

CRISTIANO AIRES PIMENTA

**OS BENEFÍCIOS DO USO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE NA
MANUTENÇÃO INDUSTRIAL: ESTUDO DE CASO EM UM FORNO DE
TRATAMENTO TÉRMICO**

**São Paulo
2010**

CRISTIANO AIRES PIMENTA

**OS BENEFÍCIOS DO USO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE NA
MANUTENÇÃO INDUSTRIAL: ESTUDO DE CASO EM UM FORNO DE
TRATAMENTO TÉRMICO**

**São Paulo
2010**

CRISTIANO AIRES PIMENTA

**OS BENEFÍCIOS DO USO DE FERRAMENTAS DA QUALIDADE NA
MANUTENÇÃO INDUSTRIAL: ESTUDO DE CASO EM UM FORNO DE
TRATAMENTO TÉRMICO**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do certificado de
Especialista em Engenharia e Gestão
de Manufatura e Manutenção – MBA /
USP.

Orientador: Prof^o Dr. Gilberto Francisco
Martha de Souza.

**São Paulo
2010**

MBA/GOMSI
P6496

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600022578

FICHA CATALOGRÁFICA

244 1924

Pimenta, Cristiano Aires

Os benefícios do uso de ferramentas da qualidade na manutenção industrial: estudo de caso em um forno de tratamento térmico / C.A. Pimenta. -- São Paulo, 2010.

92 p.

Monografia (MBA em Engenharia e Gestão de Manufatura e Manutenção) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Educação Continuada em Engenharia.

**1. Indústrias (Manutenção) 2. Ferramentas (Uso; Aplicações)
3. Tratamento térmico I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Programa de Educação Continuada em Engenharia II. t.**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus e a meus pais Benedito e Maria Aparecida, por me passarem valores, os quais me servem de base para agir com ética e responsabilidade na vida cotidiana.

Um agradecimento especial a minha amada e querida esposa Margareth pela compreensão nos dias de ausência, assim como no incentivo para a elaboração deste trabalho. Contudo ao companheirismo, respeito e amor existente entre nós. Um relacionamento especial.

Agradeço também a todos os professores, mestres e doutores da EP-USP por todo o conhecimento passado e que me auxilia na rotina profissional, em especial ao professor coordenador e orientador deste trabalho Prof. Gilberto pela paciência e pelas sugestões dadas para o bom andamento deste trabalho.

Agradeço também aos amigos companheiros de trabalho que contribuíram para o bom andamento dos estudos e para a aplicação prática do mesmo, em especial ao Engenheiro Marcelo Ramos pelo ajuda e auxílio em cálculos e estudos realizados.

Obstáculos são aquelas coisas medonhas
que você vê quando tira os
olhos de seu objetivo.

(Henry Ford)

RESUMO

Esta monografia apresenta a importância do fator qualidade no meio industrial como um critério de competitividade para as empresas. O trabalho mostra a aplicação das ferramentas que a qualidade disponibiliza para análise e resolução de problemas, assim como os benefícios que o correto uso destas ferramentas podem trazer para os setores usuários, mais especificamente o setor de manutenção industrial, visto que este setor não utiliza estas ferramentas com tanta frequência. No decorrer do trabalho são apresentadas as principais perdas relacionadas às paradas dos equipamentos pelos quais a manutenção é responsável por garantir o cumprimento das funções para as quais foram projetados. Para melhor expor a situação-problema e as análises efetuadas, um estudo de caso detalhado é realizado numa indústria produtora de rolamentos de esferas, efetuando-se uma avaliação e estudo das principais falhas ocorridas em um forno elétrico industrial de tratamento térmico, onde inicialmente não se tinha um conhecimento aprofundado destas falhas e havia muitas perdas por paradas imprevistas do equipamento. Foram feitas análises em conjunto com os mantenedores envolvidos neste problema envolvendo a aplicação de algumas das ferramentas apresentadas nesta monografia e por fim foi traçado um plano de ação para melhoria da situação-problema. Após a implantação das ações de melhoria os resultados obtidos trouxeram ganhos principalmente com relação aos custos associados ao tempo indisponível do equipamento e ao risco associado à geração de produto com má qualidade. Mas sem dúvida a conclusão mais significativa obtida após estas ações foi a melhoria do conhecimento técnico que se tinha sobre o equipamento e as falhas associadas ao mesmo, sendo observado também a possibilidade de redução da ocorrência de outros tipos de falhas, as quais não puderam ser estudadas neste trabalho. Com isso, este trabalho serve de base para gestores que estejam interessados em aplicar estas ferramentas de análise e resolução de problemas em atividades de manutenção de equipamentos, visando a melhoria da disponibilidade e redução dos custos de manutenção.

Palavras-chave: Qualidade. Custos da qualidade. Manutenção. Ferramentas da qualidade. Rolamentos de esferas. Tratamento térmico.

ABSTRACT

This monograph presents the importance of the quality factor in the industrial environment as a criterion of competitiveness for enterprises. The work shown in the application of quality tools that makes it available for analysis and troubleshooting, as well as the benefits that the correct use of these tools can bring for users, more specifically the industrial maintenance sector, since this sector does not use these tools as often. In the course of work are presented as major losses related to the hit parades of equipment for which maintenance is responsible for ensuring the fulfilment of the tasks for which they were designed. To better expose the situation-problem and analyses performed, a detailed case study is carried out in an industry producing ball-bearings, performing an evaluation and study of the major failures on a industrial electric furnace, heat treatment, where initially had a thorough knowledge of these failures and there were many losses by unplanned equipment. Analyses were made in conjunction with the maintainers involved in this problem involving the application of some of the tools presented in this monograph and finally was tracing a plan of action for improvement of situation-problem. After the implementation of actions to improve the results obtained have brought gains mainly with relation to the costs associated with equipment and unavailable to the risk associated with the generation of product with poor quality. But without doubt the most significant conclusion obtained after these actions was the improvement of technical knowledge that had about the equipment and the failures associated with the same, being observed also the possibility of reducing the occurrence of other types of failures, which could not be studied in this work. With this, this work serves as a basis for managers who are interested in applying these tools of analysis and troubleshooting equipment maintenance activities to improve availability and reducing maintenance costs.

Keywords: Quality. Cost of quality. Maintenance. Quality tools. Ball bearings. Heat treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comparativo por lacunas das expectativas e percepções do cliente quanto à qualidade.....	8
Figura 2 – Gráfico do valor do esforço da qualidade em função dos custos na busca pelo ponto ótimo.....	15
Figura 3 – Roda da GQT.....	17
Figura 4 – O ciclo PDCA.....	22
Figura 5 – Giro do ciclo PDCA em busca de excelência.....	23
Figura 6 – Metas para manter e metas para melhorar.....	24
Figura 7 – Comparativo entre os ciclos SDCA e PDCA.....	25
Figura 8 - Diagrama de Ishikawa (Manual de ferramentas da qualidade – SEBRAE 2005).....	31
Figura 9 - Gráfico de Pareto.....	32
Figura 10 - Símbolos mais utilizados em fluxogramas.....	33
Figura 11 - Esquematização dos componentes dos rolamentos de esferas.....	37
Figura 12 - Etapa de recebimento de matéria-prima para a produção de rolamentos de esferas.....	38
Figura 13 - Etapas do processo de tornearia dos anéis de rolamento de esferas.....	38
Figura 14 - Etapas do processo de tratamento térmico dos anéis de rolamentos de esferas.....	39
Figura 15 - Etapas do processo de retificação dos anéis de rolamentos de esferas.....	39
Figura 16 - Processo de montagem dos rolamentos de esferas.....	40
Figura 17 - Esquema do processo de tratamento térmico (ALENCAR, 2009).....	41
Figura 18 - Exemplos de problemas decorrentes de má qualidade nos anéis de rolamento gerados pelo tratamento térmico.....	42
Figura 19 - Esquema de controle de temperatura nos fornos de tempera.....	44
Figura 20 - Esquema eletrônico do modulo de potencia CPC (Manual de Instruções – Controlador de potencia CPC).....	47
Figura 21- Recebimento e tratamento de sinais placa CPC 081.....	49
Figura 22 - Símbolo esquemático de um tiristor SCR.....	49

Figura 23 - Esquema de ligação e comportamento dos SCR's para corrente alternada (ligação antiparalela).....	50
Figura 24 - Método de disparo dos SCR's por trem de impulsos.....	51
Figura 25 - Método de disparo dos SCR's por ângulo de fase.....	52
Figura 26 - Gráfico de horas de parada no tratamento térmico.....	55
Figura 27 - Gráfico de horas de parada no forno dois por etapa de processamento.....	57
Figura 28 - Gráfico de Pareto com horas de parada por conjunto da Têmpera.....	58
Figura 29 - Diagrama de Causa e efeito (busca dos principais problemas com módulo de potência e Banco de Resistência no Forno de Têmpera dois.....	59
Figura 30 - Diagrama das principais causas-raiz relacionadas a problemas com modulo de potência e banco de resistências.....	60
Figura 31 - Modo de instalação dos módulos de potencia (relação de temperaturas e suas influencias).....	64
Figura 32 - Modificação na forma de instalação dos módulos de potência para melhor dissipação de calor.....	65
Figura 33 – Amperímetros de monitoramento de corrente elétrica.....	66
Figura 34 - Exemplo de desbalanceamento de corrente por fase na Zona 1.....	66
Figura 35 - Teste do disparo dos tiristores com o uso de lâmpadas.....	67
Figura 36 - Procedimento do teste de lâmpadas, verificação pelos amperímetros e constatação de problema com instrumento adequado.....	68
Figura 37 - Exemplo de Resistência nova.....	68
Figura 38 - Dilatação de resistência dado por erros de interligação do banco.....	69
Figura 39 - Exemplo de curto de fuga entre resistência e carcaça e tubo radiante.....	69
Figura 40 - Exemplo de curto de fuga entre resistência e carcaça e tubo radiante.....	69
Figura 41 - Disposição das resistências e dos cabos de interligação.....	70
Figura 42 - Esquema de ligação das resistências do forno de tempera dois.....	71
Figura 43 - Circuito em estrela e triangulo e cálculos referentes aos circuitos (disponível em: www.therma.com.br/artigos/calculo_potencia_trifasica.pdf).....	72
Figura 44 - Valores de referência de corrente e tensão elétrica no banco de resistências ZONA 1, ZONA 2 e ZONA 3 do Forno de Têmpera dois.....	73
Figura 45 – Fluxograma para de diagnostico de falhas.....	74

Figura 46 - Procedimento para checagem do banco de resistências.....	75
Figura 47 - Dificuldade para troca dos módulos de potência CPC.....	77
Figura 48 - Forma de fixação dos módulos CPC.....	77
Figura 49 - Melhoria na forma de fixação dos módulos de potência CPC.....	77
Figura 50 - Exemplo de flambagem dos tubos radiantes.....	78
Figura 51 - Exemplo de desgaste dos tubos radiantes.....	79
Figura 52 - Manutenção preventiva efetuada em Abril de 2010.....	80
Figura 53 - Gráfico com resultados obtidos após as melhorias.....	82
Figura 54 – Gráfico de perda de faturamento por forno (acompanhamento após implementação do trabalho).....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dicas para a condução e realização de um brainstorming.....	29
Tabela 2 - Tabela para construção do gráfico de Pareto.....	32
Tabela 3 - Exemplo de matriz de priorização GUT.....	34
Tabela 4 - Comparativo de fabricantes, correntes e tensão dos módulos de potencia por zona de aquecimento.....	46
Tabela 5 - Propriedades físico-químicas do fio de resistência Kanthal A1.....	53
Tabela 6 - Características elétricas das resistências do forno de têmpera 2.....	53
Tabela 7 - Comparativo de horas de parada no setor de tratamento térmico 2008 e primeiro semestre de 2009.....	55
Tabela 8 - Comparativo de perda de faturamento por horas de parada por manutenção no tratamento térmico 2008 e 2009.....	56
Tabela 9 - Matriz de priorização de problemas sob o foco de qualidade, segurança, custo, moral e atendimento.....	61
Tabela 10 - Plano de ação (5W1H) para implementação das melhorias.....	62
Tabela 11 - Tabela com dimensões e peso dos módulos de potencia CPC (Manual de Instruções – Controlador de potencia CPC).....	76

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	1
1.1- Considerações iniciais.....	1
1.2- Motivação e Objetivos do trabalho.....	3
1.3- Estrutura do trabalho.....	4
2- FUNDAMENTOS DA QUALIDADE.....	6
2.1- Uma vantagem competitiva.....	6
2.2- Qualidade para o cliente e qualidade para a empresa.....	7
2.3- Produtividade.....	9
2.4- O controle de qualidade.....	10
2.5- Os custos da qualidade.....	12
2.6- Custos da qualidade em serviços.....	15
2.7- GQT: Uma filosofia de gerenciamento por toda a empresa.....	16
2.8- Melhoria contínua.....	20
2.9- O ciclo PDCA como forma de gerenciamento.....	21
2.10- Algumas ferramentas para análise e resolução de problemas.....	26
2.10.1- Brainstorming.....	27
2.10.2- Diagrama de Ishikawa.....	29
2.10.3- Diagrama (gráfico) de Pareto.....	31
2.10.4- Fluxograma.....	33
2.10.5- Matriz de Priorização.....	34
2.10.6- Gráficos.....	35
2.10.7- 5W1H.....	35
3- APRESENTAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO, PROCESSO E EQUIPAMENTO.....	37
3.1- Apresentação da organização.....	37
3.1.1- O produto e o processo.....	37
3.1.2- O processo de tratamento térmico.....	40
3.1.3- Apresentação do forno sob análise.....	43
3.1.4- Módulo de potência tiristorizado.....	45
3.1.5- Banco de Resistências.....	53
3.1.6- Tubos radiantes.....	54
4- ESTUDO DE CASO.....	55

4.1- Levantamento de dados.....	55
4.2- Análise das causas.....	58
4.3- Plano de ação.....	61
4.3.1- Diagnóstico de problemas.....	65
4.3.2- Outros problemas relevantes.....	76
4.4- Resultados obtidos.....	80
5- CONCLUSÕES.....	84
5.1- Ganhos obtidos.....	84
5.2- Trabalhos futuros.....	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

No mundo globalizado atual, cada vez mais as empresas buscam atingir melhores índices de produtividade, tornando-se assim mais competitivas num mercado cada vez mais agressivo. Para que consigam sobreviver, as empresas têm o dever de colocar no mercado, produtos que respeitem alguns critérios exigidos pelo cliente como confiabilidade, preço baixo ou compatível com o seu concorrente, prazos de entrega cumpridos sem atrasos, tendo flexibilidade para mudanças rápidas nas especificações e projeto do produto conforme as necessidades do cliente e por fim, a qualidade. Este último critério que será explorado com mais detalhes neste trabalho, é um fator importante e precisa ser respeitado e aceito como uma vantagem competitiva, e que precisa ainda ser visto como um meio de gerenciamento empresarial, no qual todos os setores da empresa devem estar comprometidos com suas responsabilidades, para que assim o resultado final seja atingido: a satisfação do cliente e a qualidade do produto. A garantia deste critério sobre o produto, assim como sobre o processo pode vir a melhorar ou mesmo manter a imagem da empresa perante seus clientes, através do fornecimento de produtos com valor agregado compatível com o que está sendo oferecido. A qualidade do processo é necessária, pois reduz custos desnecessários que possam ser gerados pelo processamento de produtos com qualidade incompatível ao que é oferecido pelo marketing da empresa.

DEMING (1990) define qualidade de bens como uma característica importante do produto definida em muitas escalas, sendo função de quem a avalia, ou seja, o cliente. Como as necessidades futuras do usuário mudam rapidamente, torna-se difícil a mensuração exata das características mais importantes do produto. Numa segunda definição de qualidade, DEMING (1990) define a qualidade de serviços, a qual varia entre os extremos, dependendo do cliente com relação à exatidão de documentos, velocidade de expedição, tempo de entrega, cuidados no manuseio, sendo que essas necessidades podem mudar com o tempo e as reações do cliente são imediatas. A ineficiência do serviço pode elevar os preços ao consumidor, sendo

necessários trabalhos de melhoria contínua, acompanhando a evolução da produção.

CAMPOS (1992) define qualidade como atender perfeitamente as necessidades do cliente, de forma confiável, segura e acessível, no tempo certo. Para tanto, torna-se indispensável um produto mais próximo da perfeição desde seu projeto, produzido sem defeitos, a um baixo custo, com segurança para o cliente, sendo entregue no prazo, local e quantidades certas. Essas expectativas atendidas com perfeição definem a preferência do consumidor pelo produto/serviço hoje e no futuro.

JURAN (2001) defende a qualidade como sendo o grau de satisfação do cliente externo ou interno, os dois tipos impactados pelo produto, com uma única diferenciação de o cliente externo não ser membro da empresa, ao contrario do cliente interno. Para o cliente, quanto melhores as características do produto e quanto menores as deficiências, maior é a qualidade. Isso também está relacionado ao preço final e aos custos de concepção do produto, ou seja, quanto maior a qualidade, maiores os custos totais de sua concepção, devido à ausência de deficiências.

Nesse sentido, dentro desse contexto está a manutenção industrial que é uma importante área dentro das empresas por ser, numa definição rápida e básica, a responsável por cuidar dos ativos industriais evitando sua deterioração precoce para que tenham um melhor rendimento e disponibilidade possível, e com isso a meta de gastar sempre menos. Com base nisso, verifica-se hoje no cenário industrial uma manutenção cada vez mais cobrada por melhores resultados e menores custos, um desafio crescente para os gestores de manutenção, os quais devem gerenciar muito bem as atividades para que não entrem no círculo vicioso das falhas, onde só se corrige aquilo que apresenta problemas e não se previne o que pode acontecer. Paralelo a isso está a qualidade com sua filosofia de gerenciamento, disponibilizando ferramentas de grande valor para análise e tratamento de problemas que vão desde os mais rotineiros, com impactos negativos de pequena grandeza, aos problemas de maior grandeza, que provocam impactos de proporções indesejadas e afetam diretamente a produtividade da empresa devido a necessidade de retrabalho, gerando perdas como a de produção causada pelas paradas dos equipamentos, instalados na linha de produção. Por vezes, isso se relaciona a um

mau gerenciamento da manutenção, muitas vezes por despreparo dos gestores, outras por desconhecimento de ferramentas de gestão da qualidade e manutenção ou até por não se enxergar utilidade destas dentro da rotina da manutenção, visto que as mesmas são muito utilizadas na resolução de problemas relacionados a produtos e processos.

1.2 Motivação e Objetivos do trabalho

O objetivo principal deste trabalho é melhorar o gerenciamento dos problemas encontrados na manutenção industrial, fazendo uso de ferramentas e técnicas de gerenciamento existente na Qualidade Total, buscando mudanças culturais dentro do setor e principalmente no tratamento dos problemas, incentivando a participação de todos os envolvidos.

Nessa perspectiva, será mostrada a aplicação prática, assim como os benefícios alcançados através do uso das ferramentas da qualidade dentro da manutenção industrial, para tratamento e resolução de problemas, sendo estas tão eficazes para o setor de manutenção, como são para o processo produtivo.

Serão apresentadas oportunidades de mudança no enfoque da manutenção, num cenário de ações emergenciais para atividades com estudos mais detalhados sobre os problemas encontrados nos equipamentos e processos, através da introdução e aplicação de ferramentas específicas de análise e resolução de problemas, obtendo-se assim, soluções implementadas de forma rápidas e claras.

Para isso, fez-se um estudo de caso detalhado num forno elétrico industrial, empregado no processo de tratamento térmico de rolamentos de esferas.

Aplica-se as ferramentas da qualidade à análise e resolução de problemas num sistema de controle de temperatura com aquecimento elétrico, criando-se assim um procedimento para o devido tratamento de problemas nos equipamentos dentro da manutenção industrial, facilitando a implantação dentro de um processo de melhoria contínua e identificando oportunidades de melhoria nos processos de manutenção de equipamentos críticos, sendo de grande utilidade aos gestores e responsáveis

pela manutenção de empresas de qualquer ramo ou segmento que necessitem melhorar seus resultados, incluindo qualquer situação onde se verifique a necessidade de resolução e redução de retrabalhos e desperdícios.

1.3 Estrutura do trabalho

O trabalho foca os princípios da Qualidade Total e avalia as oportunidades de aplicação destes princípios dentro da manutenção industrial, para a melhoria dos indicadores de equipamentos, utilização de mão-de-obra e redução de custos. Para isso, foram feitas pesquisas na literatura disponível sobre os assuntos Qualidade e Manutenção sendo apresentados alguns tópicos relevantes sobre estas duas áreas de estudo do trabalho em quatro capítulos tendo este capítulo 1 – Introdução e estruturação do trabalho e os outros como descritos a seguir:

Capítulo 2 – Fundamentos da Qualidade: apresenta e discute alguns conceitos de qualidade, aplicados ao produto, ao processo e aos serviços, assim como as principais ferramentas de análise e resolução de problemas disponíveis dentro da qualidade, com exemplos de aplicação em problemas de menor escala existentes na organização estudada; evidenciando alguns aspectos gerais a serem considerados como possíveis contratempos e obstáculos, os quais serão encontrados no decorrer da implantação das mudanças de enfoque da manutenção de ações emergenciais para ações de estudo e análise sistemática de problemas.

Capítulo 3 – Apresentação da organização, processo e equipamento: será feita uma breve apresentação dos fatores envolvidos no estudo de caso do capítulo posterior para um melhor entendimento do mesmo.

Capítulo 4 – Estudo de caso: Corresponde ao estudo de caso na organização em questão, onde se apresentam as principais informações sobre a organização, o equipamento em análise, as dificuldades encontradas antes do estudo e os custos envolvidos nos problemas correlatos, possibilitando uma análise com os envolvidos no problema e a aplicação das ferramentas apresentadas no capítulo 2, possibilitando a observação dos efeitos e os resultados obtidos.

Capítulo 5 – Considerações finais: Finalização do trabalho com algumas conclusões sobre a aplicação do estudo de caso na organização, lembrando os problemas enfrentados antes e os resultados obtidos após o estudo de caso.

2 FUNDAMENTOS DA QUALIDADE

2.1 Uma vantagem competitiva

Muito se ouve falar sobre a palavra qualidade e muitas dificuldades são encontradas para se definir esta palavra com clareza e exatidão. A maioria dos pesquisadores sobre o assunto define qualidade como sendo um dos principais critérios que devem ser considerados pelas empresas geradoras de produtos e/ou serviços, para a obtenção de uma vantagem competitiva, ganhando assim a preferência do cliente em relação ao seu concorrente.

RITZMAN (2004) define qualidade como uma arma competitiva, a qual pode ser adotada como prioridade por organizações que tenham interesse em ganhar a preferência do cliente.

SLACK (2008) defende a idéia de “fazer certas” as coisas levando-se em consideração o tipo de operação, isto é, a percepção de qualidade pelo cliente é muito diferente, se compararmos um restaurante com uma fábrica de produção de rolamentos por exemplo.

KOCK (2000), define qualidade como o termômetro que mede a sua aceitação pelos consumidores através de alguns fatores como serviço agregado, confiabilidade, apresentação (organização e limpeza), atendimento (rapidez e simpatia), facilidade de utilização, adequação as normas técnicas, aspectos ecológicos, custo de venda, outros produtos agregados, enfim, tudo o que seja considerado positivo pelo consumidor do produto em questão.

CHIAVENATO (2004) defende a qualidade como sendo a capacidade de atender durante todo o tempo, as necessidades do cliente, exigindo o comprometimento das pessoas com a excelência do negócio. Existindo ainda o conceito de qualidade interna como sendo a administração da qualidade dos processos, produtos e serviços e, qualidade externa sendo a percepção que o usuário tem a respeito do produto ou serviço que compra e utiliza. Sem a qualidade interna, não se pode construir e manter a qualidade externa.

Com isso, pode-se obter uma nova definição de qualidade como sendo o ato de **fazer certo** aquilo que o cliente quer comprar, com base nos seus critérios de aceitação e expectativas sobre o produto/serviço, sendo esta uma poderosa arma disponível, a qual pode ser usada para melhorar a imagem das organizações na visão do cliente, tornando-as mais competitivas em relação à concorrência. Para uma empresa melhorar a qualidade do seu produto causando uma melhor percepção pelo cliente, é necessário uma organização de tal forma que todos os funcionários estejam comprometidos com os objetivos traçados pela alta administração, assim como definido nos conceitos básicos da Qualidade Total (GQT).

2.2 Qualidade para o cliente e qualidade para a empresa

A qualidade é basicamente vista de dois focos diferentes: pelo cliente e pela empresa (operação) SLACK (2008).

Nesse sentido, na visão da operação, segundo SLACK (2008) qualidade é a consistente conformidade com as especificações do produto/serviço, atingindo os requisitos básicos que os clientes esperam encontrar nos produtos/serviços. Já a visão do cliente com relação à qualidade dá-se pela percepção do produto no que diz respeito as suas expectativas com o mesmo. Porém, as expectativas do cliente com relação à qualidade do produto / serviço, nem sempre pode ser seguida com exatidão, uma vez que muitos fatores culturais como experiências passadas, conhecimento individual e seu histórico influenciarão nas suas expectativas. Isso se torna um problema, uma vez que os diferentes clientes enxergarão a qualidade do produto ou serviço de formas diferentes, justamente devido a estes fatores culturais. Um exemplo seria o processo de compra de um carro por diferentes clientes, onde de um lado tem-se um cliente com a expectativa de comprar um meio de condução própria para facilitar sua vida ao ir de casa para o trabalho e vice-versa e de outro lado um cliente que espera comprar um carro de primeira classe simplesmente como um símbolo de status.

Ou seja, isso quer dizer que a empresa precisa filtrar muito bem as expectativas dos clientes, antes de definir as características de qualidade do produto ou serviço a serem seguidas, para que se tenha muito bem definido os objetivos a serem perseguidos, assim como as variáveis que deverão ser controladas pela operação, durante o processo de concepção do produto/serviço.

Esse seria um dos fatores mais importantes a serem considerados para a definição dos objetivos porque vem ao encontro daquilo que realmente o mercado esta esperando encontrar nos bens e serviços que consomem. Dessa forma, quanto mais próximo das expectativas dos clientes chegarem os objetivos estratégicos traçados, mais claramente a operação enxergará o caminho correto para atingir esses objetivos. Isso diz respeito basicamente a um processo bem elaborado de planejamento da qualidade do produto/serviço.

Quanto mais bem planejado as características de qualidade, maior sua possibilidade de sucesso percebida pelo cliente, o que segundo SLACK (2008) seria o processo de eliminação de lacunas existentes entre a percepção do produto e as expectativas do cliente. Quanto maior esta lacuna, mais pobre é a qualidade percebida pelo cliente, o que define o objetivo claro da busca de competitividade propiciada pela eliminação das lacunas existentes entre estas duas variáveis, conforme apresentado na Figura 1.

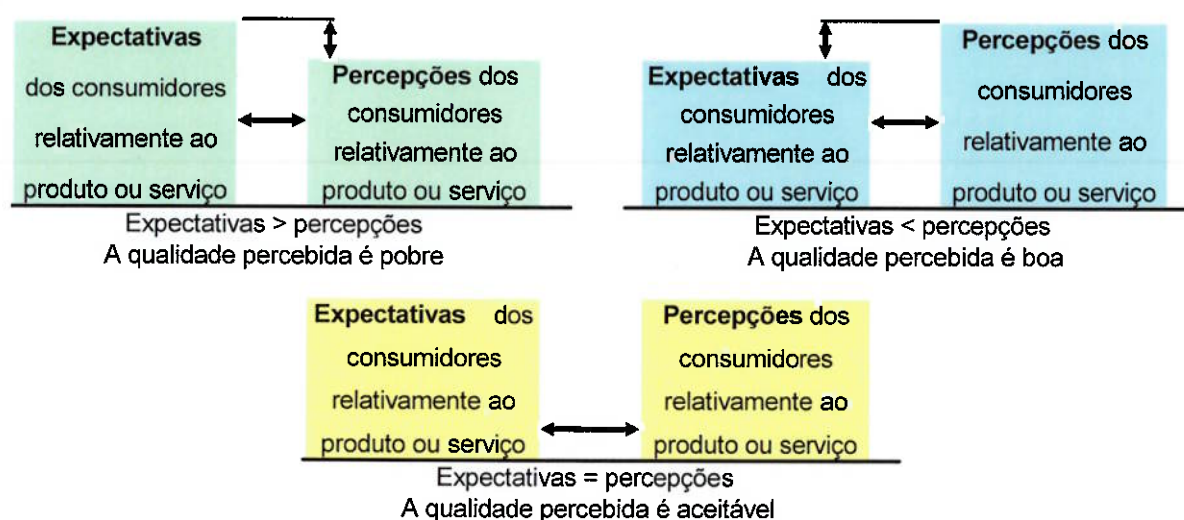


Figura 1 - Comparativo por lacunas das expectativas e percepções do cliente quanto à qualidade.

Pode-se perceber pela figura que quanto mais próximo se chega das expectativas dos clientes, melhor será a qualidade percebida. No entanto, isso significa maior esforço por parte da operação para obtenção desse resultado que envolve maiores custos associados ao preço final de venda do produto/serviço cujo poderia vir a causar uma insatisfação do consumidor por ter que pagar mais caro por um produto, com sérios riscos de o mesmo vir a procurar os concorrentes. Há ainda associada a questão da produtividade, que é um fator importante para que as empresas alcancem a competitividade tão almejada.

2.3 Produtividade

Produtividade é a relação entre o produto final e os recursos utilizados para a concepção do mesmo. *“É a medida da eficiência com que os recursos de entrada (insumos) de um sistema de agregação de valor são transformados em saídas (produtos)”* (CORRÊA, 2005, p.107).

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Produtos}}{\text{Insumos}}$$

Uma unidade produtiva destaca-se como muito eficiente quando utiliza o mínimo possível de recursos e consegue colocar no mercado um produto tão competitivo quanto o do seu concorrente, obtendo lucro com a venda do mesmo. Como já observado no início, um produto competitivo está diretamente associado à qualidade uma vez que deve igualar e buscar superar as expectativas dos clientes. Portanto, produtividade significa fazer mais, com melhor qualidade e com baixo custo. A produtividade é, portanto, um indicador importante a ser controlado no ambiente empresarial e, ela pode ser aplicada não só nesta relação produto – insumos, como também na relação com outros fatores nos quais está embutido o processo para a obtenção do produto final, como por exemplo, os custos totais de produção subdivididos nos diversos setores da empresa. Pode-se, por exemplo, relacionar o faturamento total da empresa com os gastos totais do setor de manutenção e a partir de um histórico desse índice controlá-lo mensalmente para que se possam tomar ações imediatas com o intuito de redução dos custos de manutenção nos próximos meses.

2.4 O controle de qualidade

Fala-se muito em controle de qualidade, mas vale a pena explicar com maiores detalhes este tópico, para que não se tenha o pensamento ultrapassado de que a qualidade deva ser controlada sobre o produto. Esse pensamento, influenciado pela teoria de Frederick Taylor, que defendia o princípio da divisão do trabalho, sobre o qual a gestão da qualidade era basicamente definida pelas inspeções sobre o produto, sendo necessária para isso uma grande quantidade de pessoas responsáveis pela operação e mais uma infinidade de inspetores responsáveis por verificar a qualidade, que na maioria das vezes se dava sob o produto já acabado, e que em comparação com as teorias de qualidade atuais é bem mais desvantajoso, dado o fato de muitas vezes ser impossível recuperar ou retrabalhar o produto para a obtenção da qualidade desejada, predominou até os anos 60 (CORREA, 2005).

O princípio de Frederick Taylor também chamado de princípio taylorista, dá-se basicamente em função da eficiência da produção mais especificamente com relação à produtividade da produção, ou seja, como já foi dito anteriormente, fazer mais com menor custo. Verifica-se aí uma contradição, uma vez que segundo esse princípio faz-se necessário uma quantidade considerável de pessoas para a operação e mais uma grande quantidade de inspetores, sob o foco de custos, seria uma coisa ruim, visto que o trabalho de inspeções poderia ser feito pelas mesmas pessoas que estão operando, as quais conhecem o processo muito melhor que os inspetores, pois têm maior contato com o produto. Entretanto, ao se falar em processo, este se caracteriza nos dias atuais, como sendo um dos maiores responsáveis pela garantia da qualidade do produto, sendo então, um dos principais alvos de controle de qualidade. Isso não significa que o controle de qualidade do produto não deva ser realizado, pelo contrario, faz-se necessário efetuar inspeções no produto, uma vez que todo processo está sujeito a variações e são essas variações que definem as necessidades de controle da qualidade do produto através de inspeções. Nos pontos do processo, onde não seja possível recuperar a(s) característica(s) de qualidade do produto ou de um ponto onde já se tenha definida a característica de qualidade final, como por exemplo, num processo de tratamento térmico dos anéis interno e externo dos rolamentos, no qual a dureza final do

material já é definida, não importando os outros processos pelos quais o produto ainda passará até sua expedição, compreende bom local para a execução de inspeções dessa característica de qualidade do material, visto que seja um processo final de definição e caso alguma anormalidade passe despercebida, esta só seria notada pelo cliente, o que se caracteriza como um fato inadmissível, pois endossa o aumento da lacuna entre a percepção do cliente com relação à característica de dureza do material e as expectativas do mesmo com relação às especificações passadas no projeto do produto.

Pode-se perceber pelo exemplo acima que alguns processos são mais críticos do que outros e merecem uma maior atenção no que diz respeito a controle de qualidade, a qual segundo Joseph M. Juran é dividida em três passos:

- medir e avaliar o desempenho atual;
- comparar com os objetivos traçados na fase de planejamento;
- agir nas diferenças.

Esses passos se observados mais profundamente, dizem respeito à trilogia da qualidade traçada por JURAN (1992) que apresenta três etapas básicas no processo de gerenciamento da qualidade, sendo elas:

- etapa de planejamento da qualidade: definição dos objetivos da qualidade, e dos pontos de inspeção das características principais;
- etapa de controle: inspeções e medições das características definidas na etapa de planejamento, assim como ações para correção de desvios;
- etapa de melhoramento da qualidade: com base nos níveis de desempenho, atuar de forma estratégica, visando à melhoria dos níveis atuais.

Nesse sentido, as vertentes apresentadas configuram a preservação das características de qualidade, com o objetivo principal de o cliente não ser afetado pelos problemas internos da empresa principalmente no que diz respeito aos processos internos de concepção do produto, para que seja possível eliminar as lacunas supracitadas anteriormente existentes entre as expectativas e as

percepções da qualidade do produto, ou seja, é inadmissível que o cliente perceba problemas internos ao processo, pois esses devem ser resolvidos internamente e com rapidez e agilidade para que não se tenha problemas indesejados com o cliente. Isso, porém, é apenas um dos problemas de mau controle da qualidade, visto que outros problemas críticos estejam relacionados ao mesmo, principalmente no que diz respeito a custos.

2.5 Os custos da qualidade

Os custos da qualidade são classificados por JURAN (1992) em três elementos diferentes, os quais devem ser contabilizados, registrados e analisados juntamente porque estas atitudes conduzem a uma priorização das necessidades, as quais podem ser efetivas para redução de custos e isso seria um bom caminho para a sensibilização da alta gerência. Seriam eles custos das falhas, subdivididos em falhas internas e falhas externas, custos de avaliação, e custos de prevenção. Dessa forma, os custos de falhas internas são formados por falhas como geração de refugos ou pelas ações necessárias de correção, assim eles são gerados antes de o produto chegar ao cliente. Já os custos de falhas externas são os custos referentes a reivindicações de garantia, reclamações dos clientes, perda nas negociações, ou seja, estes custos são gerados depois de o produto chegar ao cliente.

Nesse sentido, relacionando-se esses dois tipos de custos referentes às falhas com o produto, observa-se que os custos de falhas internas destacam-se como potenciais pontos para aplicação de estudos para a redução de custos. Já os custos de falhas externas, seriam os tipos de custos de falhas inadmissíveis, pois os impactos causados são de grandes proporções e podem causar grandes perdas à empresa, caso as expectativas do cliente não sejam atendidas por se tratar de um produto não conforme. Em suma, as falhas internas podem ser muitas vezes contornadas sendo na maioria dos casos gerados por falhas nos componentes do produto durante o processo, estes componentes com falhas, podem ser perfeitamente substituídos por outros sem com isso afetar o produto final. Entretanto, isso não quer dizer que os custos de falhas internas sejam bem vindos, pelo contrário, qualquer tipo de custo deve ser avaliado para verificação de

oportunidades de redução dos mesmos, mas mantendo a qualidade requerida. Na ocorrência dessas falhas internas, os principais impactos seriam retrabalho de material já processado, perda de determinada quantidade de matéria prima por geração de refugos, gastos desnecessários de mão-de-obra, energia elétrica, ar comprimido etc.; o que, por fim, teria que ser repassado em forma de aumento de preço no produto final, e, caso o cliente se recuse a comprar o produto pelo preço sugerido, a empresa deve procurar outro cliente, ou baixar o preço, o que geraria um prejuízo ao invés de lucro. Portanto, as falhas internas podem gerar, na pior das hipóteses, um prejuízo para a empresa, o que justifica a análise criteriosa visando oportunidades de diminuição ou até mesmo a eliminação das falhas.

As falhas externas, ao contrário das internas, não dão à empresa fornecedora a oportunidade de refazer aquilo que não saiu conforme, porque o produto já se encontra no poder do cliente e dependendo da gravidade da falha encontrada, e do nível de insatisfação gerada ao cliente, existe a possibilidade de perda do cliente, perda de competitividade, ou até mesmo a falência da empresa.

Em suma, qualquer tipo de falha tem de serem evitadas, principalmente as externas, notificando a importância de se verificar no processo os pontos possíveis de inspeções humanas e/ou instalações de dispositivos automáticos de inspeção para que se evite a passagem de produtos defeituosos para o cliente, prevenindo assim a insatisfação ou perda do cliente e, em se tratando das falhas internas, devem ser estudadas, avaliadas e ações corretivas devem ser tomadas no sentido de eliminá-las definitivamente, obtendo-se assim redução de custos internos.

Outro tipo de custos de não-qualidade definido por JURAN (1992) está relacionado com os custos de avaliação que diz respeito às ações de garantia da qualidade através de inspeções, testes e auditorias de produtos e processos. Ações usadas principalmente quando não se tem pleno domínio e controle do processo no que diz respeito a variações no processo e conseqüente variações nas características de qualidade do produto. Essas ações de avaliação da qualidade do produto dependem de elementos como o tempo funcional, a quantidade de funcionários, de equipamentos em relação ao processo como um todo. Há ainda os custos incorridos pelo atraso na entrega do produto dada pelas indesejadas inspeções que por sua

vez acabam ocasionando a parada ou o desvio do fluxo normal do produto, sendo assim necessário um tempo maior de processamento.

Nessa perspectiva, outro tipo de custo de não-qualidade se apresenta relacionado com o planejamento, controle, treinamentos de mão-de-obra, ou seja, incluem os custos administrativos, diretamente ligados às ações burocráticas, as quais dizem respeito ao preparo em longo prazo do processo como um todo para obtenção de melhores níveis de qualidade através do estudo, planejamento e controle do processo.

Observa-se então que dentro de um processo deve-se buscar a constante melhoria do processo para redução dos custos de falhas internas evitando, de qualquer maneira os custos de falhas externas e isso só é alcançado com estudo e planejamento das ações de correção dos problemas, assim como o controle do processo em si. Como as variações do processo são aceitáveis, deve-se buscar o melhor controle possível destas para que fiquem em níveis toleráveis com relação às características de qualidade do produto. Caso o processo não esteja sob controle, faz-se necessário a aplicação de auditorias e inspeções no produto para a garantia destas características de qualidade, o que acaba gerando os custos de avaliação.

Conclui-se então, que no controle dos custos de não-qualidade, as ações de controle são dadas pela avaliação e prevenção dos custos de falhas internas e externas, ou seja, as melhorias no processo para redução dos custos de falhas exigem planejamento e controle assim como inspeções e auditorias do produto e do processo, porém estas ações também geram custos (avaliação e prevenção), então, deve-se ter o monitoramento e controle exato destes tipos de custos para que se tire o melhor retorno possível destas ações. No gráfico da Figura 2 fica bem visível a existência do ponto ótimo de esforço da avaliação e prevenção de falhas internas e externas.

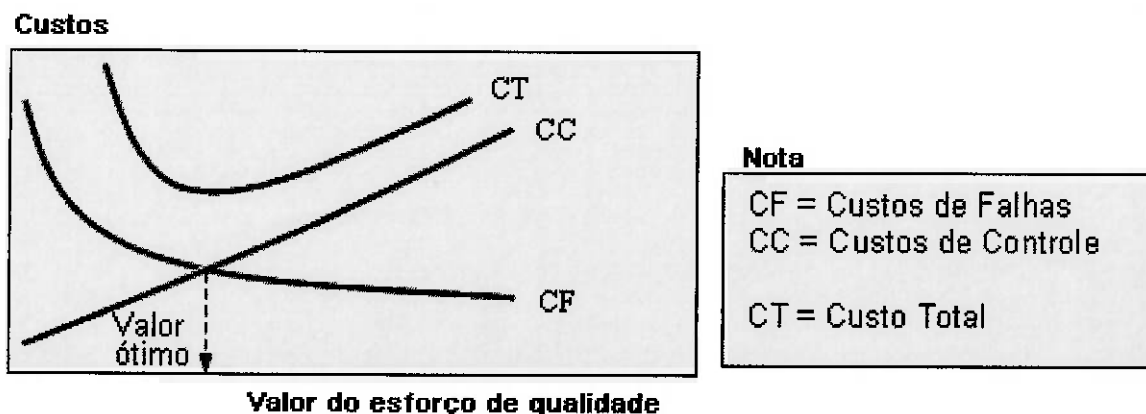


Figura 2 – Gráfico do valor de esforço da qualidade em função dos custos na busca pelo ponto ótimo.

Observam-se pelo gráfico que quanto maiores os custos de provisão da qualidade (avaliação e prevenção) menores serão os custos de falhas internas e externas, porém, observa-se que esta relação acontece até certo ponto, determinado ponto ótimo de esforço da qualidade, a partir deste ponto as ações de provisão já dão o mesmo retorno, não sendo vantajosas em relação às falhas.

2.6 Custos da qualidade em serviços

Nos serviços, esta lógica de custos também é válida, a manutenção, por exemplo, tendo a função de manter os equipamentos do processo em perfeitas condições de funcionamento e desempenhando as suas funções, necessita de ações preventivas para minimizar os custos das falhas imprevistas. Por isso o objetivo principal da manutenção seria o de evitar a ocorrência das falhas imprevistas, antecipando-se com ações preventivas, o que minimizaria os custos de ações corretivas. Do mesmo modo, na manutenção existe esse ponto ótimo de investimento em ações preventivas e, a partir deste ponto essas ações tornam-se mais caras do que os custos das falhas.

Portanto, esses fatores que envolvem custos devem ser bem observados e controlados pelos responsáveis tanto no caso da qualidade como no caso da manutenção para evitar gastos desnecessários com manutenções e ações de melhoria no processo, as quais possam já não estar trazendo o resultado esperado.

2.7 GQT: Uma filosofia de gerenciamento por toda a empresa

Os apontamentos apresentados até então, foram instituídos a partir de uma revolução no conceito da prática de qualidade chamado de GQT ou Gerenciamento pela Qualidade Total. Esse conceito é caracterizado por um sistema de gestão com as premissas básicas de se aplicar melhorias nos processos e procedimentos já existentes, envolvendo a participação de todos os membros da empresa.

Até a década de 50, a qualidade era uma responsabilidade apenas do setor de controle de qualidade, a qual basicamente executava inspeções nos produtos após os mesmos já terem sido produzidos. Essa prática apenas evitava o contato do cliente com um produto final defeituoso, pois quase que 100% dos produtos acabados eram inspecionados. Após a Segunda Guerra Mundial, o Japão convidou o estatístico norte-americano W. Edwards Deming para ministrar palestras e treinar executivos japoneses sobre controle estatístico de processo e gestão da qualidade. A partir daí, o Japão começou sua ascensão para tornar-se uma potencia mundial respeitada como é nos dias atuais. Em meados da década de 80, a indústria ocidental começou a prestar mais atenção na concepção de qualidade do produto para conseguir melhores níveis de competitividade com a indústria oriental, ocorrendo então uma mudança na forma de avaliação e controle da qualidade:

- a qualidade do produto dava-se pelos processos;
- o controle de qualidade deveria ser feito sobre os processos;

O Gerenciamento pela qualidade total (GQT) prega segundo RITZMAN (2004) os princípios básicos como: satisfação do cliente, envolvimento de todos os funcionários, melhorias contínuas da qualidade, benchmarking, projeto do produto / serviço e do processo, compras e ferramentas para resolução de problemas, conforme apresentado na Figura 3.

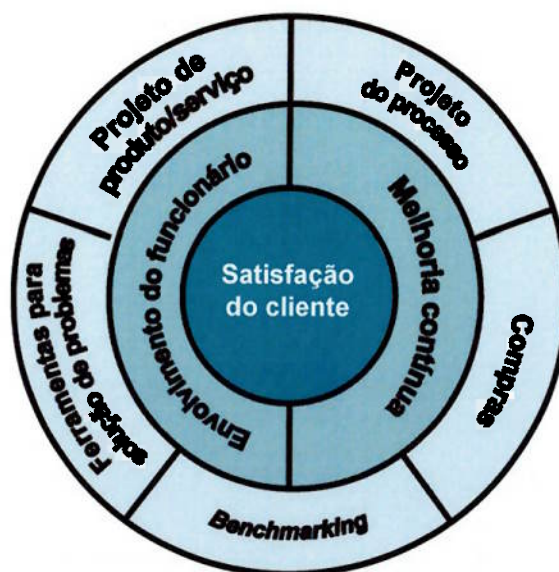


Figura 3 – Roda da GQT.

São estes princípios que devem ser levados em consideração para obtenção de sucesso na prática do GQT para qualquer organização. A satisfação do cliente é primordial como já foi explicada anteriormente, a empresa deve ter muito bem definido as estratégias de qualidade para atender ou superar as expectativas do cliente com relação ao produto. Em contrapartida, para alcançar os objetivos traçados pela alta administração, a produção deve trabalhar para reduzir os custos decorrentes da má qualidade, procurando eliminá-los; o que justifica o segundo princípio básico da figura que é a participação e envolvimento de todos os funcionários da empresa, ou seja, todos os envolvidos com o produto devem ter em mente, os objetivos e diretrizes traçados pela alta administração. RITZMAN (2004) mostra a importância segundo o GQT da criação do conceito de cliente interno e externo, onde todos devem identificar muito bem os seus clientes (internos) e procurar atendê-los muito bem e gerando serviços e produtos (componentes do produto final), os quais respeitem os critérios exigidos pelo produto final. Com isso, o produto final como um todo também respeitará estes critérios e atenderá as expectativas do cliente externo. Vale ressaltar também a importância dos clientes internos cobrarem e terem meios ou indicadores de medir a eficiência e eficácia do seu fornecedor interno ou externo, para que em caso de não atendimento as especificações, tomar as medidas necessárias para que os problemas sejam resolvidos no processo, da forma mais rápida possível, evitando com isso que o cliente externo seja afetado.

Segundo o GQT, o incentivo da participação de todos os funcionários com os objetivos gerais da empresa, podem ser alcançados com a criação de equipes, as quais determinam as suas próprias metas para atender as necessidades dos clientes internos. Com a criação de equipes para os mais variados tipos de atividades, consegue-se uma melhor participação dos funcionários, os quais dão sugestões e seus pontos de vista sobre problemas que afetem diretamente suas rotinas no trabalho. Dessa forma, faz com que funcionários sintam-se motivados por participarem de ações de melhoria no processo e no produto com o qual o mesmo esteja ativamente envolvido. Porém é importante que as opiniões e sugestões dadas por esses funcionários, sejam levadas em consideração e implementadas pela alta administração, para que a filosofia do GQT não caia no descrédito, o que poderia causar grande insatisfação de todos na empresa.

Outro princípio defendido pelo GQT diz respeito ao benchmarking que é um processo de avaliação e pesquisa das melhores práticas e melhores resultados tomando como base as empresas que se destacam no ramo, procurando trazer para dentro da organização pesquisadora, essas práticas para que haja melhora nos resultados não competitivos com o mercado.

RITZMAN (2004) define a existência de dois tipos de benchmarking. No benchmarking competitivo, a organização efetua pesquisas em concorrentes diretos no setor em que faz parte. Já no benchmarking funcional, as pesquisas são efetuadas naquelas empresas que são excelentes em outros setores. Sendo que a pesquisa possibilita chegar a um único objetivo: tornar a empresa mais competitiva adotando as melhores práticas que o mercado possui.

Por vezes, outro princípio importante diz respeito a compras, mais especificamente a atividade de compras de materiais para a concepção do produto. Toda empresa precisa comprar insumos para fabricar seu produto ou oferecer serviços de qualidade. Nesta fase entram no ciclo de concepção do produto os fornecedores externos. Estes por sua vez têm influências que podem ser boas, em caso de insumos fornecidos com um bom preço, rapidez e principalmente com qualidade, como também podem ser desastrosas em caso de fornecimento fora da especificação.

RITZMAN (2004) aponta a importância de se ter compradores que saibam identificar e trabalhar com bons fornecedores a fim de que os mesmos possam fornecer insumos com qualidade, a um baixo custo e com rapidez.

A esse respeito, os princípios de projeto do produto / serviço e projeto do processo, também são importantes fatores a serem considerados na visão do GQT. Qualquer mudança no projeto destes três itens pode causar variações indesejáveis na concepção do produto final e afetar a qualidade percebida pelo cliente. No caso de mudanças no projeto do produto, no tipo de material usado, nas dimensões e/ou quantidade dos seus componentes pode vir a afetar diretamente a qualidade e o desempenho do produto. No caso de falha de qualquer um dos componentes, a percepção do produto como um todo é afetada.

RITZMAN (2004) associa essa ideia com a confiabilidade do produto, ou seja, a confiabilidade do produto final é a probabilidade de que este produto funcione quando for utilizado. A confiabilidade total do produto é dada pela multiplicação da confiabilidade de seus componentes. Portanto, em caso de troca ou desenvolvimento de novos componentes para o produto, assim como alterações no projeto onde a confiabilidade já tenha valores aceitáveis, faz-se necessário um teste minucioso considerando todas as possibilidades de falha de componentes ou nas alterações realizadas. Do mesmo modo, alterações nos procedimentos de serviços ou sobre a forma como o mesmo é aplicado, podem vir a causar insatisfações do cliente com relação às modificações. Nos dois casos, tanto de produtos como de serviços, é muito importante que o cliente seja consultado sobre as modificações para que se possa chegar à melhor solução para todas as partes. Já sobre o projeto do processo, devem-se ser efetuados estudos antes de se fazer qualquer alteração sobre o mesmo, levando em consideração as possibilidades de melhorias e a análise de possíveis problemas que possam causar insatisfação dos clientes, principalmente com relação à confiabilidade e qualidade.

Nesse sentido, esses são alguns dos princípios defendidos e que devem ser implantados numa empresa onde se deseja aplicar os conceitos de gerenciamento pela qualidade total. A mudança principal dá-se sobre a focalização da qualidade que antes do GQT era direcionada especialmente sobre o produto, onde seu controle era especificamente efetuado por inspetores de qualidade nos finais do

processo, já na concepção final do produto, onde em muitos casos se perdia ou era necessário o reprocessamento de uma boa porcentagem destes produtos acabados devido à verificação de defeitos. Isso gerava grandes perdas para a empresa, dado os custos de não qualidade envolvidos. A grande revolução do GQT, portanto, foi sobre esse foco, pois a partir disso todos na empresa foram envolvidos com a questão da qualidade e um acompanhamento mais detalhado durante o processo acaba sendo feito por todos na empresa. O GQT defende ainda dois princípios básicos que serão apresentados nos próximos tópicos.

2.8 Melhoria Contínua

Este princípio do GQT introduz na empresa uma mudança cultural sob o modo como os problemas são tratados. Em japonês é nomeada como KAIZEN, onde “KAI” quer dizer mudar e “ZEN” quer dizer melhor, ou seja, mudança para melhor, adaptada a expressão entende-se melhoria que estimula a busca incessante de melhorias nos métodos e meios de trabalho para obtenção do sucesso empresarial. Esse método parte do princípio de que qualquer atividade de operação, assim como qualquer processo pode ser constantemente melhorados e aperfeiçoados, e ninguém melhor para conceber estas mudanças do que o próprio pessoal envolvido com tais atividades. A ideia é não esperar que os problemas ocorram e sim antecipar-se a eles RITZMAN (2004).

RITZMAN (2004) destaca ainda, algumas etapas para implantação de melhoria contínua, como treinamento dos funcionários nos métodos de controle estatístico dos processos, uma vez que esses métodos devem se tornar um aspecto normal das atividades de operação. Criar equipes de trabalho, desenvolvendo um sentido de participação de todos, usando as ferramentas de resolução de problemas através do giro sistêmico do PDCA. Sendo esta última etapa baseada no uso de ferramentas de resolução de problemas que se destaca como um dos princípios do GQT e será tratada com maiores detalhes no próximo tópico por ser o assunto principal deste trabalho. O incentivo ao uso destas ferramentas pelos próprios funcionários envolvidos com o processo, cria nos mesmos a sensação de possuírem algum controle sobre seu ambiente de trabalho, tornando-se motivo de orgulho quando o

objetivo é atingido, à medida que os funcionários tornam-se mais produtivos e motivados pelo seu trabalho.

2.9 O ciclo PDCA como forma de gerenciamento

O PDCA é um ciclo ou método de análise e resolução de problemas e/ou melhoria de processos, simplificado pela sigla das iniciais de suas etapas do inglês (PLAN) planejamento, (DO) execução, (CHECK) verificação e (ACTION) atuação. Utilizado nas indústrias para aplicação e implementação da melhoria continua dentro do ambiente empresarial.

Segundo ANDRADE (2003) o método foi criado na década de 30 pelo estatístico americano da Bell Laboratories – EUA Walter A.Shewhart, definido como um ciclo que pode ser aplicado repetidamente para resolução de problemas ou melhorias de processos.

Ainda segundo ANDRADE (2003), esse método foi popularizado pelo também estatístico americano W.Edward Deming no Japão do pós guerra, o que fez com que o ciclo PDCA também ficasse mundialmente conhecido como “ciclo de Deming”.

XENOS (2004) define o ciclo PDCA como sendo um método universal para atingir metas. Sendo estas metas divididas em duas categorias diferentes:

- metas para manter: usado para atingir metas padrão as quais são definidas como resultados que se deseja manter num determinado nível. Em serviços essas metas devem ser buscadas para aquelas tarefas repetitivas. A aplicação do ciclo em busca desse tipo de metas é definido como SDCA, ou seja, a fase de planejamento do PDCA é substituída pela fase de padronização (STANDARD), sendo o restante das etapas iguais as do PDCA.
- metas para melhorar: usado para atingir metas, onde seja necessário efetuar mudanças nos níveis ou no modo de como os resultados estejam sendo atingidos. Para esse tipo de metas o método utilizado é o próprio PDCA.

Para que se alcance as metas traçadas, deve-se girar o PDCA metodicamente, obedecendo rigorosamente suas etapas na ordem correta, tomando-se as ações necessárias para depois passar a próxima etapa. As etapas do PDCA conforme explicadas no início do tópico, são definidas pelas iniciais que compõem sua sigla, e são distribuídas pelo ciclo para que se possam seguir corretamente as etapas do método, conforme a Figura 4.

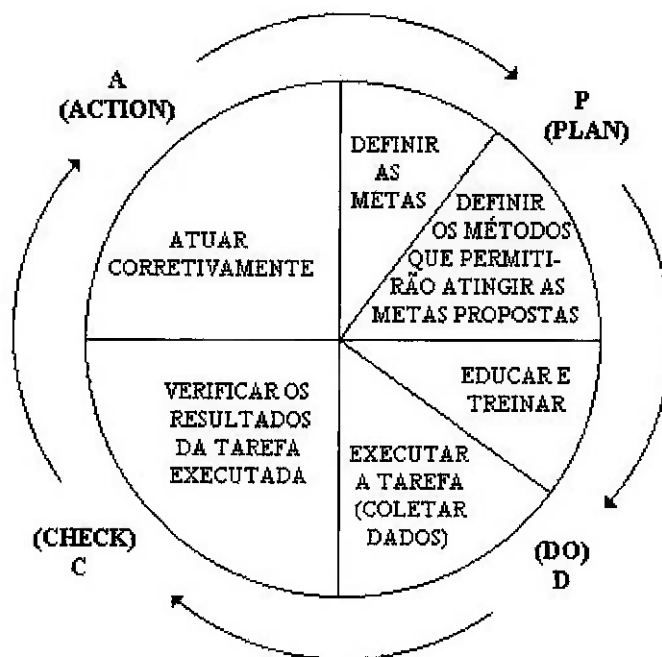


Figura 4 – O ciclo PDCA.

Podem-se observar pela figura as quatro etapas do ciclo PDCA:

- PLAN: fase de planejamento onde devem ser definidas as metas que se deseja alcançar, assim como os meios para se atingir as metas propostas;
- DO: fase de execução, onde se deve educar e treinar os envolvidos quanto aos métodos propostos para se atingir as metas, assim como colocar estes métodos em prática;
- CHECK: fase de verificação dos resultados das tarefas executadas, para análise do andamento em relação às metas;

- ACTION: fase de atuação no processo caso os resultados não estejam progredindo em direção a meta.

O giro sistêmico dessas etapas é capaz de trazer bons resultados. Esse é um trabalho sem fim segundo o que defende os princípios do GQT e a filosofia de melhoria contínua, ou seja, em caso de maus resultados após a fase de verificação, tomam-se medidas, as quais devem ser planejadas novamente, deve-se retomar o treinamento dos envolvidos e uma nova verificação se fará necessária, até que se consigam os resultados esperados. Caso o resultado seja alcançado, novos desafios e metas devem ser propostos conforme sugere o GQT, para que assim se melhore sempre em busca da excelência. Isso pode ser mais bem demonstrado na Figura 5, chamada de rampa de melhoria, segundo ANDRADE (2003).

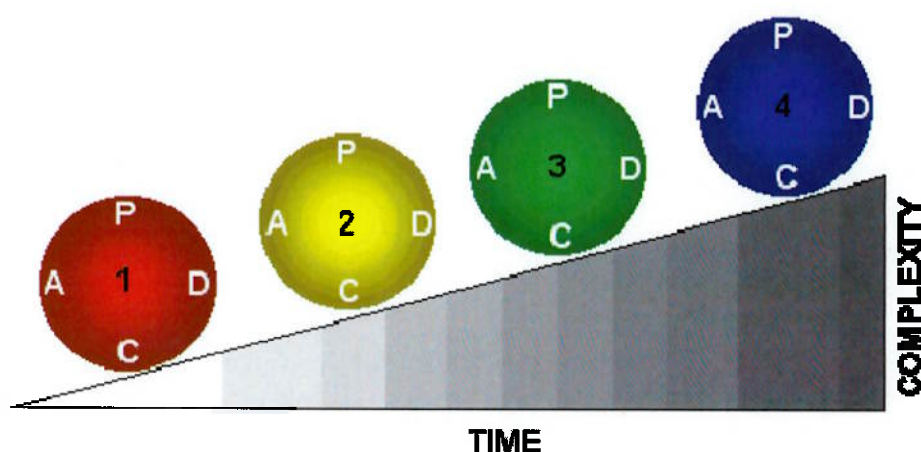


Figura 5 – Giro do ciclo PDCA em busca de excelência.

Conforme a figura acima sugere, o giro do ciclo PDCA tende a ir aumentando no que diz respeito à complexidade dos problemas e a medida eles vão sendo resolvidos pelas equipes criadas, o nível de conhecimento e experiência dessas equipes também vai aumentando, fazendo com que o nível de satisfação dos funcionários também aumente. Assim que um objetivo é alcançado, novos objetivos são traçados, fazendo com que a última etapa de um ciclo seja o início de outra, assim sucessivamente, num ciclo sem fim.

O SDCA, como foi citado anteriormente é um ciclo similar ao PDCA, porém direcionado para se alcançar metas dentro de um padrão, diferente do PDCA que busca melhorar algo que não está de acordo com o desejado. Segundo ANDRADE (2003), o SDCA seria uma etapa da fase de atuação (ACTION) do PDCA, onde já se tenha alcançado o objetivo proposto, ou seja, após a verificação dos resultados e constatação de que os mesmos estiverem conformes, a fase de atuação dar-se-ia pela implementação do SDCA onde mais especificamente seria uma padronização das atividades definidas na fase (DO) execução do PDCA, visto que estas tenham realmente surtido resultados esperados. Isso é mostrado com maiores detalhes na Figura 6.

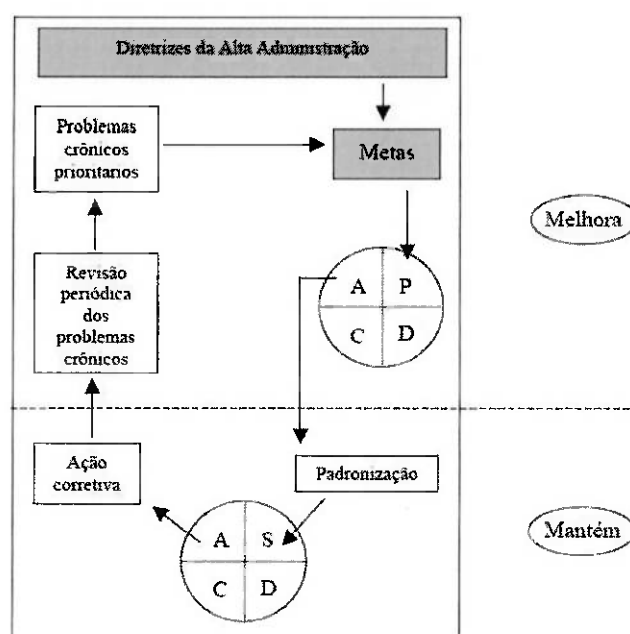
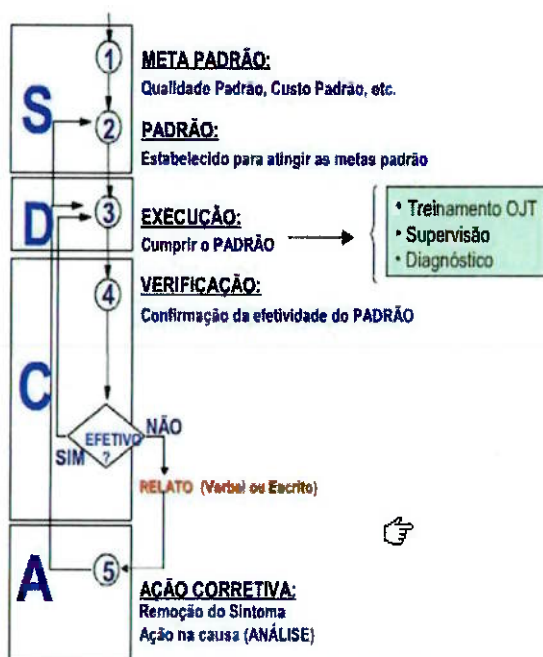


Figura 6 – Metas para manter e metas para melhorar.

A Figura 6 representa uma visão global do intercâmbio entre o método SDCA para padronização de atividades já definidas e o PDCA que pode vir a melhorar os níveis da padronização atual, na tentativa de eliminação ou minimização dos problemas críticos de uma atividade padrão, ou seja, seria uma atuação no SDCA utilizando o método PDCA. Na Figura 7 são apresentados os passos dos dois métodos para efeito de comparação. Pode-se observar que enquanto na primeira etapa, o SDCA trabalha com o padrão, no que diz respeito à criação do mesmo, o outro, o PDCA,

trabalha com o planejamento dos métodos que serão usados para atingir a meta de melhoria. A segunda etapa do SDCA é a fase de cumprir os padrões definidos na primeira etapa, enquanto que no PDCA, seria a fase de colocar em prática todas as ações planejadas na etapa de planejamento. Na terceira etapa, no SDCA seria a fase de verificação do cumprimento dos padrões estabelecidos, enquanto que no PDCA, a verificação seria do cumprimento das ações assim como os resultados obtidos. E por fim na última etapa, no SDCA seria a fase de atuação sobre possíveis não conformidades com os padrões estabelecidos sendo oportunamente viável a aplicação de uma análise pelo PDCA para melhorar a sistemática do padrão em busca de um melhor resultado. Já no PDCA a última etapa seria a fase de padronizar as ações e medidas tomadas na fase de execução em caso de bons resultados, caso contrário, devem-se planejar contramedidas, girando novamente o ciclo. Portanto, existe uma ligação do SDCA com a fase de planejamento do PDCA em caso de não conformidades com o padrão, assim como também existe outra ligação entre a fase de atuação do PDCA com a padronização do SDCA em caso de bons resultados.

METAS PARA MANTER (SDCA)



METAS PARA MELHORAR (PDCA)



Figura 7 – Comparativo entre os ciclos SDCA e PDCA.

O ciclo PDCA e o SDCA são métodos ou seqüências lógicas de trabalho que podem ajudar e muito no gerenciamento dos problemas, em busca de melhorias nos processos e nas rotinas diárias, objetivando-se atingir algumas metas. Para efetivamente se obter sucesso no uso desses métodos, deve-se primeiramente contar com a motivação dos envolvidos, uma vez que quando se fala em resolver problemas, já o exista devido à natureza humana apresentar certa resistência, portanto, os responsáveis por equipes e trabalho, principalmente aquelas que trabalharão estudando e resolvendo esses problemas, devem utilizar-se de técnicas disponíveis para motivar cada vez mais os membros da equipe visto ser este um fator importante para o sucesso do método, não compreendendo, porém o único fator de importância. Os funcionários devem ser treinados no uso de ferramentas de resolução de problemas como explicado no próximo tópico.

2.10 Algumas ferramentas para análise e resolução de problemas

Como explanado no tópico anterior, o ciclo PDCA, é de suma importância para atingir metas. Na qualidade, muitas ferramentas e conceitos para melhorar a forma de análise de problemas, atividades e processos, são disponibilizados atualmente. Essas ferramentas foram surgindo com o passar dos tempos e sua aplicação foi sendo cada vez constante no ambiente empresarial.

Estas ferramentas educam o profissional a confiar menos no feeling e a trabalhar preferencialmente com dados. Essa postura não reprime a criatividade, mas a desenvolve. Dispor de informações reais sobre o que está ocorrendo modifica a forma de atacar os problemas: em lugar de buscarmos soluções por "tentativa e erro", podemos analisar a questão de forma sistemática e projetar uma solução. (<http://revista.ibict.br/index.php/ciinf/article/viewFile/1190/833>).

A citação acima seria como dizer que só se consegue vencer o inimigo que se conhece. Isso é muito válido para análise e resolução de problemas. O problema tem de ser muito bem definido, deve-se ter o máximo de informações com relação a ele para que se possa atacá-lo com precisão minimizando as possibilidades de erro.

Mais especificamente, quanto mais dados se tem do problema, melhor este será conhecido e maior a probabilidade de se atacar as suas causas fundamentais. Portanto, na análise e resolução de problemas através do giro sistêmico do PDCA, quanto mais dados se tem sobre o assunto tratado, melhor será a eficácia do método.

Para tanto, existem diversas ferramentas e métodos ao analisar e solucionar problemas, mas no geral são destacadas algumas ferramentas como as mais usuais. A seguir serão demonstradas algumas dessas ferramentas, as quais serão aplicadas no estudo de caso.

2.10.1 Brainstorming

Termo em inglês que quer dizer tempestade de ideias. Segundo o Manual de ferramentas da qualidade – SEBRAE (2005), essa ferramenta foi desenvolvida por Alex F. Osborn no ano de 1938, e tem o intuito de fazer com que todos os envolvidos nos processos de estudo e análise de problemas, dêem ideias de forma espontânea sobre determinado assunto. GODOY (2001) apud ANDRADE (2003) define o brainstorming como uma dinâmica de grupo para discutir e resolver determinado assunto, onde todos de forma organizada e com o mesmo número de oportunidades, dão suas opiniões sobre o assunto. SOUZA (1997) apud ANDRADE (2003) indica a importância da suspensão do julgamento e crítica das ideias dadas, pois isso incentiva a criatividade em busca da solução. Em outras palavras, o brainstorming é uma reunião livre, onde alguns membros de interesse comum podem opinar sobre suas rotinas, levantando problemas e dificuldades diárias para que com o uso do brainstorming possam chegar a uma resolução ainda não pensada. É importante considerar todas as ideias para que se tenham criatividade nas opiniões, e principalmente evitar o constrangimento de qualquer um dos membros do grupo, pois isso poderia desmotivar a equipe como um todo. Portanto todas as ideias são bem vindas e devem ser consideradas, sendo que em nenhum momento ninguém deve induzir sua opinião sobre o assunto, para tentar direcionar o raciocínio para seus interesses pessoais. Caso isso esteja acontecendo a pessoa deve ser repreendida.

Dessa forma, no uso do brainstorming deve-se nomear um coordenador, o qual segundo GODOY (2001) apud ANDRADE (2003) deve facilitar o processo observando o cumprimento fiel do roteiro e zelar pela liberdade de plena participação expressão de todos os participantes.

Segundo o Manual de ferramentas da qualidade SEBRAE (2005), o brainstorming é aplicável na identificação e seleção das questões a serem tratadas num processo de resolução de problemas, focalizando o raciocínio no aspecto mais importante do problema, fazendo que se possa enxergar o mesmo de vários ângulos a partir das ideias dadas, sendo que o brainstorming pode ser dividido em dois tipos:

- estruturado: processo onde cada pessoa dá uma ideia e passa a vez para a próxima pessoa ate que todas já tenham opinado e o ciclo volta para a primeira pessoa.
- não-estruturado: processo no qual as ideias são dadas aleatoriamente sem uma ordem definida.

A vantagem do brainstorming estruturado é que força todas as pessoas a participarem, porém tem a desvantagem de criar certa pressão principalmente sobre as pessoas mais tímidas. Já o brainstorming não-estruturado tem a vantagem de criar um ambiente mais relaxado o que pode contribuir e muito na criatividade do grupo, porém as opiniões podem ficar centralizadas principalmente nas pessoas mais extrovertidas. Cabe, portanto ao coordenador definir a melhor forma de conduzir o processo de brainstorming, de acordo com o perfil de cada grupo segundo o Manual de ferramentas da qualidade SEBRAE (2005).

Na tabela 1 são dadas algumas dicas para os coordenadores de equipes de resolução de problemas para uma boa condução do brainstorming conforme o Manual de ferramentas da qualidade SEBRAE (2005).

Tabela 1 – Dicas para a condução e realização de um brainstorming.

Etapa	Método	Dicas para a condução
1) Introdução	- Inicie a sessão esclarecendo os seus objetivos, a questão ou o problema a ser discutido.	- Crie um clima descontraído e agradável. - Esteja certo de que todos entenderam a questão a ser tratada. - Redefina o problema, se necessário.
2) Geração de idéias	- Dê um tempo para que pensem no problema. - Solicite, em sequência, uma idéia a cada participante, registrando-a no flip chart. - Caso um participante não tenha nada a contribuir, deverá dizer simplesmente "passo". Na próxima rodada, essa pessoa poderá dar uma idéia. São feitas rodadas consecutivas até que ninguém tenha mais nada a acrescentar.	- Não se esqueça de que todas as idéias são importantes, evite avaliações. - Incentive o grupo a dar o maior número de idéias. - Mantenha um ritmo rápido na coleta e no registro das idéias. - Registre as idéias da forma como forem ditas.
3) Revisão da lista	- Pergunte se alguém tem alguma dúvida e, se for o caso, peça à pessoa que a gerou para esclarecê-la.	- O objetivo dessa etapa é esclarecer e não julgar.
4) Análise e seleção	- Leve o grupo a discutir as idéias e a escolher aquelas que vale a pena considerar. - Utilize o consenso nessa seleção preliminar do problema ou da solução.	- Idéias semelhantes devem ser agrupadas; idéias sem importância ou impossíveis devem ser descartadas. - Cuide para que não haja monopolização ou imposição de algum participante.
5) Ordenação das idéias	- Solicite que sejam analisadas as idéias que permaneceram na lista. - Promova a priorização das idéias, solicitando, a cada participante, que escolha as três mais importantes.	- A votação deve ser usada apenas quando o consenso não for possível.

2.10.2 Diagrama de Ishikawa

Também chamado de diagrama de causa e efeito ou diagrama de espinha de peixe devido o seu formato, foi originalmente criado em 1953 pelo professor da Universidade de Tóquio no Japão Kaoru Ishikawa, o qual defendia a ideia de existirem inúmeros fatores relacionados aos problemas de qualidade sendo o diagrama de causa e efeito útil para ordenar as causas de dispersão e organizar relações mutuas ISHIKAWA (1982) apud ANDRADE (2003).

Segundo o Manual de ferramentas da qualidade SEBRAE (2005) o diagrama de causa e efeito é uma técnica de utilizada para relacionar um efeito (problema) e suas

possíveis causas, facilitando a visualização de causas primárias e secundárias relacionadas ao efeito, enriquecendo a análise e busca de soluções. Para construir um diagrama, deve-se, antes de tudo, ter muito bem definido o efeito ou problema indesejado que se queira analisar. A seguir deve-se colocar este efeito dentro de um retângulo e a partir deste traçar uma reta com uma seta apontando para o efeito. A seguir devem-se traçar outras retas de causas primárias, as quais possuem setas numa extremidade apontando para a primeira reta de efeito e na outra extremidade devem-se colocar as principais causas primárias. O levantamento das causas primárias pode ser feito através do brainstorming seguindo-se os procedimentos apresentados e fazendo a seguinte pergunta com relação ao efeito “Por que isto está acontecendo?”. Podem ser quaisquer as causas primárias, desde que estas estejam relacionadas ao efeito avaliado. Uma divisão de causas bastante utilizado é o método 6M que são assim definidos pelas iniciais dos seus fatores: máquina mão-de-obra, meio ambiente, método, medição, material. Esse método pode ser utilizado na maioria das análises de causa e efeito, o que não o torna obrigatório, sendo possível a aplicação e escolha de quaisquer fatores como causas primárias. A partir do traçado das causas primárias, deve a seguir identificar as causas secundárias, dentro de cada causa primária, fazendo, por exemplo, a seguinte pergunta “Como isto está contribuindo para o problema?”. Deve continuar a investigação das outras causas secundárias e suas subcausas até que se esgotem as ideias, chegando assim, num diagrama similar a uma espinha de peixe, daí a relação com o nome. Sendo assim, não necessariamente, os diagramas precisam ter seis causas primárias, sugere-se, porém, que seja colocado o maior número possível de causas para que se possa obter facilidade no processo de investigação. Observa-se um exemplo de diagrama de causa e efeito na Figura 8.

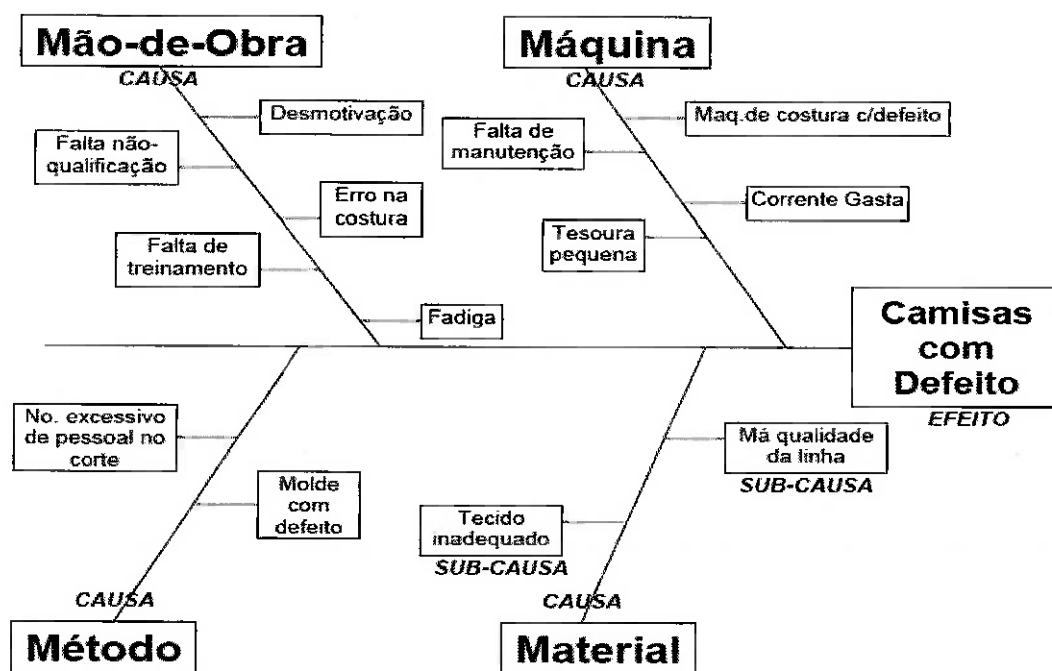


Figura 8 - Diagrama de Ishikawa (Manual de ferramentas da qualidade – SEBRAE 2005).

2.10.3 Diagrama (gráfico) de Pareto

Assim chamado por causa de seu criador Vilfredo Pareto, um economista italiano que ao realizar uma pesquisa sobre a distribuição de renda entre as famílias de uma região italiana, observou que uma pequena parcela das famílias era proprietária da maior parte da riqueza da região. Mais precisamente falando, cerca de 80% da riqueza estava sob o domínio de 20% da população. Essa pesquisa aconteceu em 1987, sendo que mais recentemente, JURAN (1992) aplicou o conceito para classificar os problemas de qualidade classificados em vitais e triviais. Na teoria de JURAN (1992), existe uma regra chamada regra 80/20 onde 80% dos problemas são decorrentes de 20% de causas MEIRELES (2001).

A principal função do gráfico de Pareto é destacar os elementos de um determinado grupo pela sua importância. Os poucos problemas vitais que aparecem devem ser atacados, e somente após a eliminação destes, é que se devem atacar os outros problemas triviais. Para se construir um gráfico de Pareto, deve-se primeiramente criar uma tabela com os dados ordenados de forma decrescente com

a soma total dos elementos no final da tabela, sendo que os elementos que apresentarem cerca de 5% do total devem ser classificados como outros. A seguir deve-se criar uma coluna com os percentuais de cada elemento em relação ao total do grupo. Conseqüentemente, outra coluna deve ser criada com o percentual acumulado dos elementos, somando-se o elemento avaliado com o imediatamente anterior, assim sucessivamente até que se chegue a 100% dos casos. Na tabela 2 relacionam-se elementos de uma análise de problemas em um determinado equipamento. Estes dados foram retirados do histórico de manutenção de uma empresa fabricante de rolamentos de esferas e os valores originais foram multiplicados por um fator, para garantia de confidencialidade de dados.

Tabela 2 - Tabela para construção do gráfico de Pareto.

	Quantidade de falhas no ano	% Individual	% Acumulado
Sensores	2056	78,03	78,03
Válvulas e atuadores	189	7,17	85,20
Motores	130	4,93	90,13
Clp	113	4,29	94,42
Outros	147	5,58	100,00
Total	2635		

A tabela diz respeito ao número de falhas no período de um ano num determinado equipamento. Da esquerda para a direita, tem-se a primeira coluna com os elementos envolvidos, na segunda coluna a quantidade que cada elemento apresentou no período, na terceira coluna os percentuais individuais e na quarta coluna o percentual acumulado, sendo que os percentuais individuais tomam como referência o total do grupo apresentado na última linha da tabela. Com base nesta tabela pode-se criar o gráfico de Pareto indicado na Figura 9.

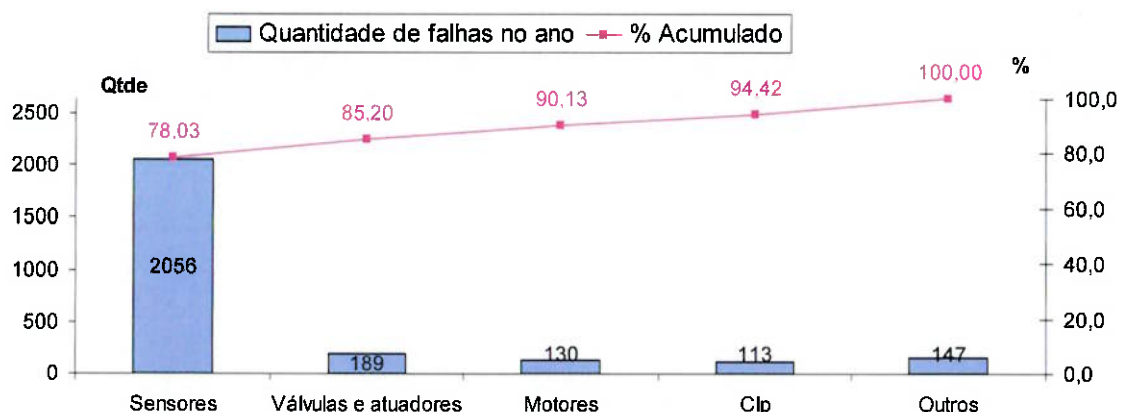


Figura 9 - Gráfico de Pareto.

Com base no gráfico de Pareto, observa-se que os problemas que devem ser atacados primeiramente, dizem respeito a sensores e válvulas e atuadores, pois esses dois elementos representam juntos 85% sendo que, a regra recomenda atacar os elementos acima de 80% com já foi dito anteriormente.

2.10.4 Fluxograma

Muito utilizados para padronizar a seqüências de atividades a serem seguidas durante um processo ou trabalho. Segundo RITZMAN (2004), eles traçam o fluxo de informações, clientes, funcionários equipamentos ou materiais em processo. Não existe um formato único, sendo que algumas informações podem ser disponibilizadas de acordo com o grau de facilidade de entendimento exigido na leitura dos mesmos sendo elas: tempo total por atividade, perdas por problemas de qualidade, frequência de erros, capacidade e o custo RITZMAN (2004).

Na Figura 10 são apresentados alguns dos símbolos mais utilizados, lembrando que não existe uma regra a ser seguida e esses símbolos são os mais usuais e podem ser utilizados caso haja a necessidade, por outro lado novos símbolos podem ser criados, desde que exista uma legenda com as especificações de cada símbolo.



Figura 10 - Símbolos mais utilizados em fluxogramas.

2.10.5 Matriz de Priorização

Como o próprio nome sugere, é uma técnica utilizada para priorizar ações fazendo escolhas com base em critérios mais rigorosos sob determinados focos os quais são escolhidos de acordo com a análise a ser efetuada, confrontando os elementos através de notas atribuídas em relação a cada foco escolhido.

Essas matrizes são muito utilizadas para se priorizar escolhas ou alternativas numa análise individual ou em grupo de problemas e ações. São muito eficientes porque através da enumeração do grau de importância de cada alternativa em relação a cada foco de análise escolhido, pode-se chegar facilmente aos itens mais prioritários. Esse tipo de ferramenta ajuda a priorização de alternativas quando não se tem dados dos problemas ou ações a serem implementadas. Os critérios a serem escolhidos podem ser os mais variados desde que tenham realmente impacto sobre o que está sendo analisado e trabalhado, porém existem matrizes já bem definidas que vem sendo utilizadas com maior frequência no meio industrial. Dentre elas está a matriz de priorização GUT que é muito utilizada dada a sua facilidade de utilização. Nesse tipo de matriz os critérios e focos utilizados são gravidade, urgência e tendência, por isso o nome GUT dada pela suas iniciais. Na Tabela 3 é apresentado um exemplo desse tipo de matriz.

Tabela 3 - Exemplo de matriz de priorização GUT.

PROBLEMA	G	U	T	GXUT
Falta de motivação dos funcionários	3	3	3	27
Alto índice de atrasos no setor de convênio	5	4	4	80
Deficiência na comunicação entre pessoas e setores	3	4	4	48
Falta de padrão na execução de tarefas semelhantes	5	3	4	60
Baixa disponibilidade da rede de computadores	5	5	5	125
Alto índice de insatisfação dos usuários	5	4	2	40

Nas linhas são colocadas as alternativas e nas colunas os critérios utilizados (GUT). Para cada alternativa deve ser atribuído um número de 1 a 5 de acordo com o grau de importância da alternativa sobre cada critério, sendo que o número 1 representa o menos importante e o número 5 o mais importante. Ao final da atribuição dos números, devem-se multiplicar cada critério por alternativa, obtendo-se assim as alternativas mais prioritárias.

2.10.6 Gráficos

Uma ferramenta de grande valor para análise de dados estatísticos, os quais fornecem uma visão rápida e geral do que, como, quando, onde e com que frequência determinados fatos ou problemas está acontecendo, ou seja, os gráficos ajudam e facilitam análises de dados para que se possa ter uma ideia global sobre o assunto tratado, assim como também podem dar uma visão da tendência dos fatos piorarem ou melhorarem. Os tipos de gráficos mais utilizados são o de barra e linha que ajudam na comparação de valores numéricos e os gráficos circulares ou mais comumente chamados de gráficos de pizza que dão uma melhor ideia da proporção em relação ao total de cada item analisado.

2.10.7 5W1H

Este tipo de ferramenta é muito útil para a definição organizada de um plano de ação onde todas as ações para resolução dos problemas devem ser cuidadosamente tratadas para que se possa ter o perfeito controle sobre o andamento das mesmas.

Algumas perguntas devem ser usadas na definição do plano de ação sendo elas:

- **O que** deve ser feito ou que ação será tomada.
- **Quem** deve fazer, ou seja, o responsável pela ação.
- **Quando** ou até quando deve ser feito (prazo).
- **Onde** deve ser feito (local, equipamento, setor, etc.).
- **Porque** deve ser feito ou tomada a ação (justificativa da ação);
- **Como** deve ser feito (detalhamento da ação).

3 APRESENTAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO, PROCESSO E EQUIPAMENTO

3.1 Apresentação da organização

A empresa onde será realizado o estudo de caso é uma conceituada instituição de origem japonesa situada no estado de São Paulo, fabricante de rolamentos de esferas. Com aproximadamente 600 funcionários, a empresa está presente no Brasil desde 1970 e hoje possui uma capacidade mensal de produção que gera aproximadamente 4.200.000 rolamentos. Essa empresa já possui um sistema de gerenciamento pela qualidade total bem definido para o setor produtivo, diferentemente do setor de manutenção, o que reforça a motivação do trabalho para a aplicação de técnicas disponíveis no mercado as quais já vêm sendo aplicadas no setor produtivo da empresa em questão, porém não muito aplicados ao setor de manutenção industrial.

3.1.1 O produto e o processo

Os rolamentos de esferas são formados por alguns componentes padrões conforme a Figura 11.

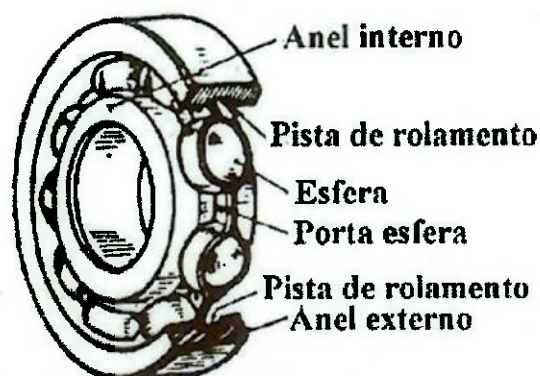


Figura 11 - Esquemática dos componentes dos rolamentos de esferas

O processo de fabricação dos rolamentos de esferas é dividido em várias etapas, não é o foco deste trabalho a apresentação do processo de confecção de esferas e de outros componentes do rolamento de esferas, portanto serão apresentados a seguir apenas os processos de concepção dos anéis internos e externos:

- Recebimento: A matéria prima usada para a fabricação de rolamentos são barras de tubos de aço do tipo SAE52100, como indicado na Figura 12.



Figura 12 - Etapa de recebimento de matéria-prima para a produção de rolamentos de esferas

- Tornearia: Após o recebimento, esses tubos são cortados em vários anéis, os quais são usinados com ferramentas de corte para a conformação inicial dos anéis interno e externo, como indicado na Figura 13.



Figura 13 - Etapas do processo de tornearia dos anéis de rolamento de esferas

- Tratamento térmico: Esse processo, o qual é o foco de estudo deste trabalho, tem a função de dar aos anéis resistência e a dureza necessária para suportar as cargas a que serão submetidos durante o uso. Esse processo indicado na Figura 14, será tratado com maiores detalhes no decorrer do trabalho.



Figura 14 - Etapas do processo de tratamento térmico dos anéis de rolamentos de esferas.

- Retifica: Neste processo, a partir do uso de rebolos de corte, o anel interno e externo são usinados até as dimensões de especificação do produto final, para que possam formar pares, sendo assim, possível a montagem dentro das especificações. Nesse processo, conforme apresentadas na Figura 15, são definidas as dimensões da largura dos anéis externo e interno (Figura 15.1), o diâmetro externo do anel externo (Figura 15.2), o diâmetro da pista do anel externo (figura 15.3), é também definido o diâmetro da pista do anel interno (figura 15.4), o diâmetro do furo do anel interno (Figura 15.5) e por fim o acabamento final (polimento) das pistas do anel interno e externo (Figura 15.6).

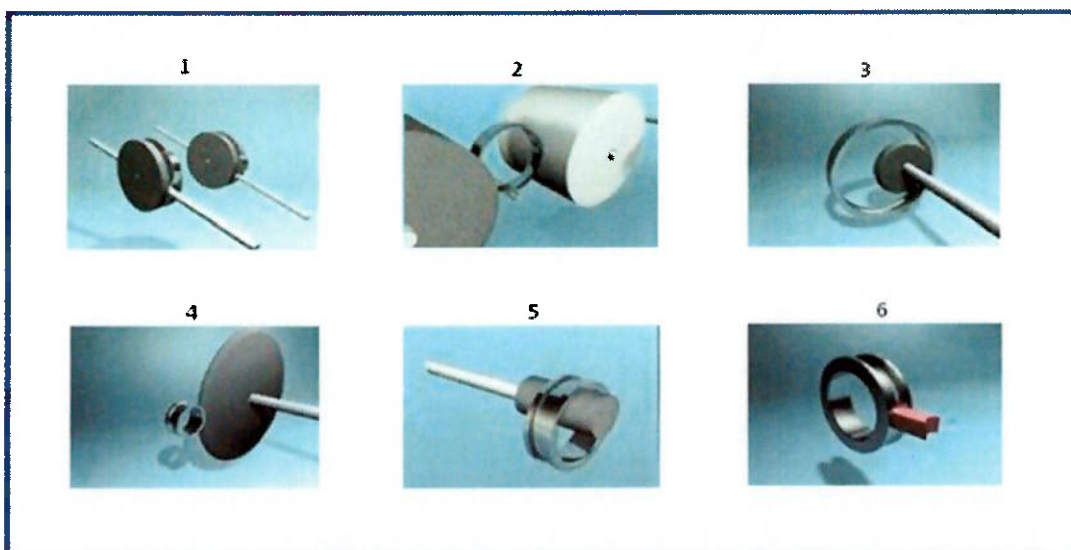


Figura 15 - Etapas do processo de retificação dos anéis de rolamentos de esferas.

- Montagem: Neste processo todos os componentes do rolamento são unidos, sendo que os anéis internos e externos são medidos e separados em pares para a colocação da respectiva esfera, como mostra a Figura 16, dando assim a especificação final de folga do rolamento, em seguida é feito a lavagem e injeção de graxa, sendo por fim feita a gravação do modelo do rolamento e a sua devida embalagem. Durante todo o processo, várias inspeções são executadas por amostragem, para que possa ter o devido controle do processo.



Figura 16 - Processo de montagem dos rolamentos de esferas

3.1.2 O processo de tratamento térmico

O processo onde será aplicado o estudo trata-se do tratamento térmico, o qual segundo ALENCAR (2009) tem como objetivo principal alterar as microestruturas dos materiais metálicos, para a obtenção de propriedades mecânicas que atendam as especificações, que no caso dos rolamentos são dureza, resistência à fadiga e ao desgaste. Diante desses requisitos de qualidade, cabe ao setor de manutenção industrial, manter os fornos em perfeitas condições, estabelecendo e seguindo os planos de manutenção para os mesmos, aumentando assim a confiabilidade do equipamento.

Existem na empresa quatro fornos de tratamento térmico contínuos com esteira transportadora. Cada forno executa quatro etapas diferentes as quais formam o tratamento térmico sendo elas:

- Tempera: trabalha com uma temperatura de 840°C com atmosfera protetora controlada de nitrogênio e metanol. O deslocamento do material é feito por esteira transportadora controlada por variador de velocidade mecânico, sendo que esta velocidade é ajustada de acordo com as dimensões do material a ser processado.
- Resfriamento de Óleo: Tanque com óleo a uma temperatura de 80°C. Local onde todo o material que passa pela tempera é colocado para o seu rápido resfriamento.
- Lavadora: Através de uma segunda esteira o material é retirado do tanque de óleo e direcionado para uma lavadora, a qual faz o resfriamento total do material e retira o resíduo de óleo do material, preparando-o para a etapa de revenimento.
- Revenimento: Última etapa pela qual passa o material, para aliviar as tensões, deixando na dureza e com a resistência desejada.

Todo o processo pode ser mais bem visualizado na Figura 17, onde são apresentadas as quatro etapas do tratamento térmico segundo ALENCAR (2009):

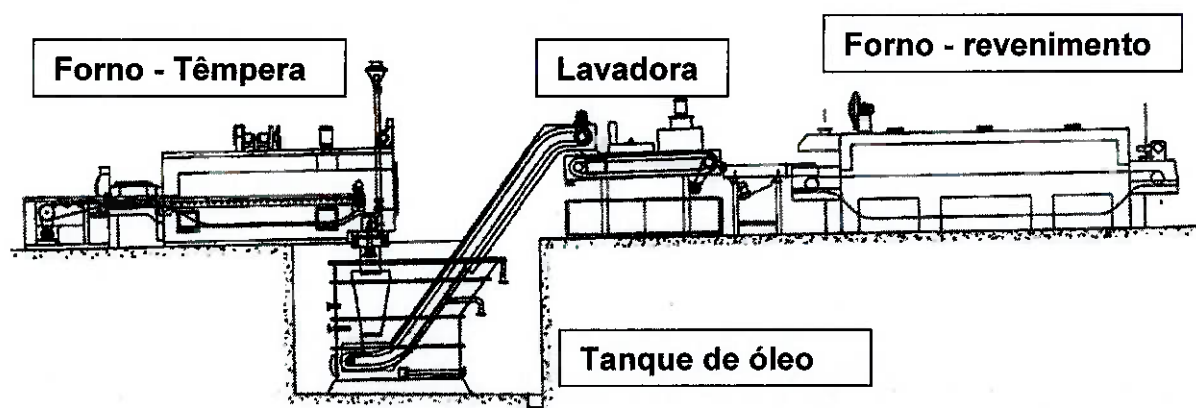
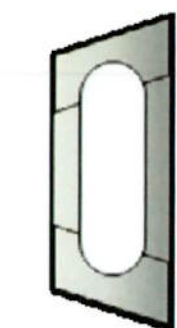


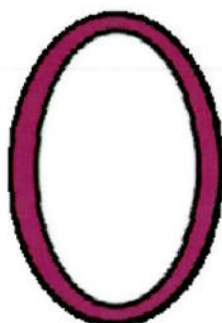
Figura 17 - Esquema do processo de tratamento térmico (ALENCAR, 2009).

ALENCAR (2009) destaca algumas distorções dimensionais nos anéis dos rolamentos, os quais podem ser visualizados como custos de não qualidade conforme citado no capítulo um, caso alguma variável envolvida no processo saia do controle. Eles são demonstrados na Figura 18, conforme ALENCAR (2009);

- ovalização do anel: variação no sentido radial.
- conicidade: variação entre os diâmetros;
- planicidade: abaulamento das faces;



Conicidade



Ovalização



Planicidade

Figura 18 - Exemplos de problemas decorrentes de má qualidade nos anéis de rolamento gerados pelo tratamento térmico.

As variáveis a serem controladas neste processo são: temperatura de aquecimento (tempera), tempo de tratamento, velocidade de aquecimento e resfriamento, atmosfera. ALENCAR (2009).

Essas variáveis precisam necessariamente ser rigorosamente controladas, pois caso ocorra o contrário com qualquer uma das variáveis, o risco de processamento de material com as distorções dimensionais citadas anteriormente é muito grande. Como já foi visto no primeiro capítulo, problemas desta natureza geram custos e prejuízos para a empresa.

O fator qualidade do material não é o único envolvido com perdas nesse tipo de processo, pois se trata de processos críticos, os quais trabalham com o processamento de grandes quantidades de material por hora, para abastecimento dos processos posteriores e consumo do material já processado. Portanto, uma parada de qualquer um desses fornos pode gerar prejuízos de grande impacto para a empresa.

3.1.3 Apresentação do forno sob análise

Por ser o equipamento que tem apresentado os maiores números em horas de parada e perda de faturamento, no setor de tratamento térmico será dado um maior detalhamento sobre as falhas em um dos fornos para que se possam conhecer melhor as etapas de processamento.

O forno sob análise possui um controle de temperatura dado por módulo de potência tiristorizado, o qual alimenta um banco de resistências que aquecem a câmara do forno. Alguns sensores de temperatura (termopares) estão espalhados pela extensão do forno, com a função de monitorarem a temperatura interna do forno, enviando um sinal proporcional a esta variável para controladores de temperatura.

Estes controladores de temperatura recebem e amplificam esses sinais, para que se tenha uma indicação precisa, assim como comparam esse valor com o da configuração que se deseja no processo. Caso haja um desvio entre o valor

recebido e o valor configurado, o controlador envia um sinal proporcional para o módulo de potência tiristorizado, o qual atua novamente sobre o banco de resistências, formando assim uma malha fechada de controle.

A atmosfera no interior do forno também é controlada, através da mistura e injeção dos gases metano e nitrogênio enriquecida com o gás propano. O controle rígido da dosagem desses gases controla a quantidade de carbono na atmosfera interna, o que evita a ocorrência de problemas de descarbonetação e oxidação dos anéis de rolamentos.

Uma sonda monitora a atmosfera interna do forno, enviando um sinal proporcional à quantidade de carbono para um leitor inteligente, o qual verifica a intensidade deste sinal e compara com valores de configuração, enviando um sinal de controle para um controlador de percentual de carbono, o qual injeta mais ou menos a mistura de gases através de uma válvula, sendo que para uniformizar esta atmosfera e evitar concentrações indesejadas, são usados recirculadores de ar acionados por motores elétricos, existindo três recirculadores, um para cada zona do forno.

Como já foi dito anteriormente, esse material é deslocado no interior do forno através de uma esteira transportadora, cuja velocidade é controlada de acordo com a massa do material a ser processado. Todo esse processo ocorre no interior do forno de tempera, sendo que a temperatura de trabalho é de 840°C para qualquer de produto.

Vale ressaltar que o controle de temperatura é feito por zona de aquecimento, ou seja, têm-se três zonas de aquecimento dadas por Z1, Z2 e Z3 sendo que cada zona possui seu próprio termopar, banco de resistências sendo controlados por módulos de potência e controladores de temperatura independentes, numa atmosfera comum para todas as zonas. A temperatura, assim como a velocidade de permanência do material no interior do forno e o controle do potencial de carbono, tem grande influência sobre a característica final de dureza dos anéis de rolamento. Pode-se ter uma melhor ideia sobre o sistema de controle do forno de tempera, observando-se a Figura 19.

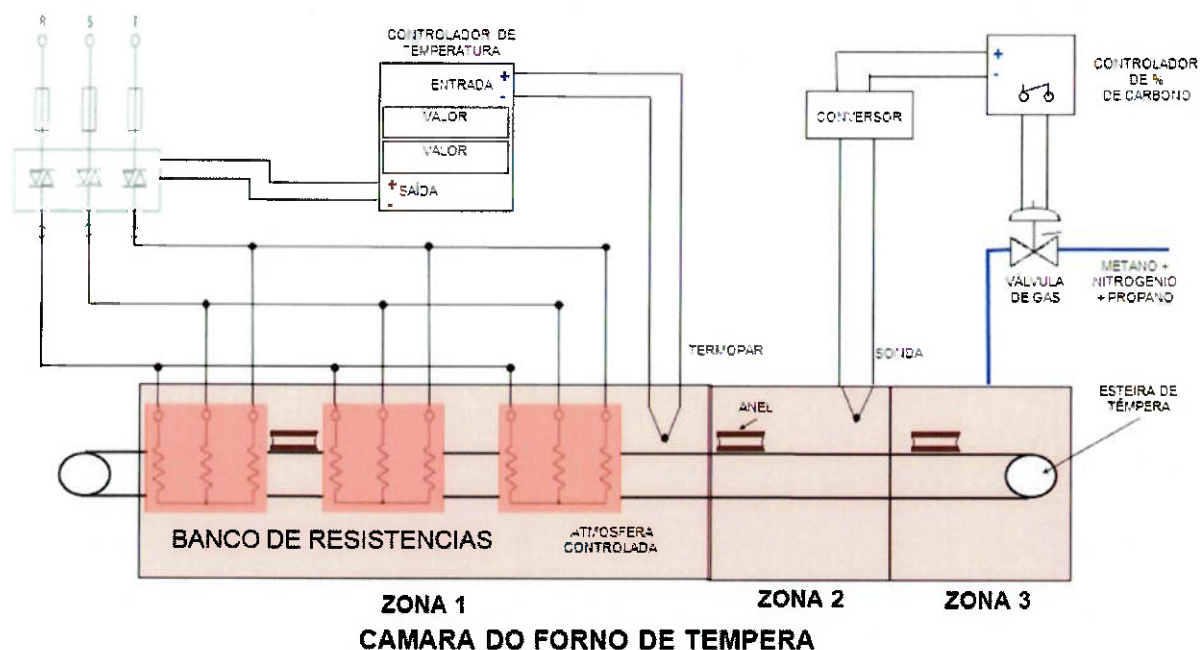


Figura 19 - Esquema de controle de temperatura nos fornos de tempera

Entretanto, no forno de revenimento o método de controle é semelhante, sendo que há inexistência do controle de potencial de carbono dado o fato de não haver esta necessidade. Esse forno opera com 165°C, sendo usada também uma esteira transportadora para deslocar os anéis e o controle de temperatura é feito também por um banco de resistências controlado por módulo de potência, porém de menor capacidade, visto que a temperatura a ser controlada seja menor que a do forno de tempera.

Como foi dito anteriormente, todos os fornos de tratamento térmico da empresa possuem quatro etapas de processamento sendo elas: tempera, banho de óleo, lavadora e revenimento. O forno de número quatro apresenta o mesmo método de controle de temperatura salvo algumas diferenças na forma de chaveamento das resistências que é dado por contadores de potência, assim como as dessas resistências serem menores do que do forno dois. Já os fornos um e três, possuem controle de temperatura efetuado por queimadores a gás, mas não serão detalhados nesse trabalho. Nos tópicos a seguir serão explicados os principais equipamentos para o controle de temperatura do forno de tempera, para que no próximo capítulo seja efetuado o estudo e análise dos dados desse equipamento.

3.1.4 Módulo de potência tiristorizado

Também chamado de conversor ou controlador de potência, o aqui chamado módulo de potência, tem a principal função de controle de cargas indutivas e resistivas, sendo que esses podem permitir a passagem de energia elétrica em níveis controlados, tomando como referência um sinal de comando dado pelo controlador de processo, cujo sinal varia de acordo com a demanda do processo, o que determina o percentual de potência a ser liberado (JORNADA DE ATUALIZAÇÃO EM TECNOLOGIAS TERMICAS, 2009).

Nesse sentido, existem instalados no forno dois (FORN. 2) seis módulos de potência para controle dos bancos de resistências da tempera e revenimento, sendo que três deles operam na etapa de revenimento com uma corrente máxima de chaveamento de 200 A. Os outros três módulos de potência são usados no forno de tempera sendo que cada um controla a potência dos bancos de resistências existentes em cada zona de aquecimento (Z1, Z2 e Z3). Como o maior índice de parada nos períodos analisados é na tempera, serão avaliados somente esses módulos da tempera.

Como cada zona de aquecimento do forno de tempera, possui diferenças entre si no que diz respeito a potência de trabalho, cada um deles trabalha com valores de corrente diferentes entre si, sendo necessário também o uso de módulos de potência com características diferentes por zona de aquecimento conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Comparativo de fabricantes, correntes e tensão dos módulos de potência por zona de aquecimento.

	FABRICANTE	CORRENTE SOLICITADA PELA CARGA (AMPÉRE)	MÁXIMA CORRENTE DE CHAVEAMENTO DO MÓDULO (AMPÉRE)	TENSÃO DE TRABALHO (VOLTS)
ZONA 1	CONTEMP	285 A	300 A	220 V
ZONA 2	CONTEMP	150 A	300 A	220 V
ZONA 3	CONTEMP	150 A	200 A	220 V

Como pode ser observado, os módulos da Zona 1 e da Zona 2 são de fabricantes diferentes. Em investigação do histórico desses módulos, pôde-se verificar que o modelo original do projeto do forno para a Zona 1 e Zona 2 era do mesmo fabricante do módulo utilizado na Zona 3, sendo efetuada a substituição dado o fato desse modelo já não ser mais fabricado. Em suma esta ação de troca foi muito vantajosa porque disponibilizou módulos sobressalentes para o estoque da manutenção, visto que este modelo encontra-se instalado na Zona 3 da tempera e em todas as outras zonas do forno de revenimento.

Também é perceptível pela tabela que o módulo de potência da Zona 1 está trabalhando muito próximo da sua capacidade.

Como foi apresentado na tabela anterior, existem dois módulos do fabricante Contemp modelo CPC de 300A, os quais controlam o aquecimento dos bancos de resistências das zonas 1 e 2, sendo que na zona 3 o módulo utilizado é do fabricante Siemens modelo Modulpac com capacidade de 200A, sendo que esse modelo que também é encontrado no forno de revenimento, já não é mais fabricado atualmente, e que esses módulos também encontravam-se instalados nas zonas 1 e 2, e foram substituídos pelo modelo CPC, justamente para que se tivesse uma garantia de peças em estoque em caso de queima do módulo Modulpac. A seguir na Figura 20, é apresentado um esquema eletrônico do módulo CPC para que se tenha uma melhor ideia do funcionamento da lógica de controle desses módulos.

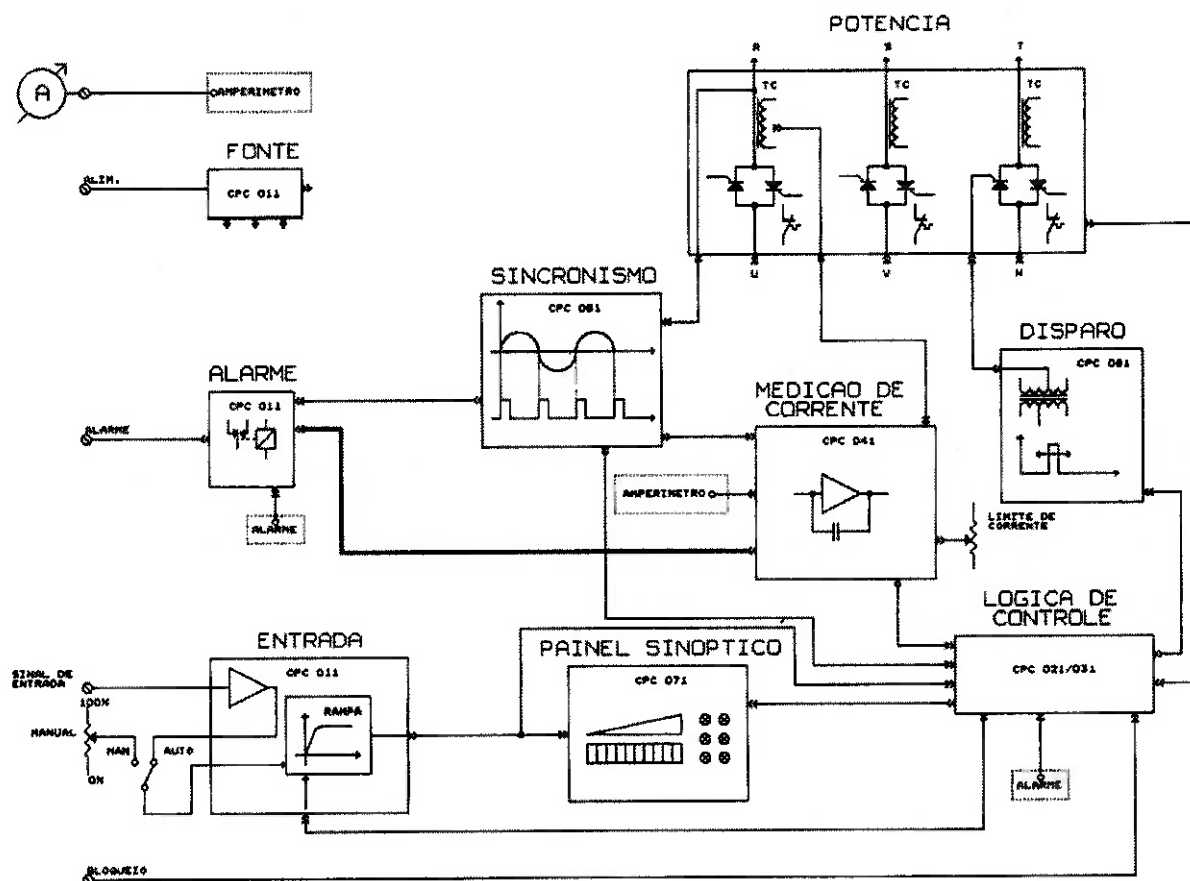


Figura 20 - Esquema eletrônico do módulo de potência CPC (Manual de Instruções – Controlador de potência CPC).

Pela figura pode-se ter uma boa ideia do funcionamento desses módulos. Estes são formados por várias placas com funções específicas cada uma. A placa CPC 011 conforme o manual de instruções tem a função de fonte de alimentação para outras placas e também o controle do acionamento, sendo executado por essa placa o recebimento do sinal de entrada enviado pelo controlador de temperatura, o chaveamento de alarmes, o recebimento de sinal bloqueio externo. Esta também recebe o sinal do potenciômetro acoplado ao módulo para simulação de níveis de potência independentes do sinal externo.

A placa CPC 071 atua sobre o painel indicativo de porcentagem de potência para que se tenha uma indicação do nível de potência chaveado, de acordo com o sinal recebido pela placa CPC 011.

Existem placas de sincronismo que enviam sinais para as placas de disparo dos tiristores, sendo que as placas de sincronismo trabalham com uma placa mestre (CPC 021) e duas placas escravo (CPC 031). As placas CPC 031, atuam sobre as fases "S" e "T" e a placa CPC 021 sobre a fase "R".

As placas de sincronismo atuam sobre as placas CPC 081 de disparo dos tiristores, sendo que existe uma placa de disparo para cada fase sendo ter no total e, por último a placa CPC 081 atua sobre os gates dos tiristores.

Em suma, a lógica de controle seria: CPC 011 recebe sinal de entrada enviando o mesmo para as placas CPC 071 para indicação e CPC 021 / CPC 031, as quais enviam outro sinal para as placas de disparo CPC 081 por fase, e esta por sua vez, atua sobre o gate dos tiristores.

Conforme essa lógica, algumas inspeções são feitas para o devido controle da corrente e sincronismo do disparo. A placa CPC 041 faz a medição da corrente por fase através de transformadores de corrente e a placa CPC 081 monitora o ângulo senoidal da rede de entrada, efetuando o disparo através de um detector de zero, conforme apresentado na Figura 21.

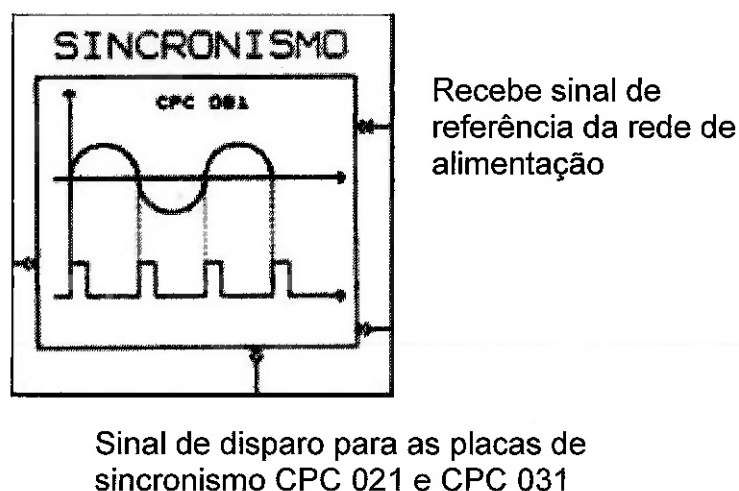


Figura 21- Recebimento e tratamento de sinais placa CPC 081.

Como pode-se observar, sempre que ocorrer a passagem do ciclo senoidal por zero, esta placa envia um sinal para as placas de sincronismo por fase, as quais irão

reenviar o sinal conforme a intensidade do sinal recebido da placa CPC 011 através do controlador de temperatura ou através do potenciômetro interno.

Finalmente, o passo final de funcionamento desses módulos de potência seria o envio de sinal proporcional ao sinal recebido na entrada, para que estes possam chavear a tensão de alimentação, alimentando assim o banco de resistência.

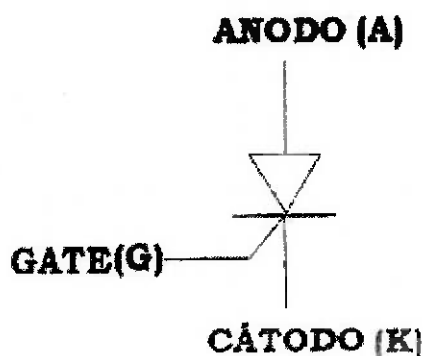


Figura 22 - Símbolo esquemático de um tiristor SCR.

O tiristor é apresentado na Figura 22 é o SCR que são dispositivos semicondutores multicamadas, que permitem a circulação de corrente elétrica pelos seus terminais chamados de catodo e anodo, através da devida ativação de seus terminais de controle chamados de gate. São vários os modelos de tiristores, nos módulos de potência, o tiristor utilizado também é o SCR, o qual em um primeiro instante possui toda a tensão da rede elétrica sobre si (estado de bloqueio). Quando é aplicado um sinal de disparo no seu terminal gate também chamado gatilho, o SCR entra em estado de condução, permitindo a passagem da corrente elétrica num único sentido, ou seja, do terminal anodo para o terminal catodo, onde se encontra acoplada a carga. Quando se aplica um sinal de disparo no gate, existe a circulação de uma pequena corrente para a manutenção do estado de condução, sendo este estado mantido ate que essa corrente sobre o gate seja inferior a uma corrente mínima de chaveamento (JORNADA DE ATUALIZAÇÃO EM TECNOLOGIAS TERMICAS, 2009).

No caso do forno em estudo assim como na maioria dos fornos industriais, a rede de alimentação fornece tensão alternada, o que impossibilita o perfeito

funcionamento do SCR dado o fato do mesmo possuir a característica de funcionamento unidirecional. Nesses casos, uma configuração antiparalela é feita com dois tiristores em cada fase para que os mesmos possam conduzir a corrente elétrica nos ciclos positivos e negativos da senoide. (JORNADA DE ATUALIZAÇÃO EM TECNOLOGIAS TERMICAS, 2009).

A Figura 23 apresenta o tratamento do sinal senoidal recebido pelos SCR's numa ligação antiparalela e por fim mostra o sinal de saída resultante para a carga.

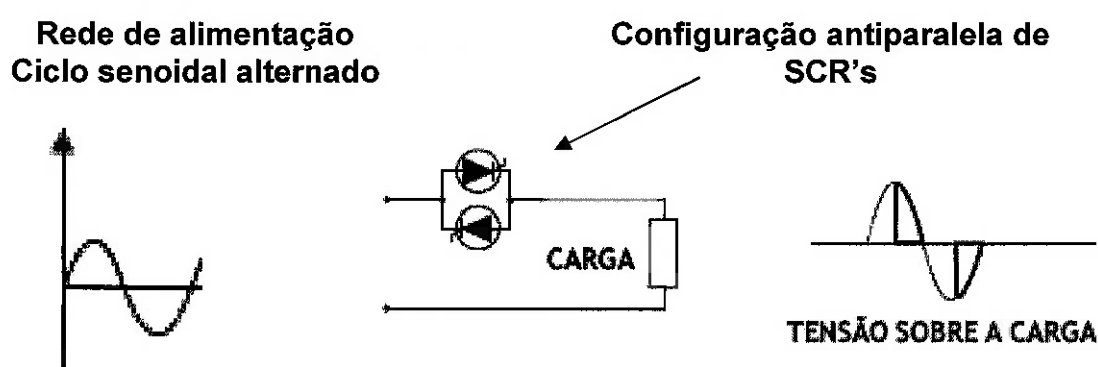


Figura 23 - Esquema de ligação e comportamento dos SCR's para corrente alternada (ligação antiparalela).

A forma de disparo dos SCR's nos módulos de potência em geral é dada por dois métodos diferentes:

- Método de disparo por trem de impulso: usado para o chaveamento de resistências metálicas que tenham variação do valor ôhmico em até 50% entre o estado quente e frio. Possui a vantagem de evitar picos de tensão e distúrbios na rede elétrica. Funciona através do envio de pulsos de senoide com intervalos, sendo que o início e o fim dos pulsos de tensão são sempre efetuados na passagem da senoide pelo zero. (JORNADA DE ATUALIZAÇÃO EM TECNOLOGIAS TERMICAS, 2009).

A Figura 24 apresenta um comparativo entre o sinal de entrada dos módulos de potência, o qual é enviado pelos controladores de temperatura e o sinal resultante

na saída dos módulos de potência para a carga, para um método de disparo de SCR's por trem de impulso.

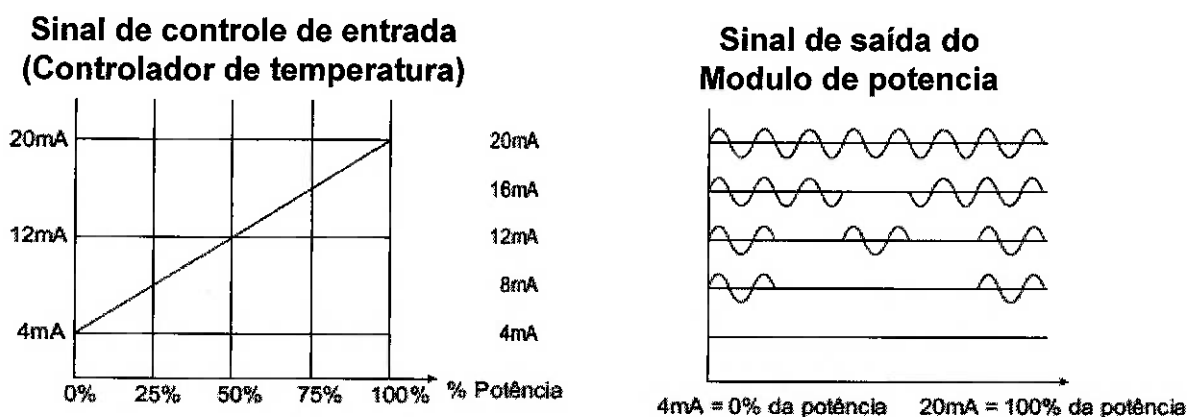


Figura 24 - Método de disparo dos SCR's por trem de impulsos.

Como pode ser visto pela figura, no gráfico a esquerda tem-se a curva do sinal de controle, o qual é emitido pelo controlador de temperatura, de acordo com as informações enviadas pelo termopar com relação à temperatura no interior do forno. Já no gráfico da direita é mostrada a curva de disparo dos tiristores conforme a variação do sinal de controle. Os sinais de disparo são efetuados com uma baixa frequência e são mantidos por um tempo longo, evitando assim que se tenham distúrbios na rede.

- Método de disparo por ângulo de fase: Esse é o método de disparo usado no forno em estudo devido às características do banco de resistência utilizado para aquecimento do forno de tempera. Ele é usado para o chaveamento de cargas não lineares dadas por resistências de carbeto de silício ou tungstênio. Possui a vantagem sobre o outro método de permitir um disparo inicial suave e pode limitar a corrente máxima sobre a carga, porem, pode gerar ruídos e harmônicas no sistema elétrico durante o disparo dos tiristores. Funciona efetuando cortes na senoide em vários ângulos, os quais podem alternar de 0° a 180° . (JORNADA DE ATUALIZAÇÃO EM TECNOLOGIAS TERMICAS, 2009).

A Figura 25 apresenta um comparativo entre o sinal de entrada dos módulos de potência, o qual é enviado pelos controladores de temperatura e o sinal resultante

na saída dos módulos de potência para a carga, para um método de disparo de SCR's em ângulo de fase.

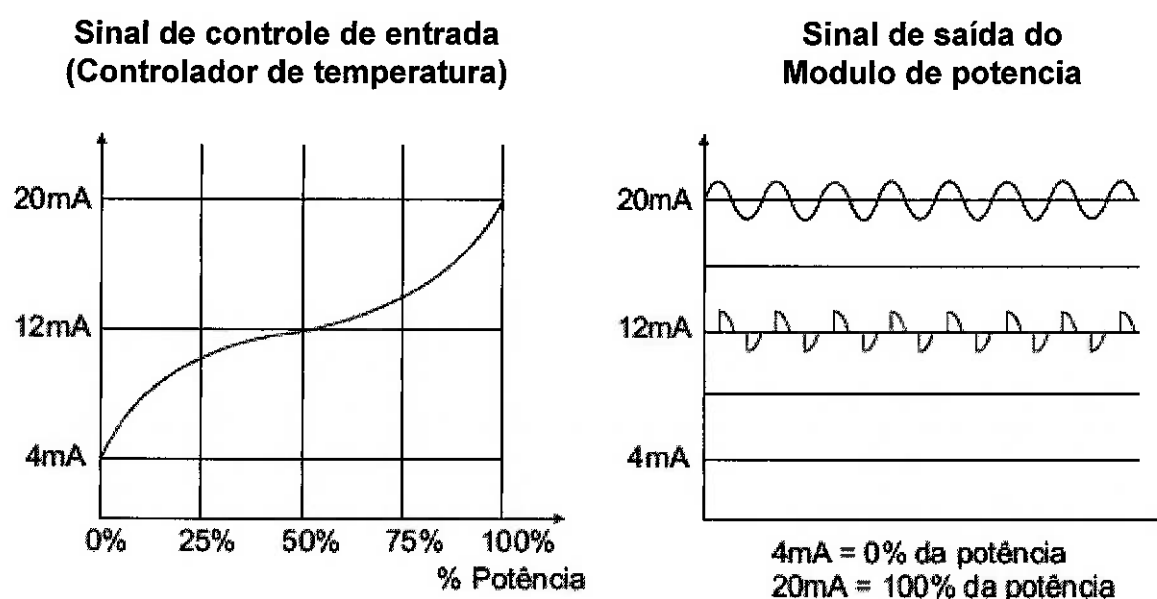


Figura 25 - Método de disparo dos SCR's por ângulo de fase.

Diferente do trem de impulso, o método de disparo por ângulo de fase, possui um sinal de disparo com maior frequência e mantém esses pulsos por menores tempos, com isso o número de disparos é maior, o que ocasiona maiores distúrbios na rede elétrica, o que evidencia claramente uma tendência para o uso do método de disparo por trem de impulso, uma vez que o mesmo apresenta-se mais vantajoso do que o método de ângulo de fase, porém, no caso do forno em questão, é usado o método de ângulo de fase, visto o sistema possui restrições devido às características das resistências utilizadas, as quais serão apresentadas no próximo tópico.

3.1.5 Banco de resistências

Como já é sabido, o forno de tempera possui três zonas de aquecimento sendo que cada zona precisa de um determinado número de resistências para manter a temperatura de 840°C na câmara do forno. No total, o forno de tempera possui 40 resistências no formato de baioneta, de fio tipo kanthal A1 modelo Global, o qual apresenta sua composição física química, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 - Propriedades físico-químicas do fio de resistência Kanthal A1.

		Kanthal A1
Temperatura máxima de operação		1400°C
Composição	Cr	22%
	Al	5,8%
	Fe	72,2%
	Ni	-
Densidade (kg/m³)		7100
Resistividade (a 20°C/ Ω mm²/m)		1,45
Coeficiente de dilatação térmica (1/K de 20 a 1000°C)		15.10 ⁻⁶
Resistência à tração (N/mm²)		680
Propriedade magnética		magnético

As características elétricas das resistências são apresentadas na Tabela 6, sendo apresentadas por zona de aquecimento:

Tabela 6 - Características elétricas das resistências do forno de têmpera 2.

	TENSÃO MÁXIMA POR RESISTÊNCIA (VOLTS)	POTÊNCIA DE CADA RESISTÊNCIA (WATTS)	QUANTIDADE DE RESISTENCIAS NO BANCO	ESQUEMA DE LIGAÇÃO
ZONA 1	63 V	5970 W	18	ESTRELA
ZONA 2	63 V	5970 W	9	TRIÂNGULO
ZONA 3	63 V	5970 W	12	TRIÂNGULO

A rede de alimentação do sistema fornece 220 v trifásica 60hz, a qual é disponibilizada na entrada de três módulos de potência, os quais fornecem alimentação para seus respectivos bancos de resistências por zona de aquecimento.

Como pode ser observado pela tabela a potência de cada resistência do forno é de 5970 Watts, sendo as potências totais de cada banco de resistências diferentes, uma vez que as quantidades de resistências por zona de aquecimento também serem diferentes.

O cálculo da potência total de cada banco de resistências é dado pela multiplicação da potência de cada resistência pela suas quantidades:

$$PtZ_n = N \times Pres. \quad (1)$$

$$PtZ_1 = 18 \times 5970 \text{ W} \rightarrow PtZ_1 = 107.460 \text{ W}$$

$$PtZ_2 = 9 \times 5970 \text{ W} \rightarrow PtZ_2 = 53.730 \text{ W}$$

$$PtZ_3 = 12 \times 5970 \text{ W} \rightarrow PtZ_3 = 71.640 \text{ W}$$

3.1.6 Tubos radiantes

Os tubos radiantes são usados para transmitir a temperatura das resistências para a câmara do forno, evitando assim o contato das mesmas com a atmosfera controlada e o produto. Assim como as resistências, existem 40 tubos radiantes, fabricados de aço inoxidável sem emenda, com diâmetro de 50,8 mm. Como esses tubos servem de acomodação para as resistências, estão dispostos pelo forno na quantidade citada para as resistências por zona de aquecimento.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Levantamento de dados

Foi feito um levantamento detalhado do ano de 2008 e primeiro semestre de 2009 sobre os tempos de parada dos quatro fornos em questão, como mostra a Tabela 7. Vale lembrar que por motivo de confidencialidade de dados, esses números da tabela a seguir foram multiplicados por um fator de segurança:

Tabela 7 - Comparativo de horas de parada no setor de tratamento térmico 2008 e primeiro semestre de 2009.

	MEDIA 2008	abr/09	mai/09	jun/09	jul/09	ago/09	set/09	TOTAL
FORN.1	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
FORN.2	2,1	0,0	8,0	4,5	0,4	2,0	1,3	16,2
FORN.3	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	1,2
FORN.4	0,2	1,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	2,3
TOTAL	2,5	1,3	8,0	7,0	0,4	2,0	1,3	20,0

Desta tabela obtém-se o seguinte gráfico da Figura 26 com horas de parada no tratamento térmico.

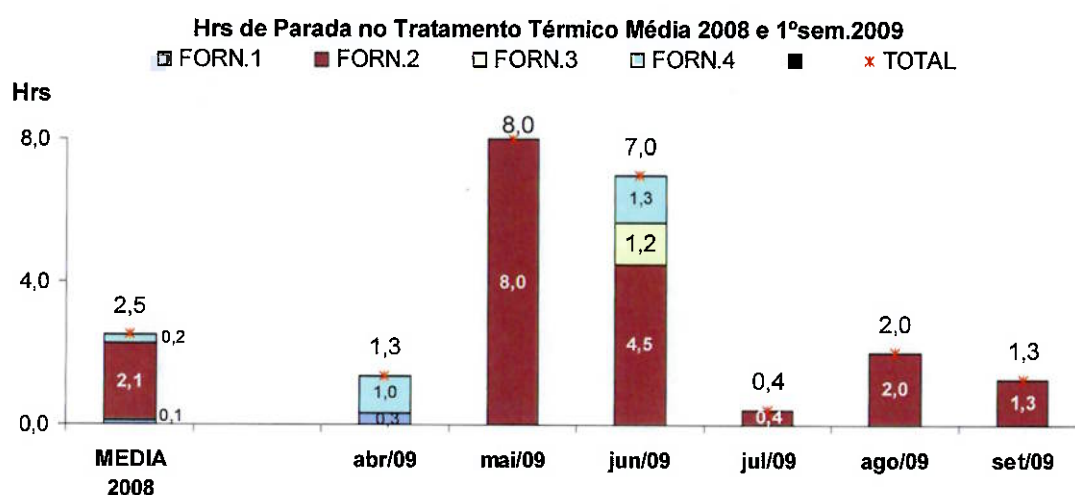


Figura 26 - Gráfico de horas de parada no tratamento térmico.

Pode-se observar pelo gráfico da Figura 26 que o forno dois, no ano de 2008, apresentou o maior percentual de horas de parada no acumulado do setor de tratamento térmico com uma media mensal de 2,1 horas o que representou aproximadamente 84% do total de horas de parada no setor em 2008. Em todo o ano de 2008 o setor de tratamento térmico somou 29,8 horas de parada sendo 25,4 horas deste valor referente ao forno dois. Esse índice torna-se ainda pior no primeiro semestre de 2009 onde o tempo de parada do forno dois corresponde a 16,2 horas num total de 20,0 horas em todo o setor, representando 81% deste total.

Existe um custo médio calculado pelo setor de custos, usado para se obter um valor de referência de custos de parada de máquina nos diversos setores. Por motivo de confidencialidade de dados, será usado um fator multiplicativo para cada valor setorial mantendo-se assim a mesma referência. Estes custos são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Comparativo de perda de faturamento por horas de parada por manutenção no tratamento térmico 2008 e 2009.

EQUIPAMENTOS	TOTAL R\$ 2008	TOTAL R\$ 1ºSEM/2009
FORN.1	R\$ 555,00	R\$ 123,33
FORN.2	R\$ 9.391,83	R\$ 5.981,67
FORN.3	R\$ 30,83	R\$ 431,67
FORN.4	R\$ 1.048,33	R\$ 863,33
TOTAL ACUM.	R\$ 11.026,00	R\$ 7.400,00

Nota-se pela tabela que o equipamento FORN. 2 foi responsável em 2008 por uma perda de faturamento de R\$9.391,83, um valor muito alto em relação aos outros equipamentos que desempenham a mesma função. Observa-se também que só no primeiro semestre de 2009 o valor obtido representa aproximadamente 64% do índice de 2008 com R\$5.981,67. Em relação ao total acumulado do período em 2009 essa perda representa quase 81% de todo o setor de tratamento térmico. Esse é um fator que deve ser observado, visto que este percentual refere-se a apenas metade do período de 2009.

Como já é sabido, o forno dois é dividido em quatro etapas distintas de processamento, como se pode observar, no gráfico a seguir são apresentados alguns dados de horas de parada por etapa de processamento no forno dois e, a etapa de tempera apresenta os maiores tempos de parada no ano de 2008 com uma média mensal de 2,1 horas e no primeiro semestre esse número já representa 2,6 horas das 2,7 horas totais do forno dois, o que chama muito a atenção visto que na

média a etapa de tempera representa 96% do total do forno dois, ou seja, quase que todas as paradas do forno dois são na etapa de processamento de tempera. Isto pode ser visto com maiores detalhes no gráfico da Figura 27.

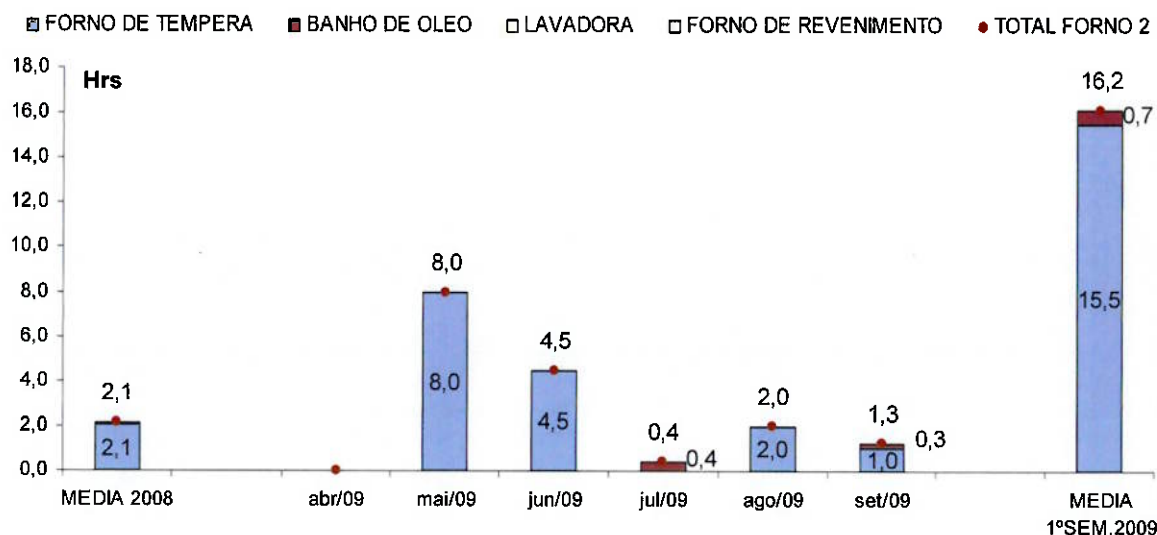


Figura 27 - Gráfico de horas de parada no forno dois por etapa de processamento.

É muito bem claro pelo gráfico que a etapa de tempera no forno dois se sobressai sobre as outras etapas. Alguns fatores determinantes para que isso aconteça, talvez seja o fato da potência de trabalho desse forno ser bem superior em relação a potência dos outros fornos, a quantidade de resistências também é superior ao restante, sem dizer a temperatura de trabalho que é centenas de vezes maiores que o revenimento e o banho de óleo. Com base nisso, esses fatores e outros devem ser avaliados para que possa assim ter o controle sobre os problemas.

A seguir será analisada a etapa de tempera por completo, dividindo-a em subconjuntos. No gráfico de pareto da Figura 28, são apresentados os principais conjuntos que contribuíram para esses tempos de parada na etapa de tempera do forno dois. Como até agora estão sendo apresentados os dados de 2008 e 1ºSEM.2009, foi analisado o total acumulado dos dois períodos (18 meses) para que se tenha uma melhor ideia do comportamento dos conjuntos:

TOTAL DE HORAS DE PARADA POR CONJUNTO
2008 + 1ºSEM.2009

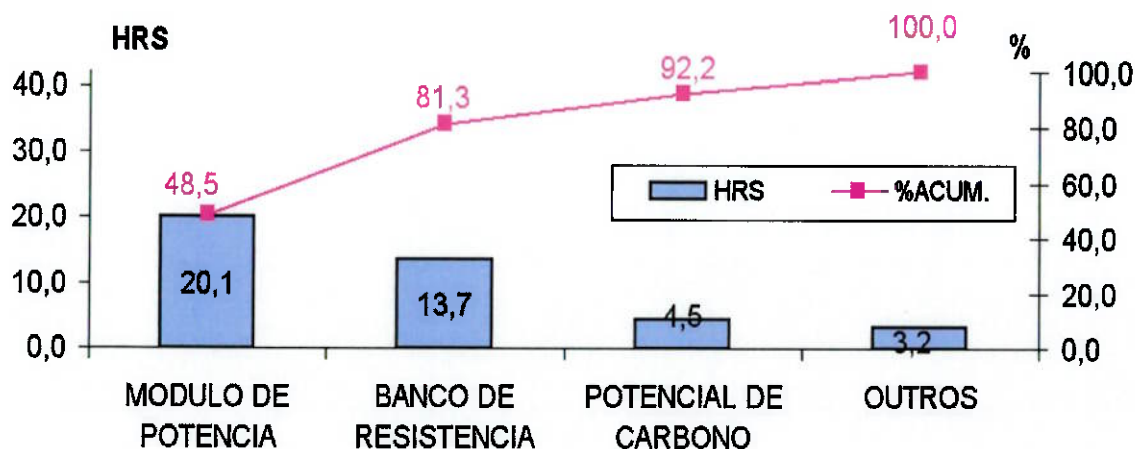


Figura 28 - Gráfico de Pareto com horas de parada por conjunto da Têmpera.

Os conjuntos que apresentaram os maiores tempos de parada no período acumulado de 2008 e 1ºSEM.2009 foram módulo de potência com 48,5% e banco de resistência com 32,89% levando-se em consideração o total de 41,5 horas de parada em todo o forno de tempera.

4.2 Análise das causas

Para se chegar às causas raízes dos problemas nesses dois conjuntos, foram efetuadas algumas reuniões com o grupo de mantenedores, para que se pudesse obter uma relação dos tipos de problemas encontrados nos dois conjuntos. Utilizando algumas ferramentas da qualidade para análise e resolução de problemas, especialmente o brainstorming e diagrama de causa e efeito (Diagrama de Ishikawa), pôde-se chegar aos principais problemas relacionados. Na Figura 29, é apresentado este diagrama resultante, lembrando-se que a ferramenta de brainstorming foi utilizada, obedecendo-se à seqüência de uso apresentada na Tabela 1, apresentada no segundo capítulo, durante as reuniões para elaboração do diagrama de causa e efeito.

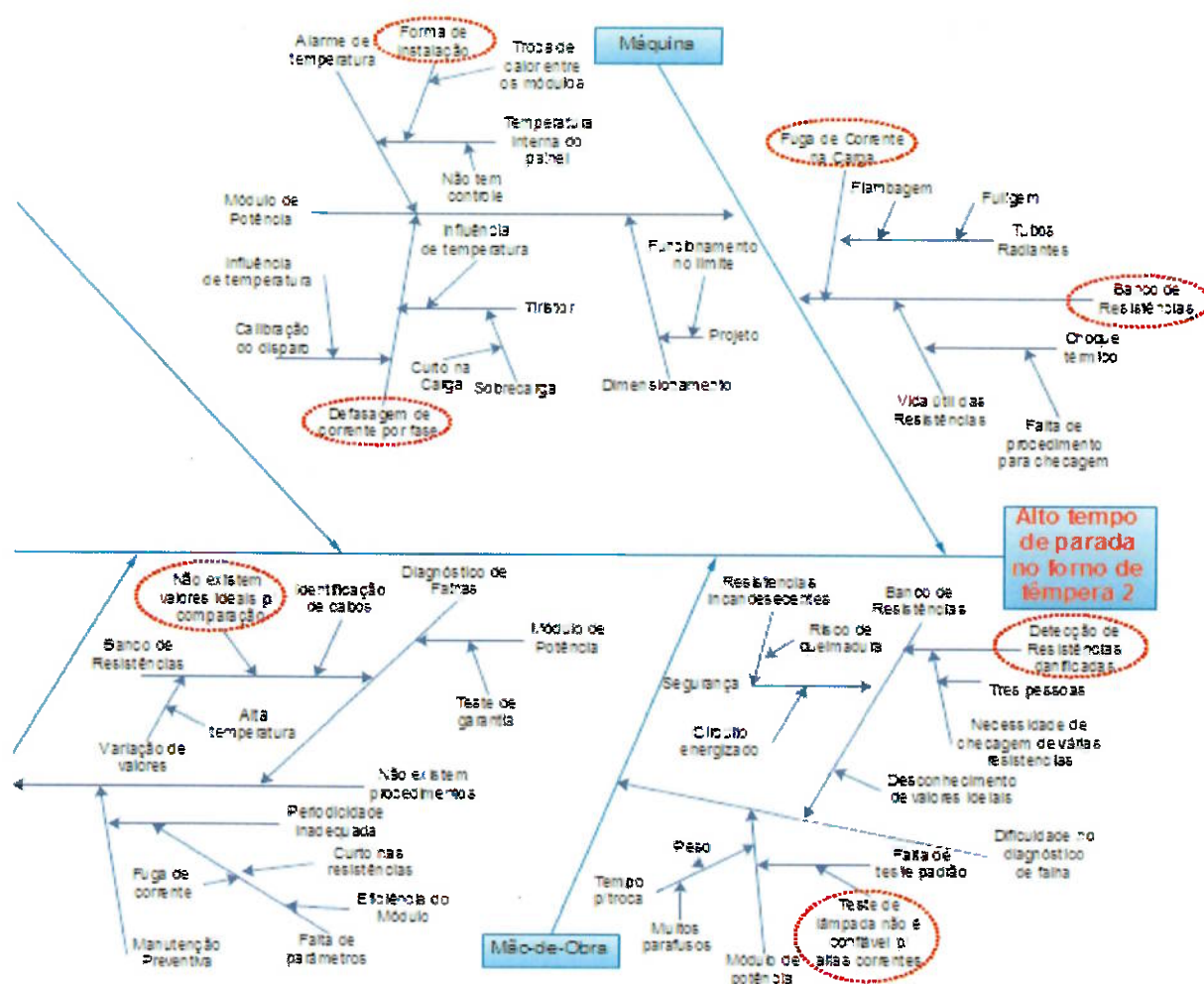


Figura 29 - Diagrama de Causa e efeito (busca dos principais problemas com módulo de potência e Banco de Resistência no Forno de Têmpera dois).

Vários problemas e dificuldades foram levantados, assim como prováveis causas foram colocadas em pauta pelas pessoas que estão diretamente envolvidas com o assunto, ou seja, os mantenedores. A partir deste levantamento, um novo diagrama foi desenhado, destacando-se as principais causas-raiz que estivessem relacionados às prováveis causas levantadas no diagrama principal. Na Figura 30 é apresentado este diagrama com cada causa-raiz identificada por um numero de 1 a 18:

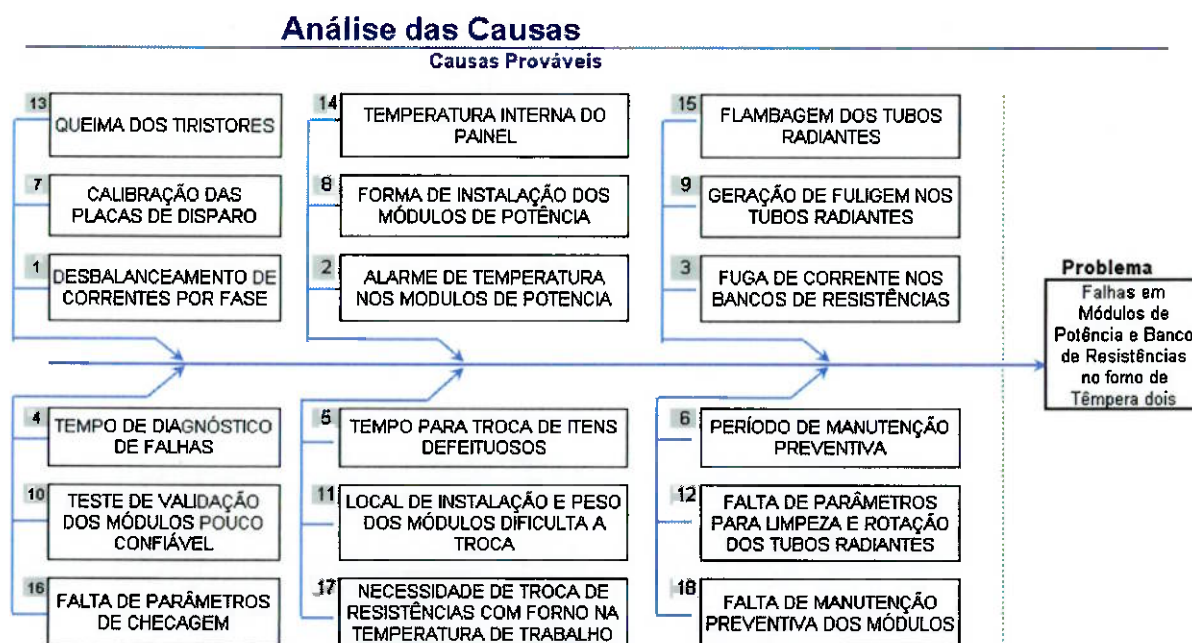


Figura 30 - Diagrama das principais causas-raiz relacionadas a problemas com módulo de potência e banco de resistências.

Cada causa-raiz deve ser analisada com maiores detalhes, assim como devem ser estudados métodos e meios de eliminar ou mesmo diminuir a intensidade do impacto que o efeito desses problemas pode trazer ao processo produtivo. Como são muitas as causas levantadas, devem-se priorizar aquelas que poderão trazer bons resultados em pouco tempo, assim como aquelas causas que sejam consideradas mais críticas podendo ocasionar grandes perdas a empresa. Para a priorização dos problemas mais críticos, foi utilizada a matriz de priorização apresentada na tabela abaixo, a qual levou em consideração a intensidade dos impactos do problema sob o foco de qualidade através a geração de possíveis produtos defeituosos, o foco de custo considerando-se as perdas de produção e custos de manutenção de equipamentos e custos de mão de obra, o foco de segurança, considerando-se a segurança do patrimônio e das pessoas envolvidas, no foco de moral considerando-se a rotina dos mantenedores e estresse gerado pela parada do equipamento e por fim o foco do atendimento considerando-se os tempos de resolução de possíveis problemas para liberação do equipamento no menor tempo possível. Para a avaliação destes cinco focos diferentes de priorização, cada foco foi avaliado com as notas 1, 3 e 5 considerando-se que os que receberem nota 5 serão chamados de mais críticos naquele foco de priorização, assim como os itens que receberem a nota 1 serão chamados de menos críticos naquele foco de

priorização. Por fim, os itens foram ordenados em ordem de priorização do mais prioritário para o menos prioritário e foram atacados nesta ordem, tal como apresenta a Tabela 9.

Tabela 9 - Matriz de priorização de problemas sob o foco de qualidade, segurança, custo, moral e atendimento.

ANÁLISE DAS HIPÓTESES		FOCO DE PRIORIZAÇÃO					
ITEM	CAUSAS RAIZ	QUALIDADE	SEGURANÇA	CUSTO	MORAL	ATENDIMENTO	TOTAL
1	FORMA DE INSTALAÇÃO DOS MÓDULOS DE POTÊNCIA	1	5	5	5	5	21
2	ALARME DE TEMPERATURA NOS MÓDULOS DE POTÊNCIA	5	1	5	5	5	21
3	TEMPO DE DIAGNÓSTICO DE FALHAS	1	5	5	5	5	21
4	FALTA DE PARÂMETROS DE CHECAGEM	1	5	5	5	5	21
5	TEMPO PARA TROCA DE ITENS DEFEITUOSOS	1	3	5	5	5	19
6	LOCAL DE INSTALAÇÃO E PESO DOS MÓDULOS DIFICULTA A TROCA	1	5	3	5	5	19
7	FUGA DE CORRENTE NOS BANCOS DE RESISTÊNCIAS	5	1	5	5	3	19
8	NECESSIDADE DE TROCA DE RESISTÊNCIAS COM O FORNO NA TEMPERATURA DE TRABALHO	1	5	3	5	5	19
9	GERAÇÃO DE FULIGEM NOS TUBOS RADIANTES	5	1	5	3	3	17
10	FLAMBAGEM DOS TUBOS RADIANTES	5	1	5	3	3	17
11	FALTA DE PARÂMETROS PARA LIMPEZA E ROTAÇÃO DOS TUBOS RADIANTES	5	3	3	3	3	17
12	TESTE DE VALIDAÇÃO DOS MÓDULOS POUCO CONFIÁVEL	3	1	3	5	5	17
13	TEMPERATURA INTERNA DO PAINEL	3	1	5	5	1	15
14	QUEIMA DE TIRISTORES	5	1	5	3	1	15
15	PERÍODO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA	5	1	5	3	1	15
16	FALTA DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA DOS MÓDULOS	5	1	3	1	3	13
17	CALIBRAÇÃO DAS PLACAS DE DISPARO	5	1	3	1	3	13
18	DESBALANCEAMENTO DE CORRENTES POR FASE	3	1	3	3	1	11

4.3 Plano de ação

A matriz de priorização aponta que os trabalhos devem ser direcionados aos quatro primeiros itens, os quais obtiveram a maior pontuação em relação a todos dos focos de priorização. Para organizar as ações de melhoria propostas pelo grupo de mantenedores foi utilizada parcialmente a ferramenta 5W1H, com o propósito de obter um melhor planejamento das ações, responsáveis e prazos para implementação das mesmas conforme Tabela 10.

Tabela 10 - Plano de ação (5W1H) para implementação das melhorias.

Problema	Motivo	Nº	O Que Fazer	Como Fazer	PRAZO
ALARME DE TEMPERATURA NOS MÓDULOS DE POTÊNCIA (Itens 1 e 2)	FORMA DE INSTALAÇÃO DOS MÓDULOS DE POTÊNCIA	1	MUDAR FORMA DE FIXAÇÃO DOS MÓDULOS DE POTÊNCIA.	INSTALAÇÃO DOS MÓDULOS NA HORIZONTAL.	out-09
	TEMPERATURA INTERNA DO PAINEL	2	INSTALAR CONDICIONADORES DE AR NO PAINEL PRINCIPAL.	COMPRA E INSTALAÇÃO DE CONDICIONADORES DE AR NO PAINEL PRINCIPAL	jun-09
TEMPO DE DIAGNÓSTICO DE FALHAS (Itens 3 e 4)	DIAGNOSTICO DE FALHAS NOS MÓDULOS DE POTÊNCIA	1	CRIAR ESQUEMA COM VALORES DE CORRENTE E TENSÃO PADRÃO E MONTAGEM DE PROCEDIMENTO PADRÃO.	CÁLCULO DE VALORES TEÓRICOS, MEDIÇÃO DE VALORES REAIS.	abr-10
	DIAGNÓSTICO DE FALHAS NO BANCO DE RESISTÊNCIA			MONTAGEM DOS PROCEDIMENTOS PADRÃO.	
TEMPO PARA TROCA DE ITENS DEFEITUOSOS (Itens 5 e 6)	PESO DOS MÓDULOS DE POTÊNCIA	1	MUDAR A FORMA DE FIXAÇÃO DOS MÓDULOS.	CONFECÇÃO E INSTALAÇÃO DE SUPORTE PARA FIXAÇÃO DOS MÓDULOS.	mar-10
	QUANTIDADE DE CABOS CONECTADOS AOS MÓDULOS	2	ESTUDO DE CONEXÃO RÁPIDA DE CABOS.	DESENVOLVIMENTO DE CONEXÃO RÁPIDA DOS CABOS (CONSULTA AO FORNECEDOR)	abr-10
	TROCA DE RESISTÊNCIAS A QUENTE	3	ESTUDO DE SISTEMA MAIS SEGURO DE TROCA DE RESISTÊNCIAS.	ELABORAÇÃO DE SISTEMA DE IÇAMENTO DAS RESISTÊNCIAS DURANTE A TROCA	jun-10
FUGA DE CORRENTE NOS BANCOS DE RESISTÊNCIAS (Itens 7, 8, 9, 10 e 11)	FLAMBAGEM DOS TUBOS RADIANTES	1	ROTAÇÃO DOS TUBOS RADIANTES.	EFETUAR A LIMPEZA E INSPEÇÃO DOS TUBOS RADIANTES E RESISTÊNCIAS APÓS QUATRO MESES	mai-10
	DETERIORAÇÃO DA PAREDE INTERNA DOS TUBOS RADIANTES (EXCESSO DE FULIGEM)	2	REDUÇÃO DA PERIODICIDADE DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA ANUAL PARA QUADRIMESTRAL.		
	FALTA DE PARAMETROS PARA O PERIODO OTIMO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA	3	ESTUDO DE SISTEMA DE MONITORAMENTO DE FUGA DE CORRENTE.	TESTE E SIMULAÇÃO EM BANCADA E IMPLANTAÇÃO NO FORNO.	jun-10

Com base neste plano de ação, serão demonstrados a seguir os problemas e as ações de melhoria implementadas para cada problema.

O primeiro item levantado pelos mantenedores é a forma de instalação dos módulos de potência, o que segundo os mantenedores poderia ser responsável por estar contribuindo para os constantes alarmes de temperatura seguidos de bloqueio da saída dos módulos, o qual vem em segundo lugar. Em terceiro e quarto lugar está o tempo para diagnóstico de falhas, justificado pela não existência de padrões de checagem com valores de referência e pela constante variação de valores de corrente e tensão sobre as resistências, assim como a impossibilidade de medição de resistência ôhmica uma vez que os valores sejam muito próximos a zero, dentro desse contexto está também a dificuldade de diagnóstico de falhas nos módulos, uma vez que os testes existentes para validação dos módulos não os submetem a

correntes elevadas sendo muito útil apenas para checagem do disparo das saídas por fase. Do sétimo até o décimo primeiro item as causas levantadas dizem respeito a fuga de corrente existente dos bancos de resistências para os tubos radiantes, o que acontece devido ao desprendimento natural de fuligem das paredes internas dos tubos, o que se em grande quantidade pode ocasionar o contato entre as espiras das resistências com a parede dos tubos. Abaixo são apresentadas as situações problemas para um melhor entendimento.

O fabricante dos módulos de potência recomenda uma temperatura de trabalho entre 10°C e 35°C (Manual de Instruções – Controlador de potencia CPC). Existe um sensor de temperatura instalado nos dissipadores dos módulos de potência configurado para bloquear o funcionamento e acionar uma saída de alarme de temperatura quando a mesma atingir 85°C, que segundo o fabricante do equipamento seria a temperatura limite para que os módulos funcionem dentro de suas características. Os tiristores (SCR) se aquecem naturalmente quando estão em modo de condução, os mesmos são instalados em dissipadores, os quais são refrigerados por ventiladores para que ocorra uma perfeita troca de calor e a temperatura de trabalho seja mantida, sendo que os sensores de temperatura ficam constantemente monitorando a temperatura nos dissipadores para uma devida proteção dos tiristores.

A questão levantada na análise de causas e efeito com relação a problemas de temperatura foi o modo de instalação dos módulos de potência, assim como a temperatura interna do painel onde os mesmos encontram-se instalados, ou seja, os problemas com temperatura estariam sendo gerados pela forma de instalação dos módulos sendo que os mesmos poderiam estar trocando calor entre si não dissipando a temperatura de seus tiristores adequadamente ao ambiente, o que é mostrado com maiores detalhes na Figura 31.



Figura 31 - Modo de instalação dos módulos de potência (relação de temperaturas e suas influências).

Outro fator seria a própria temperatura interna do painel onde os módulos encontram-se instalados, o que foi posteriormente monitorado e constatado uma temperatura média no interior do painel no período observado de 50°C, visto que a temperatura ambiente média tinha uma variação entre 20 e 22°C conforme pode ser visto pela figura anterior. Com estas temperaturas ambientes, foram registradas nos tiristores, temperaturas máximas de aproximadamente 70°C com os módulos de potência funcionando em plena carga. Esse é um fator que deve ser avaliado, visto que a temperatura máxima recomendada pelo fabricante como já foi citado é de 85°C, a qual poderia vir a ser atingida em dias mais quentes.

Em consulta ao manual de instalação dos módulos de potência observou-se uma recomendação importante por parte do fabricante, sugerindo a instalação desses módulos de forma que a entrada e saída de ar fiquem a uma distância de pelo menos 15 cm de outros componentes que possam prejudicar esta circulação de ar. Nos módulos instalados, a distância entre eles é de 10 cm, o que pode estar contribuindo para uma má circulação de ar. Para resolver este problema foi efetuada uma modificação na instalação dos módulos conforme apresentado na Figura 32.

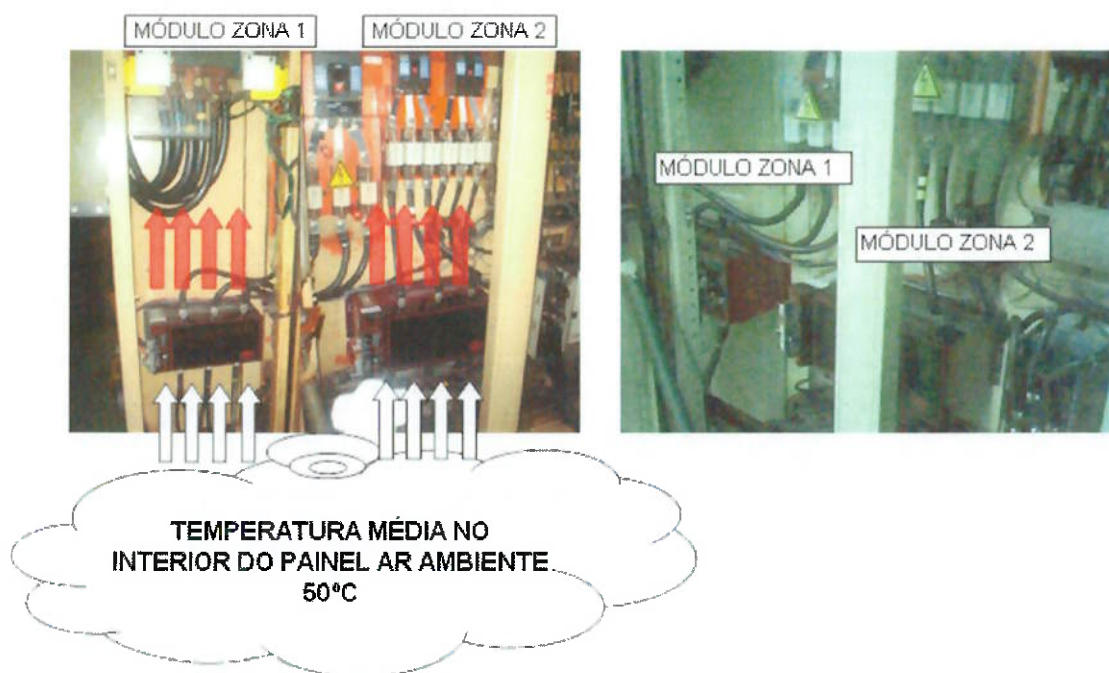


Figura 32 - Modificação na forma de instalação dos módulos de potência para melhor dissipação de calor.

4.3.1 Diagnóstico de problemas

A terceira e quarta causas levantadas no diagrama e causa e efeito foram com relação ao tempo e dificuldade de diagnosticar as falhas na ocorrência dos problemas, principalmente no que diz respeito a desbalanceamento de correntes. As correntes enviadas para a carga são monitoradas pelos operadores dos fornos em tempos pré-definidos, para a verificação imediata de anormalidades para que possam ser informadas ao setor de manutenção com rapidez. Existem três amperímetros um para cada fase, por zona de aquecimento, existindo, portanto nove amperímetros por zona de aquecimento no forno de tempera. Conforme é mostrado na Figura 33.

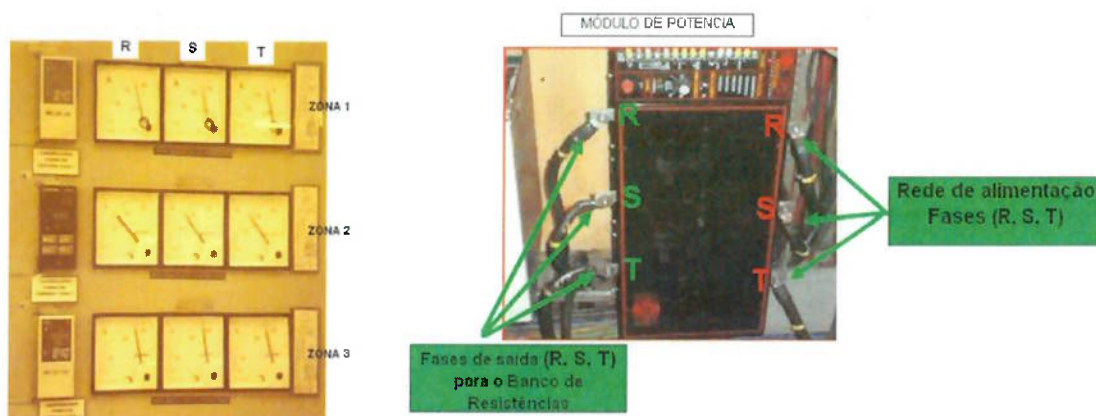


Figura 33 – Amperímetros de monitoramento de corrente elétrica.

Observa-se pela figura, ao lado esquerdo encontram-se os amperímetros de monitoramento de corrente por fase e por zona de aquecimento, devidamente identificados, seguido ao lado direito a representação e identificação das fases nos módulos de potência. A situação é exatamente como esta sendo mostrado na figura, ou seja, observa-se pelos ponteiros dos amperímetros que não existem diferenças de grande proporção por fase em todas as zonas de aquecimento. Esta condição é observada periodicamente e em caso de uma diferença acima de 15 ampéres por fase, já é considerada como uma situação indesejada conforme mostrado na Figura 34, sendo, portanto acionado o setor de manutenção, o qual deve avaliar as causas desbalanceamento.

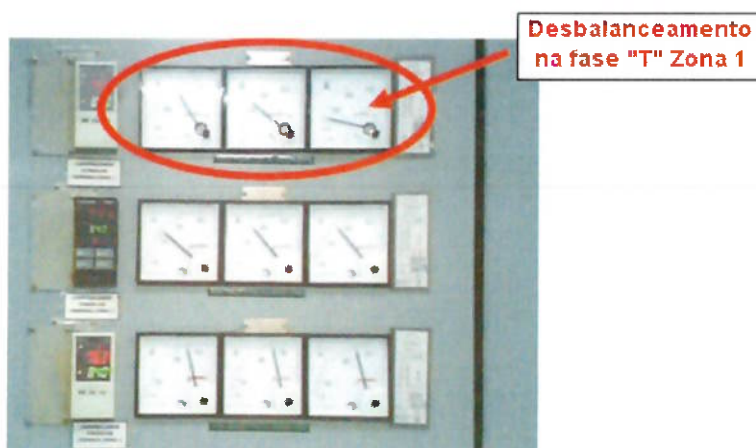


Figura 34 - Exemplo de desbalanceamento de corrente por fase na Zona 1.

A questão da investigação das causas para diagnóstico dos problemas de desbalanceamento de corrente por fase foi apontada pelos mantenedores como um item que contribui para o elevado tempo de parada no forno de tempera, visto que após a falha não se sabe ao certo por onde começar, pois existem neste caso duas possíveis causas, ou o problema é no módulo de potência ou no banco de resistências. A dificuldade está na identificação do conjunto defeituoso. Com relação ao módulo de potência, o procedimento adotado é a verificação da tensão de saída através de um conjunto de três lâmpadas ligadas na configuração estrela, onde deve ser verificada a intensidade luminosa das três lâmpadas, o que fornece parâmetros relacionados ao disparo dos tiristores, caso a intensidade das lâmpadas estejam diferentes, provavelmente existe um defeito no módulo e o mesmo deve ser substituído. A intensidade luminosa deve ser observada, aumentando-se gradativamente o valor do potenciômetro de simulação de sinal de entrada no modo manual, com a carga desligada. Pode-se paralelamente à visualização de intensidade luminosa das lâmpadas, efetuarem a medição da tensão de saída com aparelho apropriado, observando se a diferença de tensão entre as fases não ultrapasse 10% o que segundo o fabricante não é aceitável. A seguir é demonstrado esse procedimento para melhor entendimento na Figura 35.



Figura 35 - Teste do disparo dos tiristores com o uso de lâmpadas.

O procedimento de checagem para casos de desbalanceamento de corrente é apresentado na Figura 36.



Figura 36 - Procedimento do teste de lâmpadas, verificação pelos amperímetros e constatação de problema com instrumento adequado.

Pela figura, o teste das lâmpadas sinaliza o correto funcionamento do módulo de potência. Após a reinstalação da carga, as medições com os amperímetros mostram um desbalanceamento de corrente entre fases de mais de 100 amperes. Como os amperímetros também podem apresentar falhas na medição, deve-se constatar a diferença com outro aparelho confiável, no caso da figura um alicate amperímetro. Os fatos da figura apontam para falhas na carga. Essas falhas podem acontecer por erros na interligação do banco o que pode vir a sobrecarregar algumas resistências mais do que outras, provocando sua dilatação excessiva, por fuga de corrente para a carcaça do forno, dado pelo contato entre resistência e as paredes dos tubos radiantes ou mesmo por curto entre espiras das resistências, dado pelo excesso de fuligem entre as espiras como mostra as figuras 37 á 40.



Figura 37 - Exemplo de Resistência nova.



Figura 38 - Dilatação de resistência dado por erros de interligação do banco.



Figura 39 - Exemplo de curto de fuga entre resistência e carcaça e tubo radiante.



Figura 40 - Exemplo de curto de fuga entre resistência e carcaça e tubo radiante.

Qualquer uma três falhas mostradas acima, provocam um desbalanceamento da resistência ôhmica de todo o banco de resistências, na fase em que ocorrer a falha, o que conseqüentemente ocasiona um desbalanceamento de corrente, que pode ser monitorado pelos amperímetros. Com o desbalanceamento de correntes, a potência total do sistema também fica comprometida, o que pode vir a ocasionar falha no aquecimento e na manutenção da temperatura do forno.

Voltando ao diagrama de causa e efeito discutido com os mantenedores envolvidos, observou-se a dificuldade de efetuar medições nos bancos para diagnosticar problemas na carga. Essa dificuldade é dada pelo fato da alta temperatura nas resistências ocasionar variações de correntes, e queda de tensão sobre as mesmas, o que impossibilita um diagnóstico preciso. Esta é ainda aumentada pela quantidade de resistências por banco e pela disposição e má identificação dos cabos, conforme é apresentado na Figura 41.



Figura 41 - Disposição das resistências e dos cabos de interligação.

Nessa perspectiva, como foi dito que o banco de resistências da zona 1 é ligado na configuração estrela, os das zonas 2 e 3 na configuração triângulo. Para facilitar o diagnóstico de falhas nesses bancos foi numerado todas as resistências, assim como retirado o esquema de interligação das mesmas para facilitar a análise dos circuitos, o esquema de cada zona de aquecimento é apresentado pela Figura 42.

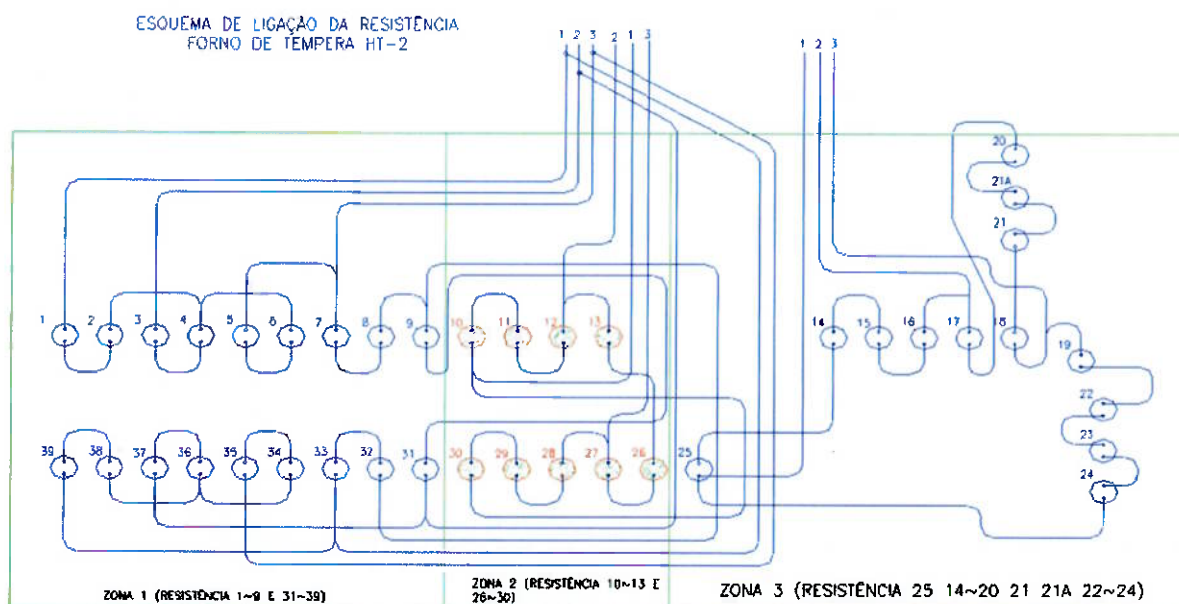
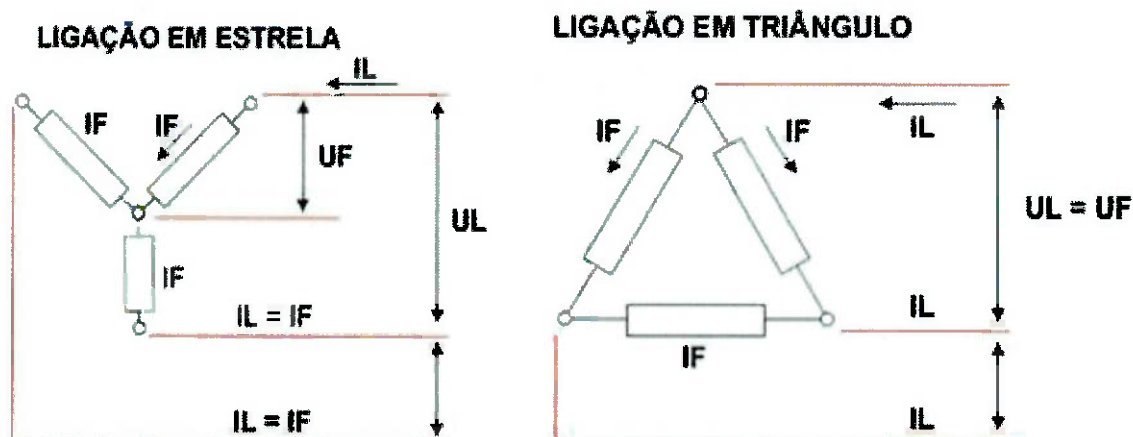


Figura 42 - Esquema de ligação das resistências do forno de tempera dois.

Este esquema de ligação das resistências, assim como a numeração e identificação das resistências, é de grande valor para facilitar a identificação dos cabos e seus respectivos terminais de interligação, evitando assim que ocorram erros de interligação.

Foram também calculados, com base na potência, tensão de trabalho e a configuração dos bancos de resistências, os valores teóricos de corrente em cada ponto dos bancos, assim como a comparação desses valores com valores reais, o que facilita a análise de falhas, pois fornece aos mantenedores valores de referência para que sejam feitas as comparações dos mesmos com valores medidos em campo. Na Figura 43 são apresentados o esquema simbólico das configurações estrela e triângulo, assim como as fórmulas para cálculo das variáveis envolvidas no circuito, bem como as relações existentes entre elas:



LIGAÇÃO EM TRIÂNGULO	
UL = UF	
IL = $\sqrt{3} \times IF$	
PF = UF X IF	
PT t = 3 x PF	
UL = UF	V
IF =	A
IL =	A
PT t = 3 x UF x IF	
PT t = $\sqrt{3} \times UL \times IL$	
PT t =	W

LIGAÇÃO EM ESTRELA	
UL = $\sqrt{3} \times UF$	
IL = IF	
PF = UF X IF	
PT e = 3 x PF	
UL =	V
IF =	V
IL = IF =	A
PT e = 3 x UF x IF	
PT e = $\sqrt{3} \times UL \times IL$	
PT e =	W

LEGENDA

UF = TENSÃO DE FASE (TENSÃO NO ELEMENTO DE AQUECIMENTO)
 UL = TENSÃO DE LINHA (ENTRADA DE ENERGIA EX.: 220V OU 380V)
 IF = CORRENTE DE FASE (CORRENTE SOBRE O ELEMENTO DE AQUECIMENTO)
 IL = CORRENTE NA LINHA DE ALIMENTAÇÃO
 PF = POTÊNCIA TOTAL EM UMA FASE
 PT e = POTÊNCIA TOTAL TRIFÁSICA EM LIGAÇÃO ESTRELA
 PT t = POTÊNCIA TOTAL TRIFÁSICA EM LIGAÇÃO TRIÂNGULO

Figura 43 - Circuito em estrela e triângulo e cálculos referentes aos circuitos (disponível em: www.therma.com.br/artigos/calculo_potencia_trifasica.pdf).

Seguindo as fórmulas apresentadas acima para cálculo de valores de corrente e tensão nos bancos de resistências, foram montados os seguintes esquemas

contendo os valores teóricos de cada zona de aquecimento para efeito de análise e comparação e são apresentados na Figura 44.

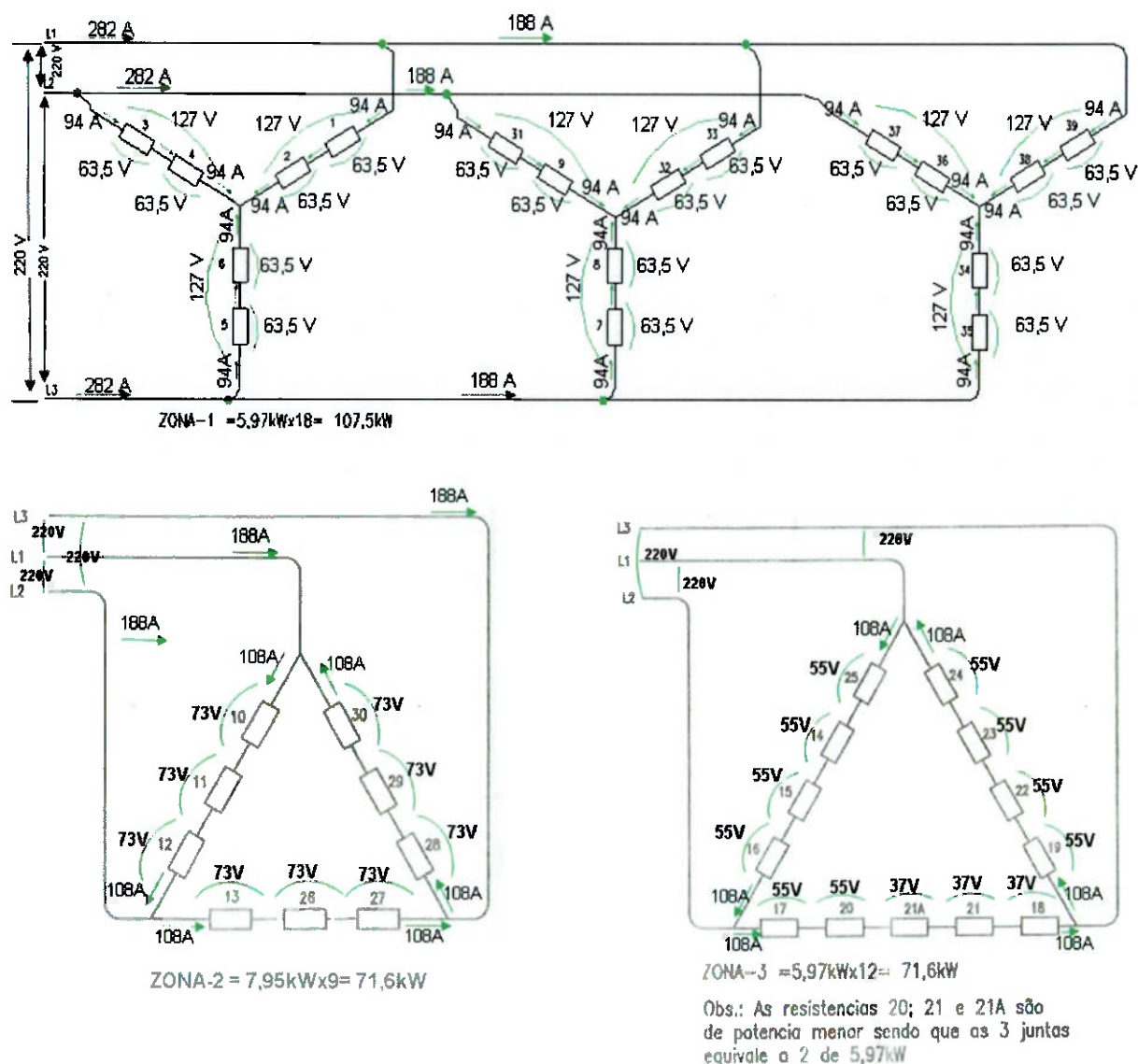


Figura 44 - Valores de referência de corrente e tensão elétrica no banco de resistências ZONA 1, ZONA 2 e ZONA 3 do Forno de Têmpera dois.

Esses esquemas facilitam muito, a análise e diagnóstico de problemas, pois, no caso de falhas no aquecimento do forno, possibilita a comparação dos valores teóricos com os valores reais de corrente e tensão sobre as resistências. Claro que os módulos de potência responsáveis por fornecer a energia elétrica necessária para aquecer as resistências também podem entrar em falha e provocar um desequilíbrio no sistema gerando dúvidas na análise feita pelos mantenedores. Para evitar que

isso aconteça, um procedimento seqüencial de análise faz-se necessário conforme apresentado no fluxograma da Figura 45.

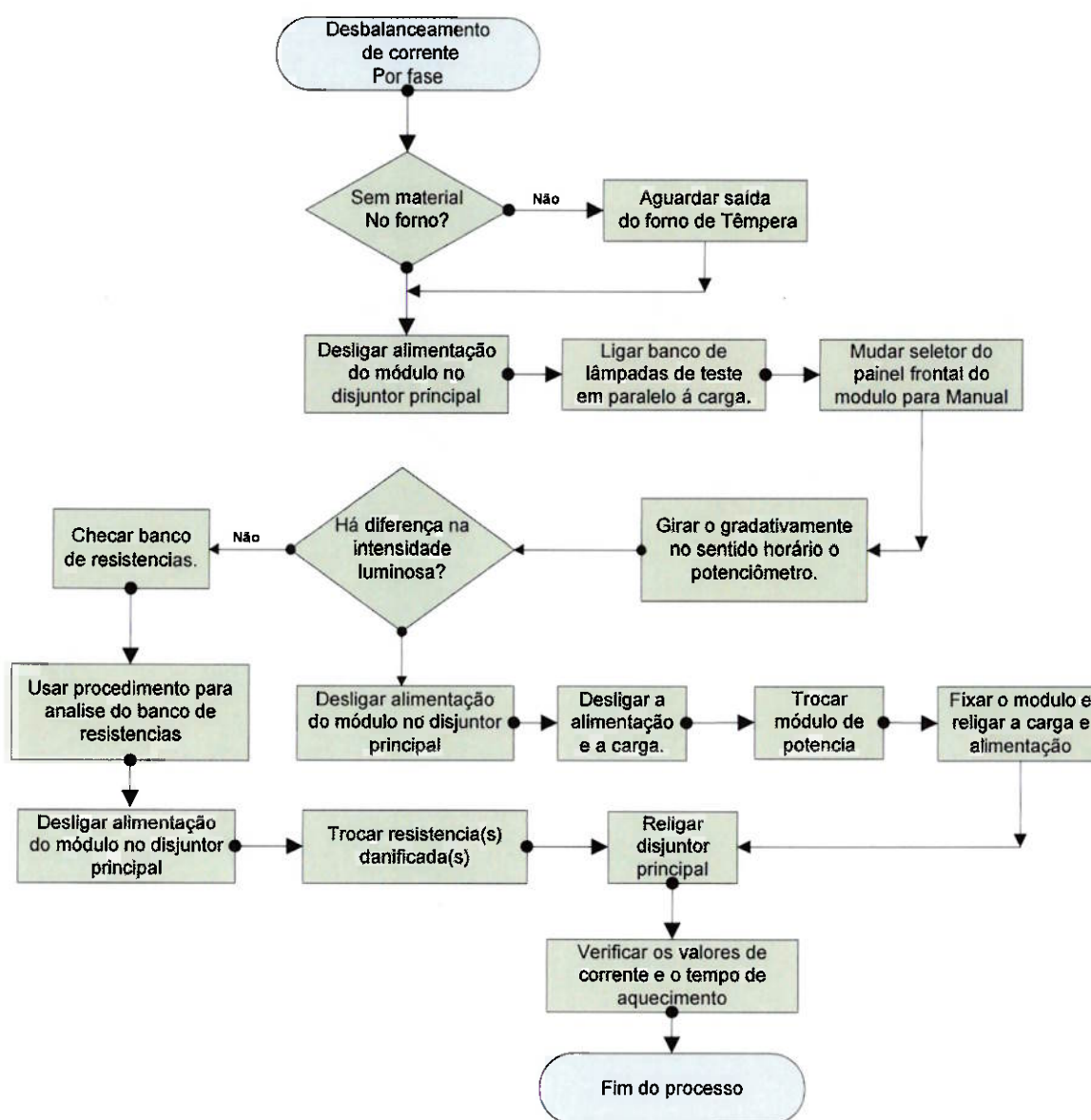


Figura 45 – Fluxograma para de diagnóstico de falhas.

A criação de procedimentos com a seqüência das atividades para diagnostico de falhas facilita o bom andamento, para uma rápida resolução das falhas, pois com atividades padrão evita-se a ocorrência de erros nessas seqüências e há uma melhoria no desempenho dos mantenedores, pois se faz necessário o treinamento de todos os envolvidos com o trabalho. O tempo médio de manutenção pode ser reduzido consideravelmente, pois, com a criação desses procedimentos há uma melhor investigação das dificuldades, e oportunidades de melhoria nas atividades.

Existe uma ligação do fluxograma acima com outro procedimento no que diz respeito a checagem do banco de resistência, uma vez que neste tipo de atividade, as dificuldades encontradas são de outra natureza. Na Figura 46 é apresentado o fluxograma de checagem dos bancos de resistências, considerando que o fluxograma anterior já tenha sido seguido e a constatação do perfeito funcionamento do módulo tenha sido alcançada.

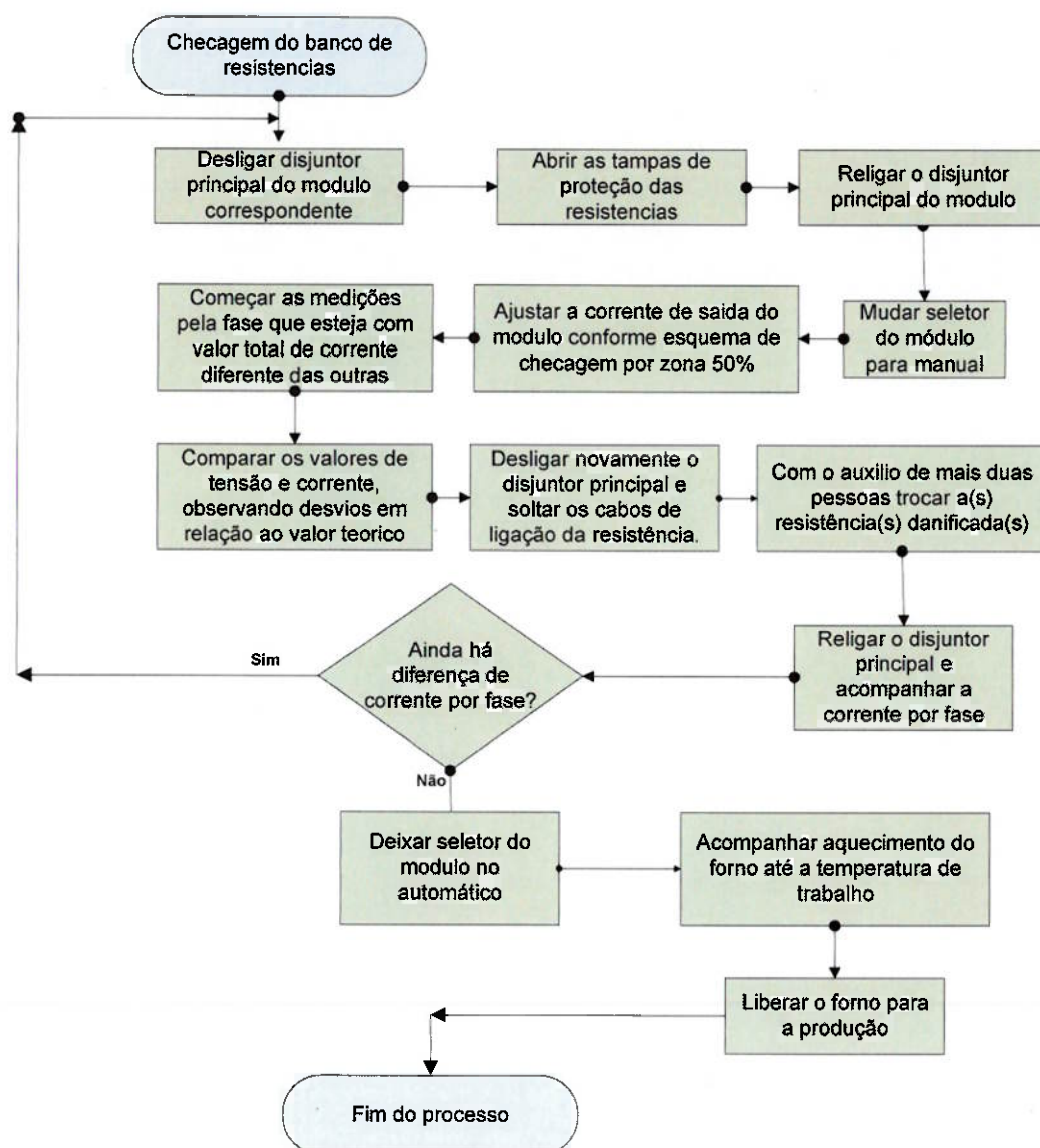


Figura 46 - Procedimento para checagem do banco de resistências.

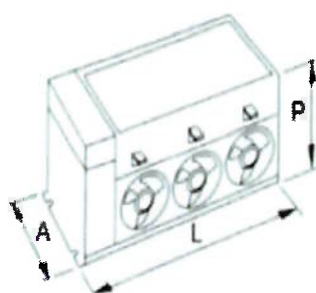
Com a montagem desses procedimentos, conseguem-se então melhorias para as falhas levantadas na tabela de análise das hipóteses para os quatro primeiros itens considerados críticos, os quais se encontram identificados pela faixa laranja.

4.3.2 Outros problemas relevantes

Continuando a análise das hipóteses, os dois primeiros itens da faixa amarela dizem respeito à dificuldade de troca dos módulos de potência quando em falhas. Em consulta ao manual do equipamento (Manual de Instruções – Controlador de potência CPC), obtiveram-se os valores da dimensão e peso dos módulos CPC conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 - Tabela com dimensões e peso dos módulos de potência CPC ((Manual de Instruções – Controlador de potência CPC).

Dimensional



Corrente Máxima (A)	Medidas (mm)			Peso (Kg)
	A	L	P	
100 / 150 / 200 / 250 1F	200	230	240	9.0
100 / 150 / 200 / 250 2F	200	360	240	12.0
200 / 250 3F	200	360	240	17.0
400 / 500 / 600 1F	200	490	240	12.0
400 / 500 / 600 2F	390	280	255	26.0
400 / 500 / 600 3F	390	430	255	30.0
100 / 150 3F	390	580	255	10.4

Conforme apresentado na tabela acima, os módulos de potência CPC utilizados no forno possuem 200x360x240 com um peso total de 17 kg, o que dificulta muito a retirada do módulo em falha e instalação do módulo novo. Isso ainda fica pior, dado o fato do local de instalação desses módulos não ser de muito fácil acesso, de haver muitos cabos para serem desconectados e a forma de fixação por parafusos oferecer grande dificuldade na troca dos mesmos. Abaixo são apresentadas algumas destas dificuldades nas Figuras 47 e 48.



Figura 47 - Dificuldade para troca dos módulos de potência CPC.



Figura 48 - Forma de fixação dos módulos CPC.

Observa-se que por do seu peso, a troca e fixação dos módulos CPC é dificultada, caso somente um mantenedor efetue o serviço. Para melhorar essas atividades, foram propostas algumas ações conforme mostra a Figura 49.



Figura 49 - Melhoria na forma de fixação dos módulos de potência CPC.

O tempo de substituição dos módulos CPC foi medido antes e depois da alteração na forma de fixação e chegou-se a uma redução de cerca de 15 minutos no tempo total de troca destes módulos, sem contar a praticidade com que os mesmos são substituídos sem exigir muito dos mantenedores.

Na seqüência da análise de hipóteses de falhas dada pela tabela 9, tem-se no final da faixa amarela e em boa parte da faixa verde, ou seja, do item 7 ao item 11, tem-se as hipóteses levantadas com relação à fuga de corrente no banco de resistências, dado por deterioração dos tubos radiantes, mais especificamente na flambagem desses tubos e na geração de fuligem no seu interior seguida de deterioração da parede interna, o que pode vir a ocasionar o contato entre resistência e tubo radiante, gerando assim fugas de corrente a terra.

Outra hipótese de falha levantada pela tabela (item 11) foi com relação à questão da periodicidade de limpeza e rotação desses tubos radiantes de forma preventiva, o que, sendo feito em períodos adequados, poderia minimizar ou até eliminar a ocorrência deste tipo de falha. A seguir são apresentadas algumas figuras para que se tenha uma melhor ideia sobre essas falhas. A Figura 50 apresenta o fenômeno de flambagem.



Figura 50 - Exemplo de flambagem dos tubos radiantes.

Devido o trabalho em altas temperaturas, com o tempo estes tubos radiantes perdem sua linearidade, e isto pode provocar o indesejado contato entre as resistências e a parede interna dos tubos gerando fugas de corrente no seu interior, o que ocasiona desbalanceamento de corrente por fase.

INTERIOR DO TUBO RADIANTE

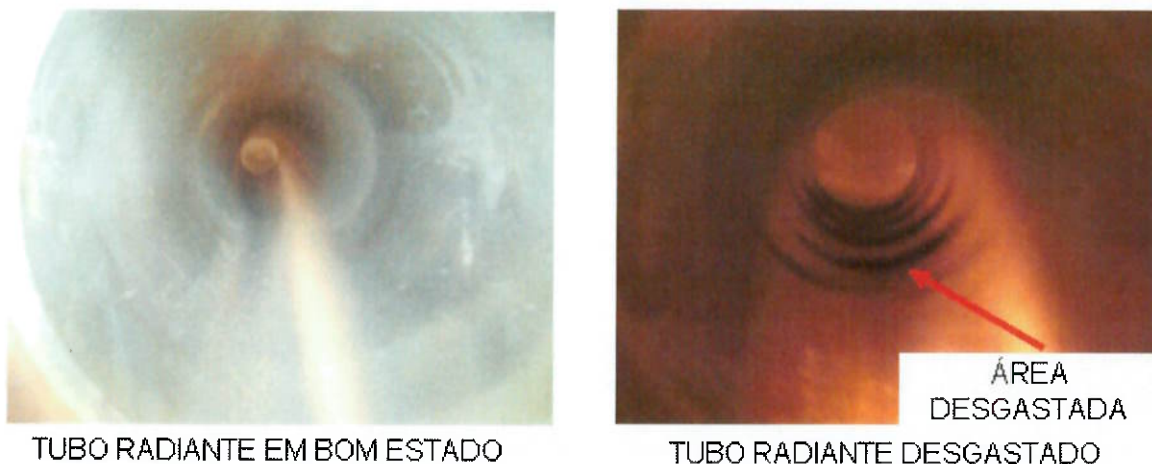


Figura 51 - Exemplo de desgaste dos tubos radiantes.

Como pode ser observada na Figura 51, a área escura do interior de um dos tubos radiantes, exemplifica o desgaste das paredes internas ocasionado pela geração de fuligem como é mostrado em foto após intervenção preventiva e limpeza dos tubos radiantes. Essa quantidade de fuligem foi retirada dos tubos radiantes para que se tivessem parâmetros ideais de limpeza e checagem destes tubos, visto que isto só possa ser feito com o forno em uma temperatura mais baixa que a temperatura de trabalho, para que não ocorram choques térmicos nas resistências. O período inicialmente adotado para limpeza dos tubos radiantes era anual, porém em análise a dados anteriores, observou-se que este período não era ideal para garantir que não ocorressem falhas entre uma manutenção e outra. Com base nisso, a periodicidade foi reduzida para quatro meses para que se pudesse ter um parâmetro de comparação, efetuando-se esta manutenção preventiva por oportunidade em uma dada parada do forno. Na Figura 52 é demonstrada a quantidade de fuligem retirada dos tubos radiantes na manutenção preventiva efetuada no mês de abril de 2010.



Quantidade de fuligem retirada em intervenção

Figura 52 - Manutenção preventiva efetuada em Abril de 2010.

Com a periodicidade adotada de quatro meses para a manutenção preventiva, pode-se observar que a quantidade de fuligem retirada, como mostrado na figura, foi consideravelmente grande, porém neste período não houve falhas no forno no que diz respeito à queima de módulos de potência ou banco de resistências. Portanto, este período deve ser levado em consideração por mais tempo para que se tenha uma melhor referência ao período ideal.

4.4 Resultados obtidos

Para a melhoria aplicada na disposição dos módulos, o intuito foi de melhorar a troca de calor dos módulos com o ambiente. A ação foi implementada em Out-09 conforme o plano de ação e após esta melhoria o problema de alarme de temperatura, ainda ocorreu mais uma vez no mês de fevereiro. Como foi dito no estudo deste problema, a recomendação do fabricante é que os tiristores trabalhem a uma temperatura máxima de 85°C, sendo que a partir desta temperatura o alarme de sobre temperatura viria a ser acionado bloqueando a saída do módulo. Após esta melhoria, a temperatura diretamente nos tiristores começou a ser monitorada e em dias em que a temperatura ambiente chegou a 25°C, no interior do painel a temperatura medida foi de quase 60°C e houve o acionamento de alarme de sobre

temperatura nos tiristores, justamente no mês de fevereiro de 2010. Como não foi tomada nenhuma ação em relação ao controle de temperatura interna do painel, foi efetuados a compra de condicionadores de ar, e os mesmos serão instalados no mês de junho de 2010, o que pode vir a eliminar de vez a ocorrência deste tipo de falha nos módulos de potência.

Em relação ao problema de tempo de diagnóstico de falhas em módulos de potência e banco de resistências, não é possível apresentar resultados numéricos, pois após a criação dos procedimentos de checagem e as seqüências de atividades no mês de Abr-10, não houve falhas desta natureza, mas o benefício que esses procedimentos trazem é principalmente a padronização das atividades, ou seja, na ocorrência de uma falha onde seja necessário diagnosticar problemas nos módulos de potência ou nos bancos de resistências, haverá qualidade na execução deste serviço, pois qualquer mantenedor que se deparar com esse problema executará a atividade da mesma forma, ou seja, da forma como foram instruídos, seguindo os procedimentos criados.

Em relação ao problema do tempo de troca dos módulos de potência dado pela dificuldade do local e pelo peso desses módulos, como foram instalados suportes mais bem elaborados para facilitar a troca no mês de Mar-10, houve uma redução do tempo de troca em 15 minutos, ou seja, antes os módulos de potência demoravam cerca de 40 minutos para serem substituídos religados. Hoje esse tempo passou para cerca de 25 minutos, liberando o mantenedor para efetuar outros tipos de trabalhos e, possibilitando a rápida liberação do forno após a falha.

E por fim em relação ao problema de fuga de corrente nos bancos de resistências dado pela fuligem gerada nos tubos radiantes com o decorrer do tempo, houve diminuição do tempo de manutenção preventiva de um ano para quatro meses e a qual ocorreu no mês de Mai-10, sendo que após esta intervenção, muita fuligem foi retirada, porém sem que tivessem ocorrido desbalanceamentos de corrente em grandes proporções. Como não se tem um valor máximo admissível de fuga de corrente nos bancos de resistências, será adotado esse período de quatro meses para as próximas intervenções nas quais deverão ser efetuadas análises do estado dos tubos radiantes e das resistências, assim como observando o

desbalanceamento máximo obtido, para que se possa assim aumentar ou diminuir o período até que se chegue a um período ótimo de manutenção preventiva.

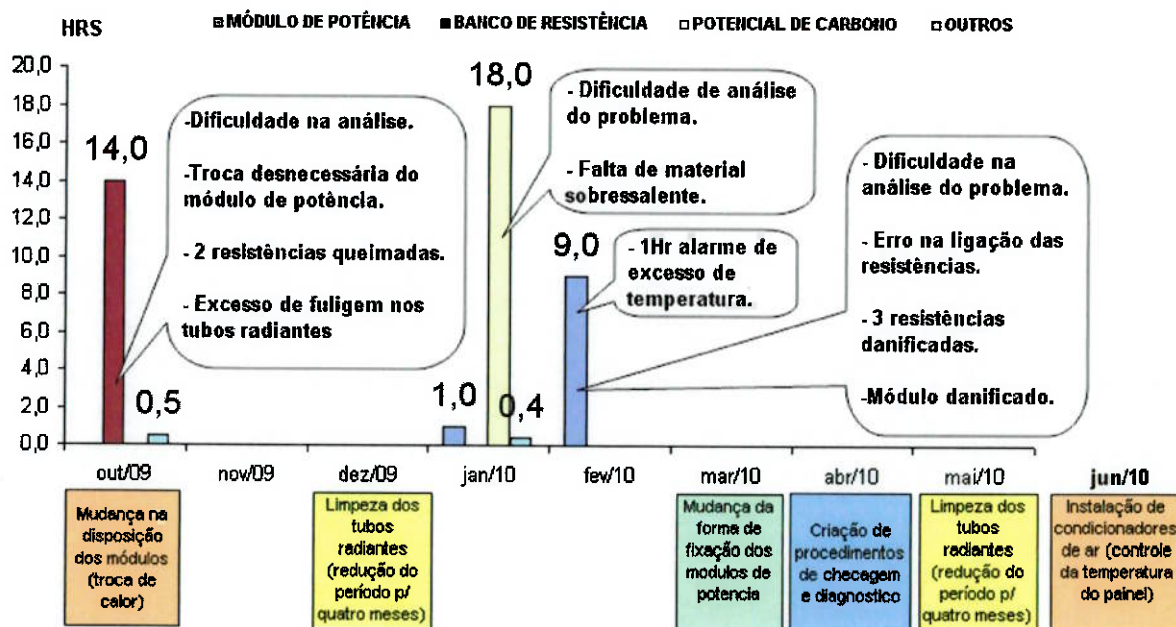


Figura 53 - Gráfico com resultados obtidos após as melhorias.

O gráfico da Figura 53 apresenta os resultados obtidos, assim como o período em que cada ação de melhoria foi implementada. Pode-se observar que após a melhoria na disposição dos módulos para facilitar a troca de calor entre os mesmos, um novo alarme ocorreu no mês de fev/10 com 1 hora de duração por excesso de temperatura o que ocorreu devido à elevação de temperatura interna do painel. Para resolver esse problema, no mês de Jun-10 serão instalados condicionadores de ar para o controle de temperatura do painel. Já a limpeza dos tubos radiantes ocorreu nos meses de Dez-09 e Mai-10, considerando-se a redução do período para quatro meses. Porém uma falha no banco de resistência ocorreu no mês de fev-10 onde foram encontradas três resistências queimadas isso devido ao erro na ligação do banco de resistência, o que provavelmente tenha ocorrido na limpeza do mês de Dez-10. Dado este fato, o procedimento com os valores e disposição das resistências no forno que foram criados, facilita a re-instalação dos bancos de resistências para futuras intervenções. Esses procedimentos criados no mês de Abr-10 então auxiliam os mantenedores e padronizam as análises de falhas. Por fim, a mudança na forma de fixação dos módulos como foi dito anteriormente, melhorou o tempo de troca dos mesmos com uma redução de 15 minutos na atividade.

E os ganhos não param por aí, visto foram obtidos ganhos em relação aos custos diretamente ligados ao equipamento. No início da apresentação do trabalho na tabela 8, foi mostrado a perda de faturamento referente a cada forno da empresa, onde havia um maior destaque para o forno sob análise. Após a implementação das ações de melhoria traçadas, conforme mostradas no decorrer deste trabalho, obteve-se o resultado apresentado no gráfico da Figura 54 com a perda de faturamento por forno.

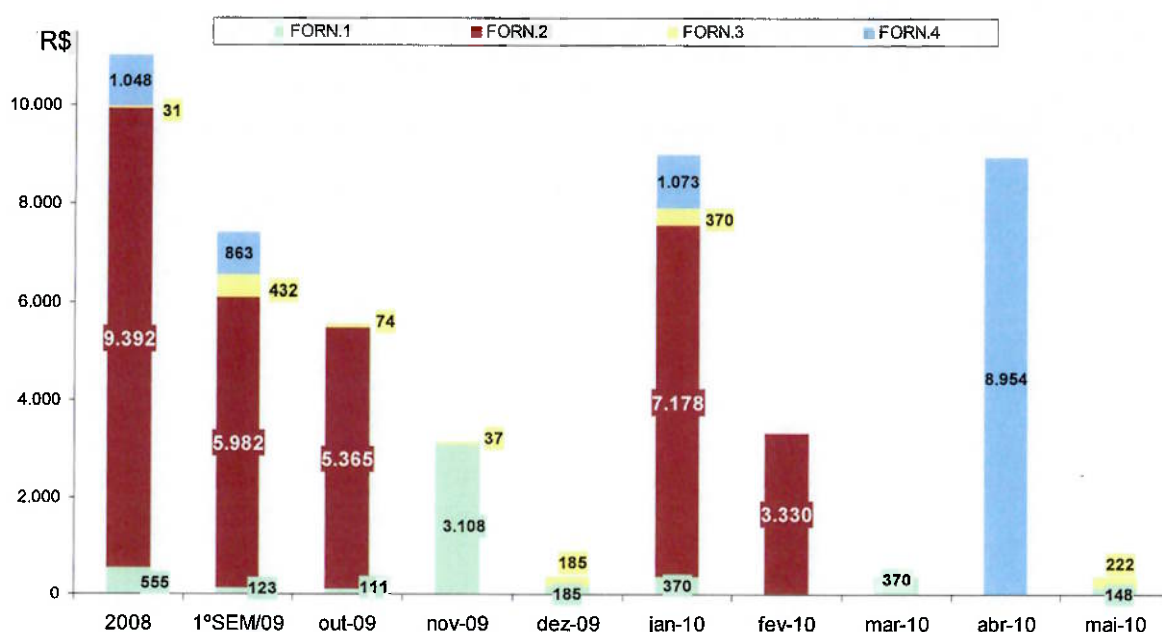


Figura 54 – Gráfico de perda de faturamento por forno (acompanhamento após implementação do trabalho).

Como pode-se observar no gráfico, o forno em que foram implementadas as ações de melhoria, apresentou perdas no decorrer do trabalho, porém, após a finalização de grande parte das ações, esta perda foi sendo eliminada pois houve uma diminuição considerável no tempo total de parada no equipamento. Vale lembrar que os picos apresentados no gráfico em relação ao forno sob análise estão relacionados a outros tipos de falhas, as quais não foram tratadas neste trabalho. Isto serve de motivação para futuras análises e ações em relação a estes tipos de falhas.

5 CONCLUSÕES

5.1 Ganhos obtidos

O uso de ferramentas básicas da qualidade auxilia e muito na análise e resolução de problemas de qualquer setor ou ramo industrial. Na manutenção industrial isso não é diferente, visto que pelo estudo de caso acima, obteve-se resultados consideráveis para um problema em um equipamento classificado como crítico ao processo de produção de rolamentos, dados os impactos que a parada desse equipamento oferece ao processo como um todo, assim como as perdas associadas à parada de produção, ao risco de produtos com má qualidade ou até mesmo com os custos diretamente ligados a manutenção do equipamento.

Dessa forma, os benefícios alcançados com o trabalho foram diversos; dentre eles pode-se citar a padronização das atividades após a criação de procedimentos, o que melhora a rotina dos mantenedores envolvidos com a reposição dos equipamentos e com ações corretivas, as quais na maioria das vezes e principalmente em equipamentos com esse grau de importância para o processo, devem ter suas principais funções restabelecidas o mais rápido possível.

Para a criação dos procedimentos, um estudo, detalhado sobre os fornos e os principais conjuntos e equipamentos foi executado, o que acaba trazendo um conhecimento mais aprofundado sobre o sistema em questão e suas principais vulnerabilidades, podendo-se assim encontrar soluções para problemas mais complexos que os resolvidos até aqui.

Não obstante, evidenciou-se outro benefício em relação à troca de calor entre os módulos de potência que obrigou uma investigação mais detalhada sobre esse tipo de equipamento, trazendo conhecimentos mais aprofundados sobre o funcionamento do mesmo e sobre suas condições de perfeita operação.

Observou-se que o projeto de instalação dos equipamentos devem ser plenamente seguido para que se possa ter o melhor rendimento possível do mesmo. No estudo de caso o projeto de instalação não oferecia uma perfeita troca de calor ocasionando

constantes alarmes de excesso de temperatura nos módulos de potência. Para tanto, a manutenção nesses casos deve agir pro - ativamente, buscando melhorias nas condições de funcionamento desses equipamentos, o que vale também para a mudança efetuada na fixação desses módulos, o que melhorou e muito o tempo de troca dos mesmos em caso de falhas, facilitando a troca por um só mantenedor, reduzindo o esforço que atividade exigia dado o peso de tais equipamentos.

Em relação ao período de manutenção preventiva, mais especificamente no que diz respeito à limpeza dos tubos radiantes, observou-se que o período antes utilizado não era confiável, a ponto de não ocorrer falhas nos bancos de resistências, o que era inadmissível. Como não se tinha um período ideal para esse tipo de manutenção, esse período então foi reduzido de 12 para 4 meses e está sendo monitorado de acordo com o desbalanceamento de corrente que o forno sofrer durante as intervenções, sendo possível então o aumento ou diminuição deste período de acordo com este desbalanceamento. Um benefício importante desse estudo foi a familiarização com os tipos de falhas que ocorrem nas resistências e o comportamento do sistema como um todo eletricamente falando. Não se pode deixar de lado o fator custos diretos e indiretos ao equipamento.

Com a melhoria dos indicadores de tempo de parada do forno e com a padronização das atividades de manutenção no equipamento, diminuíram os riscos de perda de produção por uma parada imprevista, visto que se obtém maior domínio das prováveis falhas que possam ocasionar este fato. Dentro dos custos associados a estas falhas pode-se citar uma redução nos custos da mão de obra de manutenção do equipamento, os custos de manutenção e reparo de módulos de potência e resistências, mas principalmente a redução dos custos com perda de produção por parada do equipamento o que provoca um impacto negativo para o faturamento da empresa e pode vir a afetar a imagem da mesma perante os clientes.

Contudo, tornou-se sabido que para todas as ações de melhoria o benefício maior obtido foi o enriquecimento do conhecimento geral sobre o equipamento e o sistema como um todo, que é justificado pelo esforço e estudo detalhado que deve ser desempenhado em casos de análises de problemas desse tipo. As ferramentas da qualidade forçam a multiplicação desse conhecimento com rapidez, observou-se que a comunicação nesses processos é um fator de suma importância visto que são

várias as pessoas envolvidas com o assunto em questão, portanto, quanto mais informação se tem sobre os problemas, os efeitos, as causas, os resultados, entre outros, mais rica e mais precisa pode ser a análise e, portanto mais chances de sucesso na implementação das ações.

5.2 Trabalhos futuros

Nesse tipo de estudo, onde muitas ações foram levantadas, nem todas são possíveis de ser colocadas em prática. Para uma continuidade do trabalho, deve-se dar continuidade no trabalho, implementando as ações que não foram possíveis de serem realizadas até a conclusão deste trabalho, efetuando-se análises mais detalhadas com pessoal envolvido, para que se possa eliminar buscar a eliminação total de todas as possibilidades de falhas.

Dessa forma é evidente a importância da participação de todos os envolvidos com o equipamento analisado para que possa extrair o máximo de informações possíveis sobre as falhas.

No estudo de caso apresentado, algumas ações da tabela de hipóteses causas ficaram por ser implementadas, dada a complexidade de resolução das mesmas. Uma delas diz respeito à criação de um dispositivo mais eficiente para a retirada das resistências na ocorrência de falha visto que as mesmas quando danificadas devem ser retiradas por três pessoas e com uma temperatura elevada o que oferece sérios riscos a segurança dos mantenedores e operadores. Esse dispositivo está em estudo para facilitar a troca dessas resistências. Outra causa levantada que deve ser estudada com maiores detalhes é a criação de um sistema de monitoramento de correntes por fase para uma medição indireta de fugas de corrente nos bancos de resistências através de um transformador de corrente medindo a corrente que flui pelos três cabos principais de alimentação, partindo do princípio da anulação de campo magnético em um sistema trifásico equilibrado, onde caso ocorram perdas de corrente no forno, a diferença de fluxo magnético gerado pelos condutores indicaria uma provável fuga no banco. Essa ação está em estudo e algumas experiências ainda devem ser feitas para uma tomada de ação mais confiável.

O uso dessas ferramentas possibilita a melhoria em qualquer outro equipamento dentro da empresa, com o requisito de serem desempenhados os mesmos esforços dados ao estudo de caso do forno em questão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, E.S. **Análise de distorções dimensionais em anéis de rolamento no tratamento térmico em fornos de esteira contínuos.** 2009. 62p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009

ANDRADE, F.F. **O método de melhoria PDCA.**2003.157p. Dissertação (Mestrado) –Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

CAMPOS, V. F. **TQC: Controle da Qualidade total (no estilo japonês).** Minas Gerais: Fundação Christiano Ottoni / Ed. Bloch, 1992.

CAMPOS, V. F. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia.** Minas Gerais: Fundação Christiano Ottoni / Ed. Bloch, 1994.

CHIAVENATO, I. **Administração nos novos tempos.** 2.ed.rev. Ed. Campus/Elsevier, 2004.

DEMING, W. E. **Qualidade: a revolução da administração.** Tradução: Clave comunicações e RH SC Ltda. Rio de Janeiro: Marques Saraiva, 1990.

FEIGENBAUM, A.V. **Total quality control.** New York: McGraw-Hill, 1987.

FREITAS, A.L.P.; MANHÃES, N.R.C. **Emprego de Ferramentas da Qualidade na melhoria dos serviços de infra-estrutura de Tecnologia da Informação na PETROBRAS.** In: ENEGEP: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 20., 2005, Porto Alegre. **Anais...**

GIANESI, Irineu G. N., CORRÊA, Henrique Luiz. **Administração estratégica de serviços: operações para a satisfação do cliente.** São Paulo: Atlas, 1994. 233p.

GRONROOS, Christian. **Marketing: gerenciamento e serviços: a competição por serviços na hora da verdade.** Rio de Janeiro: Campus, 1995. 377p.

GUAZZI, D. M. **Utilização do QFD como uma ferramenta de melhoria contínua do grau de satisfação de clientes internos: Uma aplicação em cooperativas agropecuárias.** 1999. 209p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1999.

ISHIKAWA, K. **Controle da qualidade total: a maneira japonesa.** Tradução: Iliana Torres. Rio de Janeiro: Campos, 1993.

JORNADA DE ATUALIZAÇÃO EM TECNOLOGIAS TÉRMICAS (JOTERM). 2., 2009 São Paulo. **Palestra: Conversores de Potência Tiristorizados – Aplicações e Vantagens.** São Paulo. Therma Instrumentos de medição automação e projetos Ltda. Disponível em : <<http://www.therma.com.br/palestra.pdf>>. Acesso em: 20/01/2010.

JURAN, J.M. **A qualidade desde o projeto: novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços**. Tradução: Nivaldo Montingelli Júnior. São Paulo: Pioneira, 1992.

LAS CASAS, A. L. **Qualidade total em serviços: conceitos, exercícios e casos práticos**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1999. 206 p.

LOBOS, J. **Qualidade através das pessoas**. São Paulo, 1991.

Manual de ferramentas da qualidade. São Paulo: SEBRAE, 2005. Disponível em <<http://www.dequi.eel.usp.br/~barcza/FerramentasDaQualidadeSEBRAE.pdf>> Acesso em 10 dez. 2009.

MEIRELES, Manuel. **Ferramentas Administrativas para Identificar, Observar e Analisar Problemas: Organizações Com Foco no Cliente**. 1 ed. São Paulo: Ed. Arte e Ciência, 2001.144p.

MOREIRA, Daniel Augusto. **Dimensões do desempenho em manufatura e serviços**. São Paulo: Pioneira, 1996.111p.

MOURA, J. A.A. **Os frutos da qualidade: a experiência da Xerox do Brasil**. 3.ed.rev. São Paulo: Makron Books, 1999.

MOUBRAY, J. (2000) **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Aladon Ltd. Lutterworth.

KARDEC, A; NASCIF, J. (1998) **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark.

KOCK, N.; TOMELIN, C. A.; ASPER, G. **Qualidade Total na Prática - PMQP Programa de Melhoria da Qualidade e Produtividade**. Livraria e Editora Infobook. Rio de Janeiro, 2000.

OAKLAND, J. S. **Gerenciamento da qualidade total**. Tradução: Adalberto Guedes Pereira. São Paulo: Nobel, 1994.

PARANTHAMAN,D. **Controle da Qualidade**. Tradução: Flávio Deny Steffen. São Paulo: McGraw-Hill, 1990.

PINTO, R. L. **Qualidade no serviço de manutenção predial terceirizado:um estudo de caso em uma organização pública autárquica**. 2009. 318p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

RITZMAN, L. P. & KRAJEWSKI, L. J. (2004) – **Administração da produção e operações**. Prentice Hall, São Paulo.

ROBLES JR, A. **Custos da Qualidade: Uma Estratégia para a Competição Global**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 1996.

Slack, N., Chambers, S., Harland, C., Harrison, A., & Johnston, R. (1999). **Administração da produção**. São Paulo: Atlas

TAVARES, L. A. **Excelência na manutenção: estratégias para otimização e gerenciamento**. Salvador. Casa da Qualidade, 1996.

TURCHI, L.M. **Qualidade total: afinal do que estamos falando?** In: Texto para discussão, n.459. Brasília: IPEA, 1997.

XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004.