condições de ambientes sujos. Os tiristores do retificador, inversor, assim como os capacitores de MF são do tipo refrigerados diretamente por água. O ar dentro do armário do conversor é recirculado por ventiladores através de trocadores de calor refrigerados a água.

Por este método, todas as perdas internas no circuito e na fiação são dissipadas sem entrada de contaminação por meio de ar externo de refrigeração quando em operação em áreas de ambientes sujos. Este sistema também evita eficientemente a formação de água por condensação e problemas associados.

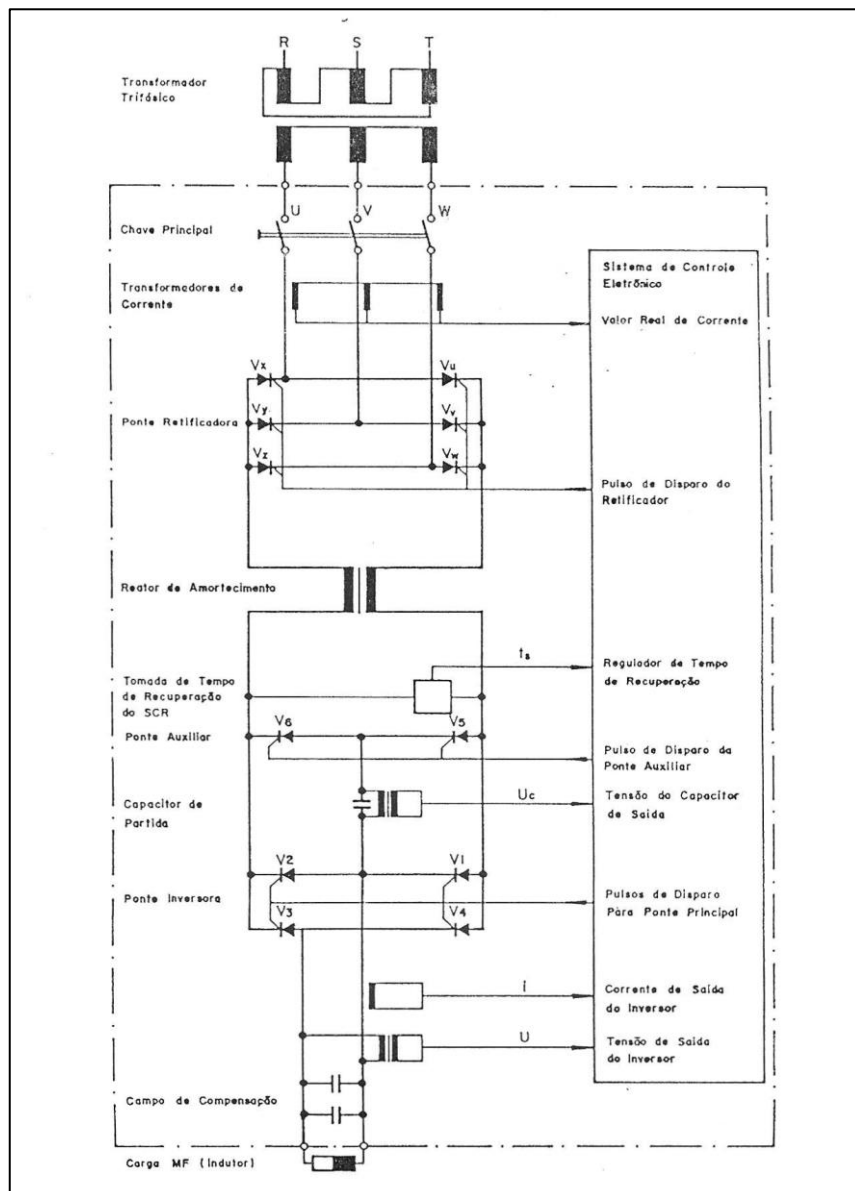
Os elementos de operação tais como botões, sinaleiros e instrumentos de medição são agrupados com um painel de controle e montados ou na porta de comando ou podem ser fornecidos como um item separado para montagem de um painel remoto de controle e operação. Os controles eletrônicos são montados num bastidor de 19" onde são instalados os cartões de circuito impresso. Os circuitos individuais de eletrônica são montados em cartões que utilizam o formato Europa Duplo. Cada cartão tem dois conectores tipo multipino. Toda conexão elétrica entre

os cartões são feitas através de conectores de 32 pinos (baixa corrente), interligados por uma placa mãe.

Toda fiação de conexão de saída para conectar a eletrônica com o comando de Contatores, disparo de tiristores e circuitos de proteção são feitas através de um segundo tipo de conector de 15 pinos.

Cada cartão tem uma placa frontal na qual são montados elementos de ajuste e sinalização de falhas mais importantes tais como LED's, pontos de medição, trimpots, chaves, etc., necessários para testes, localização de defeitos e ajustes de cada cartão.

Figura 6 - Esquema Geral do Conversor Circuito Ressonante Paralelo



3.1.3. Performance

Performance da seção de potência

A figura 7 mostra o esquema de diagrama de fiação para um conversor a circuito tanque paralelo.

O transformador trifásico é usado para isolação potencial entre a rede e o circuito de carga, assim como adaptar a tensão da rede para a tensão requerida que permita o gerador produzir a saída de tensão MF desejada para carga.

A ponte retificadora trifásica totalmente controlada converte a energia de entrada trifásica para CC controlável. Desta maneira, a saída do conversor pode ser continuamente ajustada de 1% a 100% da taxa nominal.

Quando em desligamento, o retificador é invertido, de modo que a energia do reator é realimentada para rede de alimentação.

A saída de potência é ligada e desligada pela liberação ou bloqueio do retificador principal sem a operação de Contatores de potência.

O reator CC é usado para assegurar um fluxo contínuo e ininterrupto de energia entre o retificador e o inversor, e no caso de um curto-circuito, limitar a velocidade de subida da corrente CC de forma a permitir o desligamento em caso de sobre-corrente sem qualquer problema.

Junto com o capacitor de partida, a ponte auxiliar serve para iniciar as oscilações no gerador.

O inversor consiste de uma ponte monofásica totalmente controlada.

Durante a operação, depois das oscilações terem sido criadas, o circuito de carga recebe pulsos de potência CC de polaridade alternada, pelo disparo das diagonais da ponte com alternância.

A frequência é determinada pela frequência de ressonância livre da carga do circuito tanque paralelo. Deste modo, o controle do inversor é um sistema realimentado.

O banco de capacitores de MF é usado para compensação da potência reativa do circuito de carga indutiva.

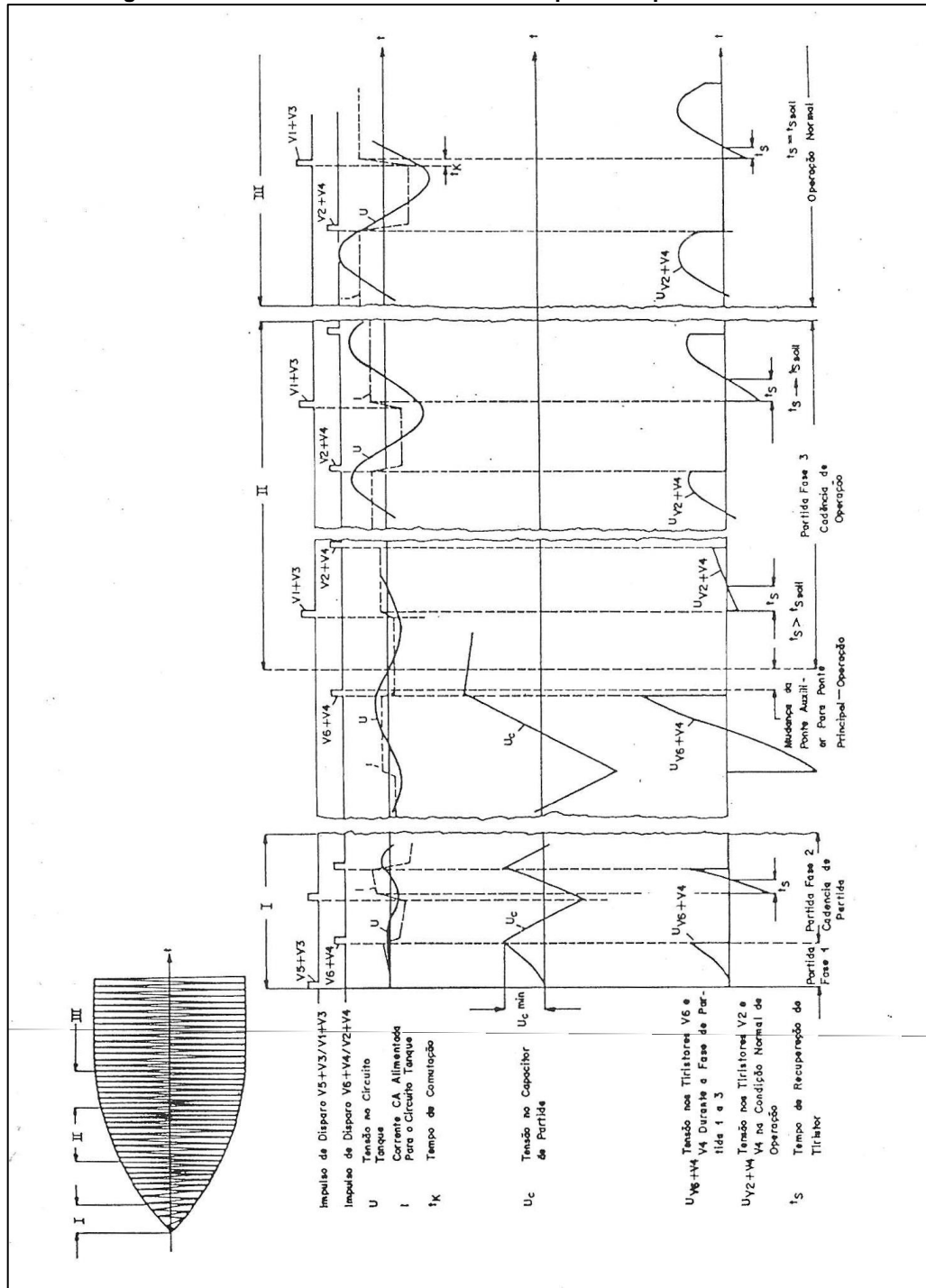
A eletrônica de controle envia pulsos de disparo para os tiristores do retificador e do inversor, controla a saída de potência do conversor e ajusta os valores de saída por meio de um potenciômetro (ou alguma outra unidade de controle tal como: controlador de temperatura) de controle de potência.

O ajuste de tensão de operação do gerador é estabilizado eletronicamente também de forma que fica independente das mudanças de carga na saída.

Os parâmetros necessários a operação são controlados eletronicamente para garantir que o gerador não possa ser operado fora das condições de operação estabelecida na ocorrência de falhas ou carga fora dos limites.

Se aparecerem condições de sobre frequência ou sobre corrente, o gerador estático é desligado automaticamente e a falha é indicada.

Figura 7 - Corrente e Tensão Durante o Tempo da Sequência de Partida



3.1.4. Sequência de partida

Para iniciar as oscilações no circuito tanque durante a sequência de partida, apenas os dois braços da ponte contendo os tiristores V5 e V6 da ponte auxiliar e os tiristores V3 e V4 da ponte principal (veja figura 8) são disparados.

Primeira fase de partida

A primeira fase de partida começa pelo disparo da ponte na diagonal V5 e V3. Neste caso, este pulso de disparo é sincronizado com o primeiro pulso do retificador. Assim flui uma corrente direta pelo circuito série composto pelo capacitor de partida e o circuito tanque paralelo constituído pelo circuito de carga MF e o campo de compensação. Deste modo, a tensão CC no capacitor de partida sobe (veja figura 8).

Segunda fase de partida

Quando esta tensão aumenta até um certo nível mínimo, suficiente para assegurar a primeira comutação, é enviado um segundo pulso para a ponte da outra diagonal V6 e V4 de modo que a corrente é comutada do caminho V5 e V3 para o caminho V6 e V4. Por meio da comutação, o capacitor de partida é carregado na direção reversa, e depois de alcançado um certo nível de tensão de polaridade oposta o controle eletrônico fornece um terceiro pulso para a diagonal V5 e V3 de maneira que a corrente terá pulso na direção reversa.

O disparo alternado das duas diagonais é continuado, causando assim uma corrente CA de forma retangular que passa através do circuito tanque, para produzir o aumento da tensão MF. Durante esta fase de partida, os pontos de disparo são comutados através da amplitude da tensão de partida do capacitor. A frequência dos pulsos de disparo disponíveis será mencionada posteriormente no texto seguinte como "ciclo de partida".

Terceira fase de partida

Quando a tensão na carga do circuito tanque atinge um valor mínimo onde a comutação segura possa ser garantida sem o capacitor de partida, a operação será mudada da ponte auxiliar para a ponte principal e do ciclo de partida para o ciclo de operação normal.

Os ciclos de disparo não são mais comutados da curva de tensão do capacitor, mas pela passagem pelo zero da tensão de carga.

Neste mesmo instante a regulação do tempo de recuperação do tiristor é ligada. Este regulador monitora o tempo de recuperação real através da tomada

conectada nos terminais de tensão CC do conversor. O tempo de recuperação desejado fornecido ao regulador é ajustado para o valor nominal correspondente a característica de tempo de desligamento do tiristor montado no inversor.

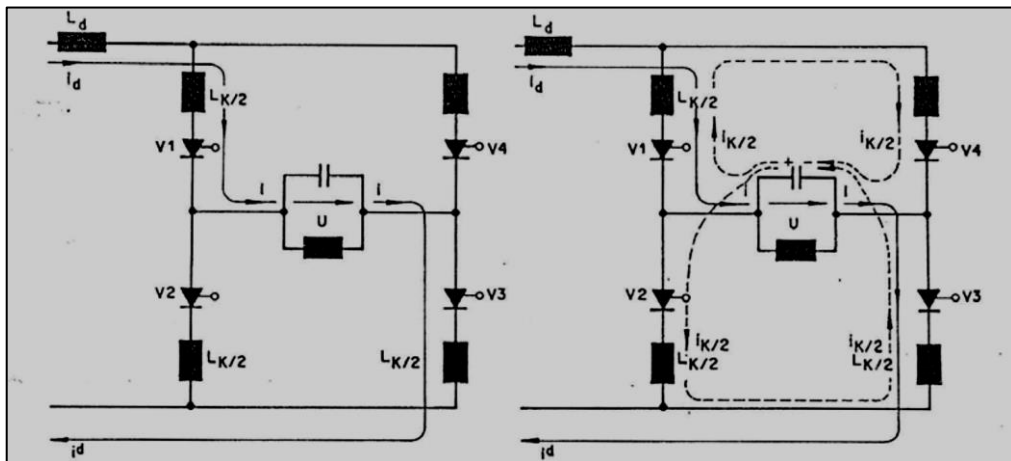
O regulador de tempo de recuperação do tiristor começa com disparo em avanço, isto é valor real maior que valor nominal, e vai lentamente atrasando o disparo até que os valores reais e nominais coincidam.

Agora a sequência de partida está completa.

3.1.5. Operação Normal

Quando a sequência de partida está completa, a operação ocorre pela ponte normal, 4 condições serão consideradas (veja figura 9).

Figura 8 - Condição 1 Tiristores V1 e V3 estão conduzindo Corrente I_d e Condição 2 Fase de Comutação

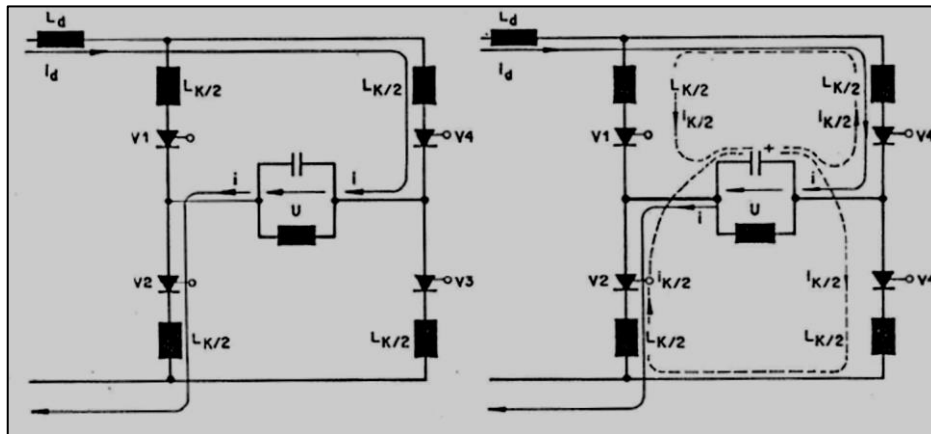


Quando os tiristores V2 e V4 são disparados durante a polaridade mostrada no capacitor do circuito tanque, gera-se uma corrente de comutação de crescimento rápido $I_{k/2}$ por meio dos tiristores V1 e V4 assim como V2 e V3. O tempo de crescimento desta corrente de comutação é limitado apenas pelo valor do reator de comutação L_k . Esta corrente tem direção oposta à corrente I_d em V1 e V3. Quando a intensidade de $I_{k/2}$ é igual a I_d , V1 e V3 são cortados. O fluxo de corrente do retificador através do reator de filtro L_d mudou assim o caminho de corrente V1 e V3 para o caminho V2 e V4. A condição 3 conforme mostrada na figura 6c está estabelecida.

Durante a condição 4, a corrente é comutada de V2 e V4 para V1 e V3 (processo descrito na fase de controle 2).

Neste ponto se alcança a fase de controle 1.

Figura 9 - Condição 3 Os tiristores V2 e V4 estão conduzindo corrente I_d e Condição 4 Fase de comutação



A figura 10 mostra o princípio do ciclo de tempo das tensões e correntes mais importantes ocorrendo durante a operação normal do inversor.

Figura 11 - Gráfico de Tempo das Correntes e Tensões Principais

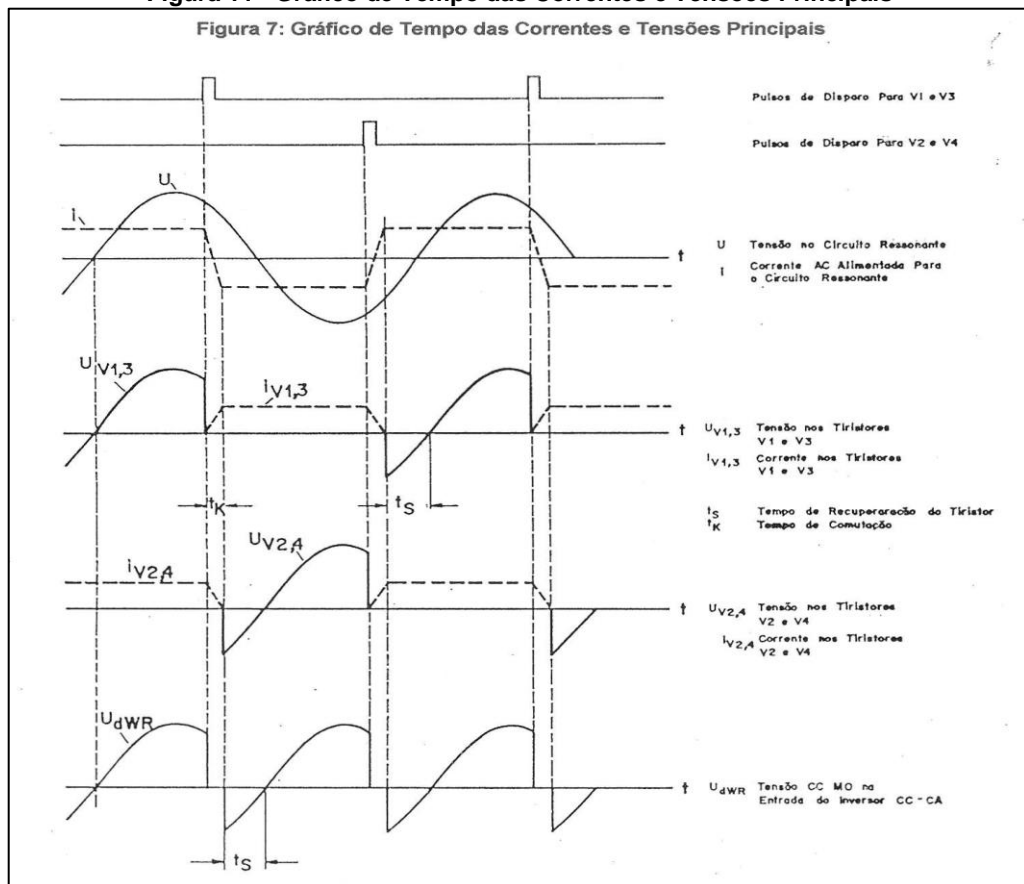
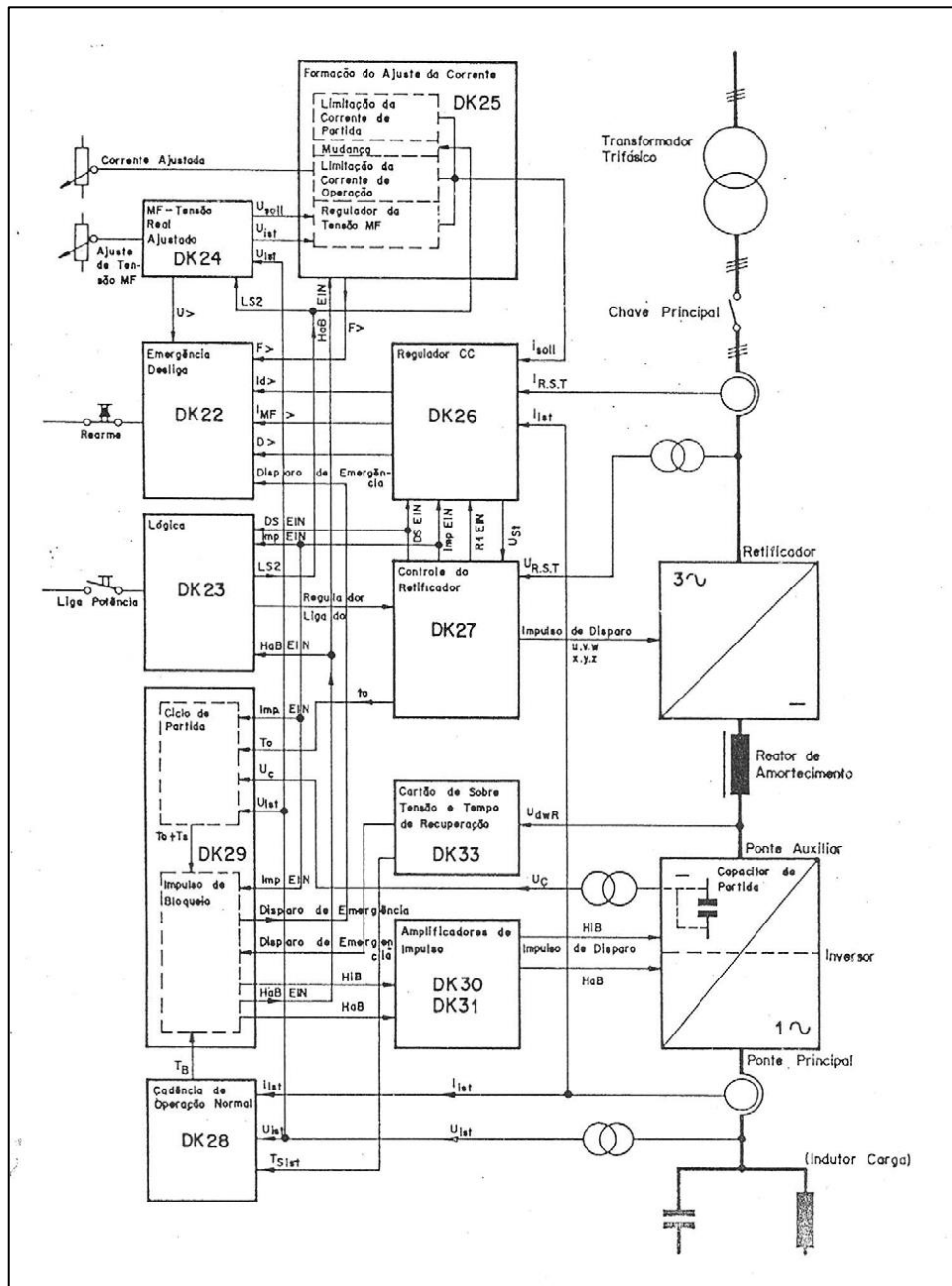


Figura 11 - Diagrama de Blocos de Controle



3.1.6. Controle e regulação

A parte de controle do conversor é subdividida em duas seções, o controle eletrônico e o painel de comando a Contatores.

O painel de comando a Contatores permite o intercâmbio de sinais e monitoramento mútuo entre controle eletrônico e a seção de potência. Por exemplo,

se encontram contatos de alta corrente para o controle necessário de chaveamento auxiliar de itens como ventilador e contator de potência.

O controle eletrônico provê os pulsos de disparo necessários para o retificador e inversor bem como para o controle da operação inicial de partida e da fase normal de regime conforme previamente descrito acima, também para controle e determinação da condição de operação nominal e limites permissíveis.

A figura 8 ilustra o diagrama de blocos do sistema de controle e regulação. Os seguintes valores reais da eletrônica de potência são monitorados e controlados:

- a) Corrente de fase i_R ; i_S ; i_T na entrada do retificador.
- b) Tensão de sincronismo U_R ; U_S ; U_T da entrada do retificador.
- c) Valor real do tempo de recuperação do tiristor $t_{s\ act.}$ e tensão no tiristor U_{th} na entrada do inversor.
- d) Tensão no capacitor de partida U_c .
- e) Corrente de saída $i_{act.}$ – inversor.
- f) Tensão de saída $U_{act.}$ – inversor.

Unidade de controle do retificador DK 27

A unidade controle do retificador; produz seis pulsos de disparo u, v, w, x, y, z para os tiristores da ponte de retificação trifásica. O ângulo de fase dos pulsos de disparo é determinado pela tensão de controle U_{st} .

Quando a tensão de controle é baixa:

- Ângulo de disparo retardado
- Corrente de saída do retificador pequena

Quando a tensão de saída é alta:

- Ângulo de disparo avançado
- Corrente de saída do retificador alta

Regulador de corrente de saída e controle CC DK 26

A tensão de controle é alimentada pelo regulador CC.

A corrente de entrada das três fases i_R , i_S e i_T são retificadas de modo que possam representar o valor real de corrente CC. Esta é então comparada com o valor teórico para que se ache a tensão de controle necessária.

O valor real de corrente CC é posteriormente comparado com o valor de limite e quando este valor é excedido, um sinal de saída $Id>$ é enviado para o circuito de desligamento de emergência.

A unidade de controle e regulação também recebe informação de valor real da corrente de saída do inversor i_{act} . e compara com o valor real da corrente contínua, quando este valor for achado menor (falha do inversor) um sinal de saída "D" também é enviado para o circuito de desligamento de emergência.

O valor real i_{act} . é comparado com seu valor limite e se este for excedido, um sinal de saída $Imf>$ também é enviado para o circuito de desligamento de emergência.

Circuito de desligamento DK 22

Quando um dos sinais provindos do DK 26 ou ocorrência de sobrefrequência F ou tensão U , o circuito de desligamento de emergência envia um sinal desliga rápido para os circuitos lógicos que retardam através de controle do retificador os pulsos de disparo enviados para o retificador no último ângulo de disparo. A energia armazenada no inter-circuito CC é então mandada de volta para rede trifásica para garantir que a corrente contínua caia à zero rapidamente dentro de poucos milissegundos.

A saída -do sinal de desligamento de emergência é mantida e a razão para esta queda através de vários canais de controle de entrada é indicada por diodos (LED's) até que o botão de rearme seja operado.

Valor teórico de corrente DK 25

A unidade de valor teórico de corrente produz o sinal de valor teórico para o controle de regulador CC. Durante a fase de partida, a saída de corrente do retificador CC é limitada em um nível predeterminado para partida.

A mudança de limitação de corrente de partida para operação normal é iniciado pelo sinal de partida LS2 do circuito lógico, a limitação de corrente é aumentada até o valor estabelecido pelo potenciômetro de valor teórico de corrente, sendo que o limite máximo é 100% do valor nominal de corrente.

O regulador de tensão MF (pela operação de cascata) também limita o valor teórico de corrente de modo que a saída de tensão do inversor está limitada ao valor determinado pelo pré-ajuste do valor teórico de tensão MF ou limitada a 100% da tensão nominal teórica.

Unidade de valor teórico de tensão MF DK 24

O valor teórico de tensão MF é obtido do cursor do potenciômetro de controle de saída de tensão MF teórico; durante o ciclo de partida a tensão de saída é limitada a um nível mínimo. Depois da mudança para operação normal por meio do sinal do circuito lógico LS2, um integrador assegura que o valor teórico aumente a uma velocidade definida do valor mínimo ao valor máximo do potenciômetro.

Amplificadores do pulso de disparo do inversor DK 30 e DK31

Esses amplificadores provêm alta energia para os pulsos de disparo 1, 2, 3 e 4 do inversor nos ramos V1 a V4 da ponte, e durante a sequência de partida, pulsos 5 e 6 para os ramos auxiliares V5 e V6. O controle dos amplificadores é feito por meio do circuito de pulso do inversor DK 29.

Circuito de pulso de disparo do inversor DK 29

Os três diferentes pulsos de cadenciamento T0, Ts e TB, são automaticamente selecionados e transformados em sinais de disparo para controlar os tiristores nas pontes de partida e principal de acordo com os diferentes estágios de operação (veja figura 13).

Cadência de início T0

O pulso de cadência T0 é enviado pela unidade de controle de retificador, em sincronia com todos os pulsos do retificador. No momento de ligação, o primeiro pulso T0 é convertido em pulsos de disparo para ponte na diagonal V3, V5.

Se alcança, assim, um fluxo de corrente através do capacitor de partida. A tensão

U_c do capacitor de partida é aumentada, e uma vez alcançada um valor mínimo especificado, é dado o primeiro pulso de cadência de partida T_s .

Pulso da cadência de partida T_s

Este pulso da cadência de partida gera um pulso de disparo destinado para a ponte na diagonal V4, V6. Ocorre então o primeiro ciclo de comutação e o capacitor de partida descarrega e é recarregado com polaridade oposta. (veja figura 5: transição da fase de partida 1 para fase de partida 2). Deste modo a entrada da cadência T_0 é bloqueada.

Quando a tensão no capacitor de partida tiver aumentado até um nível pré-determinado de polaridade oposta, um segundo pulso da cadência de partida é gerado e um pulso de disparo para a diagonal V3, V5 é liberado; daí então ocorre o segundo ciclo de comutação.

Disparos alternados das duas diagonais V3, V5 e V4, V6 continuam até que a tensão na carga U_{act} tenha alcançado o nível de mudança U_1 .

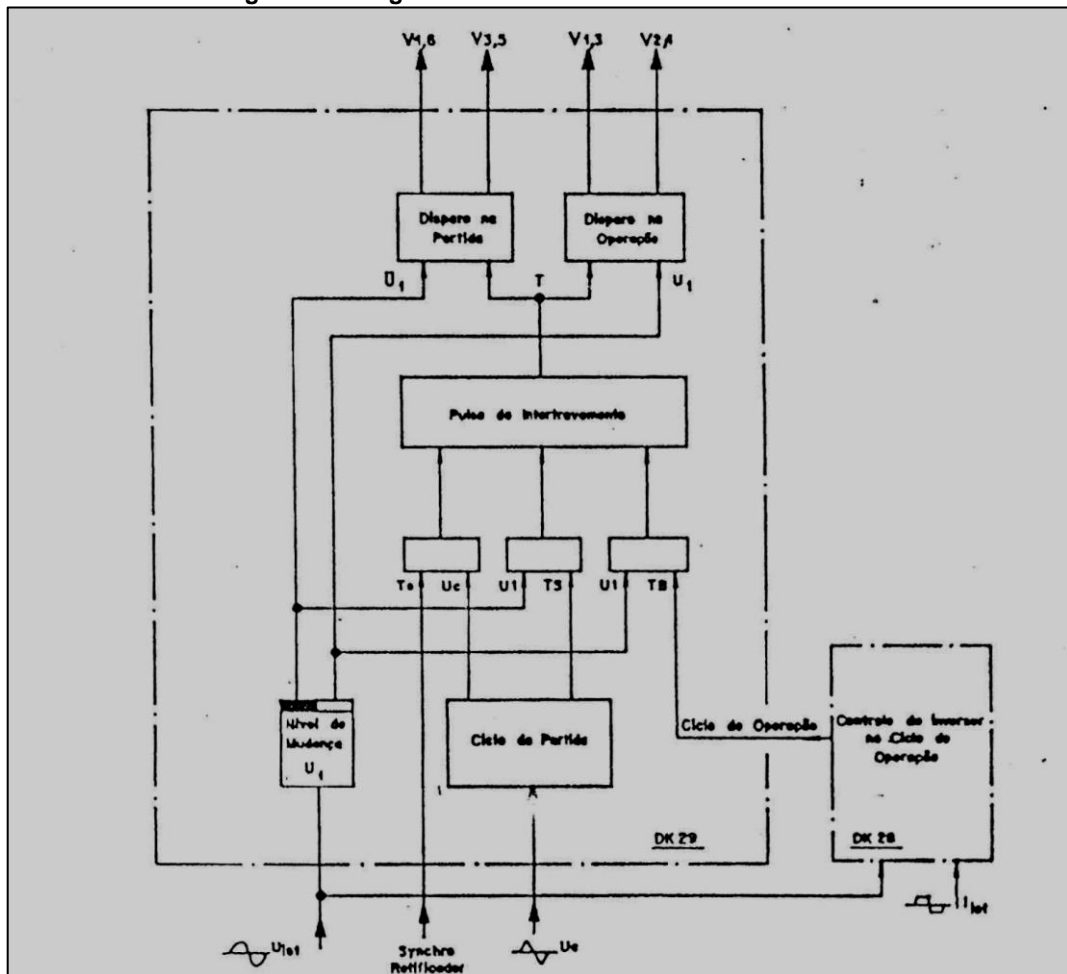
Pulso da cadência de operação TB

A entrada para o pulso da cadência T_s agora é bloqueado e os momentos de disparo passam a ser controlados pelo pulso de cadência TB (para mais detalhes veja DK 28).

Mudança HiB para HaB

Neste momento ocorre a mudança de operação da ponte auxiliar HiB para ponte principal HaB.

Figura 12 - Diagrama de Blocos de Controle do Inversor

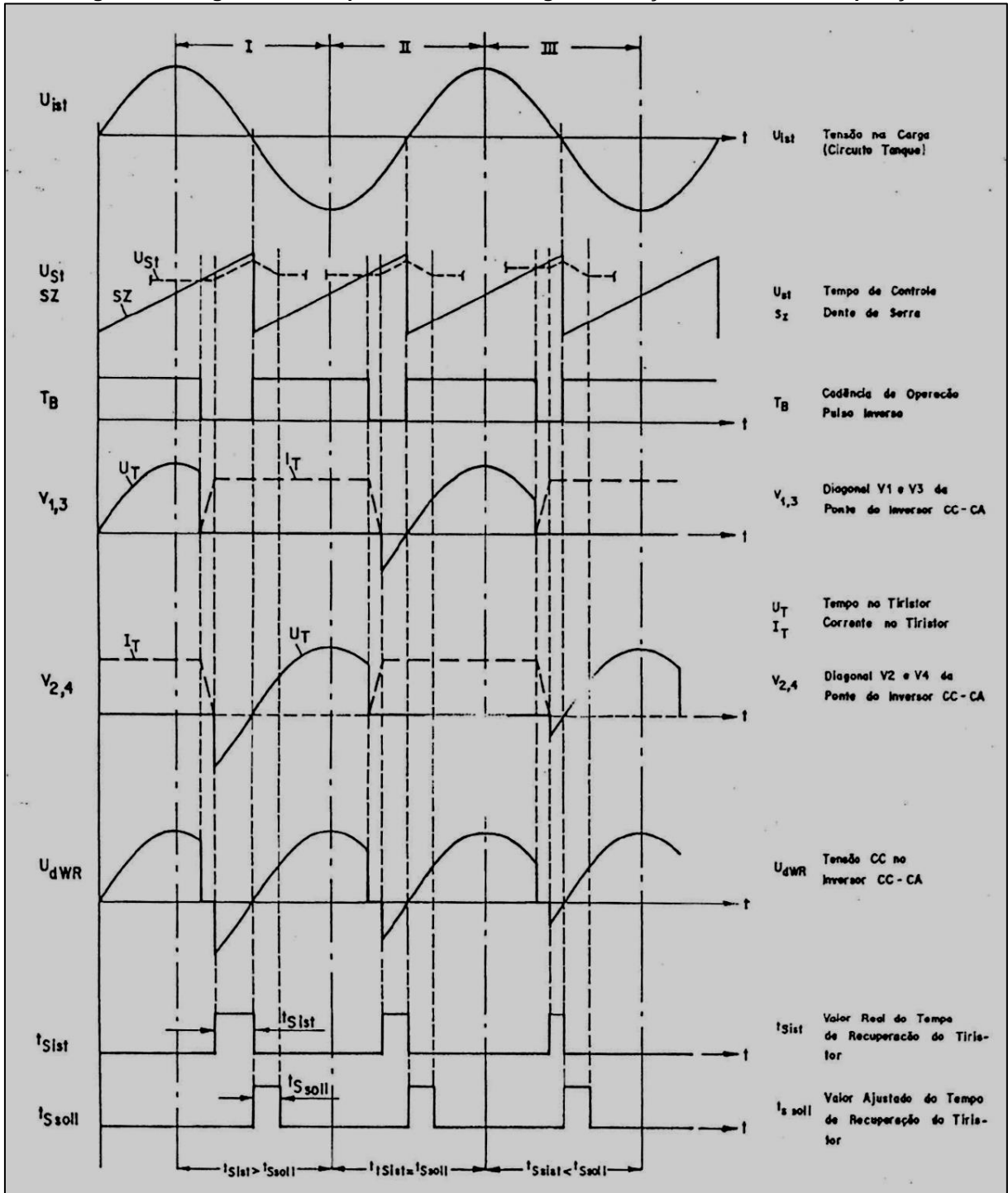


Daí em diante apenas a ponte principal nas diagonais V1, V3 e V2, V4 são disparados alternadamente e os braços da ponte auxiliar V5 e V6 permanecem bloqueados; também o capacitor de partida fica inoperante e o conversor está operando na condição normal.

Disparo de emergência

O cartão DK 33 com conexão para os terminais CC do inversor é usado para o controle dos tiristores do inversor. Quando se recebe um sinal de sobre tensão, ele manda um sinal de disparo de emergência para o controle do inversor que irá disparar imediatamente os ramos do tiristor relevante, ele também manda um sinal de emergência para o circuito de desligamento que bloqueia imediatamente o inversor.

Figura 13 - Diagrama do Tempo da Tensão na Carga e Formação da Cadência de Operação



Controle do inversor em operação DK 28

A figura 13 ilustra como o momento relativo de disparo para tensão de saída da carga U_{act} é dependente e determinado pelo valor real do tempo de recuperação

do tiristor. Da forma de onda U_{act} é obtido um sinal lógico 'synchro' que é alto (H) durante a segunda metade da onda senoidal e baixa (L) durante o restante do período.

Durante o tempo que a onda quadrada tiver nível lógico alto, se forma uma onda dente de serra SZ, permanecendo baixa durante o tempo restante. A onda SZ é comparada com a tensão de controle U_{st} , assim que SZ se torna igual a U_{st} , T_s muda de H para L e um sinal de disparo é gerado.

O cartão DK 33 conectado ao barramento CC do inversor retira o sinal lógico ts_{act} , da tensão U_d invert.

No controle do inversor é gerado um segundo sinal ts_{nom} . no fim de cada quadrado do sinal 'synchro'.

Através de um integrador e pela comparação de ts_{act} com ts_{nom} . se obtém a tensão de controle U_{st} .

- $ts_{act} > ts_{nom}$.

Na parte I $ts_{act} > ts_{nom}$.

No fim da comparação, U_{st} é maior de modo que o momento do próximo impulso é atrasado.

No entanto, o próximo tempo ts_{act} . Irá se tornar menor.

- $ts_{act} = ts_{nom}$.

Na parte II $ts_{act} = ts_{nom}$.

No final da comparação, o sinal de controle U_{st} permanecerá no mesmo nível que no ciclo de disparo anterior e o próximo tempo ts_{act} , permanecerá no mesmo valor.

- $ts_{act} < ts_{nom}$.

Na parte III

- $ts_{act} < ts_{nom}$.

No final da comparação o sinal de controle Ust será menor, de modo que o próximo de disparo será adiantado.

Sendo assim, t_s act. se tornará maior durante o próximo momento de disparo.

Circuitos lógicos DK 23

A figura 11 ilustra os ciclos de ligamento e desligamento do inversor.

O circuito lógico obtém o momento de disparo T_y da fase Y do controle do retificador DK 27 para formar vários processos de mudança em sincronia com o disparo do retificador.

Quando o comando de controle 'liga MF' é recebido do comando de Contatores, o sinal ligar é formado no aparecimento do próximo pulso T_y .

Liga "POTÊNCIA MF" liga "CONTROLE"

Com um dos próximos pulsos T_y , o sinal "liga controle" é enviado a todos os controles que até este tempo estavam bloqueados.

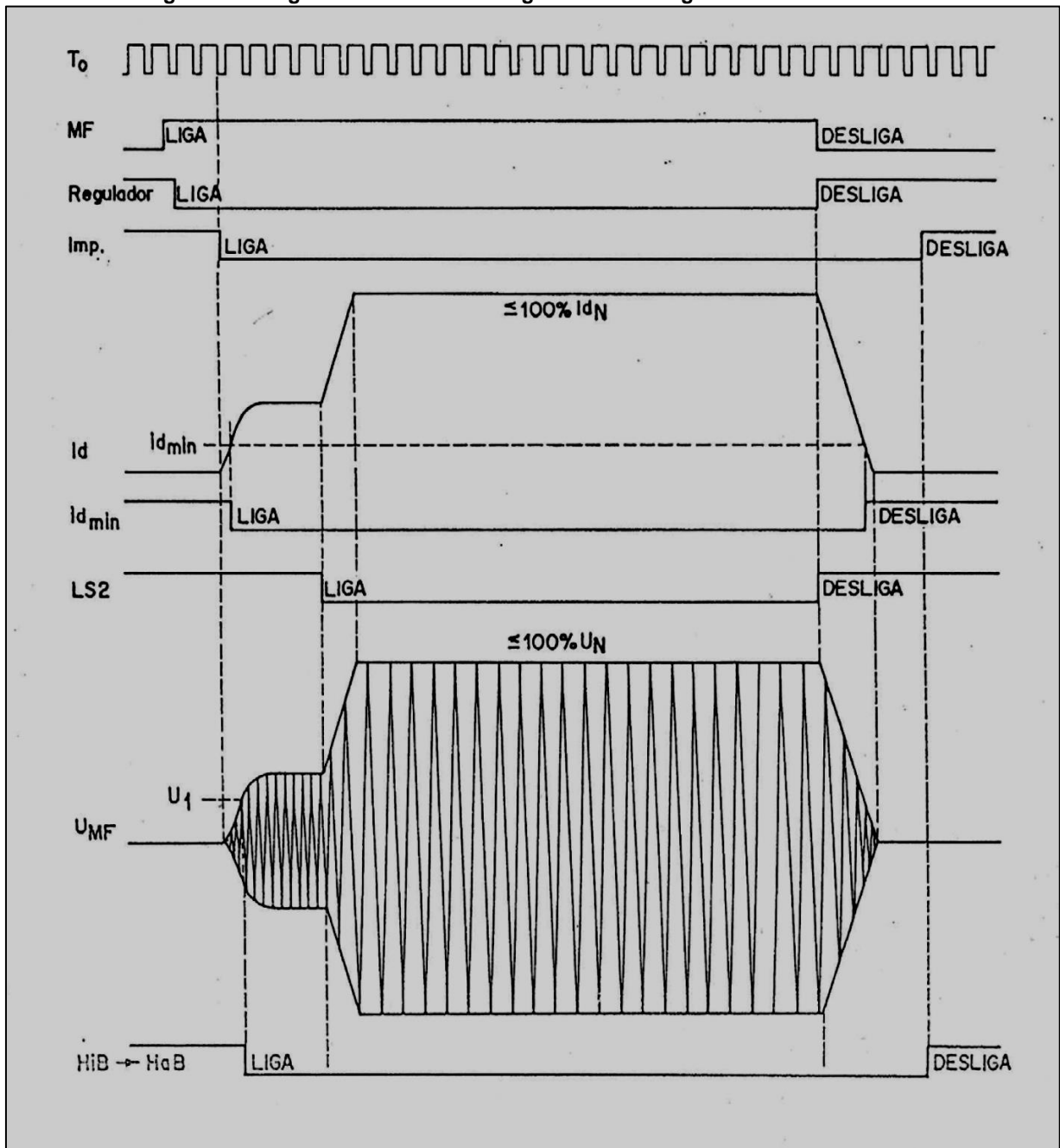
Liga pulsos

Neste momento, o comando "ligar pulso" é enviado aos controles do retificador e inversor, e a fase de partida do inversor é imediatamente iniciada.

α rect. "DESLIGADO"

Quando a corrente de saída do retificador CC atinge o valor mínimo de $i_{d \min}$, se usa limitação de ângulo α rect para evitar que o primeiro pulso de corrente se torne muito alto e ocorra o desligamento.

Figura 14 - Diagrama de Sinais Para Ligamento e Desligamento do Conversor



HiB - HaB

Quando na saída do inversor as oscilações de partida ocorrerem normalmente, a tensão de carga U_{mf} aumenta rapidamente até o nível limite U_1 , e ocorre a mudança de operação ponte auxiliar para principal (HiB para HaB).

Liga "LS2"

Depois de pequeno retardo, o estágio de carga LS2 liga e libera a rampa de partida para o controle de tensão MF de modo que a tensão de carga é aumentada a uma velocidade controlada até o valor nominalmente desejado.

Agora a operação está na condição normal.

Desliga "MF"

Quando o comando "desliga a potência MF" é recebido do comando de Contatores os sinais seguintes são transmitidos.

Desliga "REGULADORES"

Todos os reguladores serão bloqueados.

Liga " α . rect"

A limitação de ângulo de disparo α rect é ligada.

Desliga "LS2"

Todos os valores de tensão e corrente são comutados de volta para os níveis baixos de partida.

Desliga pulsos

Depois de um pequeno atraso de tempo todos os pulsos de disparo para retificador e inversor são bloqueados.

HaB - HiB

"HaB - HiB" (retorna da operação ponte principal para ponte auxiliar) ocorre apenas depois de um atraso relativamente longo para assegurar que a saída do retificador CC tenha alcançado o valor zero durante este intervalo de tempo.

Desligamento de emergência

No evento de um sinal de comando para desligamento de emergência, ocorre um sinal de "desliga rápido" instantaneamente para o circuito de desligamento do circuito lógico tanto quanto o comando de "desliga potência MF" conforme descrito acima.

Simultaneamente com o comando "desliga pulso", o retificador é desconectado da rede de alimentação trifásica.

3.2. Conceitos e sistemas

3.2.1. Tiristor

Figura 15 - Tiristor



Fonte: <http://www.lsissemicondutores.com.br/tiristores-potencia> acesso em 08/10/2018

A eletrônica de potência pode ser compreendida como um dos ramos da ciência que busca desenvolver tecnologia para que o processos de transmissão e conversão de energia elétrica sejam cada vez mais eficientes.

Para tanto, foram criados os tiristores de potência. Este é o nome dado a um conjunto de semicondutores que costuma trabalhar em quatro camadas. De modo geral, eles utilizam um sistema de chaveamento para fazer com que a energia elétrica passe do estado de bloqueio para o estado de condução.

A grande vantagem da utilização dos tiristores de potência é que, pelo fato deles serem facilmente ligados ou desligados, eles acabam proporcionando índices quase nulos de desperdício de energia, o que por si só já é excelente tanto no sentido econômico, quanto no sentido ecológico.

- **CARACTERÍSTICAS**

Outra característica bastante relevante dos tiristores de potência é a sua resistência. Isso faz com que a necessidade de serviços de manutenção das chaves que fazem o trabalho de semi condução seja reduzida e muito menos constante.

Largamente usados para acionar máquinas com motores elétricos, os tiristores de potência são capazes de suportar altas potências de energia elétrica em corrente alternada ou corrente contínua. Basicamente, o trabalho destes componentes é fazer esta conversão.

Os tiristores de potência mais conhecidos são os retificadores controlados de silício, conhecidos por SCR's. Mas, há vários outros modelos, cada um com funções específicas e que se adaptam aos diferentes tipos de instalação.

Por serem componentes bastante diversos e versáteis, os tiristores de potência estão presentes em praticamente todos os equipamentos que utilizam a energia elétrica para produzir energia e força mecânica.

Na indústria, os tiristores de potência são encontrados em máquinas dos mais variados tipos, já em residências eles estão presentes em ventiladores, máquinas de lavar, liquidificadores, batedeiras, etc.

3.2.2. Sistema refrigeração

O Conversor de MF trabalha com temperatura máxima permissível na entrada de 30°C a temperatura máxima permissível na saída de 40°C.

A pressão da entrada é mínima de 3 bar e máxima de 6 bar.

A pressão máxima é considerada absoluta, mesmo com a saída fechada.

Para evitar danos aos circuitos internos de refrigeração é recomendado a instalação de uma válvula de alívio de sobre pressão na entrada da linha.

A qualidade da água de refrigeração para todos os inversores deve ser limpa, pura, baixo teor de cálcio, com condutividade máxima permitida de 600 μ S/cm.

O circuito deve utilizar água desmineralizada pois a água destilada agride não utilizar água destilada por ser muito agressiva.

O circuito fechado de refrigeração do conversor deve estar cheio de água limpa (água potável ou desmineralizada).

Pressão do retorno (saída) sem pressão de retorno considerável.

Em circuitos abertos a água deve ser drenada e renovada em intervalos de 3 meses para evitar corrosão e possível entupimento dentro dos circuitos de água.

Em circuitos abertos a água deve ser drenada e renovada em intervalos de 3 meses para evitar corrosão e possível entupimento dentro dos circuitos de água.

Em circuitos selados e com água desmineralizada, mas sem o desminerizador, a qualidade da água monitorada em intervalos de cerca de 6 meses. Drenar e renovar se necessário.

Em circuitos selados e com água desmineralizada, mas com o desminerizador, a qualidade da água monitorada em intervalos de cerca de 1 ano. Drenar e renovar se necessário.

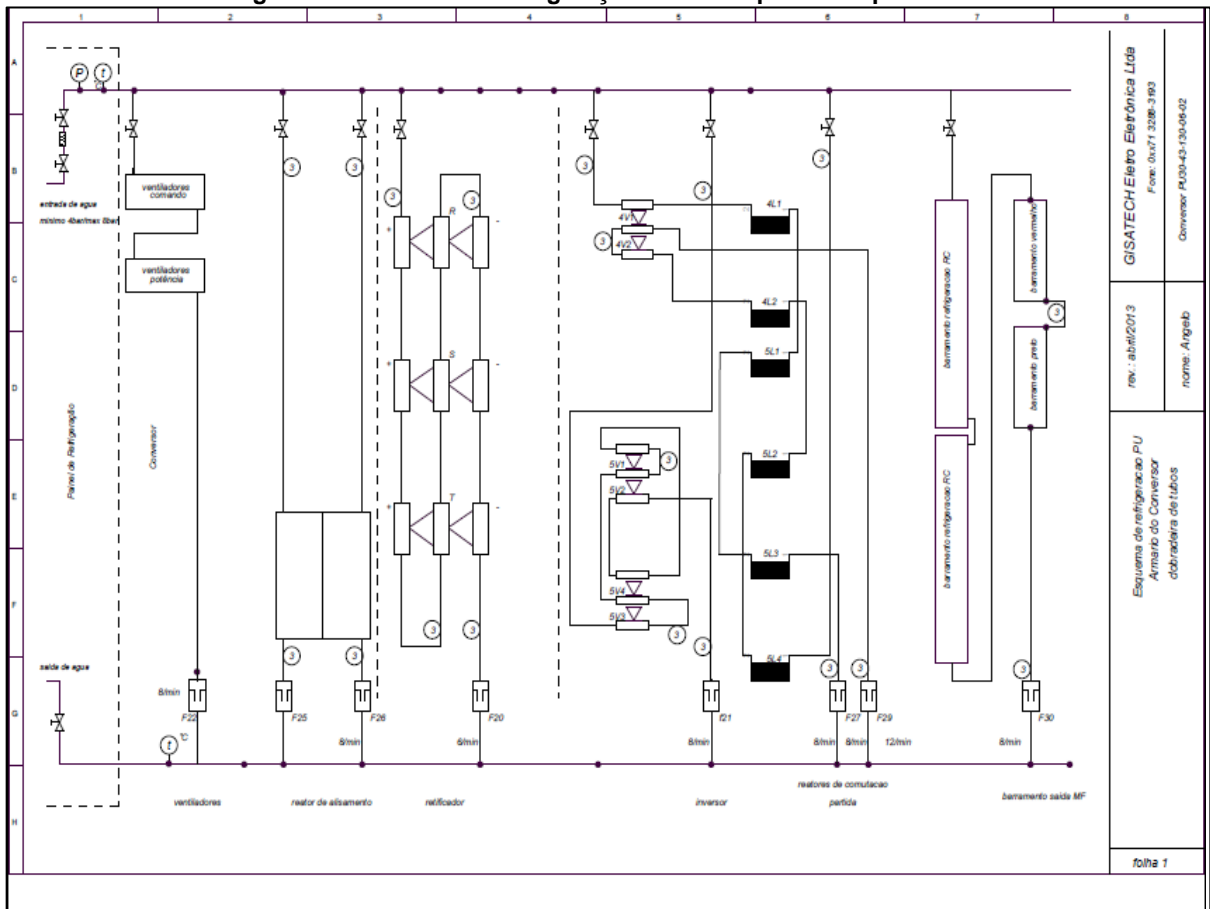
Evitar a umidade nas partes elétricas, devido a vazamento, não ligar a alimentação elétrica.

A umidade deve ser secada cuidadosamente.

Pode ser usado ar seco comprimido ou soprador de ar quente.

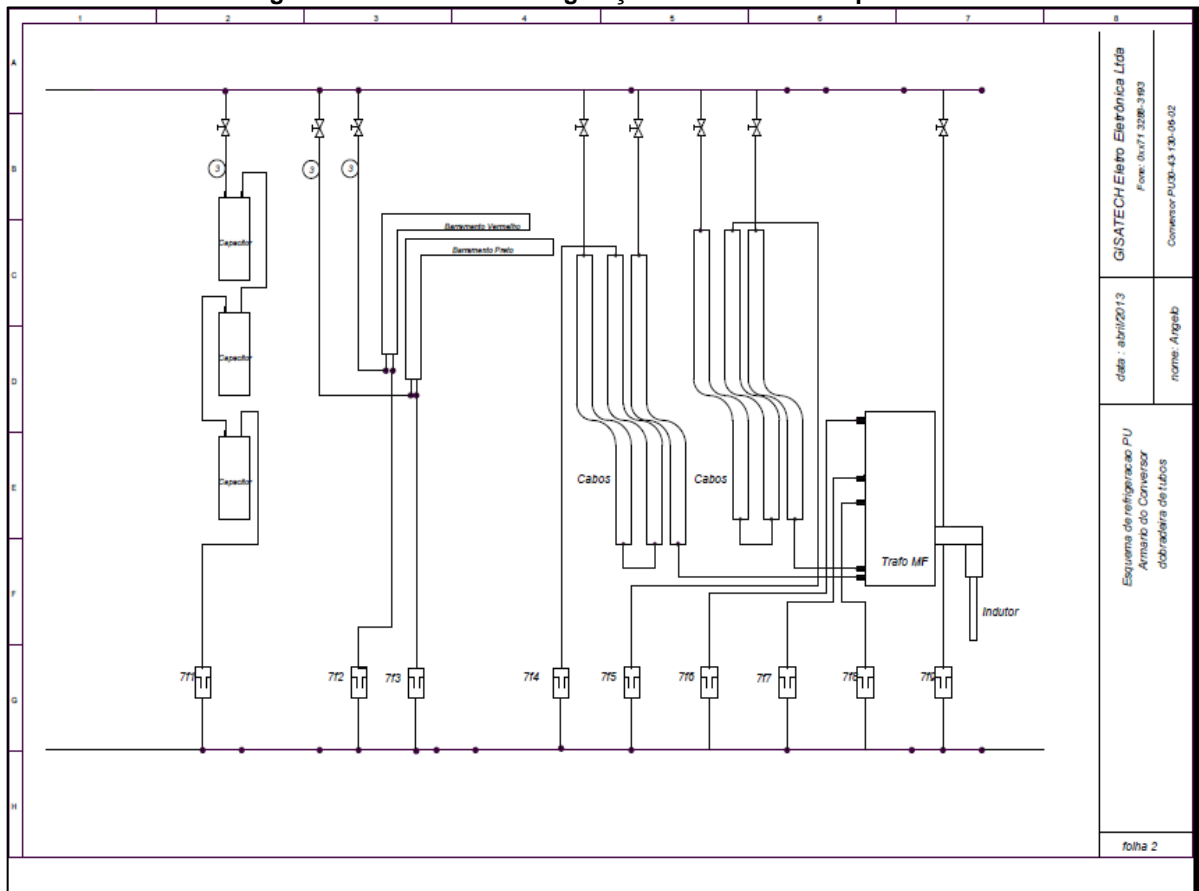
A temperatura das superfícies não devem alcançar 100°C

Figura 16 - Circuito de Refrigeração dos Grupos de Capacitores.



rev.: abel/2013 nome: Angab		GISATECH Eleto. Eletrônica Ltda Fone: 011 71 3208-3193 Genovese: RJ034-43-130-04-02
Esquema de refrigeração PU Armário do Conversor dobradeira de tubos		folha 1

Figura 17 - Circuito de Refrigeração Trafo de MF e Capacitores



3.2.3. Grampos Originais

Sistema de grampos para tiristor tem por objetivo aplicar uma pressão entre os terminais catodo e anodo do tiristor para um pleno funcionamento.

Sem esta pressão o tiristor não funciona, podendo através do mau funcionamento vir a queimar.

A pressão a ser aplicada no tiristor R0830LC12C-IXYS é de **1300Kgf a 1500Kgf**, com esta pressão o tiristor trabalha em sua plena capacidade de potência e corrente. (Referência do data Sheet (ANEXO 1)).

Este sistema também tem por objetivo fazer o arrefecimento do tiristor por se tratar de um sistema de alta potência e corrente é necessário a refrigeração nesta aplicação é utilizado um sistema de resfriamento a água.

Através do grampo nos temos o circuito de potência acoplado os barramentos por cordoalhas de cobre, este circuito tem por objetivo fazer a condução da corrente

fornecida pelo retificador, e enviá-la para os transformadores através do chaveamento dos tiristores.

3.3. Materiais e métodos

3.3.1. Grampos

O sistema de grampos desenvolvido tem por objetivo facilitar a montagem, inspeção e diminuição das manutenções

O grampo foi fabricado em bloco de cobre com uma camada de níquel cromo para evitar oxidação.

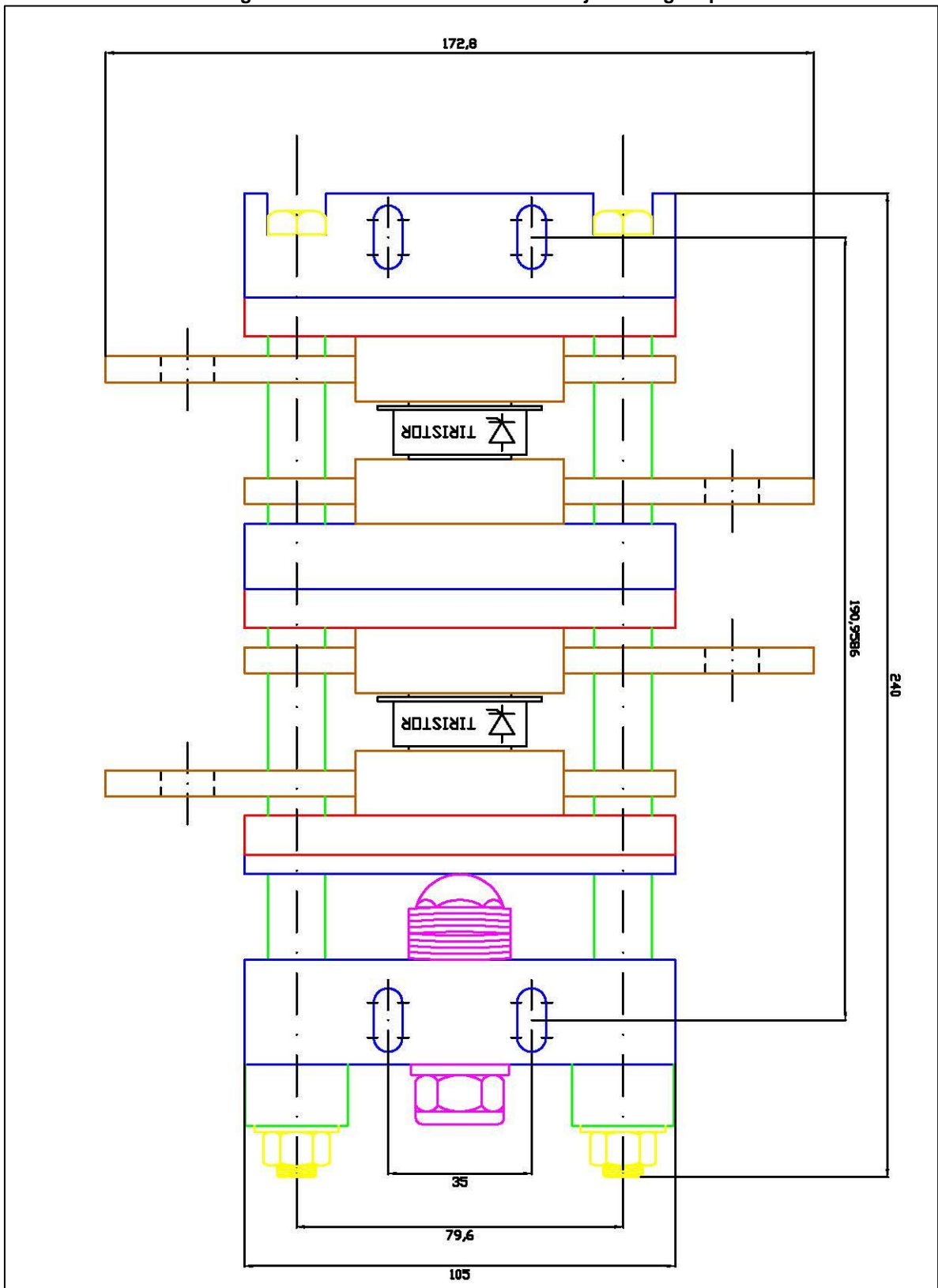
A barra roscada e porcas são de latão para evitar problemas de aquecimento durante o uso do conjunto por se tratar de media frequência não podemos fazer uso de parafuso ou porcas de aço pois durante a condução pode haver o aquecimento dos componentes utilizados na montagem.

O isolante utilizado para fazer a montagem foi a fibra de vidro por se tratar de um material resistente e com uma grande propriedade de isolação.

As molas utilizadas são molas pratos este tipo de material pode ser montado de várias formas e proporciona um ajuste preciso na montagem e mantem o torque depois do conjunto montado.

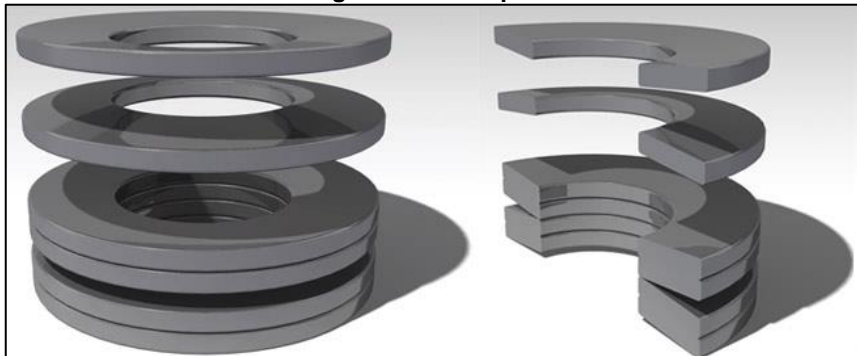
Os tubos de refrigeração são de aço inox por se tratar de um sistema refrigerado necessita de componentes resistentes a água e com uma grande resistência mecânica e térmica.

Figura 18 - Desenho construtivo do Conjunto de grampo.



3.3.2. Sistema de mola

Figura 19 - Mola prato



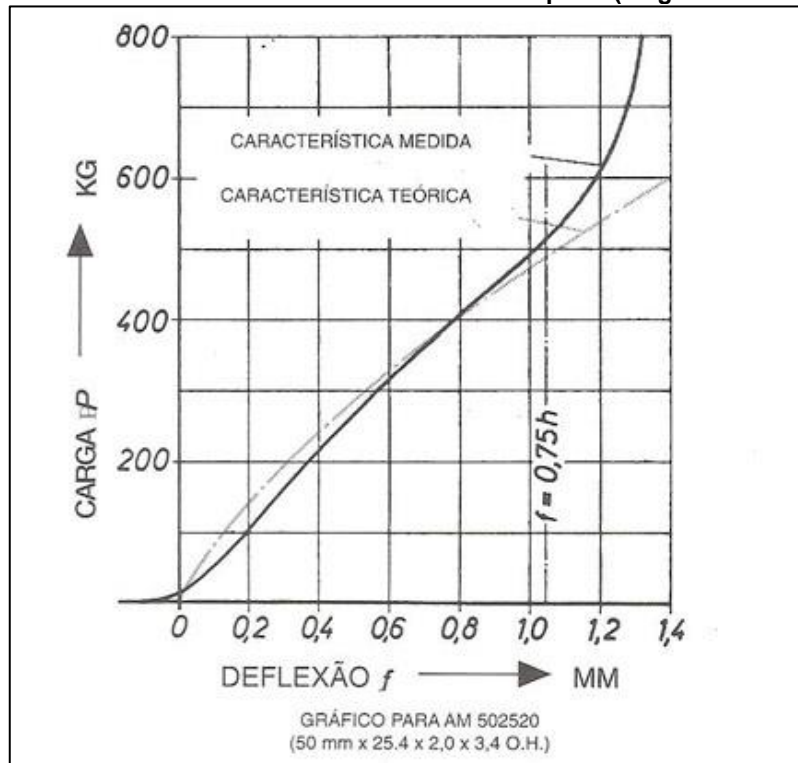
Fonte: http://molaprato.ind.br/aplicacoes_em_flanges.php acesso em 10/10/2018

O que é Mola Prato

Mola prato é a melhor solução para aplicações onde se requer cargas elevadas em espaços confinados com pequenos deslocamentos. Aplicada individualmente ou em grupo ela é a melhor alternativa para substituir mola espiral, para atender requisitos de carga e deslocamento sob condição restrita.

Segue a características teóricas vs. medida de uma mola prato.

Gráfico 2 - Gráfico de curva característica mola prato (carga x deflexão)



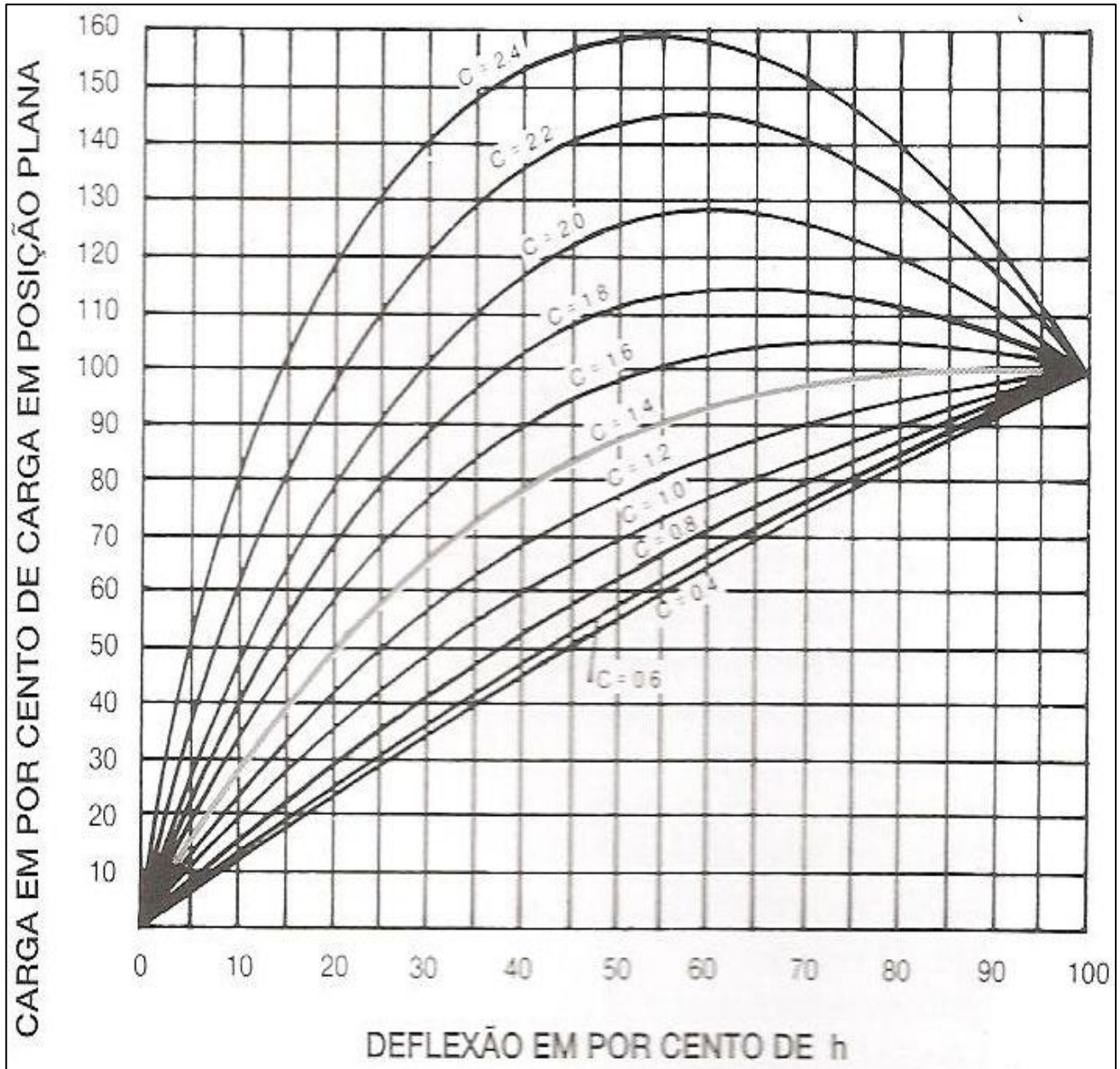
Fonte: http://molaprato.ind.br/caracteristicas_molas_prato.php acesso em 10/10/2018

A característica da mola prato individual é não linear. A sua forma depende da relação h/t .

Na porção inferior da faixa de deflexão, a característica na prática afasta-se levemente da teórica.

Quando $f/h > 0,75$ a característica na prática afasta-se novamente de maneira crescente da teórica porque as molas prato escorregam uma sobre a outra ou sobre a superfície de apoio e isto leva a um contínuo encurtamento do braço da alavanca.

Gráfico 3 - Característica da Mola Prato



A característica ou relação carga-deflexão depende da relação da altura crônica h com a espessura t (h/t).

$$C \approx (\text{característica}) = h/t$$

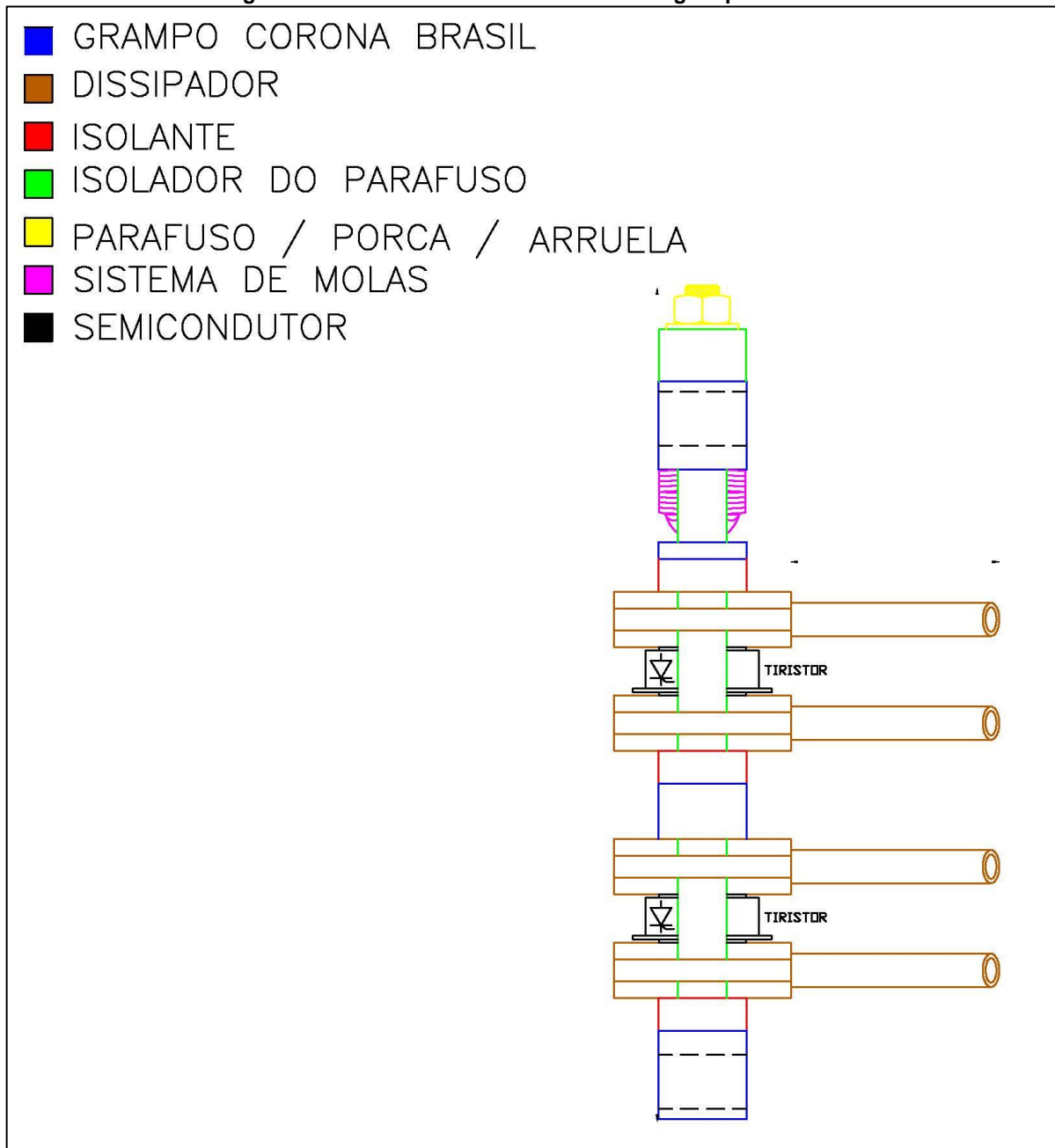
Se C for pequena (até 0,6), o gráfico é uma linha quase reta. Se C for 1,4, o gráfico é quase reto por uma considerável faixa de deflexão, e isto se chama uma mola prato de carga constante. Isto é mostrado acima em cinza claro.

3.3.3. Projeto mecânico

O grampo corona brasil modelo GCB03-1000/230 (REF. CONJ 1/2) é composto pelos seguintes elementos:

- 8 DISSIPADOR CORONA BRASIL DCBI-12C (REF. CONJ 1/2)
- 4 GRAMPO CORONA BRASIL GCB01-1500/240 (REF. CONJ 3,4,5,6)
- 12 DISSIPADOR CORONA BRASIL DCBI-14E (REF. CONJ 3.4.5.6)
- 1 GRAMPO CORONA BRASIL GCB03-1000/365 (REF. CONJ 7)
- 3 DISSIPADOR CORONA BRASIL DCBI-13C (REF. CONJ 7)
- 6 BARRAMENTO CORONA BRASIL BCBI-12C (REF. CONJ 7)

Figura 20 - Forma construtiva do sistema de grampo e tiristor

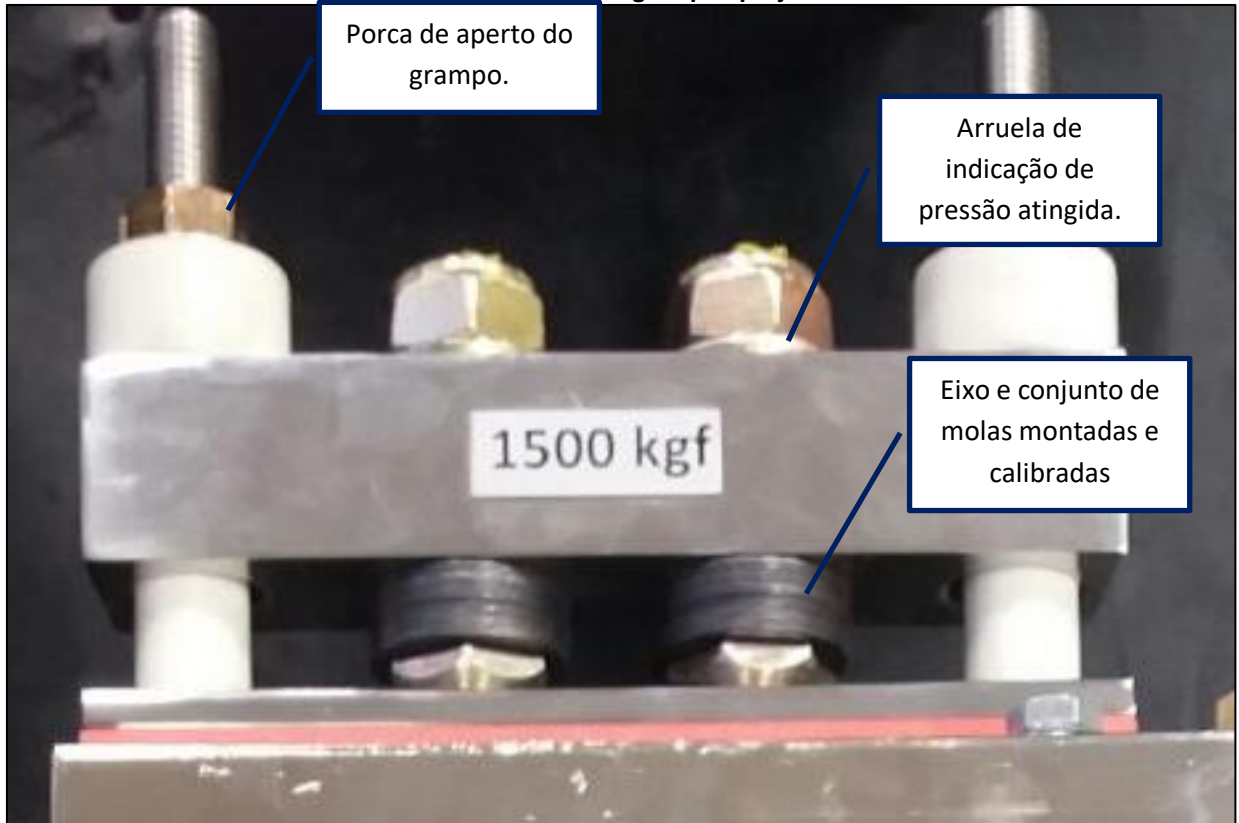


3.3.4. Sistema de pressão

O sistema de pressão foi desenvolvido com base no data Sheet dos tiristores utilizados no projeto, foi montado as molas pratos em um eixo no qual tem uma porca e uma arruela fazendo o fechamento do pacote este conjunto foi montado e calibrado com uma pressão de **1200 kgf e 1500 kgf**, o sistema funciona como uma balança quando a força aplicada nas porcas da barra roscada vindo há vencer a resistência

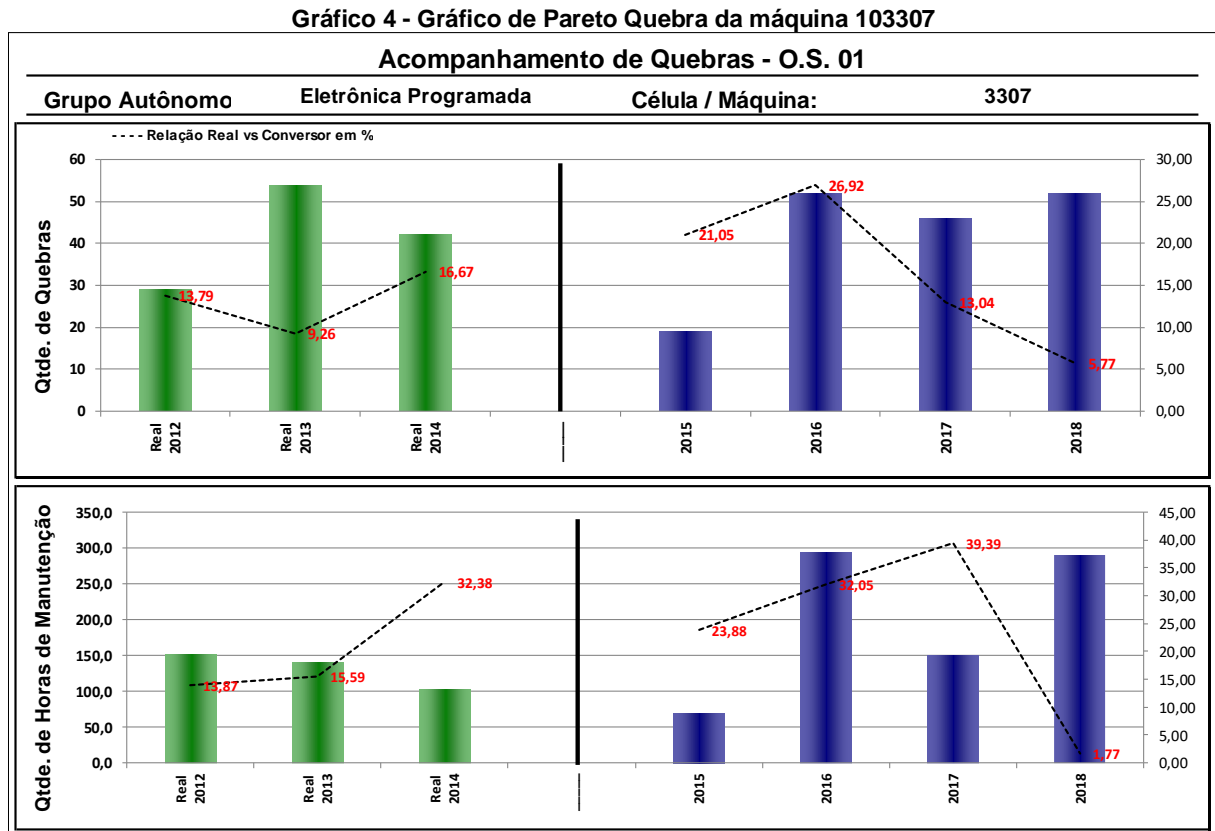
das molas pratos a arruela que está no eixo se solta com isso temos a indicação que o conjunto de tiristores está sobre a pressão a qual o conjunto foi construído.

Figura 21 - Sistema de grampos projetado



4. RESULTADOS

O trabalho tem como base os dados de quebras e horas da máquina 103307 da empresa Steel Forging, foi coletado os dados através do programa SAP que pode nos fornecer todas as informações para embasamento do projeto, podemos ver as quebras e horas do equipamento nos gráficos abaixo:



➤ **Início do projeto, análise das quebras:**

A análise tem início no ano de 2012 e término em 2018, pode se notar no gráfico 1 que as colunas verdes representa os anos de início da análise, e o ponto crítico das quebras e horas. As quebras tem uma variação a qual ocorre devido o volume de produção, quanto mais produção mais quebras e horas de máquina parada, temos uma linha tracejada mostrando a evolução de quebras e horas do conversor de MF em relação ao total do ano, com isso podemos definir o principal ponto fraco da máquina, vemos uma evolução ascendente das quebras e horas do conversor de MF no ano de 2014, deixando evidente o principal ponto

de atuação, com isto passamos para a próxima etapa, que é definir a ação para diminuição das quebras no Conversor de Media Frequência da máquina 103307.

➤ **Ação do projeto, análise A3 Report:**

Após identificado o conjunto que mais estava apresentando problema conforme Gráfico 1, inicia-se a análise utilizando a ferramenta A3 Report para definir as principais causas e ações para solução do problema encontrado na máquina, no (Anexo 2 A3 Report). Podemos ver que os defeitos identificados foram Vazamento e Falha de oscilação do conversor de MF, o vazamento teve como causa raiz a falta de manutenção preventiva e a falha de oscilação teve como causa raiz problemas com o método de ajuste e falta de padronização nos ajustes de pressão sobre os tiristores com isso define-se as seguintes ações:

- Elaboração de novo projeto de Grampos para tiristores.
- Instalação do novo Grampos para tiristores.
- Treinamento sobre funcionamento do conversor de MF.
- Ciclo de preventiva

➤ **Sistema de grampos antigos**

As imagens abaixo evidenciam os principais problemas apontados pelas análises feitas através do Gráfico 1 e Anexo 2 A3 Report:

Figura 22 - Sistema de grampo Antigo 1



Esta figura 25, mostra o vazamento que está ocorrendo na base dos dissipadores dos tiristores.

Figura 23 - Sistema de grampo Antigo 2



As conexões estão oxidando e com isso, as mangueiras estão em estado avançado de ressecamento.

Temos também um alto risco de curto circuito devido o vazamento da água sobre os barramentos energizados.

Figura 24 - Sistema de grampo atual



Conjunto de grampos com sistema de molas antigo, não tem como saber se a carga aplicada sobre o tiristores está correta e não é possível determinar um plano de inspeção e ajustes deste sistema.

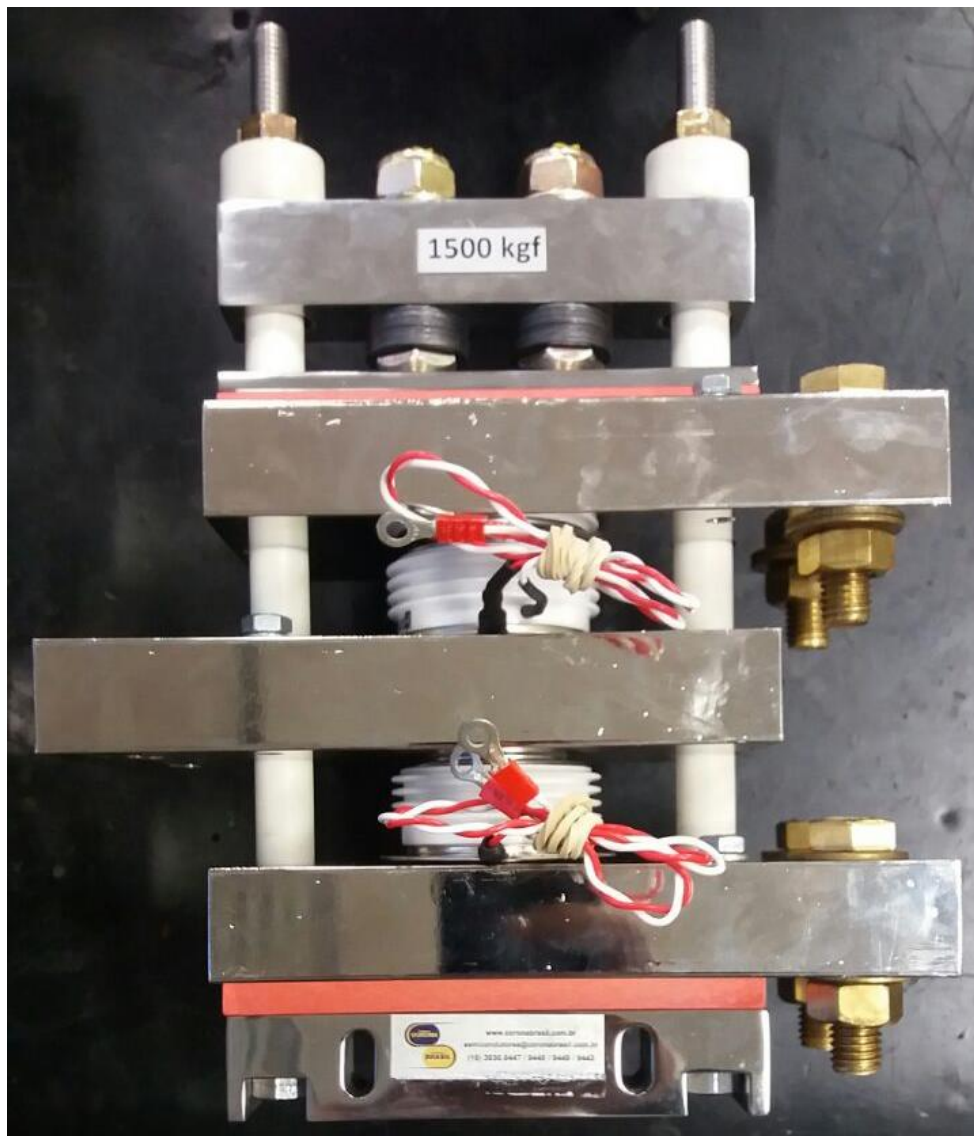
Quando não temos um ajuste correto na pressão dos grampos, temos problemas como falha no disparo e baixa potência nos tiristores gerando um mal desempenho do conversor de MF.

- Análise dos resultados alcançado no Gráfico 1

Podemos observar através das barras azul que em 2015 e 2016 ano da implementação, não houve um resultado positivo na diminuição das quebras e horas no conjunto do conversor de MF, porém no ano de 2017 e 2018 onde estava finalizado o projeto, com a instalação dos novos grampos para tiristores, os treinamentos e o plano de preventiva as quebras neste conjunto vem caindo substancialmente, tendo uma tendência de quebra ZERO neste conjunto do equipamento.

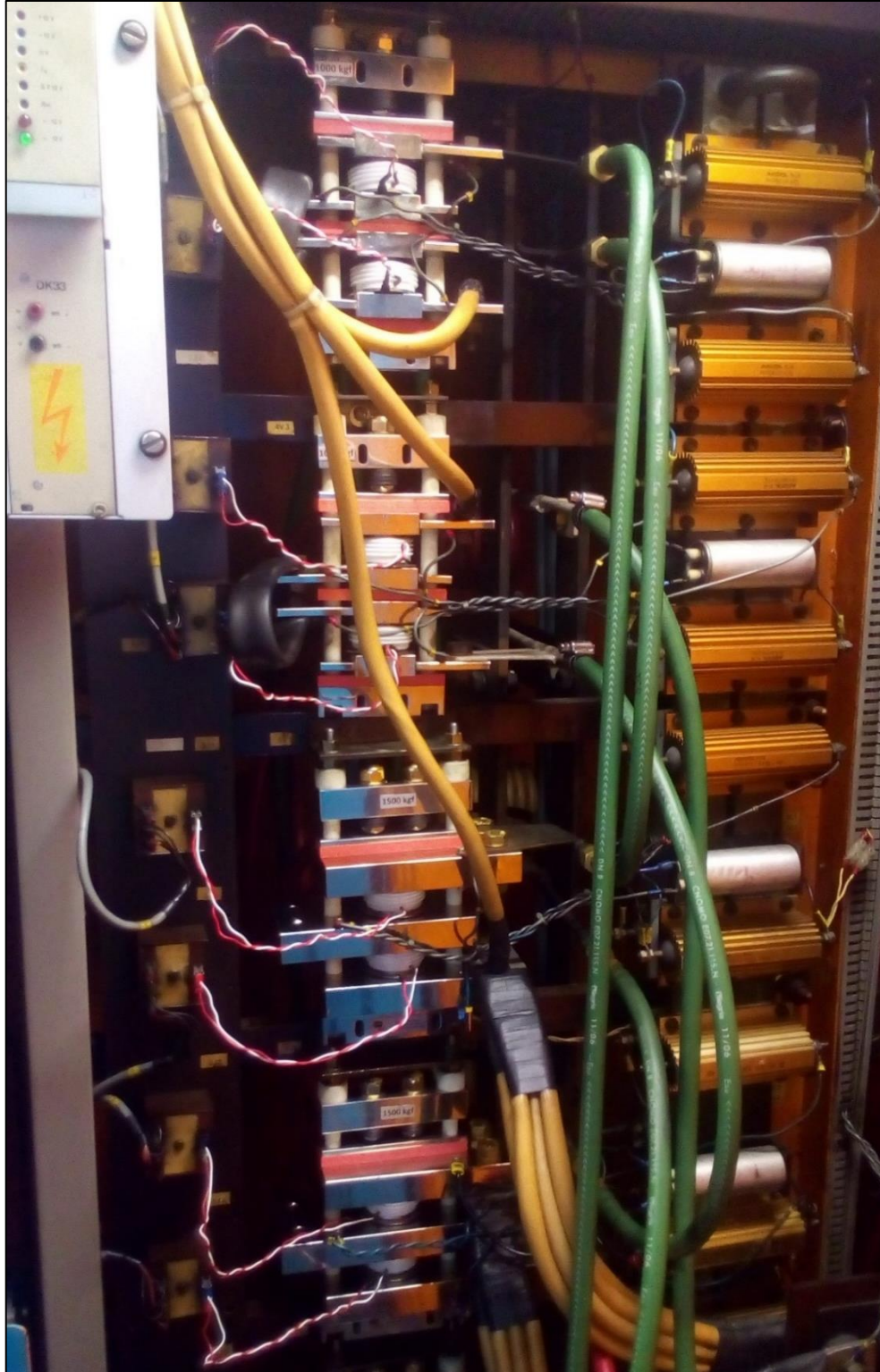
- **Sistema de grampos novos**

Figura 25 - Projeto de grampos atual consolidado:



Este grampo foi montado em bancada e ajustado as pressões conforme descrição do projeto que foi utilizado no circuito de potência do conversor de MF.


Figura 26 - Sistema de grampos instalados na máquina



Este é o conjunto completo montado no circuito de potência do conversor de MF com os tiristores e grampos novos e todo sistema de refrigeração refeito com mangueiras novas.

➤ **Gap do investimento**

Foi gasto com o projeto dos grampos R\$: 18.756,00 por conversor de MF, a implementação nos dois conversores houve um investimento de R\$: 37.512,00.

 Corona Brasil Indústria, Comércio e Representações Ltda CNPJ 04.685.852/0001-10 - IE: 353.202.152.114 Rua Quatro, 390 - Bairro Europark Comercial - Indaiatuba - São Paulo - Brasil - CEP 13.348-754 +55 (19) 3936-9447 / 3936-9448 / 3936-9449 / 3936-9443 http://www.coronabrasil.com.br - semicondutores@coronabrasil.com.br		Proposta Comercial N° 27199				
Soluções de Tratamento em Alétronica CLIENTE: THYSSENKRUPP METALÚRGICA CAMPO LIMPO LTDA. RAFAEL DE CARLI (11)4039-9253 - (11)94247-8140 rafael.carli@thyssenkrupp.com Faturamento Mínimo de R\$ 200,00		Data: 09/01/2017 - Validade da Proposta: 13/01/2017 CONDIÇÕES COMERCIAIS: NC/NR - Não cancelável / Não retornável Vendedor: Magno Felipe Condição de Pagamento: 28 DDL - Após confirmação cadastral. Frete: Por vossa conta (sugestão SEDEX) Reajuste: Conforme variação do dólar comercial para venda da data do faturamento Estoque: Salvo Venda Prévia Origem: VISITA DO VENDEDOR				
Qtde	Descrição do Material	Preço Unitário (FOB/CORONA)	Preço Total	Prazo de Entrega	IPi (A Incluir)	ICMS (Incluso)
2,00	GRAMPO CORONA BRASIL GCB03-1000/230 (REF. CONJ 1/2)	R\$ 930,00	R\$ 1.860,00	De 25 à 35 dias	5%	18%
8,00	DISSIPADOR CORONA BRASIL DCBI-12C (REF. CONJ 1/2)	R\$ 455,00	R\$ 3.640,00	De 25 à 35 dias	5%	18%
4,00	GRAMPO CORONA BRASIL GCB01-1500/240 (REF. CONJ 3,4,5,6)	R\$ 720,00	R\$ 2.880,00	De 25 à 35 dias	5%	18%
12,00	DISSIPADOR CORONA BRASIL DCBI-14E (REF. CONJ 3,4,5,6)	R\$ 598,00	R\$ 7.176,00	De 25 à 35 dias	5%	18%
1,00	GRAMPO CORONA BRASIL GCB03-1000/365 (REF. CONJ 7)	R\$ 1.085,00	R\$ 1.085,00	De 25 à 35 dias	5%	18%
3,00	DISSIPADOR CORONA BRASIL DCBI-13C (REF. CONJ 7)	R\$ 475,00	R\$ 1.425,00	De 25 à 35 dias	5%	18%
6,00	BARRAMENTO CORONA BRASIL BCBI-12C (REF. CONJ 7)	R\$ 115,00	R\$ 690,00	De 25 à 35 dias	5%	18%
Total:			R\$ 18.756,00			
<i>Observação: Lembrando que estamos ofertando os grampos de fixação (mais diretamente o torque), de acordo com o último fornecimento, pois não temos acesso às informações dos tiristores utilizados em vossa montagem (Segue anexo desenho dos conjuntos e dos dissipadores para vossa análise e aprovação).</i>						

A máquina tem uma produção de 18 peças por hora, cada peça custa R\$553,00, com isso é necessário a fabricação de 67 peças para pagar o investimento do projeto, e serão necessárias 3 horas. Conforme o gráfico 1, pode se observar que no ano de 2016 as horas de máquina parada era de 94,3 horas e 2017 houve 58,7 horas, entre estes dois anos tivemos uma diminuição de 35,6 horas de máquina inoperante com isso pode se afirmar que houve o pagamento do investimento no primeiro mês após concluir o projeto.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o projeto de Grampos para Tiristores, atingiu resultado satisfatório onde se alcançou diminuição das quebras no conversor de MF, tendo que em 2018 estamos com 1,77% em relação ao total de horas de máquina parada, isso é muito baixo pois em 2014 tinha-se 32,38% em relação ao total de horas de máquina parada.

No circuito de potência, conseguimos eliminar fontes de vazamento que era um dos problemas que demandava grande tempo de manutenção, pois depois dos reparos realizados o painel devia ser secado para não haver nenhuma umidade, prevenindo o risco de curtos-circuitos.

Com o sistema de grampos novos temos um controle preciso da pressão aplicada na montagem do conjunto e podemos na manutenção fazer a substituição do tiristores com uma facilidade muito grande sem ter a preocupação de que após a troca dos tiristores se vai ser possível aplicar novamente a pressão adequada para o perfeito funcionamento do sistema.

Com melhor planejamento das manutenções preventivas, podemos facilmente fazer inspeção e teste do sistema de grampos e refrigeração, com isso podemos atuar antes que haja a quebra de longas paradas por manutenção corretiva.

O treinamento teve um grande impacto nos resultados pois foi importante treinar os mantenedores para capacitá-los a como montar e testar os novos grampos para tiristores, com isso os nossos colaboradores podem desmontar e montar os grampos e terão conhecimento para ajuste e teste dos grampos para tiristores, com isso temos um baixo tempo de manutenção.

O resultado do projeto foi tema de Workshop na empresa Steel Forging, onde foi feita uma apresentação para o gerente e diretores da empresa mostrando os resultados alcançados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, Silvio. (2002) Integração das Ferramentas da Qualidade ao PDCA e ao Programa

CAMPOS, V.F. (1994) Controle da Qualidade Total (no estilo japonês). 1ª edição. Rio de Janeiro. Bloch Editores S.A

CAMPOS, Vicente Falconi. Gerenciamento da Rotina do Trabalho do Dia-a-Dia. 8ª edição. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviço Ltda., 2004

GARVIN, David A. Gerenciando a qualidade: a visão estratégica e competitiva. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2002.

GODOY, ARILDA S.; Refletindo Sobre Critérios de Qualidade da Pesquisa Qualitativa. Gestão.Org, v. 3, n. 2, p. 10. Mai. / Ago. 2005. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br>>. Acesso em: 10 Jun. 2014. ISSN 1679-1827, Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviço Ltda., 2004.

PALADINI, Edson Pacheco. Gestão da qualidade: teoria e prática. São Paulo: Atlas, 2000.

PINTO, ALAN KARDEC E XAVIER, JÚLIO NASCIF. Manutenção: função estratégica. Rio de Janeiro; Qualitymark. Ed. 2007.

Seis Sigma. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2002.

SOBEK II, DURWARD K. Entendendo o pensamento A3: Um componente crítico do PDCA da Toyota / Durward K. Sobek II, Art. Smalley; tradução Francisco Araújo da Costa; revisão técnica: Paulo Ghinato. – Porto Alegre: Bookman,2010.

WYREBSKI, Jerzy. MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL - UM MODELO ADAPTADO. 1997. Dissertação (M.sc) - UFSC, Florianópolis, 1997. Disponível em: Acesso em: 10 out. 2007.

http://unifia.edu.br/revista_eletronica/revistas/gestao_foco/artigos/ano2015/implant_diagrama.pdf

<https://www.citisystems.com.br/pilares-manutencao-produtiva-total/>

http://www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2009_1_Juliana.pdf

http://www.ufjf.br/ep/files/2010/05/MONOGRAFIA_-Leonardo-Sena-Salgado.pdf

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18151/tde-02062016-160749/pt-br.php>

<http://grupotecnofix.com.br/>