

658.5
S5868



**FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS DE SERGIPE
ASSOCIAÇÃO DE ENSINO E PESQUISA GRACCHO CARDOSO
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

CLÁUDIO LUIS SOARES DA SILVA

**OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA EM UM SECADOR DE
POTÁSSIO DE LEITO FLUIDIZADO**

**Aracaju – SE
2008.1**

CLÁUDIO LUIS SOARES DA SILVA

**OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA EM UM SECADOR DE
POTÁSSIO DE LEITO FLUIDIZADO**

Monografia apresentada à coordenação do curso de Engenharia de Produção na Faculdade de Administração e Negócio de Sergipe - FANESE, como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. MSc. Malvino Silva

Coordenadora: Prof^a MSc. Helenice Leite Garcia

**Aracaju – SE
2008.1**

FICHA CATALOGRÁFICA

Silva, Cláudio Luis Soares

Otimização energética em um secador de potássio de leito
fluidizado / Cláudio Luis Soares da Silva. – 2008.

57f.:il.

Monografia (graduação) – Faculdade de Administração e
Negócios de Sergipe, 2008.

Orientação: Prof. MSc. Malvino Silva.

1. Automação industrial 2. Ferramentas da qualidade

I. Título

CDU 681.515

FANFENE

BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS MONTEIRO FREITAS

N.º REG. 15033 21/08/2008

ORIGEM: JORCÃO

CLAUDIO LUIS SOARES DA SILVA

Monografia apresentada à banca examinadora da Faculdade de Administração de Negócios de Sergipe – FANESE, como requisito parcial para o cumprimento do Estágio Curricular e elemento obrigatório para a obtenção do grau de Engenheiro de Produção no período de 2008.1.

Prof. MSc. Malvino Silva
Orientador

Prof. Dr. Jefferson Arlen Freitas
1º Examinador

Prof. Esp. Josevaldo dos Santos Feitoza
2º Examinador

Aprovado com média: _____

Aracaju, _____ de _____ de 2008.

Dedico este trabalho a minha esposa,
Liduína Flor, aos meus filhos Arthur
Soares e Cláudia Soares, e minha mãe
Maria Luíza.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela realização deste projeto na minha vida, por superar os desafios durante esta jornada.

Aos meus pais pelo apoio e incentivaram sem medir esforços, para que eu pudesse realizar o meu objetivo, com isto realizando os sonhos deles através dos meus.

Em especial à minha esposa e aos meus filhos que muitas vezes foram privados da minha atenção durante as horas que estive envolvido e ocupado com a aquisição do saber, pela compreensão e por suas palavras de incentivo nos momentos de desânimo e cansaço.

A todos os meus amigos e familiares que, durante todo este tempo de estudo, me apoiaram, incentivaram e estiveram sempre ao meu lado.

Aos colegas de trabalho pelo incentivo e apoio moral para o desenvolvimento deste projeto.

À Companhia Vale do Rio Doce que colaborou para conclusão do meu curso.

Aos colegas da faculdade, todas as turmas que convivi e aprendi.

Ao meu orientador, Malvino Silva, pelo apoio e dedicação dispensados.

À Faculdade Fanese, que juntamente aos professores contribuíram para meu crescimento intelectual, profissional e social durante estes cinco anos.

"Deus nos concede, a cada dia, uma página de vida nova no livro do tempo. Aquilo que colocarmos nela, corre por nossa conta".

Chico Xavier

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 A Vale.....	12
1.2 Objetivo.....	13
1.2.1 Objetivo geral.....	13
1.2.2 Objetivos específicos.....	13
1.2.3 Justificativa.....	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1 Secagem Leito Fluidizado.....	14
2.2 Automação Industrial.....	18
2.2.1 Arquitetura da automação industrial.....	22
2.3 Instrumentação.....	24
2.4. Controle.....	26
2.5 Controlador programável.....	31
2.6 Ferramentas da qualidade.....	35
3 METODOLOGIA.....	40
4 GESTÃO ENERGÉTICA DA SECAGEM POTÁSSIO.....	41
4.1 Energia Térmica Secador.....	41
4.1.1 Diagnóstico energia térmica.....	42
4.1.2 Otimização energia térmica.....	44
4.2 Energia Elétrica.....	48
4.2.1 Otimização energia elétrica.....	49
4.3 Resultados.....	51
5 CONCLUSÃO.....	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57

RESUMO

Este trabalho procura apresentar de maneira resumida os adventos da automação em um processo contínuo, e apresenta como modelo aplicado um sistema de controle automático de temperatura do secador, e o controle automático da fluidização e combustão no processo de secagem do potássio em um leito fluidizado, reduzindo o consumo de energia térmica e elétrica. Na otimização térmica foi utilizado o diagrama de causa e efeito, o que gerou um plano de ação, no qual foram verificados os procedimentos operacionais, e foi indicado um novo procedimento operacional, uma quebra de paradigma, então, a análise do diagrama sinalizou a necessidade de um sistema de controle mais eficiente, e foi desenvolvido um novo sistema de controle em cascata, no qual a temperatura do secador controla a vazão do gás, o que propiciou uma redução do consumo de gás, e também um melhor aproveitamento do tempo do operador da sala de controle, para realizar outra atividade mais nobre. No segundo projeto de otimização energética, foi feito o levantamento das cargas da área da secagem, e com a utilização do gráfico de pareto, os ventiladores foram identificados como os maiores consumidores da energia elétrica. A utilização do *software* de economia de energia da *Rockwell* permitiu analisar a melhor opção para o sistema de ventilação, e com isto traçar um plano de ação para a substituição dos dumpers por um sistema acionado por inversores de frequência, com motores de auto-rendimento.

Palavras Chaves: Automação Industrial, Ferramentas da Qualidade, Otimização Energética.

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Diagrama de causa e efeito.....	43
Tabela 02: Plano de ação energia térmica	44
Tabela 03: Programa economia energia ventilador.....	49
Tabela 04: Plano de ação energia elétrica.....	50
Tabela 05: Relação custo benefício (RCB).....	55
Tabela 06: Cronograma de implantação do projeto.....	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01: Curva da combustão secador.....	42
Gráfico 02: Curva da chama secador.....	46
Gráfico 03: Diagrama de pareto potência motor secagem.....	48
Gráfico 04: Consumo específico de gás.....	51
Gráfico 05: Temperatura do secador.....	52
Gráfico 06: Temperatura do secador com sistema de controle em cascata.....	53
Gráfico 07: Consumo específico de energia antes da implantação do sistema.....	54
Gráfico 08: Consumo específico de energia após da implantação do sistema.....	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Diagrama esquemático de um leito fluidizado.....	14
Figura 02: Leito fluidizado.....	15
Figura 03: Fluxo de gás em um leito fluidizado.....	16
Figura 04: Fluxograma de processo.....	17
Figura 05: Microprocessador.....	20
Figura 06: Sistema de supervisão e controle.....	21
Figura 07: Pirâmide da automação.....	22
Figura 08: Topologia conceitual rede industrial.....	23
Figura 09: Simbologia e Identificação.....	25
Figura 10: Malha de controle temperatura.....	26
Figura 11: Malha de controle vazão.....	27
Figura 12: Malha de controle nível.....	29
Figura 13: Diagrama de blocos do CLP.....	31
Figura 14: Ciclo de processamento (<i>scan</i>).....	32
Figura 15: Diagrama ladder típico.....	33
Figura 16: Estrutura de um CLP.....	34
Figura 17: Dimensões da qualidade total.....	36
Figura 18: Representação de um processo através do diagrama de <i>Ishikawa</i>	37
Figura 19: Tela do Sinótico Secador.....	41
Figura 20: Malha de controle Cascata.....	45
Figura 21: Malha de controle combustão.....	47

1 INTRODUÇÃO

Nos tempos atuais de mercado globalizado, o grande desafio para as empresas é como melhorar a performance e a eficiência dos processos operacionais, reduzir custos e maximizar os lucros. As empresas estão procurando aumentar a produtividade e reduzir os custos do processo, uma das possibilidades é através da automação, seja através da otimização dos processos atuais sem grandes investimentos financeiros, ou através da modificação do processo com investimentos em equipamentos mais modernos e eficientes.

A automação é considerada, atualmente, para as empresas, uma ferramenta fundamental para sobrevivência do negócio, pois contribui para o aumento da competitividade, segurança, redução de custos e qualidade do produto. Através da correta aplicação da automação é possível otimizar os recursos empregados nos diversos sistemas de produção.

A decisão da empresa em automatizar o processo, tem que ser criteriosa, pois a aplicação requer um estudo de viabilidade do projeto, uma vez que tem um investimento inicial alto, devido o custo da tecnologia moderna, como também pela complexidade, o que requer profissionais qualificados.

Ao longo dos tempos a automação rompeu os limites do chão de fábrica e buscou fronteiras mais amplas, abrangendo o negócio ao invés da simples automação dos processos e equipamentos. Com a demanda crescente, a automação convencional já não tinha capacidade para responder e a necessidade das industriais de manipular diversas malhas de controle e um controle centralizado e com a evolução da tecnologia os computadores passaram supervisionar os processos industriais.

Este trabalho apresenta a teoria e as aplicações das ferramentas da qualidade, que o compõem à melhoria dos processos, demonstra com alguns exemplos de sua aplicabilidade dentro de uma empresa industrial, auxiliando-as na tomada de decisão sobre o melhor projeto e a melhor aplicação para a empresa. O processo de secagem do potássio é uma área complexa que requer um alto nível de automação, e com aplicação das ferramentas da qualidade é possível viabilizar um projeto de otimização energética, com redução do consumo de energia térmica e elétrica.

1.1 A VALE

A Vale foi fundada em 1942, e hoje é uma das maiores empresas globais da indústria de mineração, esta presente em 13 estados brasileiros e em 32 países, nos cinco continentes, é líder mundial na produção e comercialização de minério de ferro e pelotas, além de possuir as maiores reservas de níquel do planeta. A Vale também é importante produtora global de concentrado de cobre, carvão, bauxita, alumina, alumínio, potássio, caulim, manganês e ferroligas.

A Vale é representada em Sergipe pelo Terminal Marítimo Inácio Barbosa – TMIB, porto, no município da Barra dos Coqueiros e pela Unidade Operacional de Taquari Vassouras – UOTV, no município de Rosário do Catete. Tem como atividade econômica, a prestação de serviços logísticos e a exploração e comercialização de potássio, compreendendo numa mina subterrânea que está localizada no município de Rosário do Catete.

A UOTV é um empreendimento que reúne uma mina subterrânea e uma usina de beneficiamento na superfície e é a única produtora de cloreto de potássio (KCl) em atividade no Brasil.

A unidade é a única produtora de Cloreto de Potássio em atividade no Brasil é um importante componente para a produção de fertilizantes, sua produção atual gira em torno de 850 mil t/ano, retirada da mina subterrânea, há 650 (seiscentos e cinquenta) metros de profundidade. Atualmente, toda a produção é comercializada no mercado interno, assegurando 11% da demanda brasileira do produto. Portanto, os ativos que atuam no processo produtivo da lavra e beneficiamento do cloreto de potássio devem garantir a operacionalização do negócio, e faz-se necessário que os mesmos sejam mantidos e liberados à produção em curto espaço de tempo, aumentando a sua disponibilidade operacional.

1.2 Objetivo

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo avaliar a implantação de melhorias de automação em um processo produtivo.

1.2.2 Objetivos específicos

- Otimizar o consumo de energia térmica e elétrica no processo de secagem de potássio.
- Analisar as melhorias implantadas no sistema de fluidização e combustão do secador de potássio.

1.2.3 Justificativa

A matriz energética brasileira é formada por 60% dos derivados de petróleo, gás, lenha e carvão. Estes recursos são finitos e os resíduos gerados agredem o meio ambiente, os outros 40% da matriz energética são de fontes hidráulicas, que embora seja um recurso renovável, tem também impacto ambiental uma vez que as áreas alagadas para os reservatórios são gigantescas.

Com a crise energética ocorrida no Brasil no ano 2001, devido os baixos níveis dos reservatórios das hidroelétricas, foi necessária uma diversificação do nosso parque gerador, uma das soluções apresentada foi um programa de uso racional da energia, com o propósito de eliminar os desperdícios do uso da energia do mercado consumidor e assegurar um bom desempenho do setor elétrico. Este trabalho procura demonstrar que com a utilização das ferramentas da qualidade que é possível analisar um projeto e propor melhorias, corrigir desvios, e juntamente com a automação industrial viabilizar um projeto de otimização energética.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Secagem Leito Fluidizado

A definição de secagem é a remoção de um líquido em um sólido por evaporação. A fluidização é uma condição em que as partículas sólidas estão suportadas por forças de arraste originadas pela passagem da fase gasosa entre os interstícios que as separam (PORTER, et al, 2001).

No diagrama esquemático de um leito fluidizado da Figura 01 são demonstradas as diversas etapas do sistema de um secador, na qual pode ser observado o gerador de gases quentes, a zona de fluidização, a alimentação do produto e a ciclonagem.

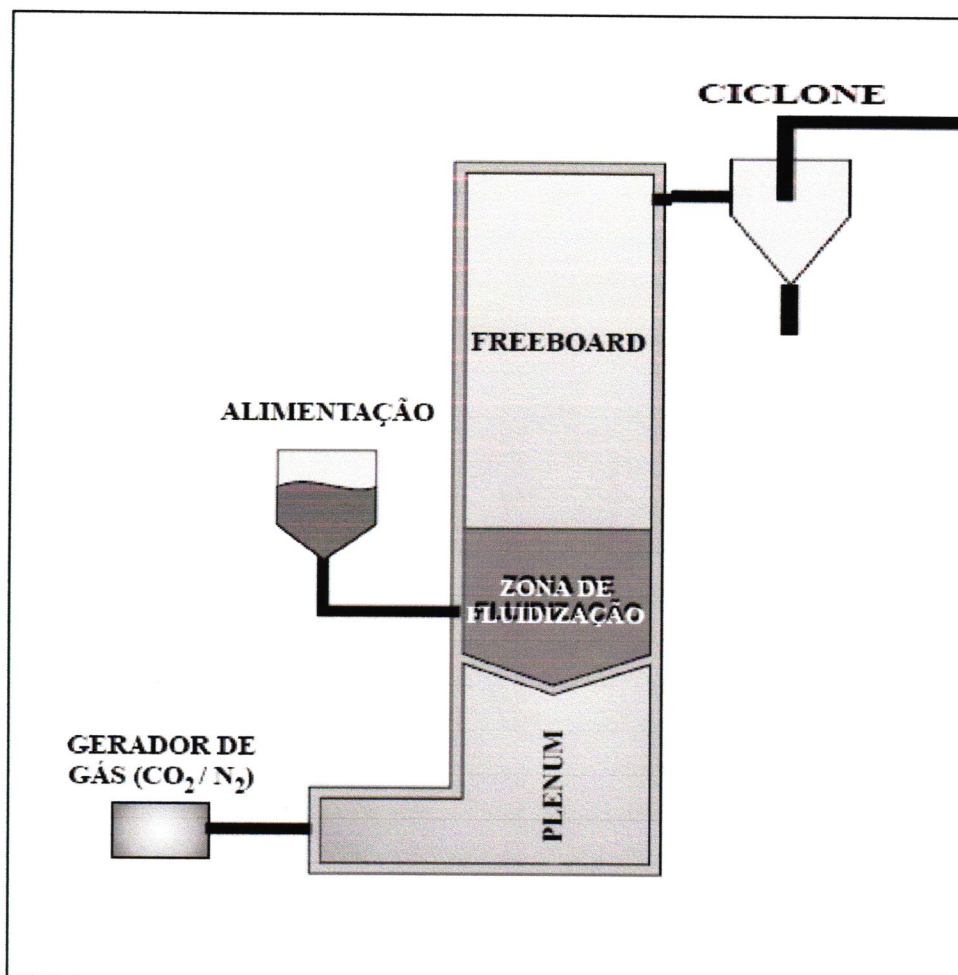


Figura 01: Diagrama esquemático de um leito fluidizado

Fonte: GOULART, et al, 2001.

No processo de secagem de potássio, é utilizado o secador de leito fluidizado, no qual é alimentada uma umidade entre 05 e 07%. Conforme a Figura 02 os gases quentes utilizados nos processos de fluidização e secagem são gerados em um queimador a gás natural, estes gases quentes são injetados na câmara do secador e devido ao intenso contato com as partículas do leito de potássio, provocam a evaporação da água presente no material alimentado (RHODES, 2001).

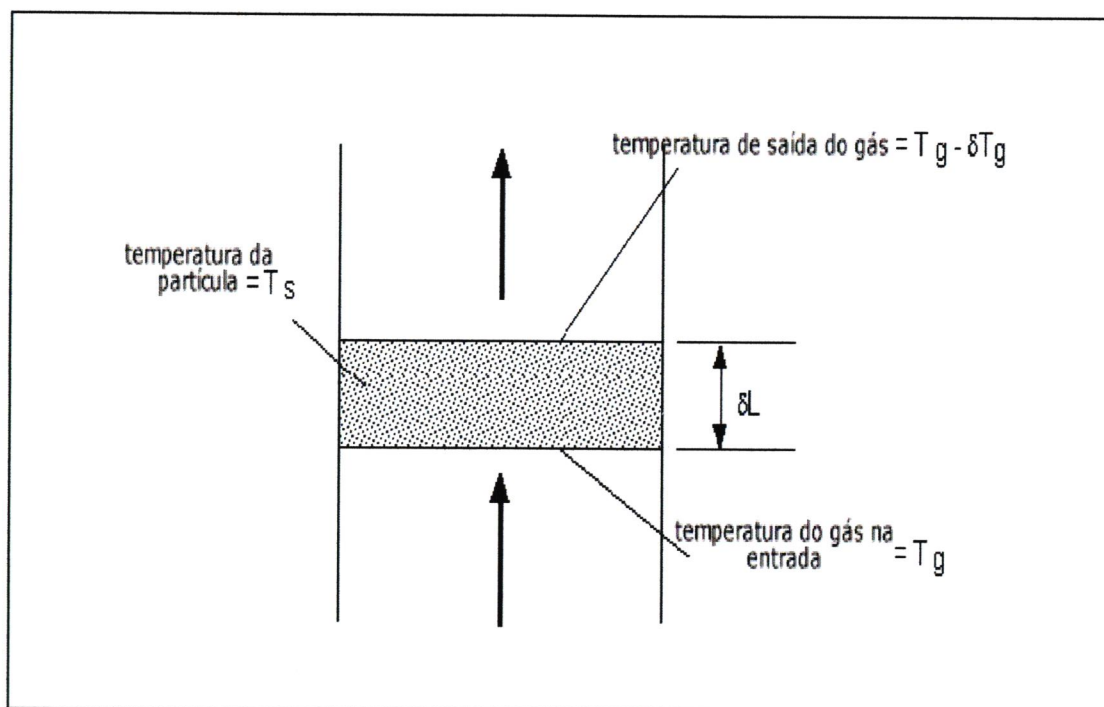


Figura 02: Leito fluidizado

Fonte: RHODES, 2001.

O leito de partículas na qual a corrente de gás está fluindo para cima, o processo de fluidização converte um leito de partículas sólidas numa massa expandida e suspensa que se assemelha a um líquido em ebulição e a forma usual é a cilíndrica vertical (PORTER, et al, 2001).

A câmara de secagem do potássio é do tipo cilíndrica e dotada de uma placa de suporte do leito montada com blocos de material refratário, nesta placa são montados blocos com vários orifícios. Esta placa é uma peça que tem rigidez mecânica com apoio em uma extremidade.

Conforme Figura 03, os gases quentes são injetados entre os interstícios do material sólido e devido à intensidade do vapor a umidade do material úmido é evaporada. O material úmido é alimentado na câmara através de um dispositivo mecânico que espalha sobre o leito, a retirada do material seco é feita por um sistema de drenagem. (RHODES, 2001).

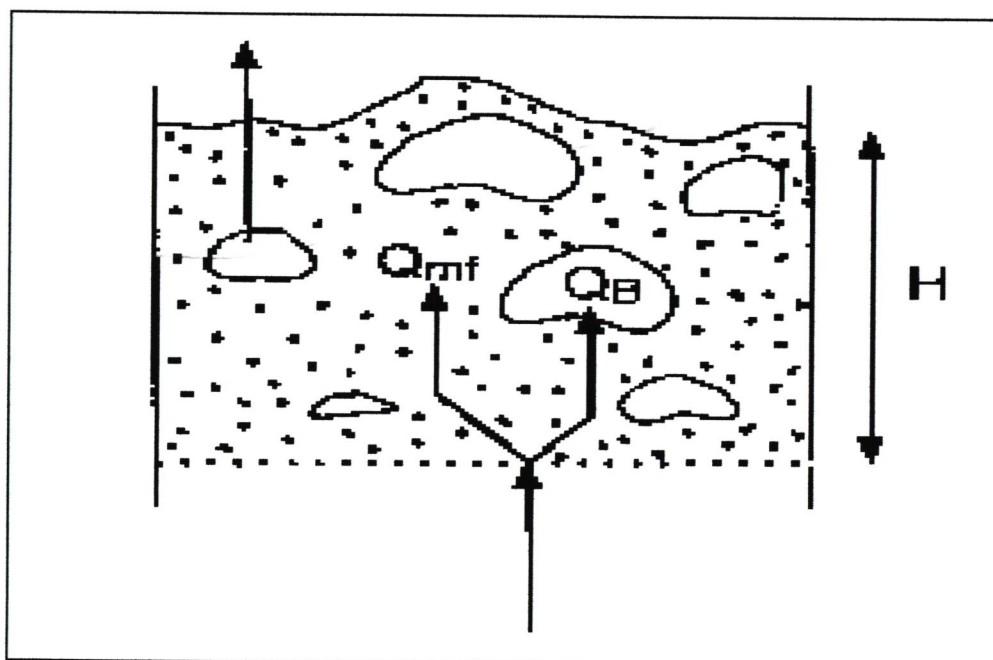


Figura 03: Fluxo de gás em um leito fluidizado
Fonte: RHODES, 2001.

Os gases efluentes da câmara da secagem, ou seja, gases da combustão, água evaporada e partículas finas são conduzidos para a ciclonagem, na ciclonagem é coletado o material que foi arrastado do leito pelo processo de fluidização. O material sólido coletado se junta ao material seco retirado do leito (GRECO, 2000).

Após o processo de ciclonagem os gases são enviados para um lavador de gases, que irá fazer a lavagem dos gases e descartá-lo pela chaminé.

No fluxograma de processo da Figura 04 os gases quentes são gerados no 74GG01, o ventilador 74VE01 irá adicionar o ar necessário para o processo de combustão, o ventilador 74VE02 irá conduzir o vapor até o leito do secador 74SC01.

O potássio é alimentado através de uma rosca helicoidal 74TH02, que espalha o material sobre o leito fluidizado e a rosca helicoidal 74TH03 irá retirar o potássio seco. O material fino que foi arrastado pelo ventilador 74VE03, será recuperado pela ciclonagem, os ciclones 74CL01 E 02 recupera o fino e retorno o este material para o 74TE01 junto com o potássio seco do 74TE03.

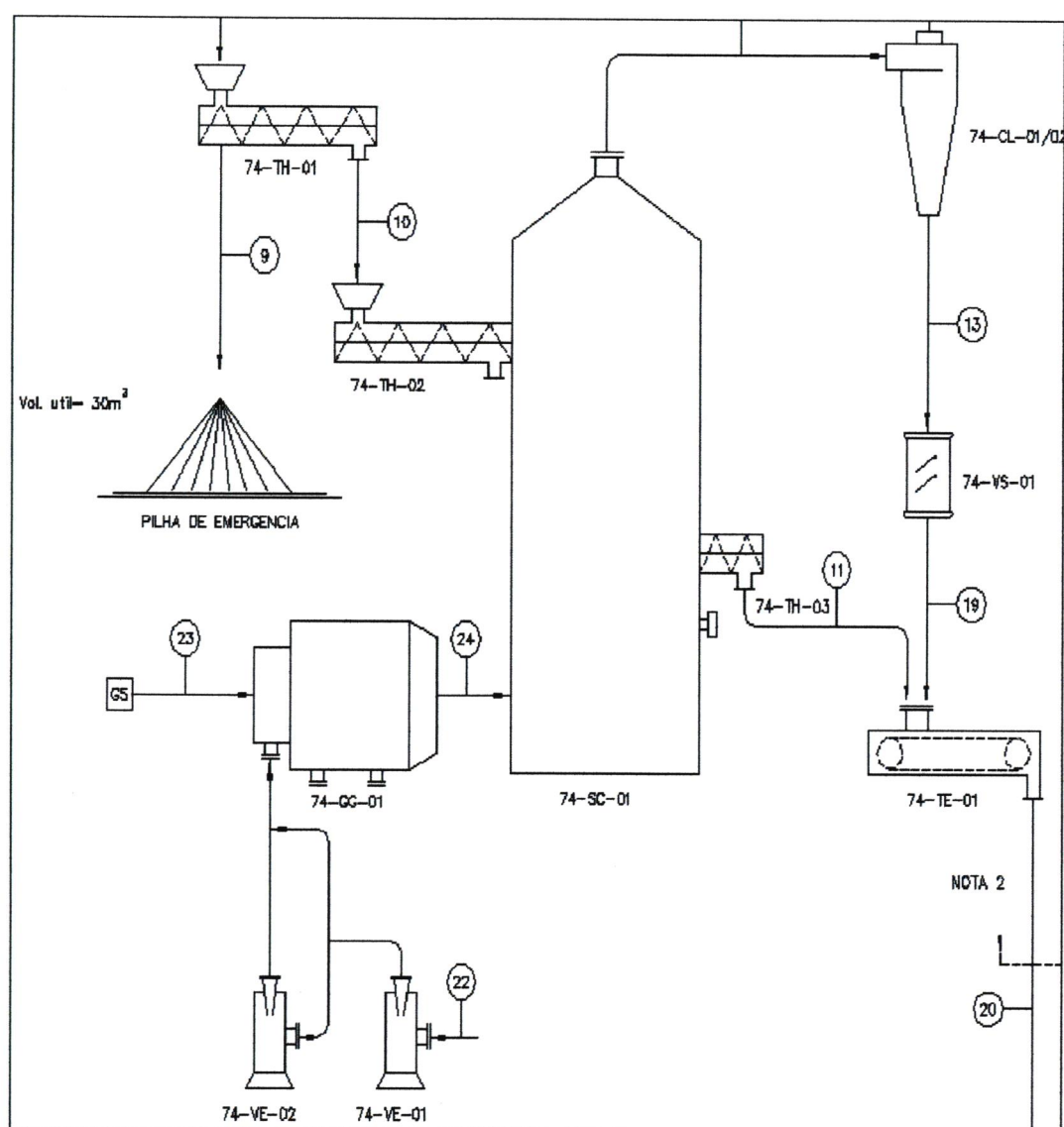


Figura 04: Fluxograma de processo
Fonte: Vale

2.2 Automação Industrial

A palavra *automation* foi inventada pelo marketing da indústria de equipamentos na década de 1960. O neologismo, sem dúvida sonoro, buscava enfatizar a participação do computador no controle industrial (MORAES e CASTRUCCI, 2001).

A automação pode ser definida como o estudo da técnica que utiliza recursos, processos, instrumentos, máquinas, capazes de potencializar, ou reduzir, ou até eliminar a ação do homem, ou seja, suas associações de uma forma otimizada e direcionada a conseguir alcançar os objetivos do processo humano (SCHUTTENBERG, et al, 2004).

Porém não é a simples substituição do elemento humano dentro do processo fabril, é garantir uma alta produtividade com elevada eficiência e padrão de qualidade, permitindo com isso uma redução no custo final, qualidade do produto, e uma maior disponibilidade da planta. O conceito de automação inclui a idéia de usar a potência elétrica ou mecânica para acionar algum tipo de máquina de modo mais eficiente e com vantagens econômicas e de segurança (RIBEIRO, 2005).

As empresas estão passando por um processo de revolução, devido à necessidade de especialização da mão de obra, e pela melhor compreensão dos diversos tipos de processos, uma vez que através da automação qualquer grandeza física pode ser controlada.

No início da industrialização, os processos industriais utilizavam o máximo da força da mão-de-obra, porém com o passar do tempo e a valorização do trabalhador, foi preciso fazer algumas alterações nas máquinas e equipamentos, de forma a resguardar a mão-de-obra de algumas funções inadequadas à estrutura física do homem. A máquina passou a fazer o trabalho mais pesado e o homem, a supervisioná-la, com a finalidade de garantir o controle do sistema de produção, foram colocados sensores nas máquinas para monitorar e indicar as condições do processo (SCHUTTENBERG, et al, 2004).

A produção era composta por etapas ou estágios, nos quais as pessoas desenvolviam sempre as mesmas funções, especializando-se em certa tarefa ou etapa da produção e assim temos o princípio da produção seriada. O mesmo ocorria com as máquinas de produção, que eram específicas para uma aplicação, o que impedia seu uso em outras etapas da produção, mesmo que tivesse características muito parecidas (SCHUTTENBERG, et al, 2004).

Na década de 20 destacaram os mecanismos automáticos fixos e a revolução linha de montagem para a produção em massa, idealizada por Henry Ford. Desta época em diante a

área de automação passou por diversos avanços tecnológico, principalmente na área de microeletrônica.

O Controlador Lógico Programável (C.L.P.) surgiu dentro da indústria automobilística americana, especificamente na *Hydronic Division da General Motors*, em 1968, devido a grande dificuldade de alterar a lógica de controle dos painéis de comando a cada mudança na linha de montagem. Tais mudanças implicavam em altos gastos de tempo e dinheiro (SCHUTTENBERG, et al, 2004).

O uso do CLP permitiu reduzir os custos de materiais, mão-de-obra, instalação e localização de falhas ao reduzir a necessidade de fiação e os erros associados. Eles ocupavam menos espaço que os contactores, temporizadores e outros componentes de controle anteriormente utilizados, e a possibilidade de serem programados permitiu uma maior flexibilidade para trocar os esquemas de controle. (FIALHO, 2004).

O microprocessador da Figura 05 é composto de três elementos fundamentais, que são a Unidade Central de Processamento CPU, a memória e os dispositivos de entrada e saída. O coração do microprocessador é a CPU, que cada um executa o processamento numérico, as operações lógicas e as funções de temporização, as operações da CPU são controladas por um conjunto de instruções que, quando organizadas em uma sequência lógica, formam o chamado programa (SCHUTTENBERG, et al, 2004).

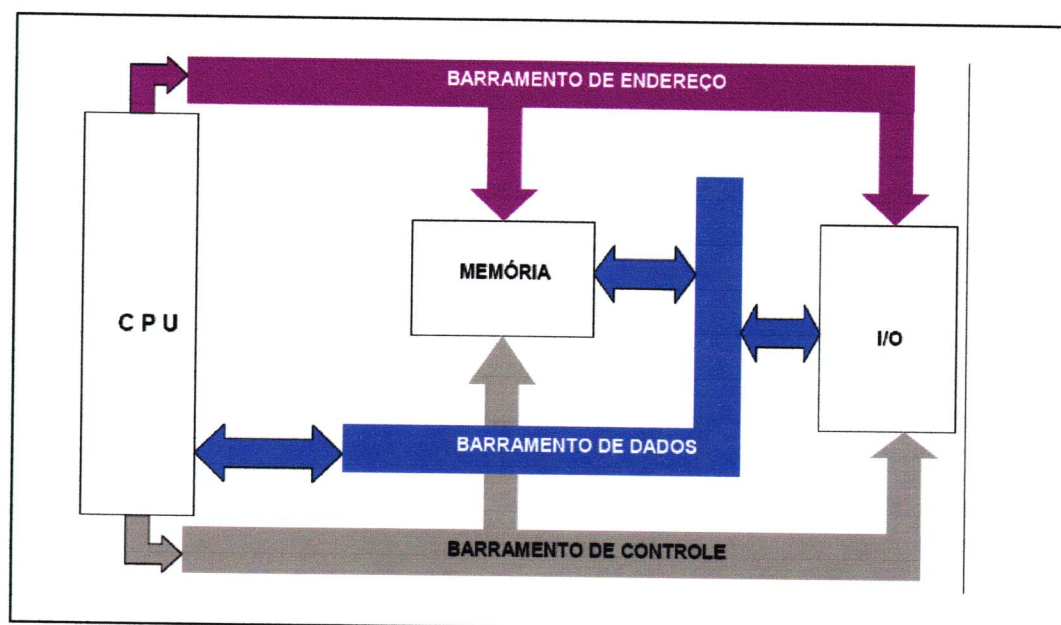


Figura 05: Microprocessador
Fonte: SCHUTTENBERG, et al, 2004.

Com o avanço dos controladores programáveis, a automação e os processos passaram a ficar cada vez maior e mais complexos, o que dificultava o operador controlar todos as etapas da planta, surgiram então os primeiros sistemas supervisório. Os sistemas supervisórios são programas que permitem que sejam monitoradas e rastreadas informações de um processo produtivo ou instalação física (SALVADOR e SILVA, 2005).

Devido à evolução dos computadores, surgiram os sistemas de supervisórios de processos industriais SCADA (*Supervisory Control And Data Aquisition*), o sistema SCADA coletada através de equipamentos de aquisição de dados e, em seguida, manipulados, analisados, armazenados e, posteriormente, apresentados ao usuário nos monitores coloridos de alta resolução, através dos quais o operador pode selecionar diferentes programas e avaliar a situação do processo produtivo. Com o preço decrescente dos computadores, o custo de desenvolvimento de *software* tem se tornado o fator predominante dos sistemas supervisórios,

e cada vez mais, pessoas estão trabalhando com os sistemas orientados a objetos (SALVADOR e SILVA, 2005).

A Figura 06 ilustra um exemplo do sistema de supervisão e controle, no qual os sensores e atuadores enviam os sinais para a estação remota, e estas estações remotas transmitem as informações para as estações de monitoramento.

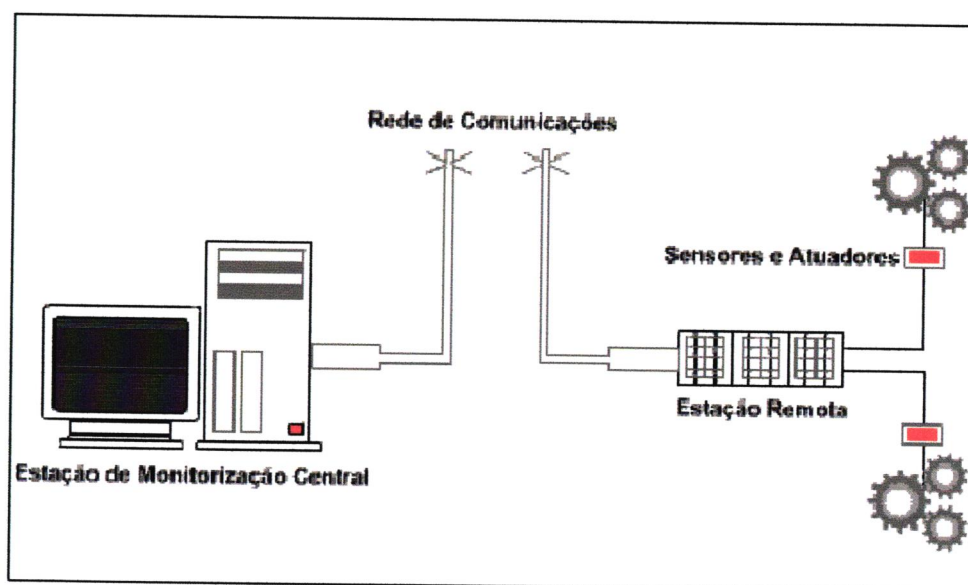


Figura 06: Sistema de supervisão e controle
Fonte: SALVADOR e SILVA, 2005.

2.2.1 Arquitetura da automação industrial

A automação industrial está representada na Figura 07, através da pirâmide de automação, com os diferentes níveis de automação encontrados em uma planta industrial, na base da pirâmide estão os inversores de frequência, sensores, sistemas de partidas suaves, motores que enviam sinais para os controladores programáveis que irá processar estas informações. O controlador programável consegue automatizar grande quantidade das ações, substituindo o elemento humano com mais precisão, confiabilidade e rapidez, estas informações são analisadas e os comandos são enviados para os acionamentos. O nível 02 da pirâmide é representado pelos sistemas supervisores, que em um ambiente de linguagem amigável, facilita a interface homem máquina (MORAES e CASTRUCCI, 2001).

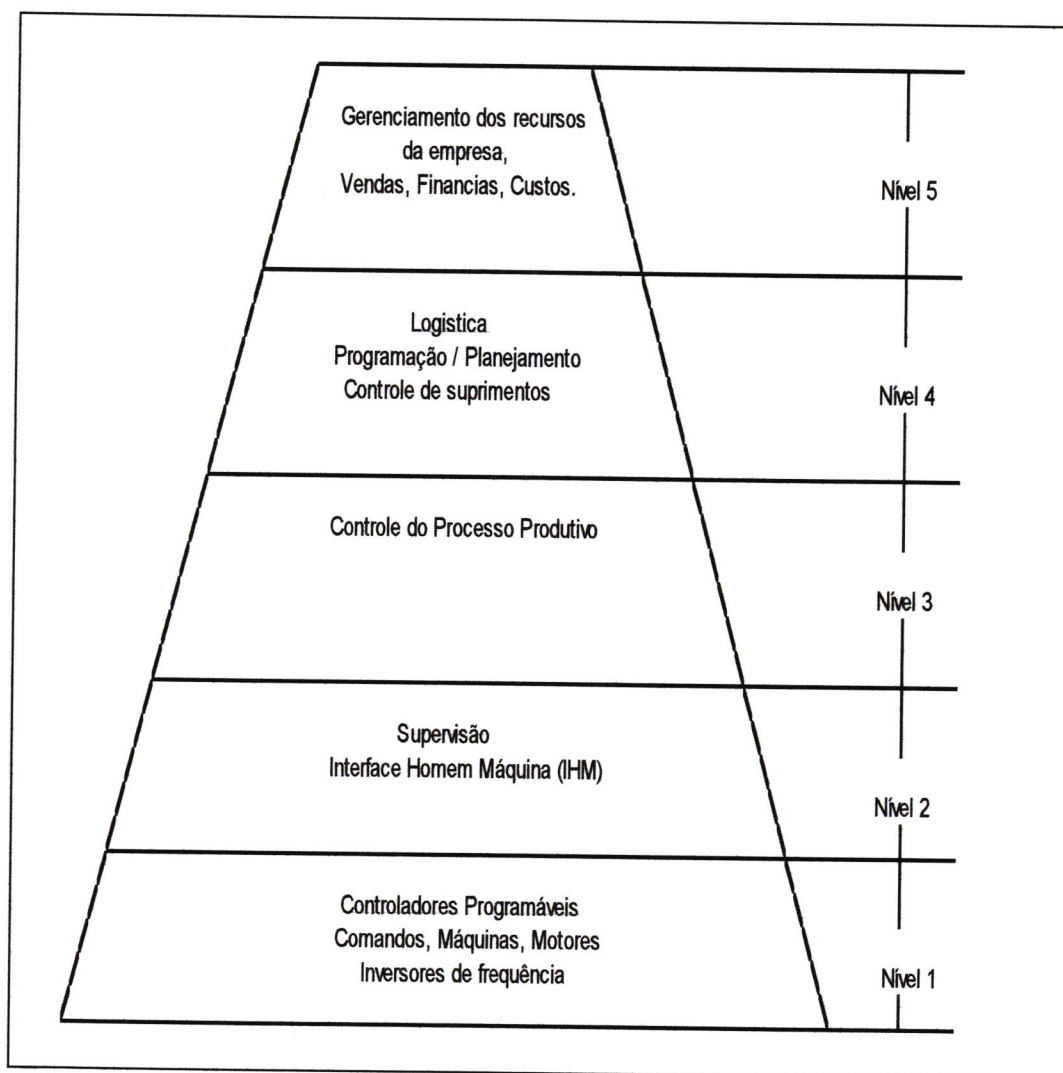


Figura 07: Pirâmide de automação
Fonte: MORAES e CASTRUCCI, 2001.

O controle do processo produtivo da planta está no nível 03 da pirâmide de automação, que é constituído por bancos de dados com informações dos índices de qualidade da produção. O nível 04 é o responsável pela programação e planejamento da produção realizando o controle dos suprimentos, e por fim no topo da pirâmide esta as informações ligadas ao setor corporativo da empresa (MORAES e CASTRUCCI, 2001).

As redes industriais interligam todos os componentes, tanto os dispositivos como válvulas, inversores, sensores, sistemas de controle, e sistemas supervisórios até a rede corporativa da empresa. A Figura 08 apresenta uma arquitetura de rede que segue as recomendações da ISA, as redes são divididas em níveis, de acordo com os seus componentes.

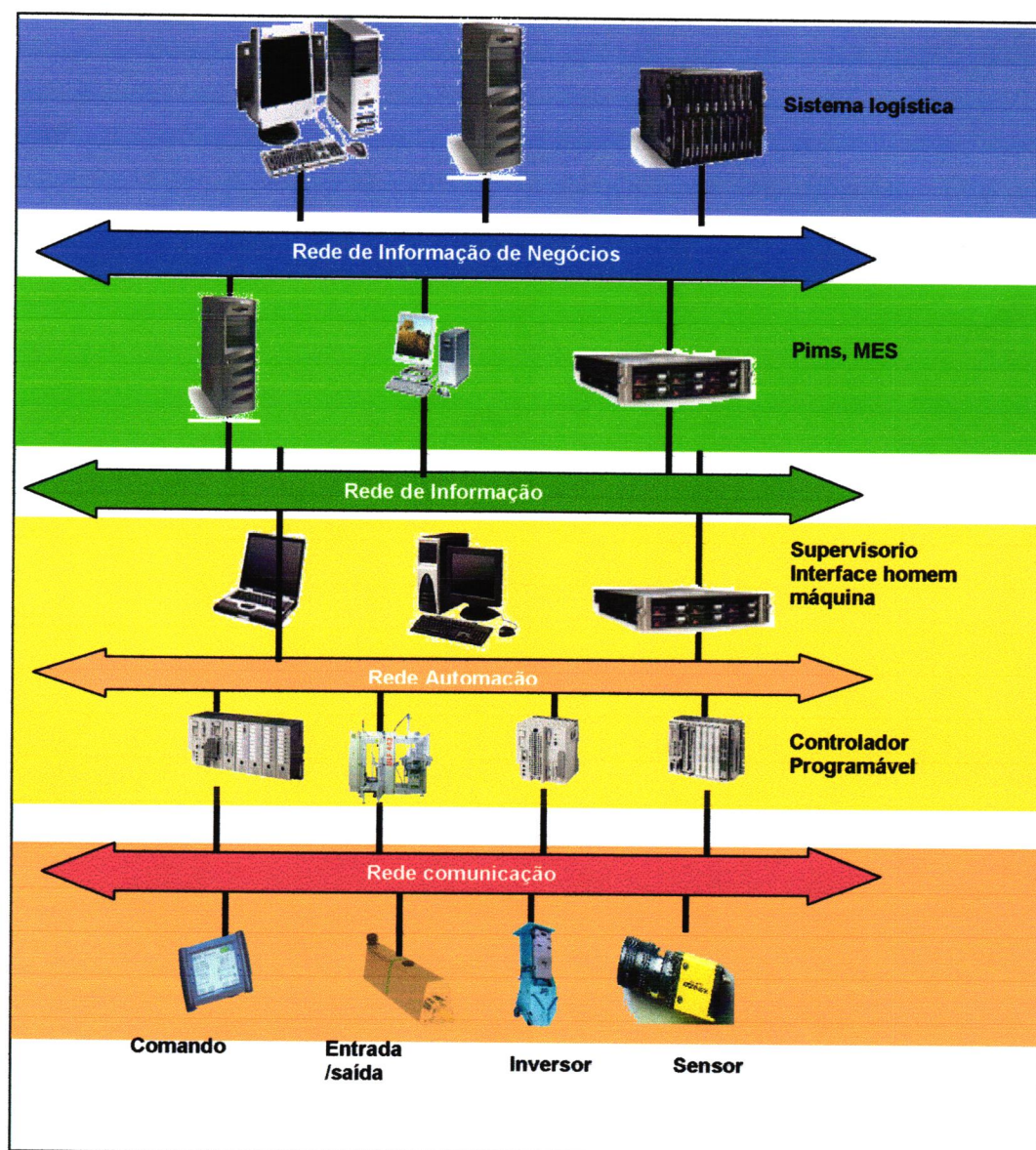


Figura 08: Topologia conceitual rede industrial
Fonte: ANSI / ISA S95

2.3 Instrumentação

A instrumentação é a parte mais importante da automação, os instrumentos são utilizados para medir, transmitir, e atuar no processo. Segundo (RIBEIRO) a instrumentação é o ramo da engenharia que trata do projeto, fabricação, especificação, montagem, operação e manutenção dos instrumentos para a medição, monitoramento e controle das variáveis de processo industrial.

Em todos os processos industriais é necessário controlar as variáveis, tais como pressão, nível, vazão, temperatura, pH, condutividade, velocidade, umidade, etc., e os instrumentos de medição e controle permitem manter estas variáveis sob controle, em condições melhores do que o controle manual feito pelo operador (BEGA, 2006).

Os sistemas de controle mantêm a variável controlada no valor específico, comparando o valor da variável medida, com o valor desejado (ponto de ajuste ou *set-point*), e fazendo as correções em função do desvio existente entre os dois valores (erro ou *offset*), sem a necessidade de intervenção do operador (BEGA, 2006).

Segundo Bega (2006), os instrumentos podem ser classificados em:

- Instrumentos cegos: São instrumentos que não tem indicação visível da variável medida no campo, e envia os sinais para a sala de controle, tais como pressostato (chave de pressão), e termostato (chave de temperatura).
- Instrumentos indicadores: São instrumentos que dispõem de indicador e escala graduada, no qual o operador pode ler o valor, são instrumentos tais como manômetros, e termômetros.
- Instrumentos registradores: São instrumentos que registram a variável.
- Transmissores: São instrumentos que detectam as variações dos elementos sensores e transmitem o sinal à distância.
- Conversores: São instrumentos que recebem um sinal pneumático ou eletrônico de outro instrumento e converte em sinais padrão, tais como 4 a 20 mA, 3 a 15 psi.
- Controladores: São instrumentos que comparam o valor medido e controla com o valor desejado, e exercendo uma ação de correção na variável manipulada, em função da diferença entre estes dois valores (erro ou *off-set*).
- Elementos finais de controle: São equipamentos que recebem o sinal de correção do controlador, e em função deste sinal modifica a variável manipulada, tais como válvula de controle, inversor de frequência e servo motores.

As normas de instrumentação estabelecem símbolos Gráficos e codificações para identificação alfa-numérica de instrumentos ou de funções programadas, que deverão ser utilizadas nos diagramas e malha de controle de instrumentação, estes símbolos e normas têm o objetivo de facilitar o entendimento dos diagramas, malhas de controle e viabilizar a comunicação entre os instrumentistas, projetista e fornecedores (BEGA, 2006).

Na Figura 09 representa a normalização dos símbolos e identificação dos instrumentos de medição e controle do processo, os símbolos incluem códigos alfa números, isto torna mais eficiente à comunicação do pessoal envolvido nas diferentes áreas de uma planta, para o pessoal da manutenção, operação, projeto e processo (RIBEIRO, 1999).

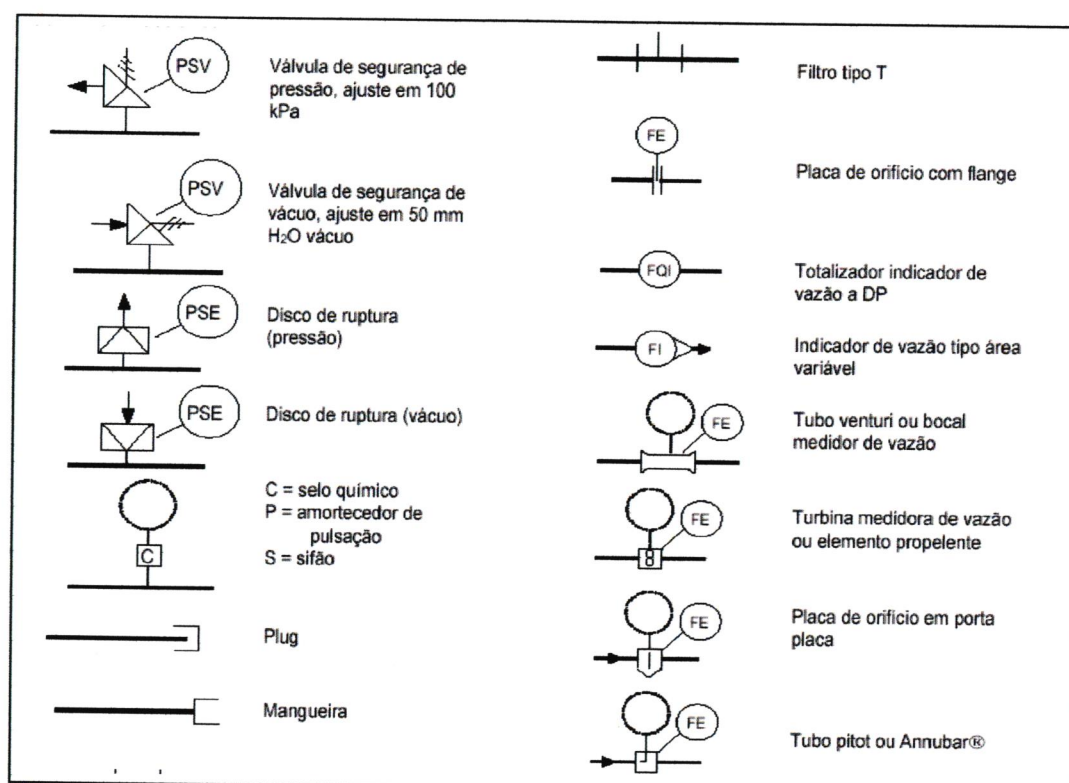


Figura 09: Simbologia e Identificação

Fonte: RIBEIRO, 1999.

No exemplo da Figura 10 a malha de controle de temperatura, o sensor de temperatura TE envia sinais elétricos para o transmissor de Temperatura TT informando a temperatura do trocador de calor e de acordo com o valor ajustado no controlador de temperatura TC irá gerar um comando de saída para o comando da válvula, para controlar a temperatura do sistema (RIBEIRO, 1999).

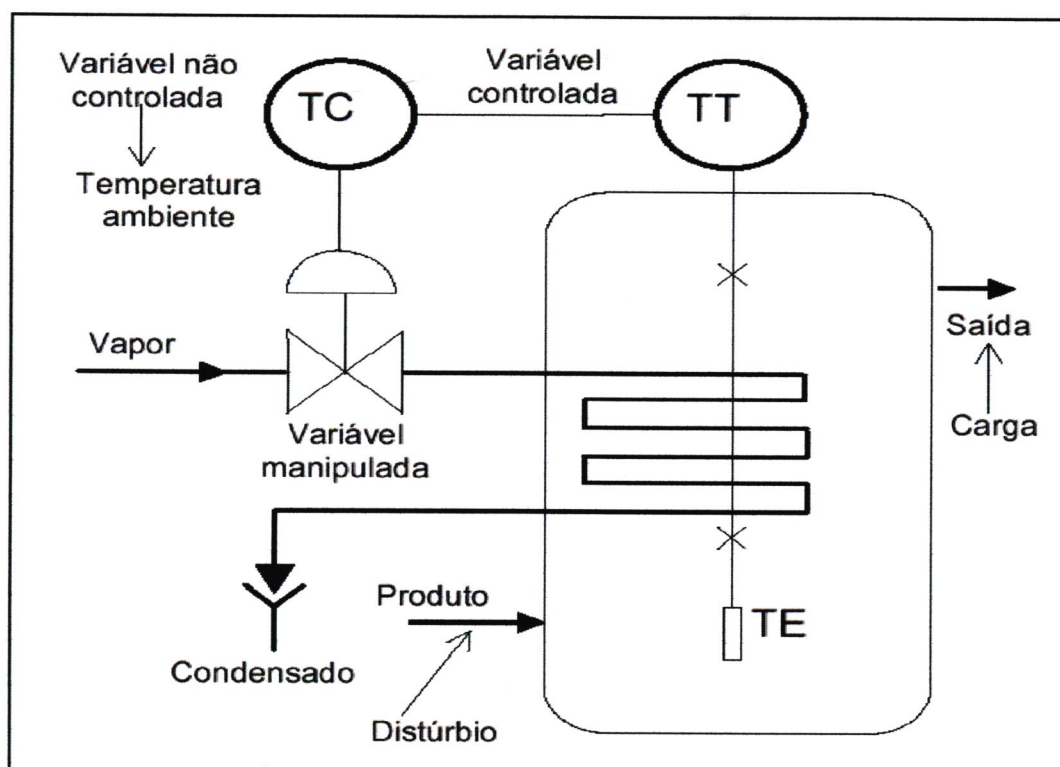


Figura 10: Malha de controle temperatura
Fonte: RIBEIRO, 1999.

2.4 Controle

Todo processo possui um fluxo de material, energia ou ambos. O fluxo de material ou energia é manipulado sob o comando de um controlador cujo objetivo é manter a variável do processo em um valor desejado; este valor é chamado de ponto de ajuste (set point). Por exemplo, um controlador de nível de um tanque manipula a vazão do líquido que entra no tanque, um controlador de pressão manipula a vazão de gás na entrada da esfera e um controlador de temperatura manipula a vazão de vapor da serpentina que passa no interior do vaso (RIBEIRO, 2005).

A Figura 11 mostra um exemplo da malha de controle de vazão, no qual o elemento sensor FE é uma placa de orifício que envia sinais com uma curva quadrática e o transmissor de vazão FT extrai a raiz quadrática e o sinal do controlador tem que ser convertido em um transdutor corrente para pressão I / P, o sinal de pressão irá atuar na válvula com atuador pneumático (RIBEIRO, 2005).

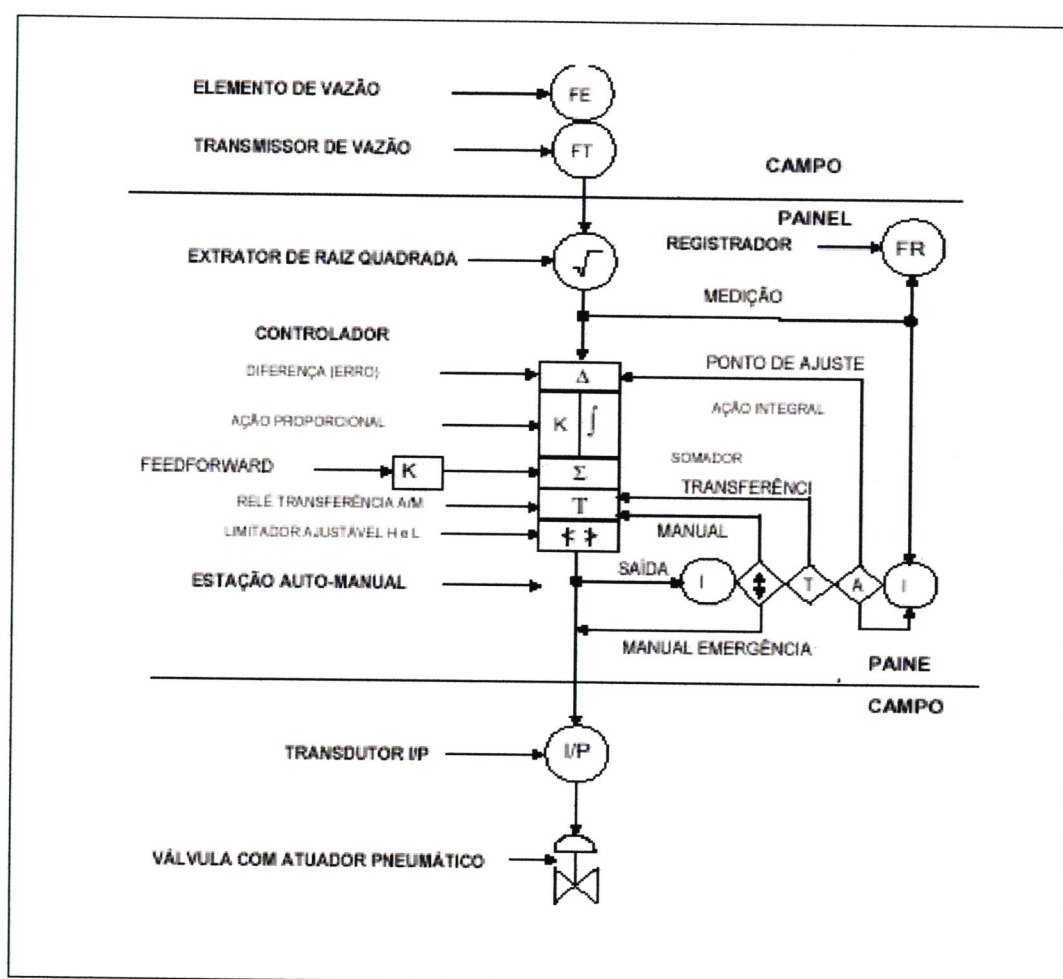


Figura 11: Malha de controle vazão
Fonte: RIBEIRO, 2005.

A vazão é definida como a quantidade de fluido que passa pela seção reta de um duto, por unidade de tempo, o fluido pode ser líquido, gás ou vapor. Esta quantidade do fluido pode ser medida em volume (vazão volumica) ou em massa (vazão mássica) BEGA (2006).

De acordo com Bega (2006), a área de instrumentação e controle de processos utiliza terminologia padronizada, e tem como objetivo de orientar os fabricantes, projetistas e o instrumentista na atuação no campo da instrumentação industrial:

- Faixa de medida (*Range*): Faixa de valores da variável medida ou controlada que estão compreendidas entre o limite superior e o limite inferior.
- Alcance (*Span*): É a diferença algébrica entre os valores superior e inferior da faixa do instrumento.
- Erro (*Offset*): É a diferença entre o valor do ponto de ajuste (*set point*) e o valor medido da variável controlada.
- Ponto de ajuste (*Set-point*): É o ponto no qual o controlador é ajustado para controlar o processo.
- Precisão (*Accuracy*): É a tolerância de medição ou de transmissão do instrumento, define o limite dos erros cometidos do instrumento. A tolerância pode ser expressa de várias maneiras, em porcentagem do alcance, em unidades da variável medida, em porcentagem da leitura, em porcentagem do valor máximo da faixa medida (*range*), e em porcentagem do comprimento da escala.
- Sensibilidade (*Sensitivity*): Valor mínimo que a variável deve mudar para obter-se uma variação na indicação ou transmissão. Normalmente expressa em porcentagem do alcance (*Span*).
- Repetibilidade (*Repeatability*): É a capacidade de reprodução da indicação ou transmissão ao se medir, repetidamente, valores idênticos da variável medida, nas mesmas condições de operação e no mesmo sentido de variação. A repetibilidade é geralmente expressa em porcentagem do alcance (*Span*).
- Histerese (*Hysteresis*): Diferença máxima que se observa nos valores indicados pelo instrumento, para um mesmo valor qualquer da faixa de medida, quanto a variável percorre toda a escala tanto no sentido crescente como no decrescente. A histerese geralmente é expressa em porcentagem do alcance (*Span*).

Conforme o exemplo da malha de controle de nível da Figura 12, o valor do nível é ajustado e o controle irá calcular o valor que será feito à correção na saída, esta correção será proporcional ao erro, este ajuste é chamado de ganho ou sensibilidade. A sensibilidade é geralmente em termos de ganho proporcional ou simplesmente ganho, que é o equivalente à quantidade de reação dividida pela quantidade de estímulo, e o ganho é definido como a variação da saída correspondendo a uma dada variação de entrada dividida pela variação da entrada (RIBEIRO, 1999).

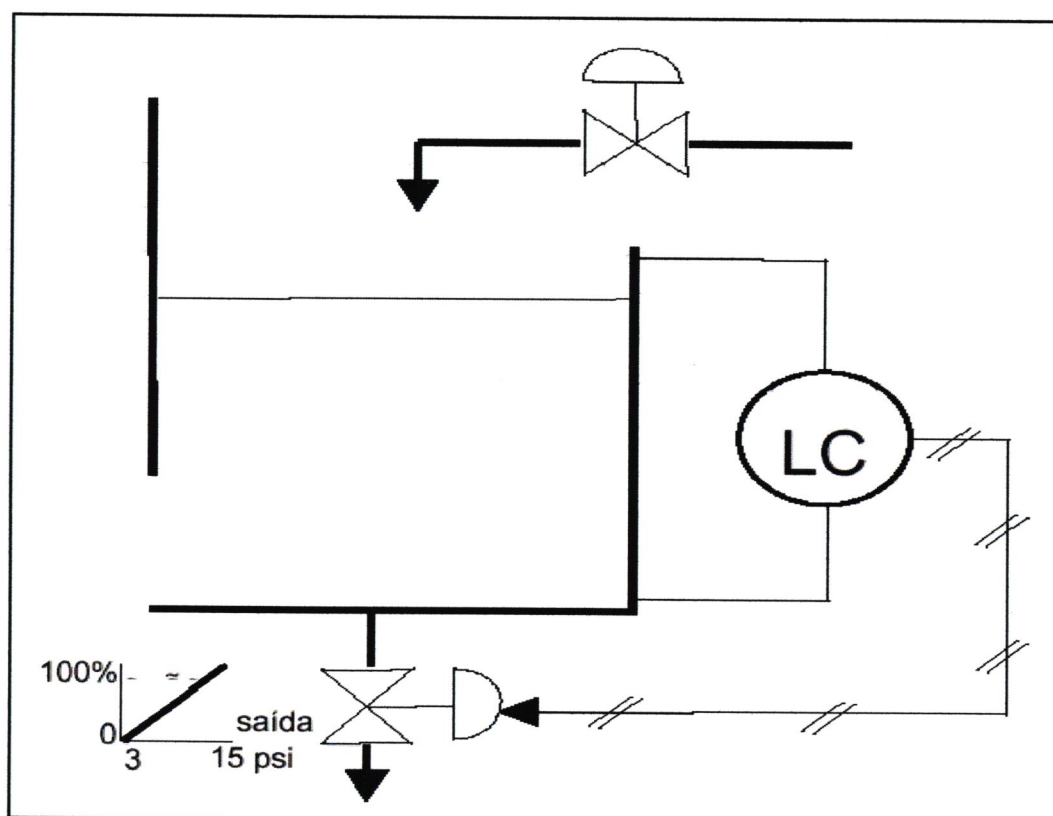


Figura 12: Malha de controle nível

Fonte: RIBEIRO, 1999.

De acordo com Bega (2006) as ações de controle são:

- Controle liga-desliga (*on-off*) é conhecido como controle binário ou controle de duas posições, no qual o elemento final de controle é normalmente uma válvula solenóide, que assume apenas duas posições extremas, aberta ou fechada.
- Controle Auto-operado: Neste tipo de controle o controlador utiliza o próprio fluido de processo para operar o controle.

- Controle proporcional (P): É um controle mais sofisticado que o controle liga-desliga, e a saída é modulada de acordo com o erro, porém é ajustado o valor proporcional da ação desejada. O controle proporcional puro é normalmente aplicado em muitos processos contendo constante de tempo simples, e responde rapidamente tanto aos distúrbios como às alterações do ponto de ajuste.
- Controle proporcional-integral (PI): Esta ação de controle fornece ao controle proporcional um recurso adicional chamado ação integral. A ação integral é normalmente utilizada em conjunto com a ação proporcional, sendo utilizada ao longo do tempo para a estabilização da variável.

É com certeza a ação de controle mais utilizada em controle de processo, com a vantagem de aumentar a velocidade de resposta à ação integral isoladamente.

- Controle proporcional-derivativo (PD): A ação derivativa não pode ser usada isoladamente, normalmente é aplicada em conjunto com a ação proporcional, resultando na ação PD. A análise da ação derivativa é feita através de uma variação do tipo “rampa” da variável do processo.

Trata-se de um controle efetivo quando se têm sistemas com algumas constantes de tempo, resulta numa resposta mais rápida.

- Controle proporcional-integral-derivativo (PID): Este controle combina as características de estabilidade conferida pelo controle proporcional mais integral, com as características de eliminação do erro oferecidas pelo controle proporcional mais derivativo.

2.5 Controlador Programável

Um controlador lógico programável CLP é constituído de fonte de alimentação, unidade de processamento, memórias, dispositivos de entrada e saída, e um terminal de programação, conforme mostrado na Figura 13 (MORAES e CASTRUCCI, 2001).

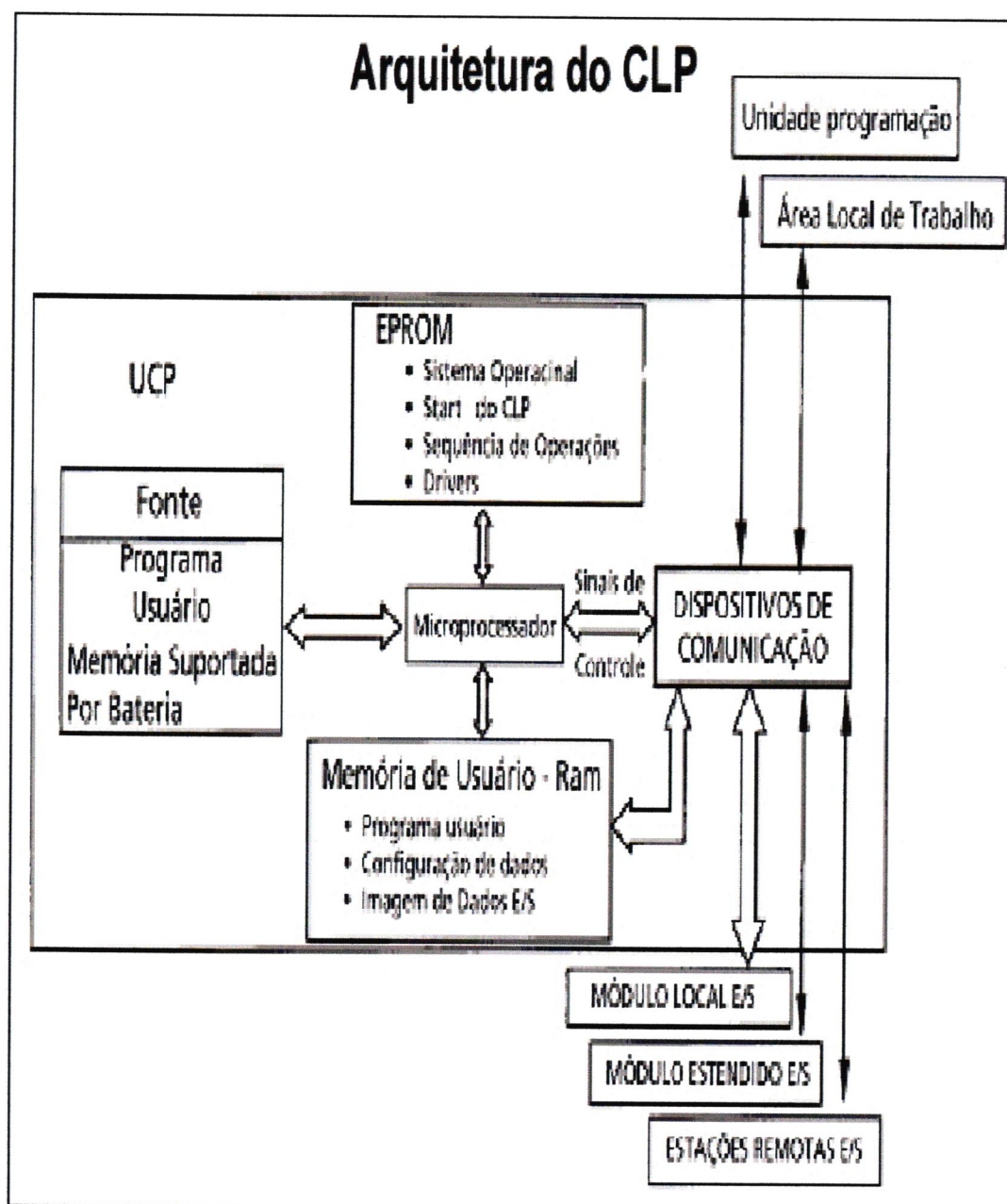


Figura 13: Diagrama de blocos do CLP
Fonte: MORAES e CASTRUCCI, 2001.

No ciclo de processamento da Figura 14, a varredura é processada em ciclo fechado e contínuo, o controlador lê a porta de entrada, em seguida ocorre o processamento da instrução do programa, e depois a porta saída é acionada (MORAES e CASTRUCCI, 2001).

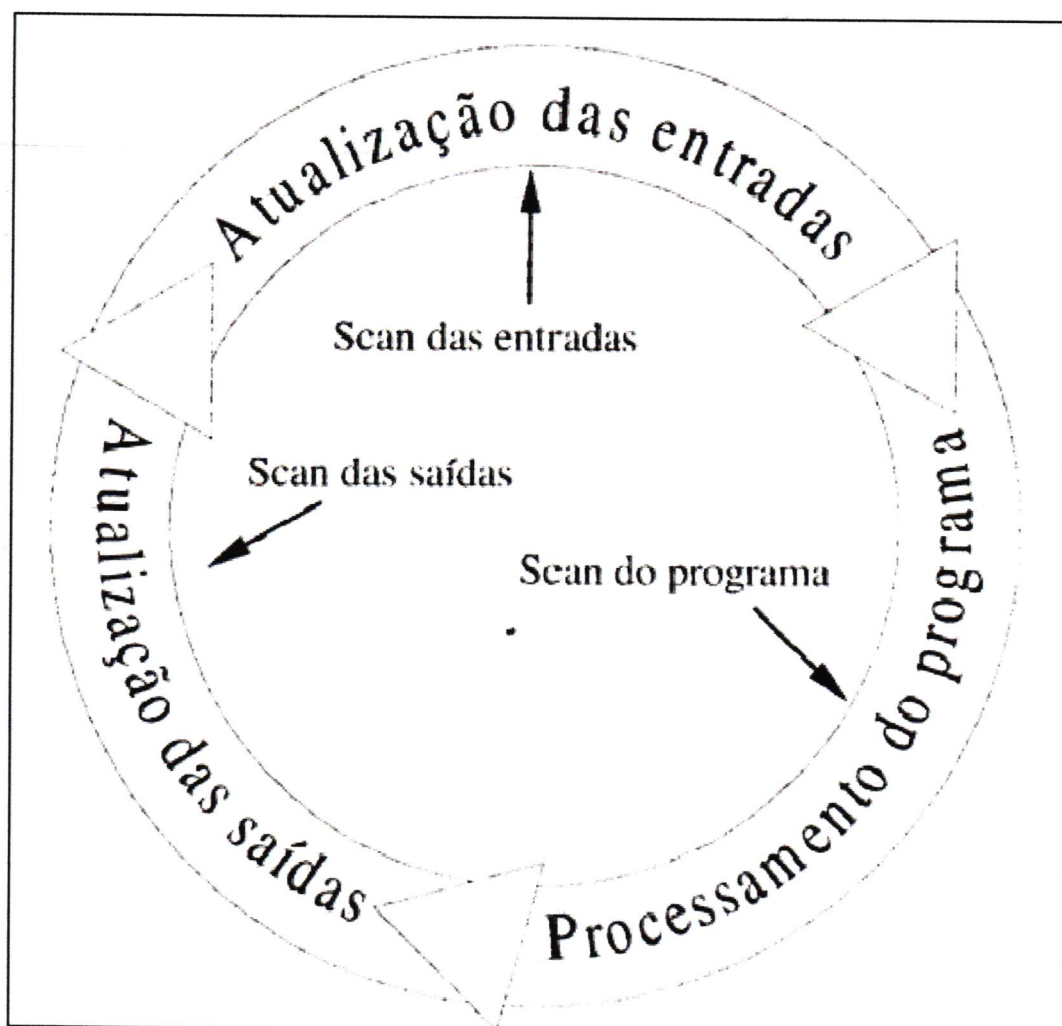


Figura 14: Ciclo de processamento (*scan*)

Fonte: (MORAES e CASTRUCCI, 2001).

De acordo com Moraes e Castrucci (2001), a linguagem de programação utilizado no CLP é de alto nível e bastante amigável, as mais usuais são:

- Linguagem de diagrama de blocos (*Block diagram*) que utiliza blocos de lógica booleana.
- Linguagem de diagrama de contatos (*ladder diagram*) da Figura 15 é a que se assemelha ao diagrama de contatos dos diagramas elétricos.
- Linguagem de texto estruturado (*structured text*) é uma linguagem de alto nível em forma de texto, uma sequência de comandos.

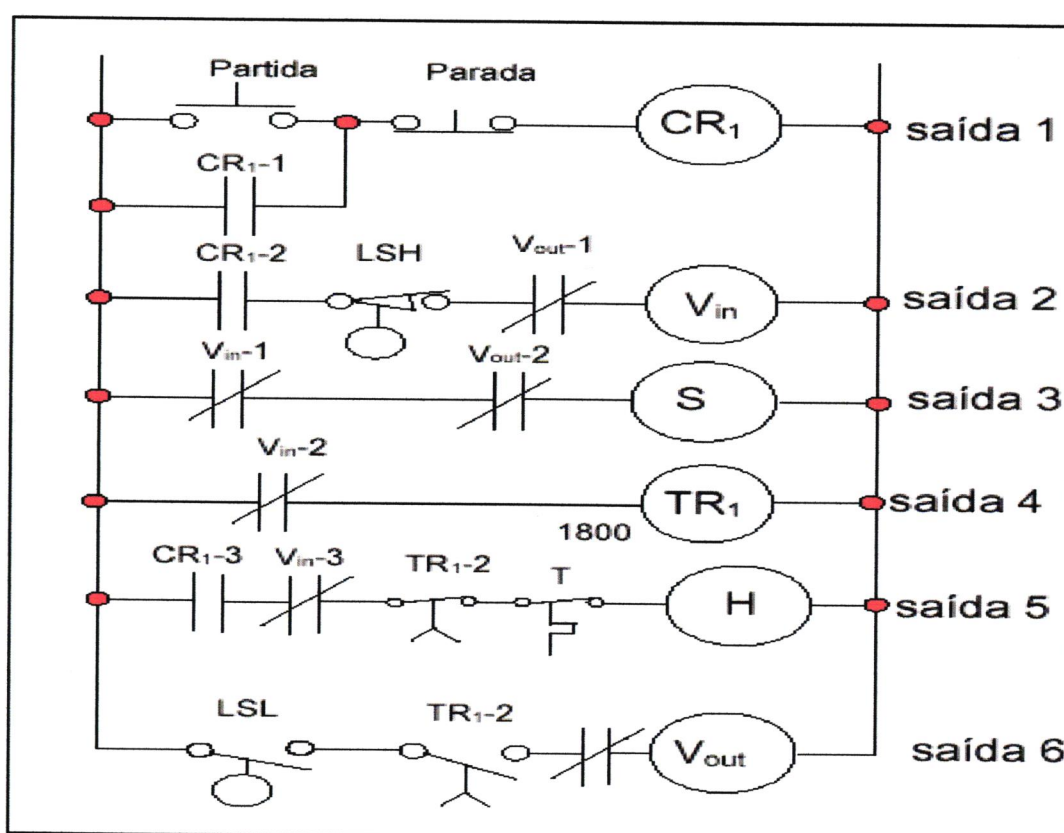


Figura 15: Diagrama ladder típico
Fonte: MORAES e CASTRUCCI, 2001.

Os CLP's são equipamentos eletrônicos utilizados em sistemas de automação, que processa tanto sinais digitais quanto os sinais analógicos, porém os sinais analógicos terão que ser convertidos para digital, pois o CLP trabalha com sinais binários. A estrutura de um CLP é mostrada na Figura 16, no qual o CLP é dividido em três partes: entrada, processamento e saída (SCHUTTENBERG, et al, 2004).



Figura 16: Estrutura de um CLP
Fonte: SCHUTTENBERG, et al, 2004.

2.6 Ferramentas da qualidade

Há várias definições para qualidade, como também, ela pode ser utilizada em diversas situações, de tal forma que, pode ser difícil para o cliente exprimir o que considera um produto de qualidade. O gerenciamento para a qualidade tem que ser definido como um compromisso concreto da alta direção de uma empresa com a busca pela melhoria de seus níveis de qualidade (KUME, 1985).

Através do conceito de qualidade total é possível entregar ao cliente um produto que tenha a sua preferência. Segundo Dellaretti e Drumond (1994), a qualidade total tem cinco dimensões, ou características de qualidade que são:

- Qualidade intrínseca: Característica específica do produto de acordo com as necessidades do cliente.
- Custo: Custo operacional do produto.
- Entrega: Entregar ao cliente com a qualidade certa.
- Moral: Um ambiente de trabalho de qualidade.
- Segurança: O cliente e a equipe devem se sentir segura ao usar o produto.

Para praticar o controle da qualidade total é preciso ter bem definido o que realmente significa o termo qualidade, e segundo Campos (1992), qualidade de um serviço ou produto é aquela que atende perfeitamente, de forma confiável, de forma acessível, de forma segura e no tempo certo às necessidades do cliente, portanto, um projeto perfeito, sem defeitos, com custo baixo, segurança do cliente, entrega no prazo certo, no local certo e na qualidade certa.

Os cinco componentes ou dimensões da qualidade, que geram o conceito de qualidade total esta representada na Figura 17 (DELLARETTI, DRUMOND, 1994).

	DIMENSÕES DA QUALIDADE	ATINGIDOS
QUALIDADE TOTAL	QUALIDADE -PRODUTO/SERVIÇO -ROTINA	CLIENTE
	CUSTO - CUSTO - PREÇO	CLIENTE,ACIONIS EMPREGADO
	ENTREGA PRAZO CERTO LOCAL CERTO QTDE. CERTA	CLIENTE
	MORAL - EMPREGADOS	EMPREGADO
	SEGURANÇA - EMPREGADOS -USUÁRIOS	CLENTE, EMPREGADO

Figura 17: Dimensões da qualidade total

Fonte: (DELLARETTI, DRUMOND, 1994).

As sete ferramentas da qualidade são:

- Gráfico de pareto

O diagrama de pareto é um Gráfico de barras que ordena as frequências das ocorrências, da maior para a menor, com uma curva de percentagens acumuladas. O diagrama tem a finalidade de permitir a identificação das causas ou do problema mais importante, permitindo a priorização dos problemas, o que possibilita a concentração de esforços para a solução dos problemas. (CAMPOS, 1999).

Os problemas de qualidade aparecem sob a forma de perdas, itens defeituosos e custos, e é importante distribuir as perdas para decidir quais os problemas devem ser investigado (KUME, 1985).

O diagrama de pareto por efeito se refere aos resultados indesejáveis e é utilizado para descobrir qual é o maior problema, de qualidade, custo, entrega e segurança. O diagrama de pareto por causas se refere às causas no processo, e é utilizado para descobrir qual é o maior problema, de máquina, operador, matéria-prima e método (KUME, 1985).

- Diagrama de causa e efeito

O diagrama de causa e efeito, também conhecido como espinha de peixe ou diagrama *Ishikawa*, o diagrama é uma importante ferramenta para identificar as causas do problema que precisa ser evitada. A Figura 18 é uma representação gráfica de um processo com um conjunto de causas, capaz de produzir um efeito (DELLARETTI, DRUMOND, 1994).

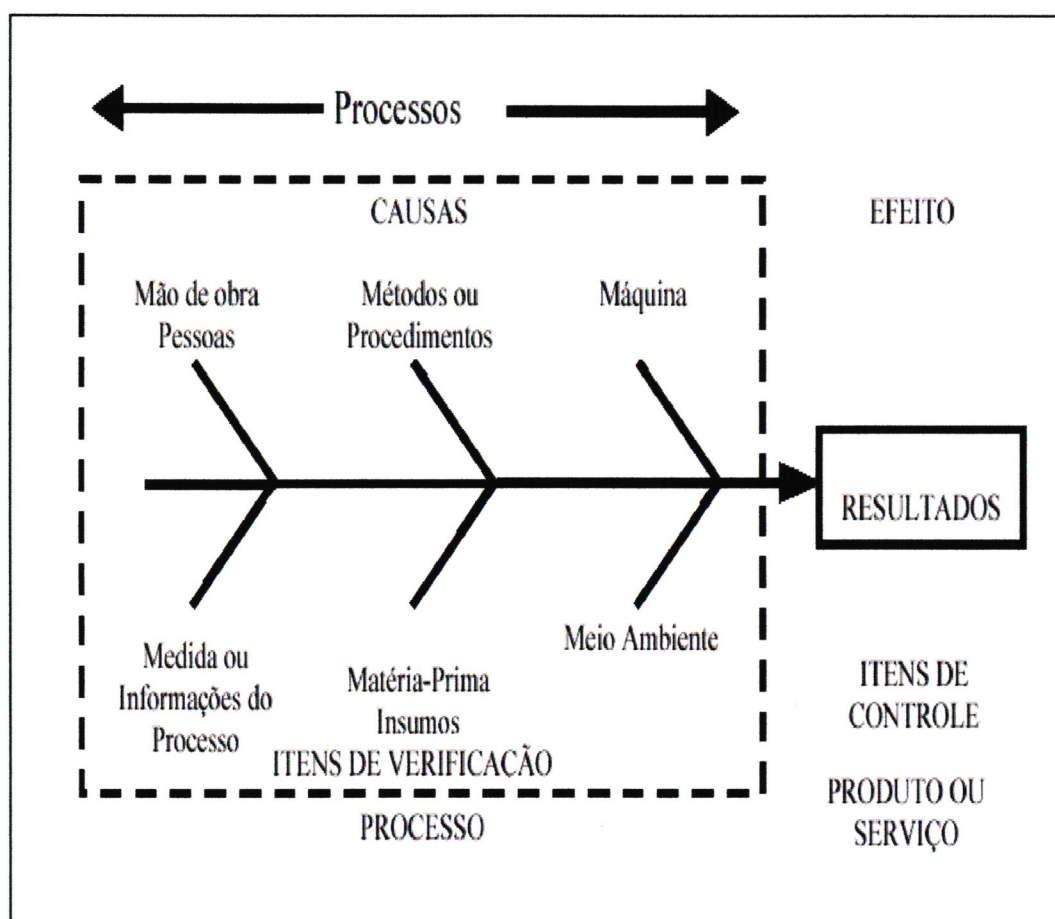


Figura 18: Representação de um processo através do diagrama de *Ishikawa*
Fonte: DELLARETTI, DRUMOND, 1994.

O diagrama causa e efeito é também conhecido como 6M, Método Matéria-prima Mão-de-obra Máquinas Medição Meio ambiente, ele permite estruturar hierarquicamente as causas de determinado problema, bem como seus efeitos sobre a qualidade (DELLARETTI, DRUMOND, 1994).

- Histograma

O histograma é um Gráfico composto por retângulos juntos, a base de cada um deles corresponde ao intervalo de classe e a sua altura à respectiva frequência. Dados obtidos de uma amostra servem como base para uma decisão, quanto maior o tamanho da amostra, implica no aumento da qualidade dos dados (KUME, 1985).

A construção de histogramas tem caráter preliminar em qualquer estudo e é um importante indicador da distribuição de dados. O histograma é a ferramenta adequada para conhecer o padrão de variação das características da qualidade de um processo que está sob controle (DELLARETTI, DRUMOND, 1994).

- Folhas de verificação

Uma folha de verificação é um formulário no qual os itens a serem verificados são impressos de modo que possam ser coletados de forma fácil e concisa. As folhas têm duas finalidades, que é facilitar a coleta dos dados e organizar os dados simultaneamente coletados. O uso de folhas de verificação economiza tempo, eliminando o trabalho de se desenhar Figuras ou escrever números repetitivos (KUME, 1985).

- Gráfico de dispersão

Um Gráfico de dispersão constitui a melhor maneira de estudar a relação entre duas variáveis quantitativas associadas. Coleta dados aos pares de duas variáveis para checar a existência real da relação entre essas variáveis, tais como a velocidade do torno e uma dimensão de uma peça, para entender a relação entre elas, é preciso construir um diagrama de dispersão e observar a relação global (KUME, 1985).

- Fluxograma

Fluxograma é uma representação esquemática de um processo, feita através de Gráficos que ilustram de forma descomplicada o fluxo de informações, são os passos necessários para a execução de um processo quaisquer. (CAMPOS, 1992).

- Gráfico de controle

Carta de controle ou Gráfico de controle é um Gráfico que consiste em uma linha central que comumente é utilizado para o acompanhamento durante um processo, e um par de linhas de limites de controle, um dos quais localiza-se abaixo da linha central e a outra linha acima da linha central, estas linhas que determinam uma faixa chamada de tolerância limitada pela linha superior (limite superior de controle) e uma linha inferior (limite inferior de controle) e uma linha média do processo, que foram estatisticamente determinadas (KUME, 1985).

3 METODOLOGIA

Metodologia é a utilização de métodos científicos na concepção de trabalhos de pesquisa oferecendo maior segurança no alcance dos objetivos traçados no decorrer da atividade, detectando erros e auxiliando nas decisões (LAKATOS, 2003).

Foi aplicada a metodologia de pesquisa descritiva aplicando a ferramenta da qualidade para levantamento de dados, análise com a utilização do Gráfico de Pareto e o diagrama de causa e efeito. A pesquisa realizada na Vale para examinar a situação do sistema térmico e elétrico, avaliando a viabilidade de melhoria.

A pesquisa descritiva e exploratória visa expor os dados do sistema energético e as correlações com os dados operacionais da Vale. Quanto aos meios utilizados para o desenvolvimento deste trabalho foram realizados através de pesquisa em livros de automação, química industrial, e gestão da qualidade total.

4 GESTÃO ENERGÉTICA DA SECAGEM POTÁSSIO

A otimização energética tem como objetivo fazer uso criterioso e efetivo da energia térmica e elétrica do processo de secagem do potássio em leito fluidizado, uma estratégia para maximizar o lucro, minimizar custo, e com isto fortalecer posições competitivas. O diagnóstico energético é um conjunto de avaliações e estudos técnicos que permite identificar as condições operacionais das instalações elétricas, viabilizando técnicas e econômicas as medidas energéticas.

4.1 Energia Térmica Secador

No processo de secagem do potássio é utilizada energia térmica, um queimador que utiliza o gás natural como fonte calorífica, na Figura 19 podemos observar o funcionamento do sistema. O sistema de combustão tem duas entradas, um de ar que é feita através do ventilador de combustão e outra de adição do gás natural.

A caixa de vento é a parte que fica embaixo do leito fluidizado do potássio, e o operador tem que monitorar a temperatura da caixa de vento e a temperatura do secador, para controlar o poder calorífico do queimado suficiente para secar o produto. O poder calorífico é controlado pela malha de controle de vazão de gás natural.

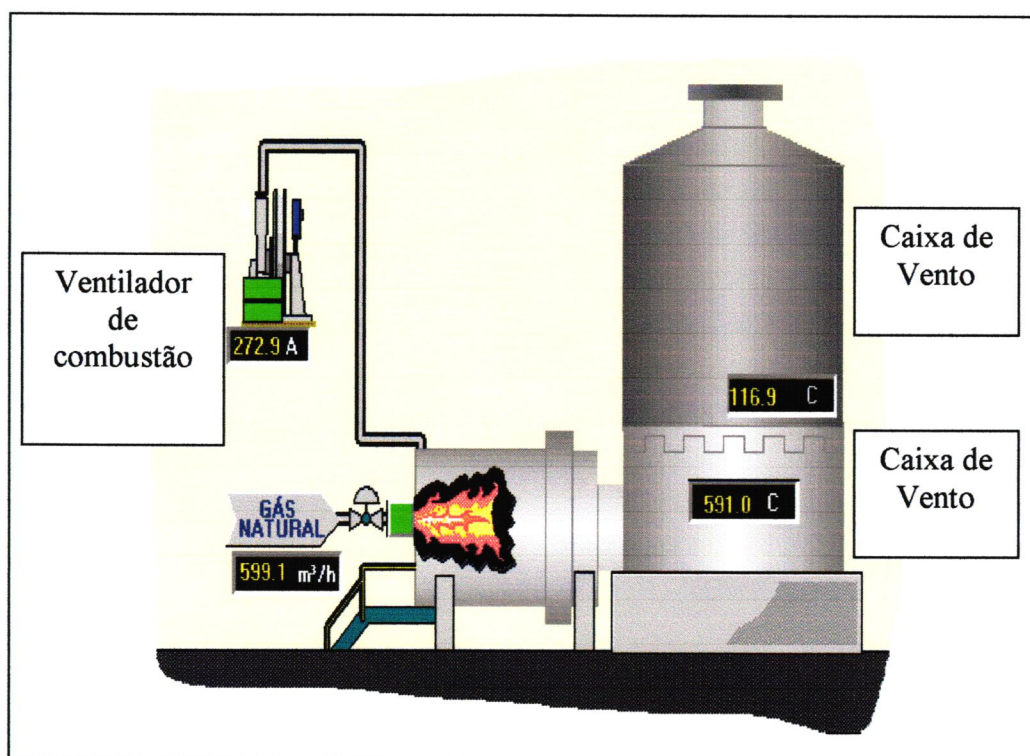


Figura 19: Tela do Sinótico Secador

Com a informação da temperatura do secador, o operador terá que tomar a decisão de aumentar ou diminuir a vazão do gás, colocando o *set-point* de vazão desejada na malha de controle, o controlador PI em automático irá aumentar ou diminuir a abertura da válvula, procurando controlar a vazão do gás natural.

A combustão do sistema é feita pela adição de ar e gás, uma vez a vazão de gás já solicitada pelo operador e controlada pela malha, faz se necessário o controle da adição do ar de acordo com a vazão de gás solicitada pelo operador. Na curva mostrada no Gráfico 01 é possível observar como funciona o sistema de combustão, com o aumento da vazão do gás, aumenta a abertura do *dumper* do ventilador, e conseqüentemente aumenta a vazão do ar.

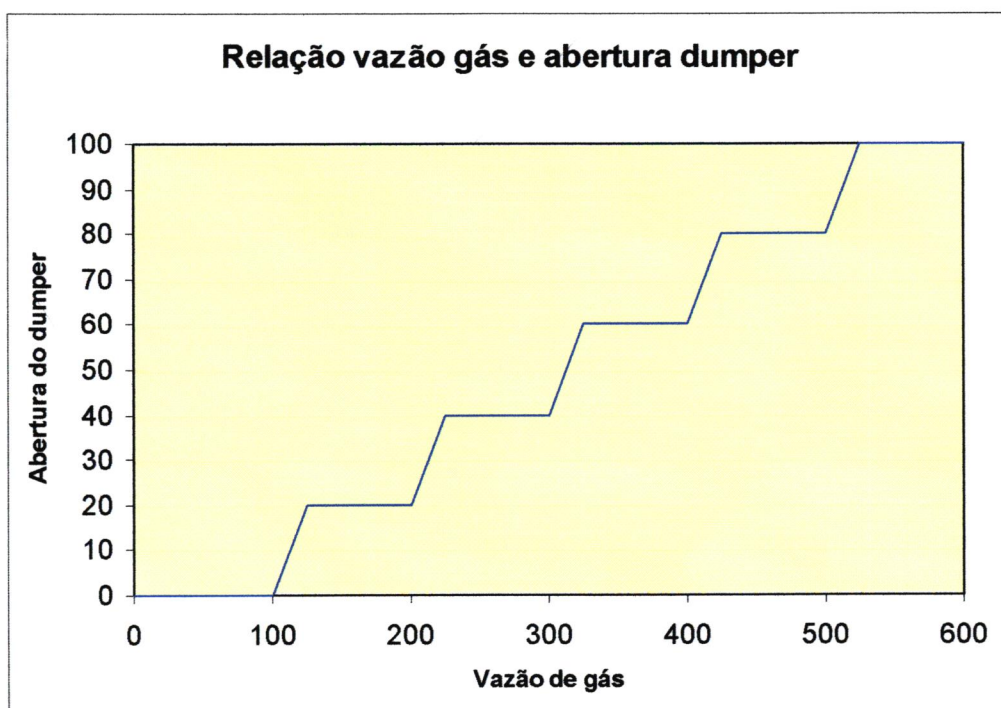


Gráfico 01: Curva da combustão secador.

4.1.1 Diagnóstico energia térmica

Com o diagnóstico do processo de secagem de potássio, permite identificar as condições operacionais, e identificar os pontos de melhorias.

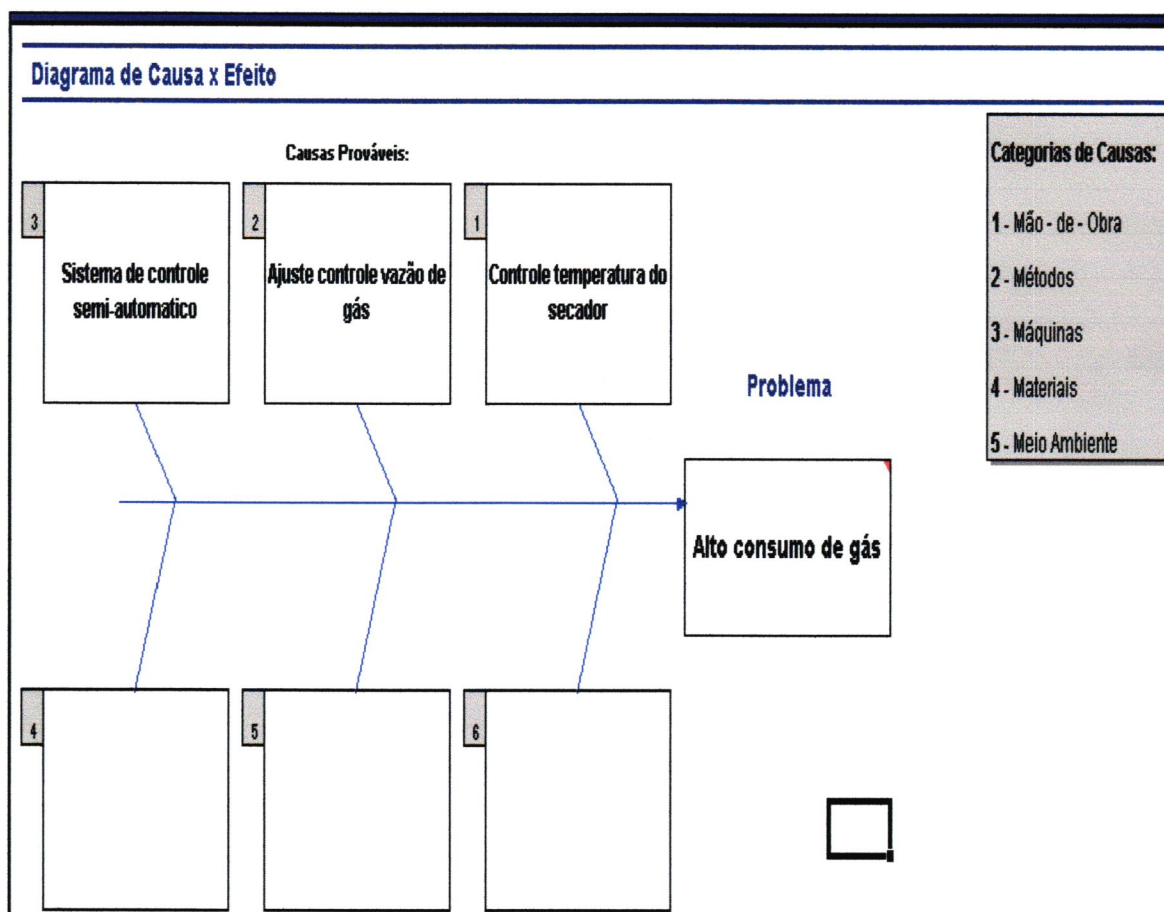
O diagrama de causa e efeito da Tabela 01 tem como consequência de consumo alto de gás, as seguintes causas:

Na categoria de causa de máquinas, o sistema de controle semi-automático, no qual as malhas de temperatura e vazão de gás são dependentes de atuação manual do operador.

Na categoria de causa de métodos, o ajuste do controle de vazão de gás, o comanda para adição de ar, e feito por faixas de vazão de gás.

Na categoria de causa de mão-de-obra, o operador procurar ser conservador nas suas ações, colocando valor de temperatura maiores do que o necessário para secar o produto, uma vez que temperatura baixa do secador, pode ter consequências para o secador e empedrar o leito fluidizado.

Tabela 01: Diagrama de causa e efeito



4.1.2 Otimização energia térmica

O diagnostico da energia térmica no secador identifica os pontos a melhorar no processo, e a importância de um plano de ação para otimizar o sistema.

No plano de ação da Tabela 02, pode observar as ações traçadas para as causas identificadas no diagnóstico.

Tabela 02: Plano de ação energia térmica

Plano de Ação / Verificação						
Plano de Ação						
CAUSA / MEDIDA	O QUE	QUEM	QUANDO			
Sistema de controle semi-automático	Implementar um controle automático em cascata, a temperatura do secador controlando o vazão do gás.	Marcos Ritter	M	Jan	Fev	
			P	15/1		
			R	s		
Ajuste controle vazão de gás	Fazer análise da chama e traçar nova curva da adição de ar e vazão de gás	Rogério Moura	M	Jan	Fev	
			P	19/1		
			R	s		
	Melhorar o controle automático de vazão de gás, colocando fórmula de controle de acordo com a nova curva da chama perfeita.	Paulo Baffa	M	Jan	Fev	
			P	25/1		
			R	s		
Controle temperatura do secador	Treinar operadores no novo sistema de controle automático em cascata.	Jose Reis	M	Jan	Fev	
			P	5/2		
			R	s		
	Revisar procedimento operacional.	Jose Reis	M	Jan	Fev	
			P		6/2	
			R		s	
	Reduzir valores de temperatura para valores minino necessário para secagem do potássio.	Renato Faria	M	Jan	Fev	
			P		7/2	
			R		s	
N. Ações Planejadas			6	4	2	
N. Ações Realizadas			6	4	2	
% Ações realizadas			100%	100%	100%	

Para o problema do sistema semi-automático foi desenvolvido um sistema de controle automático em cascata. Na Figura 20 demonstra o controle em cascata da temperatura do secador com a vazão. O transmissor de temperatura TT informa a temperatura do secador, o operador coloca a temperatura desejada no secador através do *set-point* e a saída do controlador de temperatura TIC será o *set-point* de vazão de gás do controlador FIC. O transmissor de vazão de gás FT informa à vazão que esta no momento, e a saída de controlador FIC irá comandar a posição da válvula de controle FCV do gás.

Desta forma o processo semi-automático de controle da temperatura é substituído por um controle em cascata da temperatura comandando o pedido da vazão do gás.

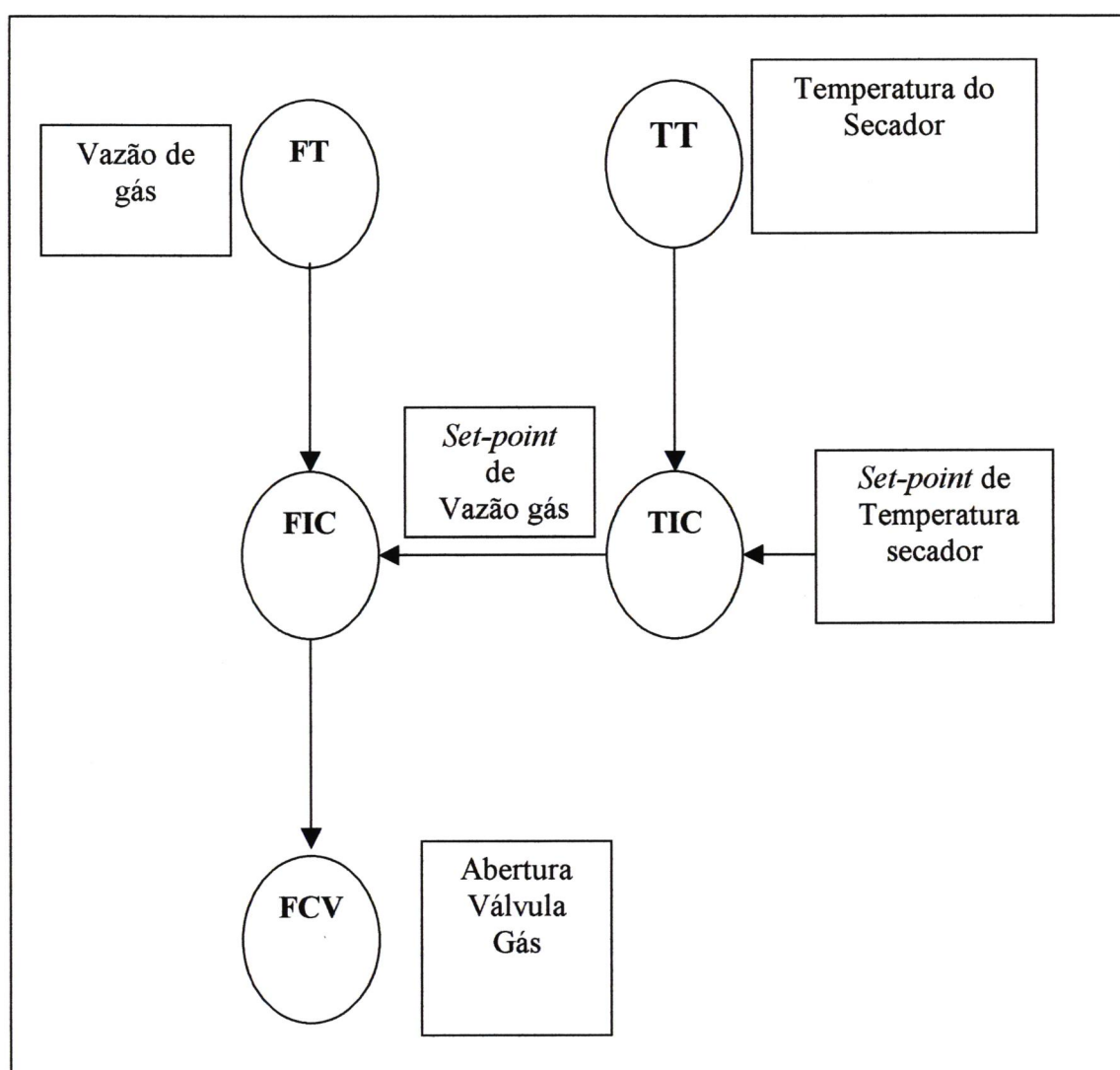


Figura 20: Malha de controle Cascata

Para o problema de ajuste de controle de vazão de gás, foi necessário fazer o levantamento da curva do gás e ar, no qual de acordo com a vazão de gás, controlava a adição de ar. Nesta nova curva foi analisada a qualidade da chama, a cor azul indica boa regulagem.

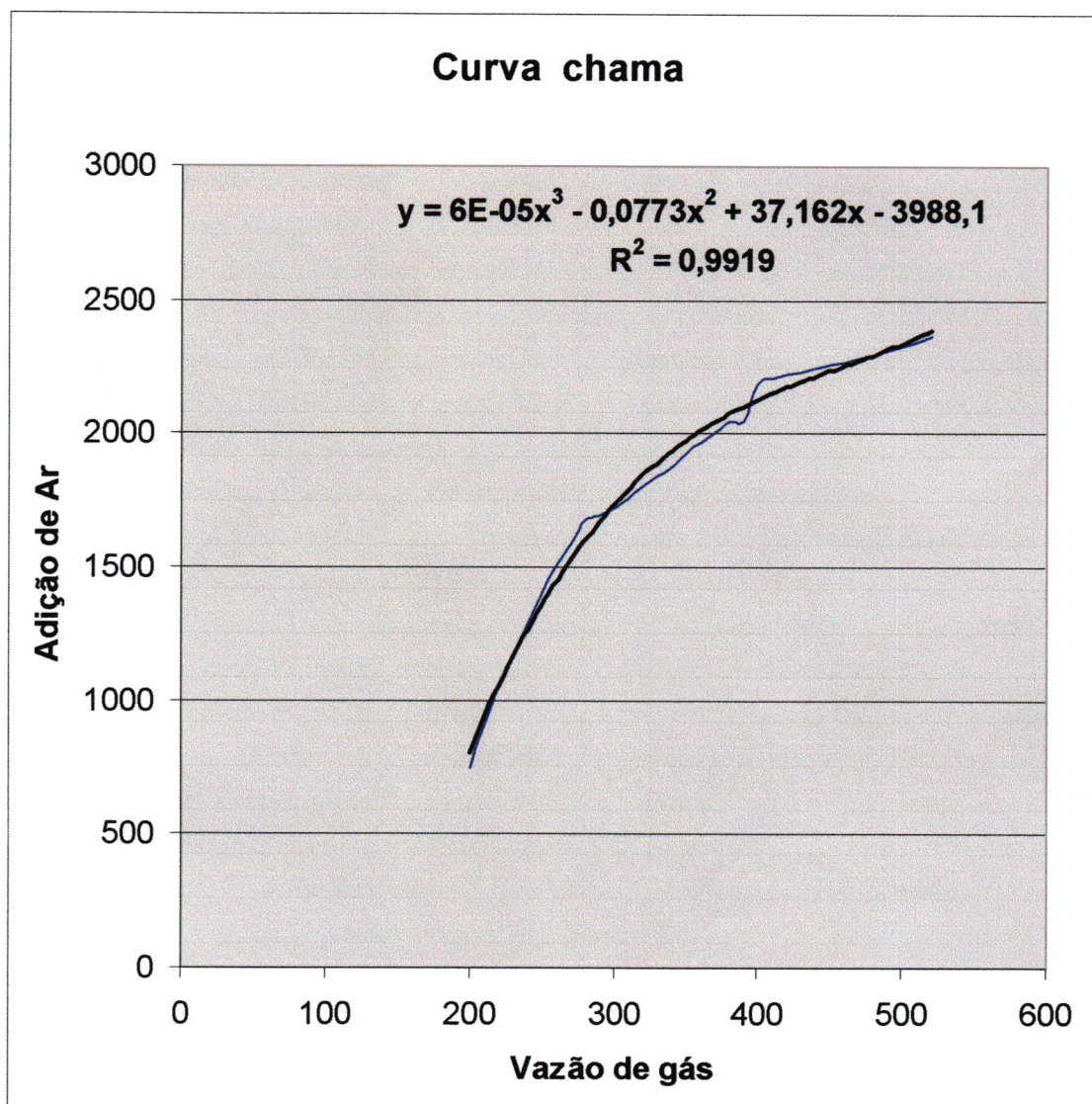


Gráfico 02: Curva da chama secador

Com a inclusão do controle da combustão através da chama a malha de controle em cascata da Figura 21 irá verificar a temperatura e controlar a vazão de gás. O transmissor de temperatura TT informa a temperatura do secador, e este sinal de temperatura é enviada para o controlador de temperatura TIC, o controlador de temperatura irá processar a informar e de acordo com o valor ajustado de temperatura, o controlador TIC solicita o aumento ou a redução da vazão de Gás.

O controlador FIC é o início da malha em cascata, o transmissor de vazão de gás FT envia a informação para FIC, e o FIC recebe a informação também do TIC da temperatura necessário e manda o comando para a válvula de controle FCV, aumentando ou diminuindo a vazão do gás. O controlador de ar SIC recebe a informação da vazão de gás e nesta malha é incluída a nova formula da chama do Gráfico 02 no controlador de vazão de ar SIC, no qual a variável X é a vazão do gás e o FIC calcula a variável Y.

Depois de calculado a variável Y irá atuar no inversor de frequência FCV, finalizando assim o controle completo do processo, sem a necessidade da interferência em tempo integral do homem e com um melhor aproveitamento do poder calorífico, com a máxima eficiência.

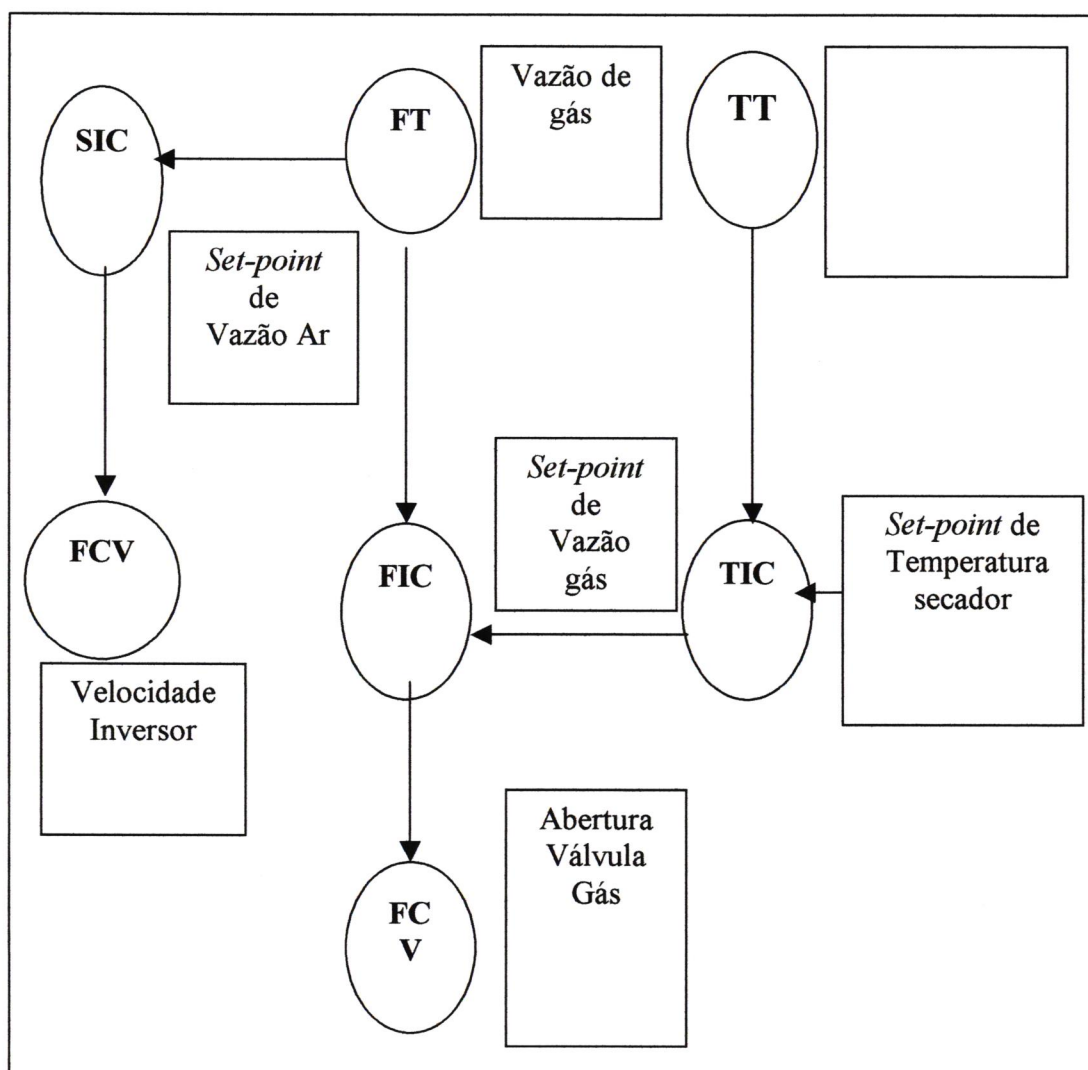


Figura 21: Malha de controle combustão

4.2 Energia Elétrica

Para otimizar o uso da energia elétrica na secagem foi necessário um estudo da viabilidade do projeto, uma vez que é necessário investimento em equipamentos mais eficientes e também pesquisa de novas tecnologias.

No estudo das cargas elétricas da secagem o Gráfico 03 identifica as potências dos equipamentos. As maiores potências esta na categoria de ventiladores, representando mais de 80% da área do consumo da secagem.

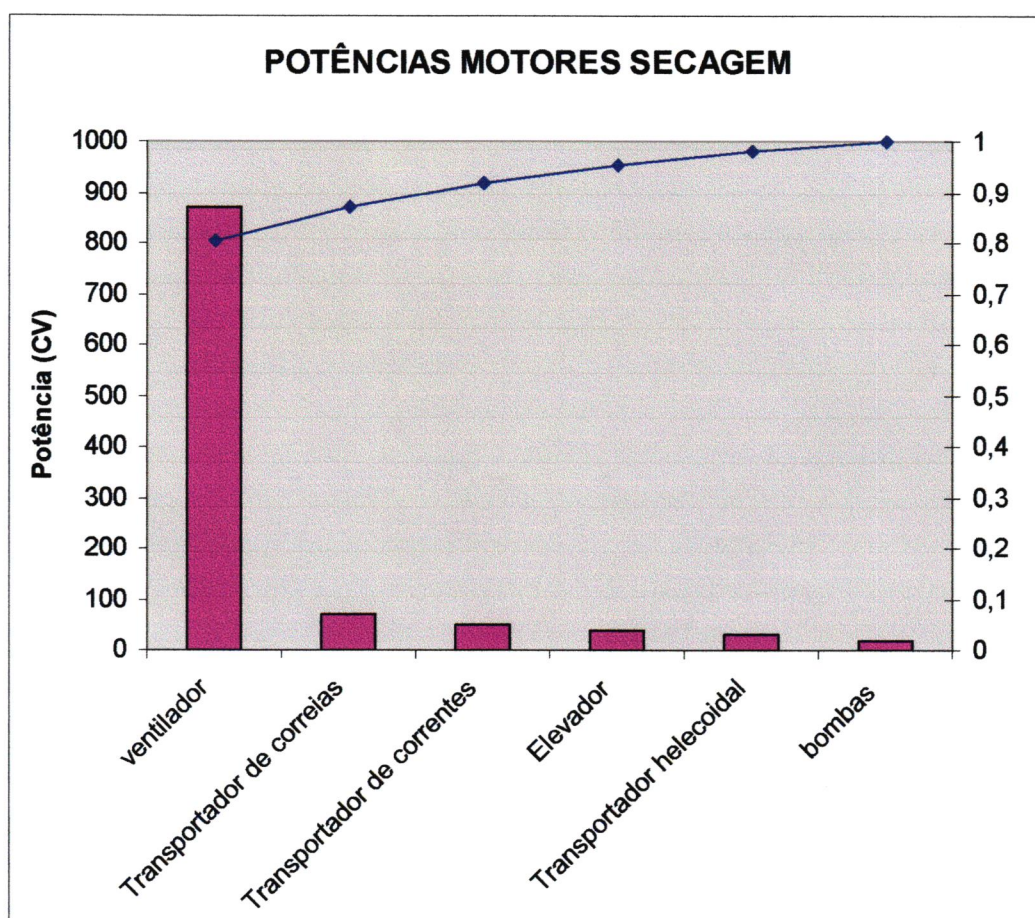


Gráfico 03: Diagrama de pareto potência motor secagem

4.2.1 Otimização Energia Elétrica

Para verificar a melhor opção para o sistema com ventiladores é necessária a utilização do programa *FANS – Energy Savings Calculator*, este programa irá calcular a curva necessária da vazão do ventilador, e apos analisar está curva e feito à simulação do sistema com a opção do uso de um inversor de frequência. Após as simulações o programa irá calcular a economia de energia do novo sistema.

São preenchidos os campos da planilha do programa de economia de energia utilizado na Tabela 03, com as informações do motor, vazão do sistema, o custo da energia, tempo de funcionamento e o tipo do *dumper*. O programa calcula a melhor opção e o retorno do investimento.

Tabela 03: Programa Economia energia Ventilador

MV Center Of Power Solutions

Fans - Energy Savings Calculator

Rockwell Automation
135 Dundas Street
Cambridge, Ontario N1R 6X1
Canada

Help

Operating Time [DAY] 365 8760 Hours
Cost per kWh[\$US] 0,0761
Cost per kwh[\$US]
Total Drive System Efficiency 98,0%
PF for the Motor at 100% Load 0,87
PF for the Motor at 50% Load 0,75
General fan load-curve X (BLUE)
Input unique system curve X (RED)
max. Power[HP] 390
Max. Flow 67797 cfm
Investment price VFD[\$US 1000's] 114,2
Energy cost without VFD[\$US 1000's] 80
Energy cost with VFD[\$US 1000's] 17
Savings per Year[\$US 1000's] 63
Payback Period [DAYS] 660

YFD kvarh 545588 kvarh
Motor kvarh 126742 kvarh
Language: E = English
Calculation: H = HP or K (Kilowatts)
Currency: U = US\$ (Dollars)

Power Table
Difference between curves are power savings

Flow	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Unique Fan Load Curve	0	10	15	30	60	120	240	480	720	960
Configured Unique System Curve	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Load HP with VFD	0	6	12	18	24	36	63	105	159	225
Load HP w/o VFD	144	150	159	162	165	168	186	210	258	300
Losses	138	138	141	138	129	105	81	51	33	0
Type of Flow Control	E									
No flow regulation (V)	Unique Fan Load Curve (K)									
Hydraulic Clutch Regulation (T)	Output damper regulation (A)									
E pass regulation (B)										
Input damper regulation (E)										

Cost Evaluation

Calculation Sheet

Soma=1626544,684 MAJU

Fonte: ROCKWELL

Com o resultado da análise do programa de economia de energia, foi montado um plano de ação, conforme demonstrando na Tabela 04, na qual foi recomendou a substituição os motores dos dois ventiladores de fluidização de 400CV por motores menores de 300CV e o motor do ventilador de combustão de 75CV por um motor de 50CV.

O programa de economia de energia também recomendada à eliminação dos *dumper* e a instalação de inversores de frequência.

Tabela 04: Plano de ação energia elétrica

Plano de Ação											
CAUSA / MEDIDA	O QUE	QUEM	QUANDO								
			M	Mar	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Set	Out
Ventilador combustão 74VE01	Substituir o motor de 75CV, por motor de 50CV alto rendimento.	Marcos Ritter	P	5							
			R	s							
			M	Mar	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Set	Out
	Montar inversor de frequência 50CV	Valdemar Gonçalves	P	5							
			R	s							
			M	Mar	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Set	Out
	Eliminar <i>dumper</i>	Jose Barreto	P			20					
			R			s					
			M	Mar	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Set	Out
Ventilador 74VE02	Substituir o motor de 400CV, por motor de 300CV alto rendimento.	Marcos Ritter	P					15			
			R					s			
			M	Mar	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Set	Out
	Montar inversor de frequência 300CV	Valdemar Gonçalves	P					15			
			R					s			
			M	Mar	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Set	Out
	Eliminar <i>dumper</i>	Jose Barreto	P							25	
			R							s	
			M	Mar	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Set	Out
Ventilador fluidização 74VE03	Substituir o motor de 400CV, por motor de 300CV alto rendimento.	Marcos Ritter	P					16			
			R					s			
			M	Mar	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Set	Out
	Montar inversor de frequência 300CV	Valdemar Gonçalves	P					16			
			R					s			
			M	Mar	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Set	Out
	Eliminar <i>dumper</i>	Jose Barreto	P								26
			R								s
			M	Mar	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Set	Out

4.3 Resultados

Os resultados alcançados com o sistema de controle em cascata, da temperatura do secador com a vazão do gás natural foi uma redução de 25% no consumo específico do gás em relação à meta, porém a economia comparada ao consumo anterior ao sistema ficou em torno de 37 % conforme é apresentado no Gráfico 04.

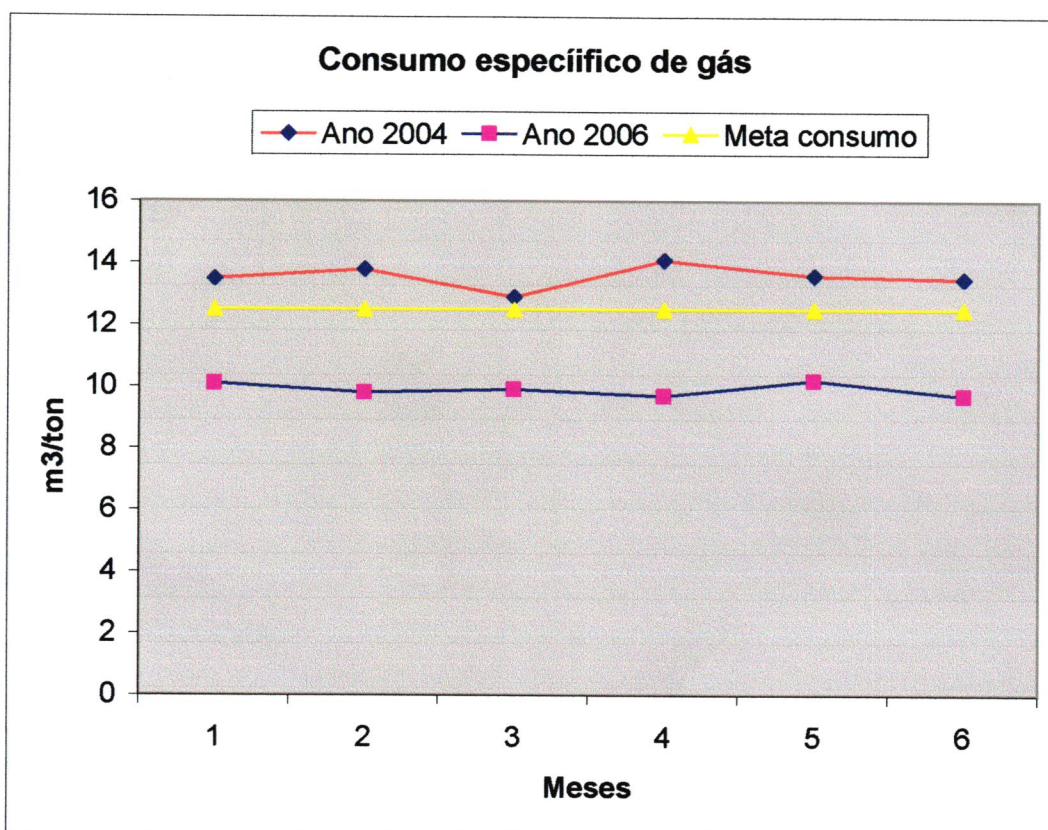


Gráfico 04: Consumo específico de gás

Estes resultados foram conseguidos em função da implantação de um sistema que possibilita o operador trabalhar com temperatura do secador em valor mais baixos e suficientes para a completa secagem do produto e também da qualidade da chama com a combustão perfeita.

O Gráfico 05 ilustra as constantes variações de temperatura do leito e a variação de vazão de gás, antes da implantação do controle em cascata da temperatura, o que ocasionava alto consumo de gás natural.

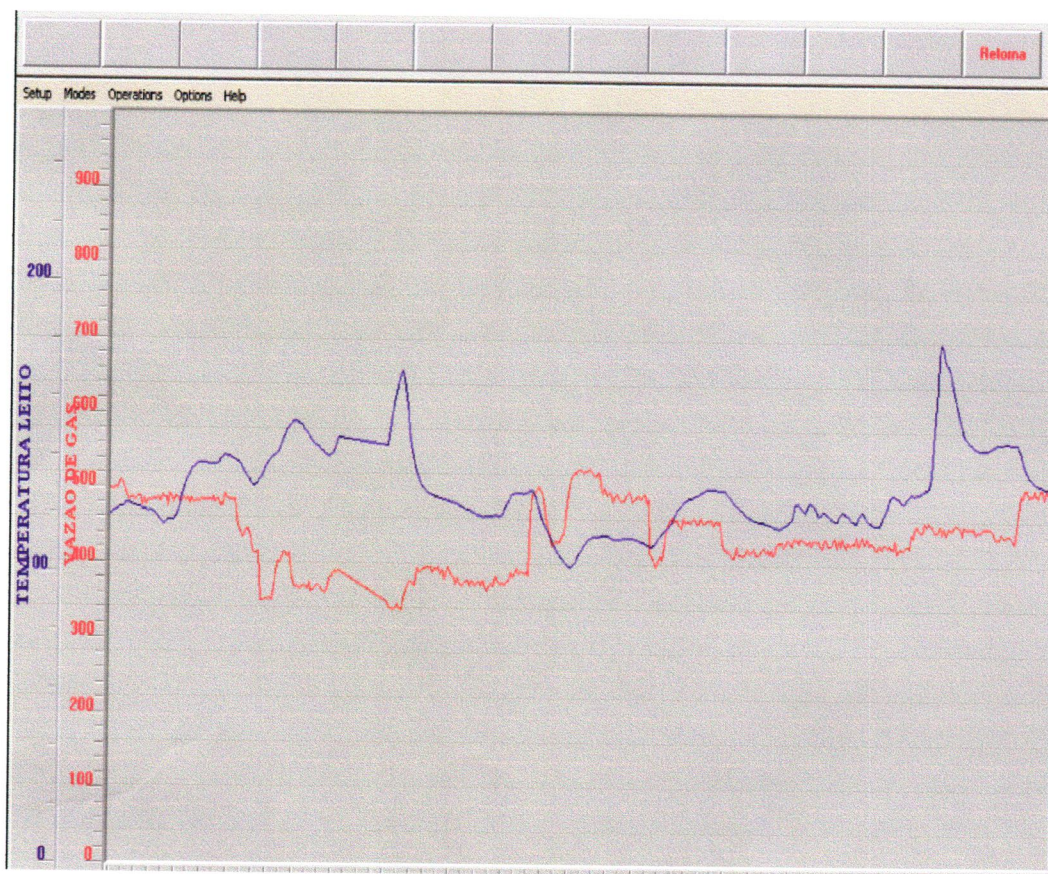


Gráfico 05: Temperatura do secador

Pode ser creditados ao novo sistema de controle, a possibilidade de aproveitar os tempos dos operadores, que antes deste sistema era utilizado para controlar a temperatura do secador, e o ganho operacional da redução do empedramento do leito por operar com temperatura muito baixa no secador.

Após a implantação do sistema e os ajustes das malhas de controle, a temperatura do leito ficou mais constante, com esta estabilidade possibilitou o operador a trabalhar com valores de *set-point* mais baixos, próximo do valor mínimo de temperatura do leito, para a secagem completa do potássio. O Gráfico 06 apresenta os valores da temperatura do leito e a vazão de gás, conforme pode ser observado valores estáveis de temperatura do leito.

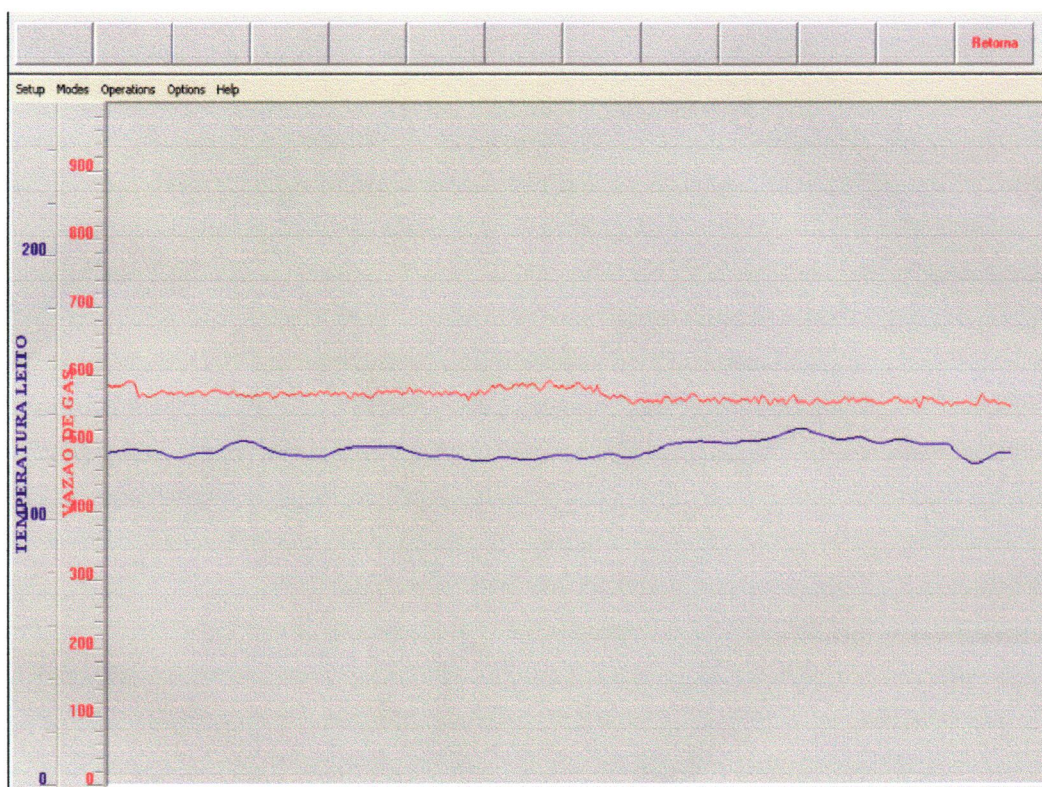


Gráfico 06: Temperatura do leito com sistema de controle em cascata

No projeto de otimização de energia elétrica foram necessárias às realizações de investimentos em equipamentos modernos, e com a substituição destes equipamentos obsoletos por equipamentos com tecnologia moderna foi possível à realização de melhoria significativas no sistema.

O Gráfico 07 ilustra o consumo específico de energia da área de secagem do potássio, antes da implantação do sistema. Os valores de consumo específico estavam superiores a meta.

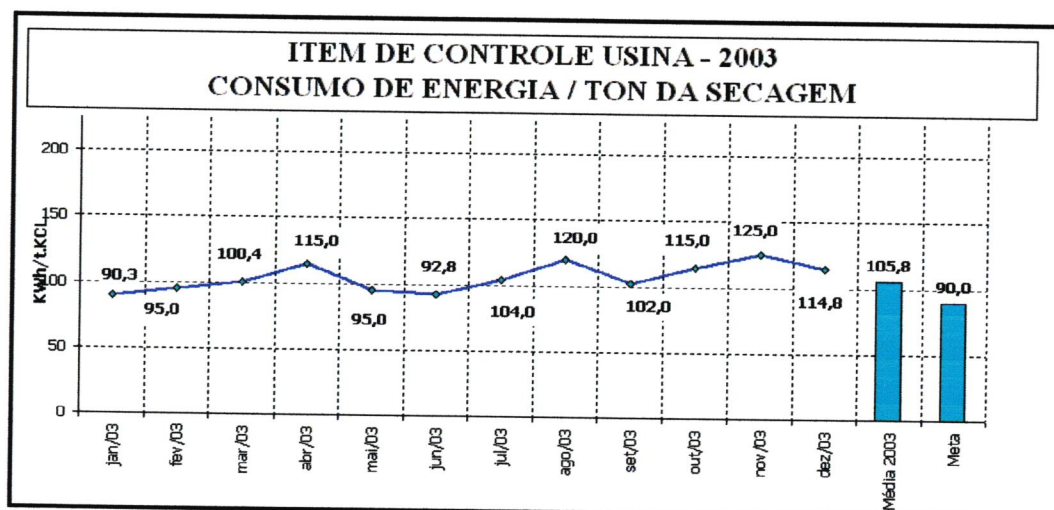


Gráfico 07: Consumo específico de energia antes da implantação do sistema

Os resultados alcançados com a implantação completa do sistema de ventilação com inversores de frequência e motores de alto rendimento foi uma economia de energia elétrica em torno de 45%, bem abaixo da meta de consumo específico, conforme apresenta o Gráfico 08.

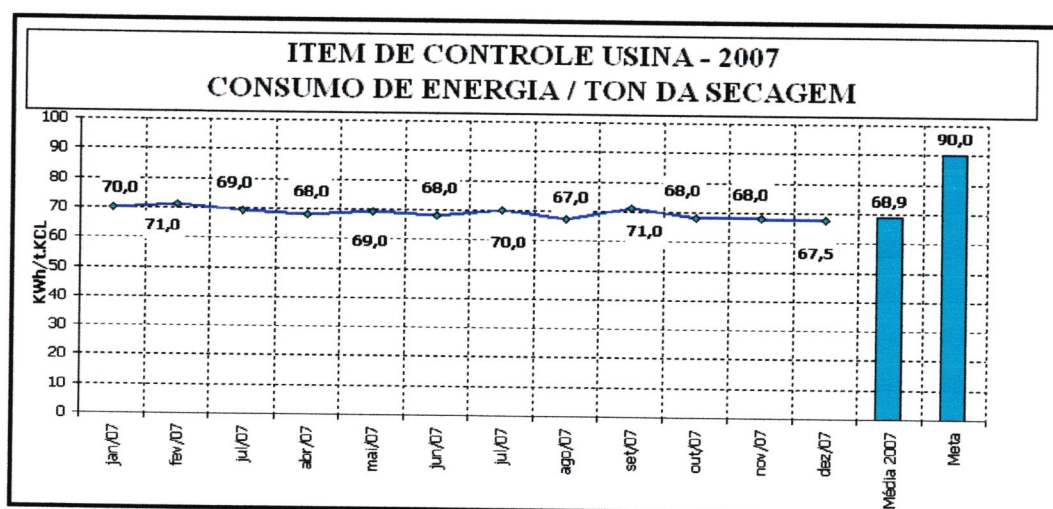


Gráfico 08: Consumo específico de energia após da implantação do sistema

5 CONCLUSÃO

Através do trabalho desenvolvido, foi possível verificar a importância da utilização das ferramentas de qualidade para poder avaliar a viabilidade do projeto, o projeto de otimização energética no processo de secagem do potássio é utilizado as melhores técnicas de automação industrial.

No sistema de geração de vapores que é utilizado no sistema de secagem e fluidização do leite, o projeto de otimização térmica utilizou o sistema avançado da automação, um controle complexo no qual através da conjugação dos dois controles, de temperatura do leite, e do controle de vazão, em um único controle em cascata, que é conciliado a junção dos dois controles. Neste projeto não foi preciso a substituição dos componentes já existentes, sem a necessidade de investimento em tecnologias modernas.

No segundo projeto de otimização energética, a utilização do Gráfico de Pareto foi fundamental para determinar os principais equipamentos consumidores de energia elétrica, e poder aplicar a automação para reduzir o consumo de energia elétrica. Neste projeto foi necessário um investimento financeiro para substituir componentes obsoletos, por equipamentos mais modernos e eficientes.

O projeto de otimização energética, teve um investimento em equipamentos de R\$250.000,00, e gerou uma economia de energia de R\$ 235.000,00, na Tabela 05 apresenta os custos de implantação e os benefícios gerados. O retorno do investimento do projeto de otimização energética foi inferior a dois anos.

Tabela 05: Relação custo benefício (RCB)

Custo benefício	DESCRIÇÃO	Total
c1	Custo total motores	R\$ 34.418,00
c2	Custo total inversores	R\$ 212.667,90
	Custos	R\$ 247.085,90
b1	Benefício total motores	R\$ 64.117,36
b2	Benefício total inversores	R\$ 171.000,00
	Benefícios anualizado	R\$ 235.117,36
	RCB PROJETO	0,52

O prazo de implantação total do projeto foi de 12 meses, entre a fase inicial de estudo, coleta de dados, especificação dos equipamentos, montagem, e os ajuste das malhas, conforme o cronograma apresentado na Tabela 06.

Tabela 06: Cronograma de implantação do projeto

ETAPAS	JAN	FEV	MA	ABR	MAI	JUN	JUL	AG	SET	OUT	NOV	DEZ
			R					O				
Compras equiptos.	X	X	X									
Fabricação suportes				X	X							
Instalação nas áreas						X	X					
Acompanhamento de metas								X	X	X	X	X

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FIALHO, Arivelto Bustamante. **Automação Pneumática** 2º ed. Érica, 2004, p.324.
- FIALHO, Arivelto Bustamante. **Instrumentação Industrial** 4º ed. Érica, 2006, p.278.
- MORAES, Cícero Couto de e CASTRUCCI, Plínio de Lauro. **Engenharia de Automação Industrial**. Editora LTC, 2001, p.295.
- BEGA, Egídio Alberto **Instrumentação Industrial** 2ed.Editora Interciência, 2006, p.583.
- RIBEIRO, Marco Antonio. **Instrumentação**. 8ºed. Bahia, 1999.
- RIBEIRO, Marco Antonio. **Instrumentação**. 12ed. Bahia, 2005.
- SCHUTTENBERG, Rose Mary Cosso; LEÃO, José Augusto; COSTA, Eden. **PLC S7 200**. Universidade católica de Minas Gerais – IPUC – PUC-MG. Minas Gerais, 2004.
- ROCKWELL, Automation Fan Energy Savings Disponível em:http://www.ab.com/drives/energy_savings/fan.zip Acesso 30/05/08.
- SALVADOR, Marcelo; SILVA, Ana **O que são sistemas supervisórios** Disponível em:<http://www.elipse-software.net/download/download/artigos/rt025.04.pdf> Acesso 06/05/08
- DINSMORE, Paul Campbell e NETO, Fernando Henrique da Silveira. **Gerenciamento de projetos** 3º ed. Qualitymark, 2007.
- PINTO, Alan Kardec e XAVIER, Júlio Nascif. **Manutenção: Função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 1998.
- PORTE, HAROLD F.; McCORMICK, PAUL Y. ; LUCAS, ROBERT L. e WELLS, DAVID F. **Manual Sistemas Gás-Sólido**. 2001.
- SHREVE, Norris R. e Brink, Joseph A. Jr.**Indústria de processos químicos**. 4º.ed. Guanabara, 1997, p.717.
- GRECO, C. **Manual Secagem de Leito Fluidizado**. Térmica e fluidos, 2000.

GOULART, Eduardo; MARIOTONI, Carlos e SANCHEZ, Caio **A utilização da gaseificação de pneus usados em leito fluidizado para a produção energéticos.**

RHODES, Martin **Fluidização de partículas por fluidos.** Universidade federal do Rio Grande do Norte – UFRN, 2001.

CAMPOS, Vicente Falconi. **Controle da Qualidade Total** 6º ed. Fundação Christiano Ottoni, 1992.

CAMPOS, Vicente Falconi. **Gerenciamento da Rotina** 7º ed. EDG Editora Desenvolvimento Gerencial, 1999.

KUME, Hitoshi. **Método Estatístico para Melhoria da Qualidade** 9º ed. Editora Gente, 1985.

DELLARETTI FILHO, Osmário e DRUMOND, Fátima Brant. **Itens de Controle e Avaliação de processos** 2º ed. Fundação Christiano Ottoni, 1994.

FEIGENBAUM, Armand V. **Controle da Qualidade Total** 40º ed. Editora McGraw-Hill LTDA, 1994.

LAKATOS, Eva Maria e MARCONI, Mariana de Andrade. **Fundamentos de Metodologia Científica** 5º ed. São Paulo, Editora Atlas, 2003.