

**UFES – UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
DEM – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CT – CENTRO TECNOLÓGICO**

**MELISSA RODRIGUES SATHLER
VINÍCIUS DE SOUSA**

**PROPOSTA DE MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA DE
CONTROLE DA CALDEIRA FLAMOTUBULAR ATA
MODELO VI-15**

**Vitória - ES
2009**

**MELISSA RODRIGUES SATHLER
VINÍCIUS DE SOUSA**

**PROPOSTA DE MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE DA
CALDEIRA FLAMOTUBULAR ATA MODELO VI-15**

Projeto apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito para graduação em Engenharia Mecânica.
Orientador: Professor Dr. João Luiz Marcon Donatelli.

**Vitória – ES
2009**

MELISSA RODRIGUES SATHLER
VINÍCIUS DE SOUSA

**PROPOSTA DE MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE DA
CALDEIRA FLAMOTUBULAR ATA MODELO VI-15**

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. João Luiz Marcon Donatelli
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Dr. Rogério Silveira de Queiroz
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

Prof. Dr. Vladimir Ivanovitch Dynnikov
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

Agradecimentos

Agradeço a todos aqueles que colaboraram direta ou indiretamente para que eu pudesse concluir o curso de Engenharia Mecânica: a Deus, aos pais e irmãos, amigos e professores. Também ao Vinícius por estar comigo nessa luta pra concretizar o projeto.

Agradeço em especial aos professores: Vladimir Ivanovitch, que nos deu a idéia do projeto e inicialmente nos orientou, Helder Vago do IFES que muito contribuiu para a realização deste trabalho, e finalmente ao nosso orientador Donatelli, pela paciência e auxílio a nós oferecidos.

Melissa Rodrigues Sathler

Agradeço a minha família que sempre me apoiou, seja minha mãe lavando a roupa e fazendo comida, seja meu pai dizendo “Tá danado!”, meu irmão dizendo “Não deixa para a última hora não...”.

Inesquecível ressaltar o apoio dado pelo Prof. Helder Vago, pelo Prof. Vladimir (vamos entender como o CLP do laboratório funciona) e pela incansável paciência do Prof. Donatelli.

Ainda remeto às pessoas que não conheço, que foram os vendedores das lojas que forneceram preços para o orçamento, mesmo sem saber que era para tal.

E também aos guias espirituais que, não sei como, fizeram meu cansaço se transformar em energia para continuar o trabalho, e dar mais este passo na minha formação.

Vinícius de Sousa

Lista de Figuras

Figura 1- Controle de pressão auto-operado.....	15
Figura 2- Teste de um controlador proporcional utilizando um degrau.	16
Figura 3- Teste de um controlador proporcional integral utilizando um degrau.....	17
Figura 4 – Teste de um controlador proporcional derivativo utilizando uma rampa. .	18
Figura 5 – Resposta comparativa dos controladores P, PI e PID.....	18
Figura 6 – Controle da temperatura do vapor superaquecido a um elemento.	22
Figura 7 – Controle da temperatura do vapor superaquecido a dois elementos.	23
Figura 8 – Controle da temperatura do vapor superaquecido a três elementos.....	24
Figura 9 – Controle de temperatura de preaquecimento de ar.....	27
Figura 10 – Controle de pressão na câmara de combustão.....	28
Figura 11 – Caldeira ATA no LAGEPOT.	30
Figura 12 - Painel de Controle.....	31
Figura 13 – Diagrama elétrico do painel de controle.	32
Figura 14 - Corpo da caldeira.....	33
Figura 15 - Eletrodos de Nível.....	34
Figura 16 – Diagrama elétrico do controle de nível.	35
Figura 17 - Pressostato.	36
Figura 18 - Válvula de segurança.....	37
Figura 19 – Comando automático de combustão. Da direita para a esquerda, a partir da seta: 1º came e 1ª micro-chave, 2º came e 2ª micro-chave, 3º came e 3ª micro-chave, 4º came e 4ª micro-chave.....	38
Figura 20 - Botão de reciclo.	39
Figura 21 – Diagrama elétrico do Comando Automático de Combustão.....	40
Figura 22 - Chaves de acionamento. Da esquerda para a direita: interruptor do comando automático de ignição, ignição manual, interruptor do comando manual, comando manual da bomba d'água.....	41
Figura 23 - Hardware de um CLP.....	45
Figura 24 – Programação do CLP em linguagem Ladder.	46
Figura 25 - Diagrama elétrico do painel de controle com CLP.	50
Figura 26 - Programação do CLP em linguagem Ladder, proposta alternativa.....	53
Figura 27 - Diagrama elétrico do painel de controle com CLP, proposta alternativa.	57

Figura 28 - Comunicação entre planta, CLP e supervisório.	59
Figura 29 - Tela do supervisório.	60
Figura 30 - CLP WEG modelo TPW03 20 HR-A	66
Figura 31 - Programação no CLP WEG, reprodução do controle.	68
Figura 32 - Programação no CLP WEG, proposta alternativa.	69
Figura 33 - Fonte de Tensão Mean Well MDR 20-24.	70
Figura 34 - Especificações das Botoeiras.	71
Figura 35 - Especificação dos relés utilizados.	72
Figura 36 - Esquema elétrico dos relés utilizados.	72
Figura 37 - Informações para a correta instalação da chave bóia.	73
Figura 38 - Chave bóia Mar Girius série CB 2000.	73

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Legenda da programação do CLP em Ladder	47
Tabela 2 - Orçamento da instalação do CLP.....	51
Tabela 3 - Legenda da programação do CLP em Ladder, proposta alternativa.	54
Tabela 4 – Orçamento da instalação do CLP, proposta alternativa.	58
Tabela 5 - Características dos CLP's WEG.	66
Tabela 6 - Módulos de Expansão digitais.....	67
Tabela 7 - Módulos de Expansão Analógicos.	67
Tabela 8 - Especificações Técnicas da Fonte Mean Well MDR 20-24.....	70

Sumário

Lista de Figuras	4
Lista de Tabelas	6
Resumo	9
1 Introdução	10
2 Caldeiras	12
3 Controle em Caldeira	13
3.1 Tipos de controles	13
3.1.1 Controle Liga-Desliga	13
3.1.2 Controle a um, dois e três elementos	14
3.1.3 Controle Auto-operado	15
3.1.4 Controle PID	16
3.1.5 Controle em Cascata	19
3.1.6 Controle Antecipativo	19
3.2 Variáveis controladas em caldeiras	20
3.2.1 Controle de Nível	20
3.2.2 Controle de Temperatura de Saída do Vapor	21
3.2.3 Controle de Pressão do Vapor	24
3.2.4 Controle da Combustão	25
3.2.5 Controle do Preaquecimento do Ar de Combustão	26
3.2.6 Controle de Pressão na Câmara de Combustão	27
3.2.7 Controle de Qualidade da Água	28
4 A Caldeira ATA e o sistema de controle existente	30
4.1 Variáveis controladas na Caldeira ATA	33
4.1.1 Controle de Nível da Caldeira	33
4.1.2 Controle de Pressão	36
4.2 Comando Automático da Combustão	37
4.3 Controle manual	40
5 Proposta de substituição do sistema de controle existente	42
5.1 Controladores Lógicos Programáveis (CLP)	42
5.1.1 Hardware do CLP	43
5.1.2 Linguagem Ladder	45

5.2 Sistema de controle da Caldeira ATA por CLP.....	46
5.2.1 Lógica do sistema de controle por CLP.....	47
5.2.2 Instalação do CLP.....	49
6 Proposta alternativa do sistema de controle por CLP	53
6.1 Lógica do sistema de controle da proposta alternativa.....	55
6.1.2 Ligações externas	56
6.2 Supervisório.....	59
7 Sugestões	62
8 Conclusão	63
9 Referências	64

Resumo

O presente trabalho apresenta uma proposta de substituição do sistema de controle da caldeira Ata modelo VI-15, localizada no Laboratório de Geração de Potência da UFES. Inicialmente faz-se uma breve definição de caldeira, sua utilização e funcionamento, e em seguida comenta-se sobre os tipos de controle e as variáveis que podem ser controladas. Em seguida relata-se o estudo realizado sobre o sistema eletromecânico de controle existente na caldeira, e após a compreensão deste, apresenta-se a proposta da substituição por um sistema de controle que utiliza um controlador lógico programável (CLP), explicando-se a lógica do sistema proposto e os elementos necessários para a instalação do CLP. Por fim, apresenta-se uma proposta alternativa que faz a alteração de alguns procedimentos do acionamento, além de um programa supervisório para a caldeira.

1 Introdução

Nos sistemas de produção do setor industrial, a automação de processos vem se mostrando, de importante aplicação para obtenção de maior qualidade, velocidade de produção e lucratividade.

Existem inúmeras formas de realizar tal tarefa e vários níveis de automação. A transformação de alguns processos industriais para o modo automatizado não requer gastos exorbitantes e sua implantação não causa grande impacto ambiental dentro de uma fábrica. Um exemplo de modificação que se encaixa neste perfil é a automação do monitoramento e controle de caldeiras, muito utilizadas em processos industriais. A automação garante que esses equipamentos trabalhem dentro de seus próprios limites construtivos de operação, como temperatura e pressão, resultando em diminuição de manutenção e paradas não programadas do processo.

Este projeto tem por objetivo propor um sistema automatizado de controle operacional para a caldeira Ata modelo VI-15, flamotubular, que se encontra no LAGEPOT (Laboratório de Geração de Potência), utilizando um controlador lógico programável (CLP) em substituição ao controlador eletromecânico existente, baseado em um quadro de relés e um eixo de cames, acionado por um motor de passo.

O nível de água no corpo da caldeira e a pressão da fornalha passarão a ser controlados pelo CLP, controlando-se a entrada de água na caldeira e a combustão.

A proposta de substituição pretende modernizar o sistema de controle da caldeira em questão, dado que o sistema atual encontra-se sem manutenção o que pode causar falhas nos acionamentos mecânicos. Por ser um sistema antigo também pode ser difícil encontrar peças sobressalentes. Com a implantação do CLP ainda é possível promover a redução de cabos elétricos, muito comuns em sistemas antigos como o existente. Também é possível implantar um programa supervisório que, através de uma interface gráfica de um computador, permite o acompanhamento dos eventos e alarmes, e acionamento de equipamentos diretamente.

Além disso, caso haja necessidade de qualquer alteração na lógica de controle será necessário alterar o sistema elétrico, o que não é tão simples dada a quantidade de conexões e elementos elétricos existentes. Por outro lado o

controlador CLP possui facilidade de reprogramação do sistema, não está sujeito a falhas mecânicas, ocupa menos espaço e necessita menor quantidade de cabos elétricos.

2 Caldeiras

Caldeiras são equipamentos que produzem vapor através da queima de algum combustível, utilizando o vapor para aquecimento ou acionamento de máquinas.

Raúl Torreira justifica o amplo uso do vapor d'água como fluido de trabalho dado seu alto calor específico, fácil disponibilidade de água na maior parte dos locais e baixo custo. Atualmente ele é utilizado em larga escala, e atende necessidades das indústrias de alimentos, bebidas, papel, têxtil, metalúrgica, química, entre outras.

As caldeiras classificam-se em aquatubulares, flamotubulares ou elétricas. Nas primeiras a água circula por dentro de tubos dispostos na forma de paredes d'água ou de feixes tubulares. São as mais comuns em se tratando de plantas termelétricas ou geração de energia elétrica em geral, exceto em unidades de pequeno porte.

Nas flamotubulares a água circula ao redor de tubos, e interno a estes os gases da combustão. O rendimento térmico da caldeira flamotubular é normalmente menor e o espaço ocupado por ela é proporcionalmente maior. Seu emprego é adequado para pequenas instalações industriais, dado que sua pressão de trabalho é geralmente pequena em virtude do grande diâmetro do corpo destas caldeiras.

As elétricas funcionam com a passagem de corrente elétrica através de resistências ou diretamente pela água. Possuem aplicação restrita às regiões onde a energia elétrica é abundante e a custos relativamente baixos. Outras vezes o uso de caldeiras elétricas se justifica pela ausência de poluentes decorrentes da queima de combustíveis.

3 Controle em Caldeira

Instrumentação e controle são partes essenciais de toda instalação industrial. Elas permitem garantir uma operação segura, econômica e confiável das fábricas e de seus equipamentos. No caso de caldeiras, os sistemas de controle empregados vão desde um simples controle digital até sistemas de controle sofisticados em instalações de grande porte, onde são envolvidas dezenas ou, às vezes, centenas de instrumentos.

O que é controlado numa caldeira e a forma deste controle podem variar muito de uma caldeira para outra. Diversas são as formas de controlar e as variáveis controladas, e estão relacionadas a seguir.

3.1 Tipos de controles

3.1.1 Controle Liga-Desliga

Neste tipo de controlador, quando é atingido o ponto de ajuste, ocorre a mudança da saída do controlador, movendo-se rapidamente da posição totalmente aberta para a posição totalmente fechada, ou vice-versa, sem posições intermediárias. Assim, a correção ou é excessivamente grande ou pequena, fazendo a variável controlada oscilar ao redor do ponto de ajuste.

Os controladores liga-desliga (on/off ou digitais) são largamente utilizados na indústria, especialmente nos sistemas de segurança dos diversos equipamentos, uma vez que nestas aplicações exige-se rápida atuação do sistema de controle e as correções empregadas em situações de operação anormal são bruscas.

Este controle também pode ser utilizado para controlar malhas de menor importância no processo, uma vez que, num controle liga-desliga, a variável controlada irá oscilar ao redor do ponto de ajuste. Nestas aplicações, em geral, utilizam-se controladores liga-desliga com zona diferencial. Estes controladores utilizam duas chaves-miniatura; a utilização da segunda chave-miniatura permite

adicionar-se uma zona diferencial ou zona morta no controle liga-desliga. Com a introdução da zona diferencial, a frequência de oscilação diminui, diminuindo o desgaste do elemento final de controle, porém, a amplitude de oscilação da variável controlada aumenta, piorando a qualidade do controle.

3.1.2 Controle a um, dois e três elementos

Os controles podem ser classificados conforme o número de variáveis monitoradas. Neste tipo de controle pode-se efetuar o controle de uma variável através de sua medição e também da medição de outras variáveis que afetam a controlada. Egídio Bega (1989) exemplifica esta filosofia de controle aplicada ao controle de nível de caldeiras, conforme descrito a seguir.

No controle a um elemento a única variável medida é o nível de água no corpo da caldeira. O sensor de nível envia um sinal ao controlador que por sua vez compara este sinal com o ponto de ajuste e envia um sinal de correção para a válvula de controle. Este tipo de controle somente corrigirá a vazão de água de alimentação depois que o nível tiver variado. Como normalmente a faixa de variação do nível deve ser muito estreita, em função de suas deficiências este sistema de controle terá sua utilização limitada aos casos de caldeiras de pequeno porte, onde o nível não é uma variável muito crítica.

No controle de nível a dois elementos são monitorados a vazão de saída de vapor e o nível de água. Assim, os sinais do controlador de nível e do transmissor de vapor são enviados a um somador que envia a resultante para a válvula de controle de nível. Dado que este é um controle antecipativo com realimentação, o nível tende a se manter no ponto de ajuste. Mas se acontecer alguma anomalia e o nível sair do ponto de ajuste, este mecanismo de controle buscará atingir o seu equilíbrio novamente.

No controle de nível a três elementos, além das duas variáveis citadas anteriormente também é monitorada a vazão da água de alimentação. A concepção moderna utiliza controle antecipativo com realimentação, combinado com controle em cascata, de modo que a correção antecipada do nível é feita pela vazão do vapor e a realimentação é feita pelo transmissor e pelo controlador de nível, enquanto a

vazão da água é mantida pela malha escrava de controle da água em função do ponto de ajuste recebido do somador.

No caso de caldeiras que tenham variações de carga muito rápidas, utilizam-se as variações na pressão do corpo da caldeira para se conseguir um balanço adequado entre vazão de vapor gerado e água de alimentação entrando na caldeira.

3.1.3 Controle Auto-operado

Controle em que a energia necessária para movimentar a parte operacional pode ser obtida diretamente do sistema controlado através da região de detecção. Deste modo, este controle obtém toda a energia necessária ao seu funcionamento do próprio meio controlado, sendo utilizado em aplicações de controle de pressão e menos comumente em controle de temperatura.

A figura 1 exemplifica um controle de pressão auto-operado para controlar a pressão a jusante da válvula. A pressão da linha é conectada diretamente ao atuador da válvula, enquanto o ponto de ajuste é mudado atuando-se no parafuso externo de ajuste de pressão. O posicionamento do plugue será uma combinação dos efeitos da pressão, que empurra o diafragma da mola para cima, e da regulação sobre a mola, que empurra o diafragma para baixo.

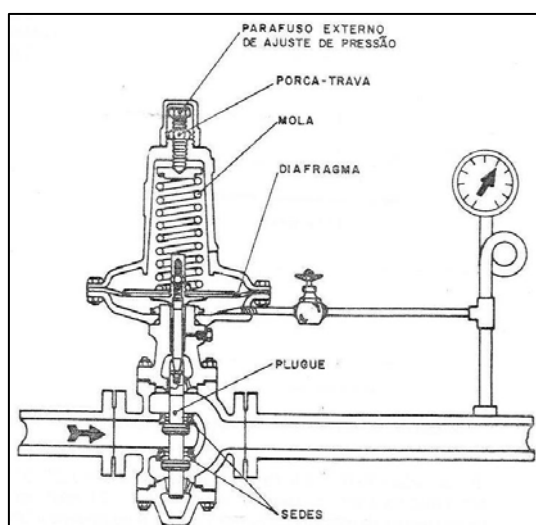


Figura 1- Controle de pressão auto-operado.

Como vantagem, os controles auto-operados são de construção e operação simples. E por este mesmo motivo apresentam as desvantagens de problemas de estabilidade e de não linearidade de controle, que fazem com que o controlador geralmente opere apenas com parte da capacidade total da válvula.

3.1.4 Controle PID

Controladores PID combinam três ações diferentes: a proporcional, a integral e a derivativa. O controlador proporcional tem a saída proporcional ao valor do erro, sendo o fator de proporcionalidade chamado de ganho proporcional. Deste modo, este controle não contém nenhum elemento dinâmico, e sua atuação depende somente do valor do erro, como mostra a figura 2.

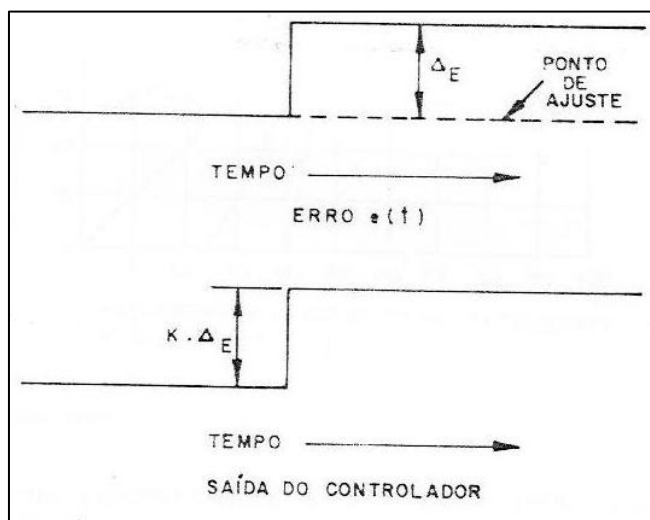


Figura 2- Teste de um controlador proporcional utilizando um degrau.

Estes controladores são úteis para ajustes proporcionais, utilizando-se da banda de proporcional (em %), que é a porcentagem da faixa total da escala de medição através da qual a variável controlada deve variar para causar uma variação total no curso do elemento final de controle. Ou seja, se a banda proporcional for 20%, significa que uma variação de 20% no erro produzirá uma variação de 100% na saída.

Nos controladores proporcionais e integrais, além da parcela proporcional existe uma parcela integral, isto é, a saída da parcela integral é função da integral do erro. Em outras palavras, a velocidade de correção do elemento final de controle é proporcional ao erro. O tempo integral, T_i , é o tempo que a ação integral gasta para repetir a ação proporcional.

Dado que a ação integral é geralmente lenta, esta ação é feita em conjunto com a ação proporcional. Por outro lado, caso o erro seja constante no tempo, a ação integral do controlador fará aumentar a resposta à medida que o tempo passa, conforme a figura 3. A variação cessa somente quando o erro também cessa. A ação integral não garante estabilidade do processo, mas garante que não haverá erro quando o processo atingir um estado estável.

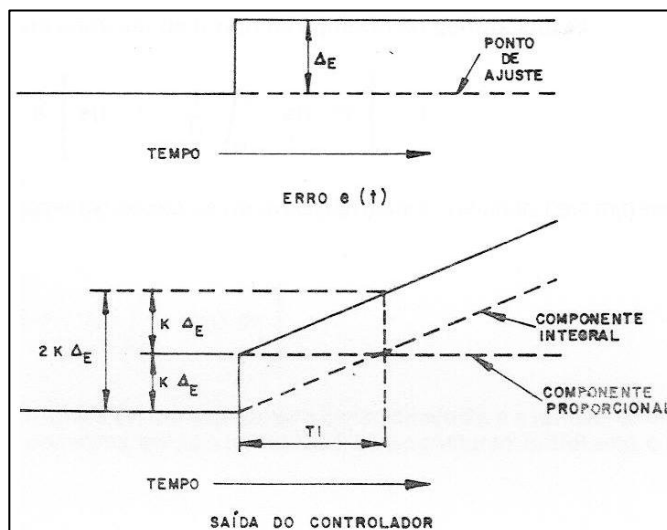


Figura 3- Teste de um controlador proporcional integral utilizando um degrau.

O controle de modo derivativo é função da derivada do erro, ou seja, a saída do controlador é proporcional à inclinação da curva da variável controlada. A resposta derivativa antecipa a saída proporcional de um tempo T_d , chamado tempo derivativo, sendo este útil para respostas rápidas, como mostra a figura 4. De outra forma, quanto maior o tempo derivativo maior é a estabilidade do processo, mas menor a velocidade da resposta.

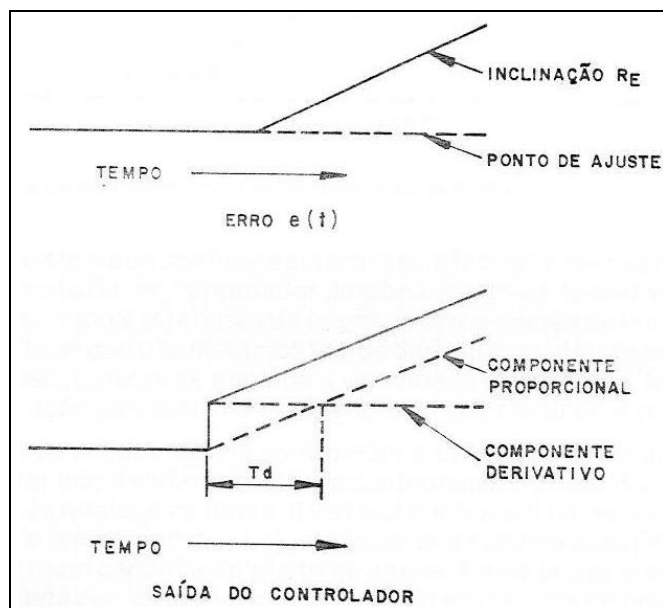


Figura 4 – Teste de um controlador proporcional derivativo utilizando uma rampa.

A combinação das ações proporcional, integral e derivativa cria um controle que combina a ação de estabilidade do controle proporcional derivativo e de eliminação do erro do controle proporcional integrativo, o que faz este controle ser apropriado para aplicações onde há necessidade de respostas rápidas e precisas do sistema de controle. A figura 5 compara as respostas dos controladores proporcional, proporcional integral e proporcional integral derivativo para um degrau.

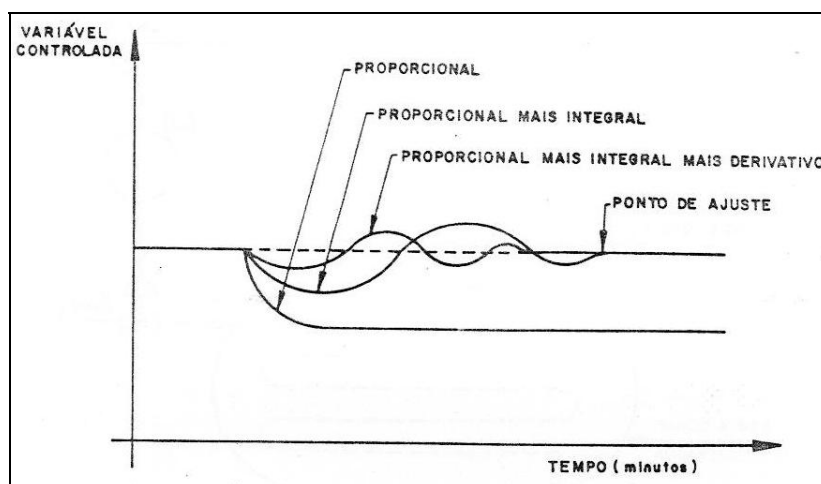


Figura 5 – Resposta comparativa dos controladores P, PI e PID.

3.1.5 Controle em Cascata

Existem situações em que uma única malha de realimentação negativa não fornece a precisão e a qualidade de controle exigidas. Por exemplo, um trocador de calor com controle da temperatura na saída, fazendo correções na válvula de vapor, de modo que a temperatura é a variável controlada e a vazão é a variável manipulada.

Se, por qualquer motivo, a pressão do vapor variar, isto afetará a vazão de vapor através da válvula de controle, e conseqüentemente, a temperatura na saída do processo.

A solução para este caso é a utilização de um controle em cascata, onde uma malha controla a vazão de vapor de acordo com o ponto de ajuste enviado pelo controle de temperatura.

No controle em cascata cada controlador tem sua própria variável, porém somente um controlador tem ponto de ajuste externo, enquanto o outro controlador atua diretamente na variável manipulada. O controle em cascata tem como principal função compensar os efeitos das perturbações que ocorrem na variável manipulada, sendo viável somente se a malha secundária tiver velocidade de resposta bem maior que a malha primária.

3.1.6 Controle Antecipativo

Um controle que utiliza realimentação negativa precisa de uma diferença entre a variável medida e o ponto de ajuste, ou seja, precisa que exista um erro. Num processo em que ocorram variações freqüentes nas variáveis que afetam a variável controlada, a malha de controle com realimentação negativa terá muita dificuldade em manter o ponto de ajuste.

De outra forma, o controle antecipativo mede uma ou mais variáveis de entrada, prediz seu efeito no processo e atua diretamente sobre a variável manipulada, buscando manter a variável controlada no valor desejado.

O controle antecipativo puro não mede a variável controlada e nem a utiliza no cálculo efetuado pelo processador. Egídio Bega (2003) ressalva que este controle

funcionará corretamente somente se forem consideradas todas as variáveis que envolvem o processo, bem como mensurar adequadamente todos os seus efeitos, o que dependendo do processo se torna muito difícil. Desta forma este controle nem sempre será efetivo, e o que se faz na prática é inserir uma realimentação negativa, de modo que se houver discrepância na correção o próprio sistema de controle corrigirá o erro. A este controle dá-se o nome de controle antecipativo com realimentação.

3.2 Variáveis controladas em caldeiras

Todas as filosofias de controle expostas anteriormente podem ser usadas em plantas industriais para o controle de diversas variáveis. Em caldeiras também existem muitas a serem controladas, mas optar por controlá-las depende de quanto será o benefício do controle utilizado em relação custo do controle. As variáveis controladas em caldeira, e a importância do controle, estão expostas a seguir.

3.2.1 Controle de Nível

É o conjunto do controlador e do atuador, responsáveis pela regulação do nível de água no corpo da caldeira. Opera em conjunto com a bomba d'água, de modo a manter o nível dentro dos valores nominais e de operação segura. Vale ressaltar que uma falta d'água provoca um superaquecimento destrutivo no feixe tubular, através do superaquecimento destes, podendo provocar vazamentos internos e a conseqüente explosão da caldeira. Por outro lado, o nível elevado de água causa o arraste de gotículas junto com o vapor, reduzindo a qualidade deste.

As caldeiras aquatubulares são mais sensíveis às variações de níveis de água. Geralmente estas caldeiras possuem, pelo menos, dois tubulões: o inferior, que sempre está cheio, e o superior, cujo nível deve ser controlado. Dado que o tubulão superior é pequeno em relação à quantidade de vapor produzido, estas caldeiras precisam de um controle bem ajustado, pois caso haja sensível redução no nível

haverá, por consequência da atuação do mecanismo de controle, injeção de água em quantidade suficiente para causar o resfriamento da água no tubulão e consequente redução da taxa de vaporização.

Por outro lado, as caldeiras flamotubulares possuem grande quantidade de água em seu corpo. Desta forma, a injeção de água não provoca grandes problemas para a produção de vapor. Mas caldeiras flamotubulares maiores necessitarão de um controle de nível mais apurado, pois se houver grande redução no nível haverá também grande injeção de água para correção, resultando no mesmo efeito exposto para caldeiras aquatubulares.

Desta forma, o porte e o tipo da caldeira definirão o tipo de controle a ser utilizado, objetivando a segurança da caldeira e o atendimento da demanda de vapor.

3.2.2 Controle de Temperatura de Saída do Vapor

Caldeiras geralmente não fornecem vapor a temperatura constante, e dependendo da utilização do vapor é necessário ser feito o controle da temperatura do vapor. Quando o vapor é saturado, o controle da temperatura pode ser feito controlando-se a pressão de saída do vapor, dado que na fase saturada há uma correlação entre estas duas grandezas. Já nos casos em que a caldeira produz vapor superaquecido é necessário a utilização de dessuperaquecedores (que geralmente trabalham com adição de água a fim de dessuperaquecer o vapor) para que seja controlada a temperatura final do vapor, pois esta passa a ser função da pressão, do excesso de ar, da temperatura e volume dos gases aos quais o superaquecedor está submetido.

Nas aplicações convencionais, a temperatura do vapor superaquecido poderá ser controlada por uma malha simples com realimentação negativa (controle de temperatura a um elemento). Mede-se a temperatura do vapor na saída do superaquecedor secundário (TT), conforme figura 6, e se houver alguma diferença do ponto desejado o controlador (TRC) atua na válvula de adição de água (TV). É eficiente se não houver variações freqüentes na carga.

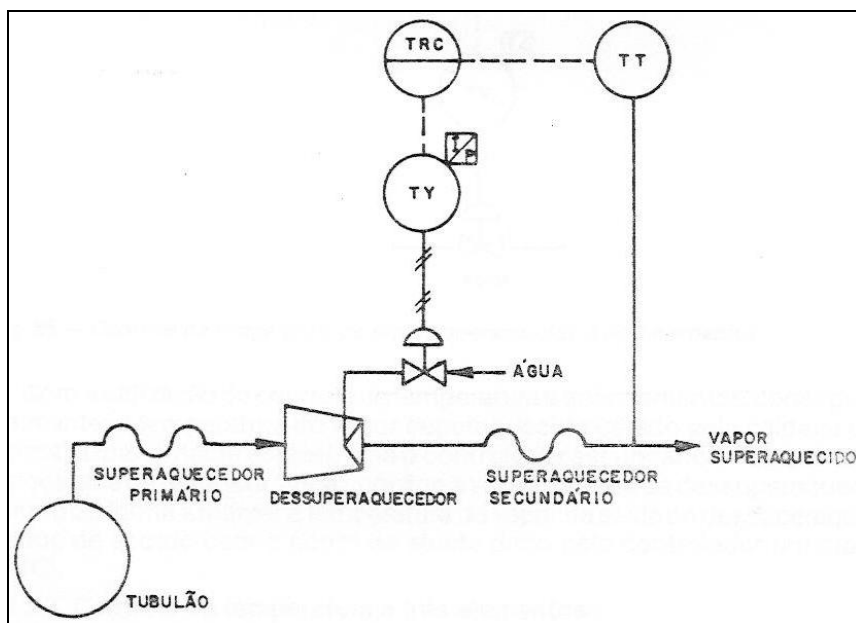


Figura 6 – Controle da temperatura do vapor superaquecido a um elemento.

Nos casos em que a temperatura for crítica, este controle deverá ser feito com malhas que utilizam controle com realimentação combinado com controle em cascata (controle de temperatura a dois elementos). Nesta filosofia são medidas as temperaturas na saída do superaquecedor secundário (TT) e na saída do dessuperaquecedor (TT), conforme figura 7. O controlador principal (TRC) controla a temperatura da saída do superaquecedor secundário, atuando no ponto de ajuste do controlador secundário (TIC). Este atua na válvula de adição de água de dessuperaquecimento (TV), buscando manter a temperatura na saída do dessuperaquecedor de acordo com o ponto de ajuste recebido do controlador principal (TRC).

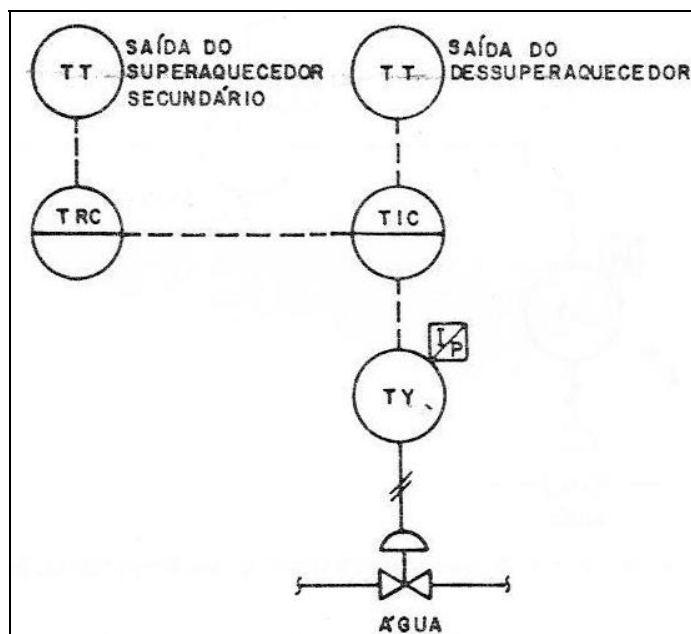


Figura 7 – Controle da temperatura do vapor superaquecido a dois elementos.

Se o controle a dois elementos for insuficiente ainda há a possibilidade de utilizar o controle antecipativo com realimentação combinado com controle em cascata (controle de temperatura a três elementos), onde são utilizados dois controladores de temperatura e um somador, conforme figura 8. O controlador principal controla a temperatura na saída do superaquecedor secundário e envia o sinal ao somador (TY), que adiciona ao sinal de vazão do ar de combustão (FT), resultando no ponto de ajuste enviado ao controlador secundário (TIC). Por sua vez, este atua na válvula de adição de água de dessuperaquecimento buscando manter o ponto de ajuste recebido pelo somador.

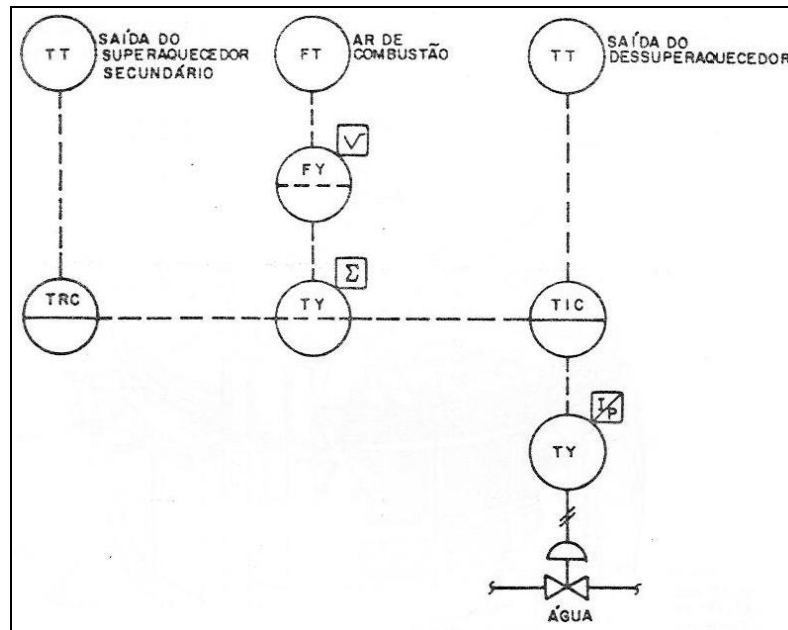


Figura 8 – Controle da temperatura do vapor superaquecido a três elementos.

Esta configuração manterá a temperatura do vapor superaquecido de maneira estável, dado que a correção é feita também em função da vazão de ar de combustão, e o controle se antecipa aos efeitos causados na variação desta variável. Também é necessário que o controlador secundário (TIC) tenha velocidade de resposta rápida e precisa.

3.2.3 Controle de Pressão do Vapor

O controle de pressão, junto com o controle de temperatura do vapor, é um controle mínimo necessário em caldeiras aquatubulares. É exigido um manômetro para indicar ao operador a pressão de trabalho de modo a garantir a segurança. Se a pressão sobe significa que houve queda na demanda de vapor, e que é necessária a redução da quantidade de calor injetado na fornalha. Por outro lado, a redução na pressão do vapor indica aumento da demanda, e a quantidade de calor deve ser aumentada. Desta forma, o controle da pressão é feito através da combustão.

A forma do controle depende da caldeira e da aplicação: onde for exigido um controle fino da pressão controles antecipativos com realimentação serão exigidos, mas aplicações menos exigentes poderão usar controle liga/desliga. De qualquer

forma é necessário que haja uma válvula de segurança para o caso do controle de pressão falhar, e esta ultrapassar o limite operacional. Logo acima do limite operacional a válvula de segurança se abre, e apesar de desperdiçar vapor e calor, garantirá a integridade da planta.

3.2.4 Controle da Combustão

As malhas de controle de combustão de caldeiras que utilizam combustível líquido ou gasoso o fazem variando a vazão do combustível e do ar de combustão injetado na câmara de combustão. Este controle objetiva manter a relação ar/combustível na faixa mais estreita possível, otimizando o rendimento da caldeira.

Dos controles de combustão, o mais simples é de acionamento mecânico, que utiliza apenas um controlador que controla a pressão do vapor atuando no acionador mecânico que, por sua vez, posiciona o *damper* de ar e a válvula de combustível através de alavancas. Dada a simplicidade deste mecanismo, ele apresenta grandes deficiências. Uma delas refere-se ao ajuste da relação ar/combustível, que é feito atuando-se nas alavancas de acionamento do *damper* de ar e da válvula de combustível. Além das dificuldades de manter a relação estequiométrica ar/combustível para diversas vazões, o rendimento também está sujeito às variações das condições atmosféricas. Outra deficiência é o fato da válvula de combustível não poder ser acionada independentemente do *damper* de ar.

Devido às suas deficiências, este sistema de controle ou sua filosofia (vazão de ar e combustível conjugados) é utilizado somente em caldeiras de pequeno porte e com poucas variações de carga. Nos casos de maior necessidade, podem ser implantados sistemas de controle mais elaborados, como os de acionamento independente das válvulas de ar e combustível, os que também medem a vazão de ar e de combustível, os que controlam a razão estequiométrica, os que utilizam um transmissor e um controlador de vazão específico para o ar de combustão e para o combustível (este ajusta a vazão de combustível e logo após a do ar, ou o contrário, ou simultaneamente). Há ainda sistemas que analisam a porcentagem de oxigênio existente nos gases da combustão e os que controlam a queima com mais de um combustível.

Buscando otimizar a queima ainda é possível analisar a temperatura e os gases da combustão de modo a garantir queima completa e menor desperdício de calor. O controle ainda pode analisar variáveis atmosféricas, como temperatura, pressão e umidade. Obviamente, cada mecanismo é utilizado dentro da necessidade e da relação custo-benefício.

3.2.5 Controle do Preaquecimento do Ar de Combustão

Alguns controles existentes em caldeiras são aplicados em casos muito específicos, seja por uma necessidade ou pelo porte da caldeira. Se a produção de vapor for muito grande, uma economia de 1% pode resultar numa economia mensal da ordem de milhares de reais.

Neste caso haverá um foco no controle da combustão e processos como pré-aquecimento do ar de combustão e da água de alimentação utilizando o calor residual dos gases da combustão.

Geralmente usam-se pré-aquecedores regenerativos, aproveitando o calor residual dos gases da combustão. É importante controlar a troca de calor para que a temperatura dos gases de combustão não caia a valores abaixo dos quais pode haver a condensação da umidade, o que acelera a corrosão do material.

Por exemplo, pode-se usar aquecedores regenerativos do tipo Ljungstron, combinado com preaquecimento utilizando vapor de baixa pressão. São medidas a temperatura do ar após o aquecimento com o vapor de baixa pressão e a temperatura dos gases da combustão na saída do regenerador. É calculada a média destes dois sinais e enviada ao controlador, que atua na válvula de vapor de preaquecimento do ar de combustão, como mostra a figura 9.

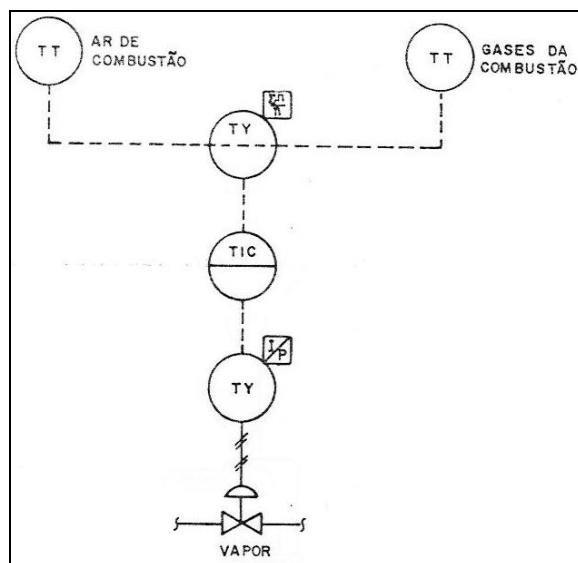


Figura 9 – Controle de temperatura de preaquecimento de ar.

3.2.6 Controle de Pressão na Câmara de Combustão

A pressão na câmara de combustão afeta diretamente a vazão de ar que flui através da caldeira e a própria combustão.

As caldeiras que operam com tiragem forçada (ventilador injeta ar na câmara de combustão) trabalham com pressão ligeiramente positiva, e seu controle é feito por meio do controle de vazão do ar de entrada.

De outro modo, as caldeiras com tiragem induzida (ventilador succiona o ar da câmara de combustão) há uma malha de controle específica. Um transmissor de pressão mede a pressão e envia o sinal ao controlador de pressão que compara com o ponto de ajuste, fazendo a correção necessária.

A tiragem balanceada é feita utilizando tiragem forçada e induzida. Neste caso, se os houver controle independente dos ventiladores, um deverá operar em automático, pois se ambos operarem em automático qualquer distúrbio resultará em ciclagem entre as malhas. Para evitar a ciclagem pode-se usar um ajuste mais lento de um dos controladores, mas isto piora a qualidade do controle.

A figura 10 mostra como este controle geralmente é feito. O controlador de vazão do ar de combustão atua na regulação do ventilador de tiragem forçada e, em paralelo, no de tiragem induzida. Se o ajuste estiver correto, o regulador de

pressão poderá atuar lentamente, dado que a correção necessária será pequena, e sua atuação é feita no ventilador de tiragem induzida.

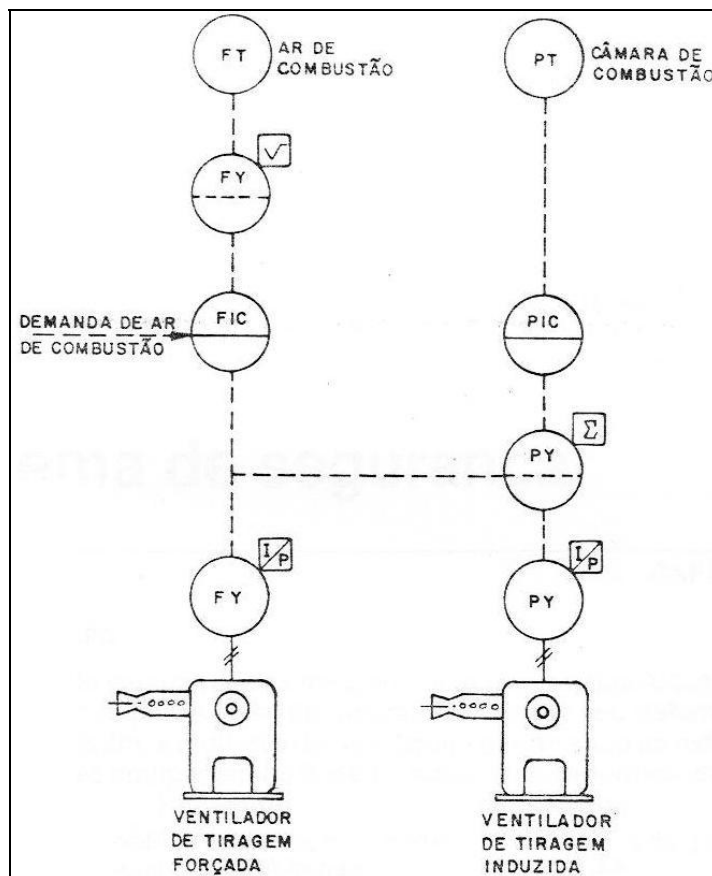


Figura 10 – Controle de pressão na câmara de combustão.

3.2.7 Controle de Qualidade da Água

Existem padrões para o controle de qualidade da água, utilizando diversas variáveis. Uma delas é a condutividade da água, podendo ser medida através de eletrodos imersos no corpo da caldeira formando um resistor de uma ponte de Wheatstone. A medida da condutividade é, na verdade, uma medida da quantidade total de sólidos dissolvidos no corpo da caldeira, cujo limite é de 3000ppm para caldeiras aquatubulares e 3500ppm para as flautotubulares.

Gunn e Horton explicam que a automação completa do controle de qualidade da água não é simples, dado que é praticamente necessário criar um laboratório de

análise automático e um sistema de correção. Na prática, um operador faz medições da qualidade da água e as corrige manualmente se for o caso.

4 A Caldeira ATA e o sistema de controle existente

A caldeira ATA modelo VI-15, localizada no LAGEPOT, figura 11, é flamotubular, de pequeno porte, e produz apenas vapor saturado. Esta caldeira tem capacidade de produção de 300kg de vapor por hora, e por estes motivos não se fazem necessários o controle de combustão, da temperatura de saída do vapor, da tiragem dos gases da combustão e da qualidade de água de injeção no corpo da caldeira, visto que não são variáveis críticas neste tipo de caldeira. Ela também não possui regeneradores, e apenas são controlados o nível de água no corpo da caldeira e a pressão de trabalho.



Figura 11 – Caldeira ATA no LAGEPOT.

No corpo da caldeira se encontra o fluido de trabalho (água) e os tubos por onde passam os gases provenientes da combustão na fornalha. É um tambor de construção soldada, com suas extremidades fechadas por espelhos planos (com o intuito de aproveitar a energia irradiada pelas chamas), de 894mm de diâmetro interno e 1925mm de comprimento, com paredes de aço ASTM-A 285 Gr.C de 9,5mm de espessura.

Um quadro elétrico fornece energia necessária ao funcionamento dos equipamentos que atuam na caldeira e ao sistema de controle. A distribuição da energia é feita no painel de controle, figura 12, onde estão localizados os elementos que fazem o controle automático e os acionamentos manuais da caldeira, protegidos da poeira, umidade e intempéries. Sobre o painel se encontram quatro botões: interruptor de comando automático de ignição, de ignição manual (centelha), do comando manual (motor elétrico e válvula de combustível) e do comando manual de bomba de água. Todo o sistema é acionado por uma tensão de 220V. A figura 13 representa o diagrama de ligações elétricas do painel de controle.



Figura 12 - Painel de Controle.

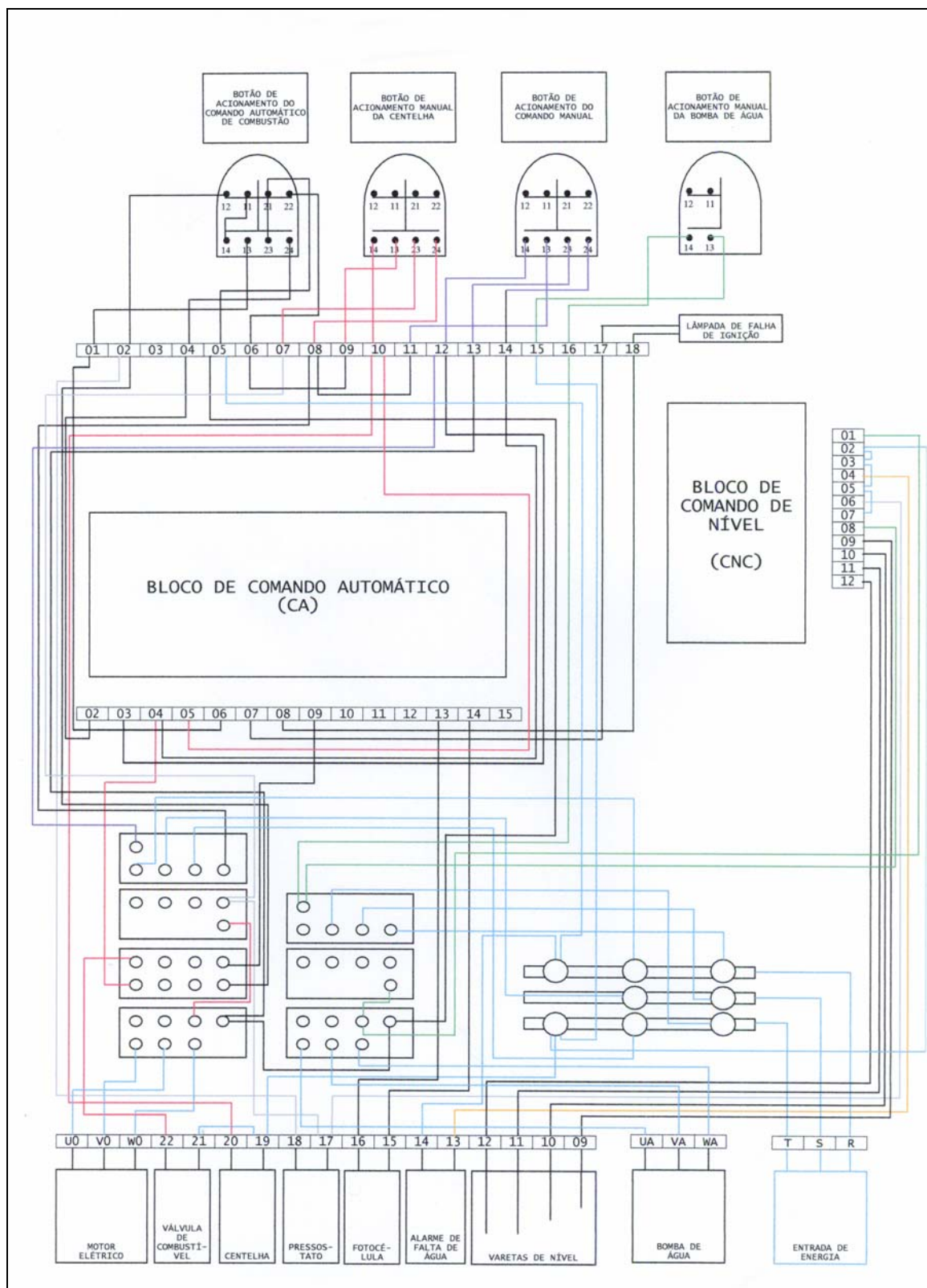


Figura 13 – Diagrama elétrico do painel de controle.

4.1 Variáveis controladas na Caldeira ATA

4.1.1 Controle de Nível da Caldeira

Ao lado do corpo da caldeira (figura 14) existem o indicador de nível (que indica o nível de água na caldeira) e a coluna de nível, que se trata de uma espécie de garrafa com quatro eletrodos de nível fixados na parte superior. A coluna de nível mantém comunicação com a água no interior da caldeira. Os eletrodos (figura 15) enviam informações ao sistema de controle automático de nível de água, localizado no painel de controle.



Figura 14 - Corpo da caldeira.



Figura 15 - Eletrodos de Nível.

Os eletrodos ficam mergulhados em água através da qual transmitem corrente elétrica, sendo que o eletrodo número 12 é o eletrodo de referência, e funciona como pólo positivo de um circuito elétrico, enquanto os demais funcionam como pólo negativo.

O eletrodo número 9 é o menor em comprimento. Este indica o nível máximo operacional da caldeira e comanda a parada da bomba de alimentação de água, assim que este nível é atingido.

O eletrodo número 10 é o de nível mínimo operacional, e comanda a partida da bomba quando o nível de água desce até este ponto. A diferença de comprimento entre os eletrodos 9 e 10 é a faixa de funcionamento normal da caldeira.

O eletrodo número 11 é o de nível de segurança, e impossibilita a combustão com o nível de água abaixo deste ponto. A interrupção da chama se dá através da abertura do circuito de alimentação das bobinas das chaves eletromagnéticas da bomba de óleo e do ventilador e da interrupção do fluxo de combustível. Enquanto este eletrodo mantiver o circuito aberto ele também fará soar o alarme de baixo nível de água.

A válvula de alimentação de água da caldeira e a válvula de saída de vapor são elementos de acionamento puramente manual, e comandam a entrada de água na

caldeira e a saída de vapor respectivamente. Se a válvula de saída de vapor estiver fechada haverá aumento da pressão no interior da caldeira, e o sistema de controle de pressão interromperá a combustão. Mas se a válvula de entrada de água estiver fechada ou não houver água no reservatório e a bomba for acionada, ela não bombeará água, provocando superaquecimento e danos à mesma.

A figura 16 mostra o diagrama elétrico do controle de nível.

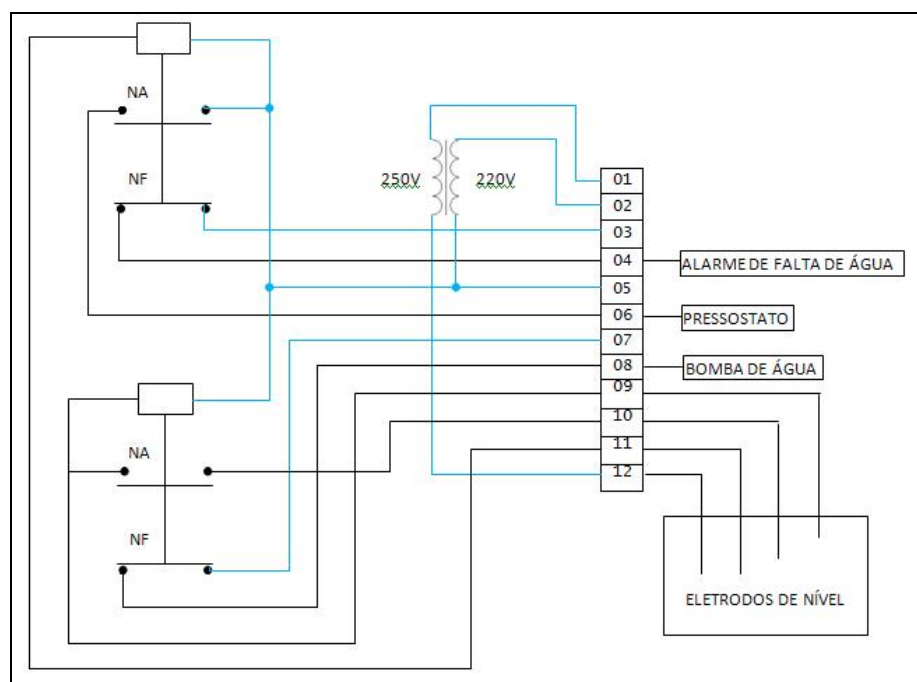


Figura 16 – Diagrama elétrico do controle de nível.

Pelos bornes 1, 2, 3, 5 e 7 chega energia ao Controle de Nível da Caldeira (CNC). Considerando a caldeira vazia na partida, o alarme de baixo nível de água será ligado pelo relé 1 (relé de alarme e parada de combustão) e a bomba de água será ligada pelo relé 2 (relé de bomba de água). Assim que o nível de água atingir o eletrodo número 11 a corrente elétrica vai fluir pela água, fechando o circuito elétrico, magnetizando a bobina do relé 1, alterando sua posição. Isto fará desligar o alarme de nível de água, e o contato normalmente aberto é fechado. Este é ligado em série com o pressostato, que passa a enviar sinal permitindo a combustão automática ou manual.

O nível de água continua a subir, dado que a bomba está ligada, até atingir o eletrodo de número 9. O circuito elétrico deste eletrodo é ligado à bobina magnética do relé 2, acionando-o. Isto fará a bomba desligar, e o contato normalmente aberto

faz o selo da bobina, através do eletrodo número 10. Desta forma, a bobina somente será desmagnetizada quando o nível de água diminuir abaixo deste eletrodo, o que fará religar a bomba de água.

A bomba ligará na partida sempre que o nível de água estiver abaixo do eletrodo de máximo nível operacional.

4.1.2 Controle de Pressão

O controle de pressão é feito através do pressostato Honeywell modelo L404A1388-2 (figura 17). Sempre que o nível de água estiver acima do nível de segurança o pressostato poderá enviar sinal elétrico.



Figura 17 - Pressostato.

Enquanto a pressão se mantém abaixo do máximo operacional o pressostato envia sinal permitindo a combustão. Quando a pressão atinge o máximo regulado o bulbo de mercúrio inclina abrindo o circuito elétrico e interrompendo o envio de sinal ao sistema de controle, não permitindo a combustão ou interrompendo-a. O circuito é religado assim que a pressão cai conforme regulação do pressostato.

Para a segurança do sistema, caso o pressostato falhe, existe uma válvula de segurança (figura 18) do tipo mola que abrirá quando a pressão do vapor atingir 180psi.



Figura 18 - Válvula de segurança.

4.2 Comando Automático da Combustão

O comando automático da combustão (figura 19) não é um controle da combustão, mas um sequenciamento da partida que garante o correto acendimento da caldeira. Este liga o motor elétrico (que aciona o ventilador e a bomba de combustível), a válvula de combustível e a centelha elétrica, e recebe sinal da fotocélula e do pressostato.

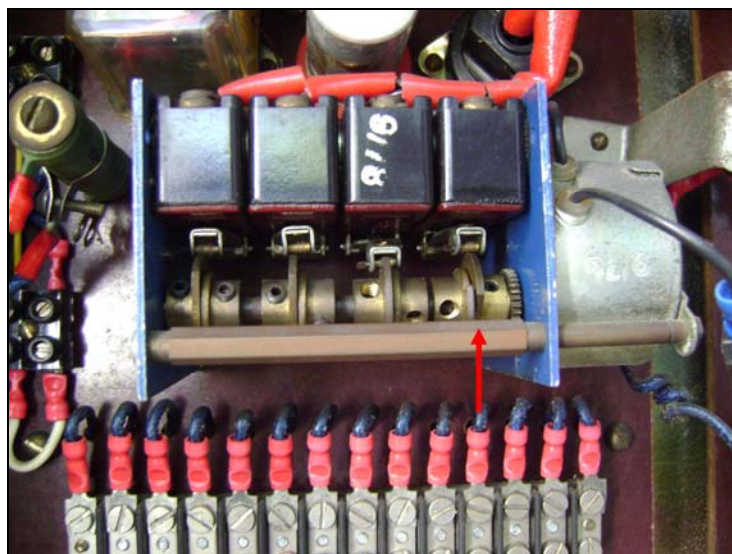


Figura 19 – Comando automático de combustão. Da direita para a esquerda, a partir da seta: 1º came e 1ª micro-chave, 2º came e 2ª micro-chave, 3º came e 3ª micro-chave, 4º came e 4ª micro-chave.

A combustão somente será permitida quando o pressostato enviar sinal, indicando que a pressão se encontra nos níveis operacionais.

Ao ligar o interruptor de comando automático (CA) entrará em funcionamento o programador (eixo de cames). O 1º came aciona a 1ª micro-chave que liga e desliga o motor do programador, deixando-o sempre pronto para iniciar um novo ciclo, salvo em caso de falha de ignição. O 2ª came aciona a 2ª micro-chave, que liga o ventilador e a bomba de óleo. Uma válvula que controla a passagem de combustível faz com que este retorne ao reservatório, de modo que na fornalha chegue apenas ar, para purgar os gases existentes na câmara de combustão.

A pré-purga dura 30 segundos e se encerrada quando o 3º came aciona a 3ª micro-chave, ligando a centelha elétrica. Imediatamente depois, o 4º came aciona a 4ª micro-chave que comanda a abertura da válvula de combustível, permitindo a sua passagem para o bico pulverizador.

Cerca de 10 segundos após o acionamento da centelha elétrica ela é desligada, e analisa-se o sinal enviado de uma fotocélula localizada na fornalha, que funciona como sensor de chama, recebendo a claridade. Caso a chama se sustente, o sinal enviado pela fotocélula ativará o relé OP-3 que manterá a combustão acontecendo. O motor do eixo de cames continua girando até completar o ciclo de 360°. Neste momento ele pára, ficando pronto para nova partida.

Caso a chama não se sustente, a fotocélula não emitirá sinal, o relé OP-3 não será ativado e o eixo de cames pára fora de sua posição de início, obrigando o operador a utilizar o botão de reciclo (figura 20) localizado ao lado do programador para realizar nova partida.

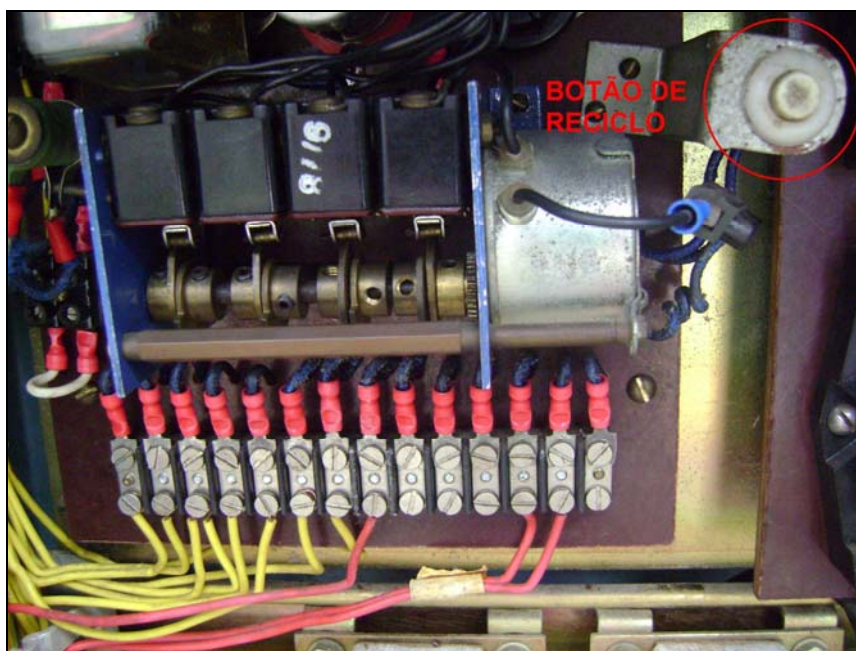


Figura 20 - Botão de reciclo.

A figura 21 mostra o diagrama elétrico do Comando Automático da Combustão.

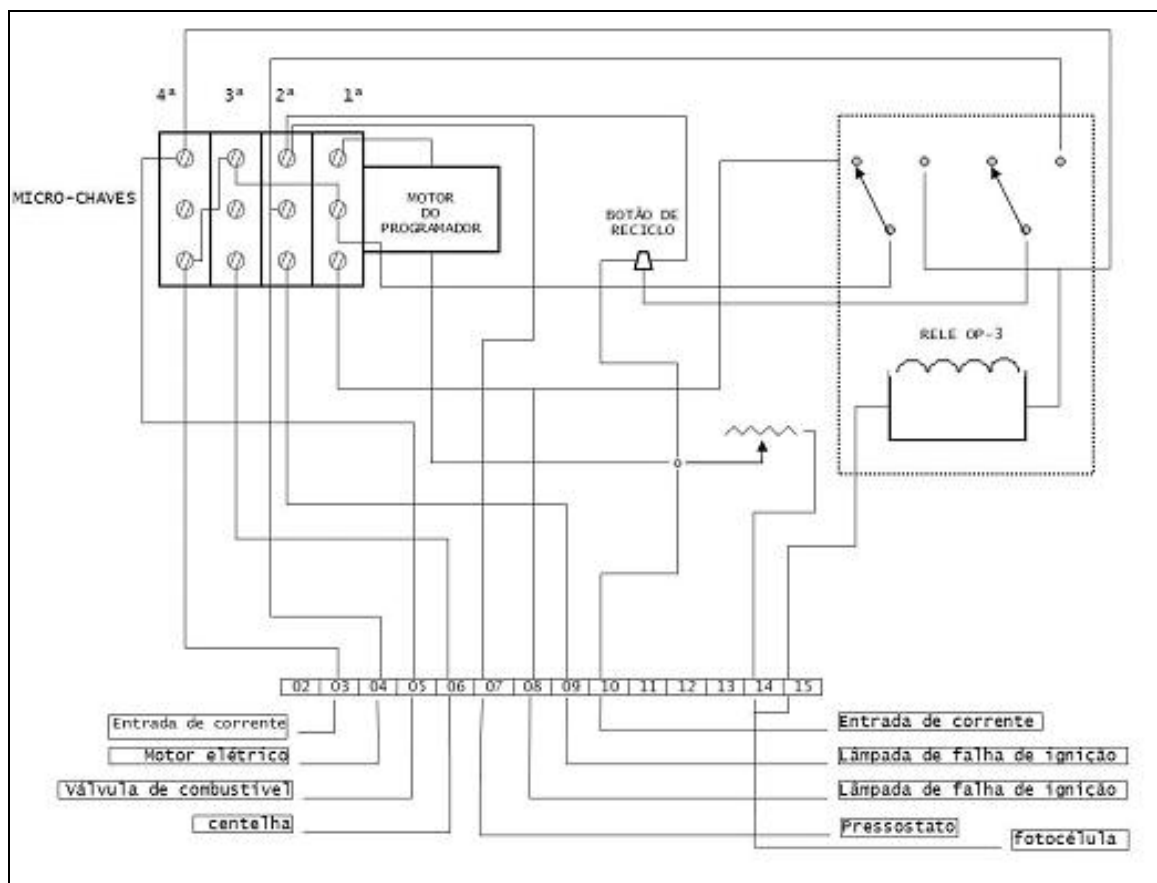


Figura 21 – Diagrama elétrico do Comando Automático de Combustão.

4.3 Controle manual

O acionamento do motor, da centelha e da bomba de água, podem se dar manualmente, através de chaves localizadas na parte superior externa do painel de comando mostrador na figura 22.

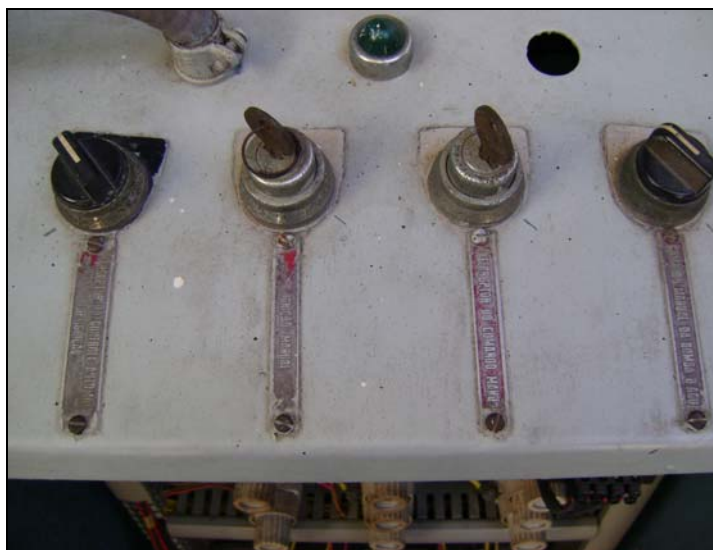


Figura 22 - Chaves de acionamento. Da esquerda para a direita: interruptor do comando automático de ignição, ignição manual, interruptor do comando manual, comando manual da bomba d'água.

A bomba de água pode ser acionada pelo operador a qualquer instante, mesmo que o nível de água no corpo da caldeira esteja no máximo. Isto permite que a caldeira fique completamente cheia em seu interior, caso seja necessário interromper sua operação por longo período.

O operador pode dar partida na caldeira de modo manual, através do acionamento da chave de ignição manual e do interruptor de comando manual (motor elétrico e válvula de combustível). O motor e a válvula de combustível somente serão ligados se a centelha também estiver acionada, garantindo que não será injetado combustível na fornalha sem a centelha. Após a interrupção da centelha o motor continuará funcionando, mantendo a combustão. Neste caso não é possível a realização da purga.

Quando o modo automático estiver acionado, a chave de ignição manual e o interruptor de comando manual ficam inoperantes.

5 Proposta de substituição do sistema de controle existente

Após a compreensão do funcionamento da caldeira e do controle de suas variáveis, nível e pressão, foi possível a reprodução deste sistema para utilização do CLP, através da linguagem Ladder.

As simulações foram realizadas no CLP Matsushita modelo FP0-C32 localizado no IFES Campus Serra, utilizando-se as instruções encontradas na Apostila básica para programação com FPSoft.

Os controladores lógicos programáveis substituem o uso material de relé, temporizador, contadores e outros dispositivos, simulando o seu funcionamento.

Dado que o funcionamento do dispositivo de comando é efetuado com lógica eletromecânica, é importante conhecer a lógica relé, com referencia ao esquema elétrico funcional, o qual constitui a base da linguagem Ladder.

5.1 Controladores Lógicos Programáveis (CLP)

Francesco Prudente define o CLP como um equipamento composto de componentes eletrônicos e memória que contém dados e programas com a finalidade de ler e executar instruções, interagindo com um sistema que deve ser controlado por dispositivos de entrada e saída do tipo analógico ou digital.

Este equipamento surgiu com o objetivo principal de substituir os quadros elétricos a relés que eram usados principalmente na indústria automobilística, e que deviam ser trocados toda vez que fosse feita uma alteração no processo de fabricação. Além do custo elevado, a substituição dos relés exigia que a linha de produção ficasse inativa durante a atualização.

Com o passar do tempo, o CLP transformou-se em um equipamento mais simples de usar, mais confiável e produtivo. A partir dos anos 80 os computadores começaram a se tornar populares na indústria, o CLP tornou-se especializado, e sua difusão cresceu exponencialmente, e dentre os fatores para isto pode-se citar:

- Flexibilidade: como citado anteriormente, a reprogramação é mais simples do que com componentes eletromecânicos;

- Fácil gestão das falhas: os modernos CLP's são capazes de diagnosticar falhas de maneira rápida e simples;
- Baixo custo: a popularização do CLP tornou seu custo acessível;
- Facilidade de programação: A linguagem de programação é intuitiva, o que facilita sua compreensão e programação do CLP.
- Observação do funcionamento: As operações de um CLP podem ser observadas no computador através de um programa supervisorio, no qual também é possível simular o funcionamento.

Outra vantagem do sistema de controle por CLP é a confiabilidade no controle. Durante os testes de funcionamento da caldeira foi detectada uma falha no processo acendimento, provavelmente um defeito no acionamento do relé OP-3 devido a mau contato nos cabos elétricos ou uma desregulagem do eixo de cames. Num CLP não existem relés operando a lógica de controle, mas contatos virtuais operados através de lógica booleana. Dessa forma a quantidade de elementos mecânicos diminui muito, reduzindo a probabilidade de haver falha do sistema de controle.

Apesar de serem projetados para trabalhar em ambiente industrial com variação de temperatura, umidade, vibrações, distúrbios elétricos, existem outras variantes como alta temperatura e forte distúrbio eletromagnético que impossibilitam a utilização de um dispositivo eletrônico.

5.1.1 Hardware do CLP

O hardware de um controlador lógico programável é constituído de três componentes fundamentais: unidade central, unidade de programação e unidade de entrada e saída de dados (unidade I/O).

A unidade central é a que organiza todas as funções de controle. Esta é constituída de três unidades fundamentais:

- Microprocessador e CPU: Executa a lógica binária, utilizada para elaborar sinais elétricos e comandar máquinas. Da CPU depende a performance, velocidade e potência do CLP. O microprocessador lê os sinais de entrada e interage com o programa, gerando sinais de saída, comandando dispositivos de atuação.

- Memória: É o dispositivo utilizado pela CPU para “ler” e “escrever” informações úteis à execução do programa.

- Fonte de alimentação: É utilizada para converter uma tensão alternada de rede numa tensão contínua para o funcionamento da CPU e seus dispositivos de entrada.

A unidade de programação é a interface homem/máquina, que permite compilar e enviar o programa à memória do CLP, visualizá-lo, modificá-lo e controlá-lo, bem como impor o estado lógico dos I/O para simulação.

A unidade I/O permite o diálogo do CLP com os sinais de entrada e saída provenientes do campo.

A unidade de entrada recebe todos os sinais provenientes de botões, sensores, chaves, entre outros, para conhecimento do estado do processo, e os torna compatíveis com a CPU do CLP.

A unidade de saída trata os sinais emitidos pela CPU para enviá-los aos dispositivos que devem ser acionados, chamados atuadores, como por exemplo, motores, lâmpadas, eletro-válvulas, sirenes, entre outros.

A construção dessas unidades, chamadas de “Placas I/O”, pode ser com base em sinais digitais ou analógicos.

Periféricos podem ser adicionados para permitir a expansão e potencialização da performance do CLP:

- Um simulador de entradas é um dispositivo que simula o funcionamento do sensor, facilitando o rápido ajustamento do software, permitindo a execução de testes.

- Uma impressora permite imprimir o programa.

- Dispositivos de grande memorização de dados são memórias de elevada capacidade que permitem conservar o programa desenvolvido, mesmo quando não estão instaladas sobre o CLP.

A figura 23 mostra esquematicamente a organização de um CLP.

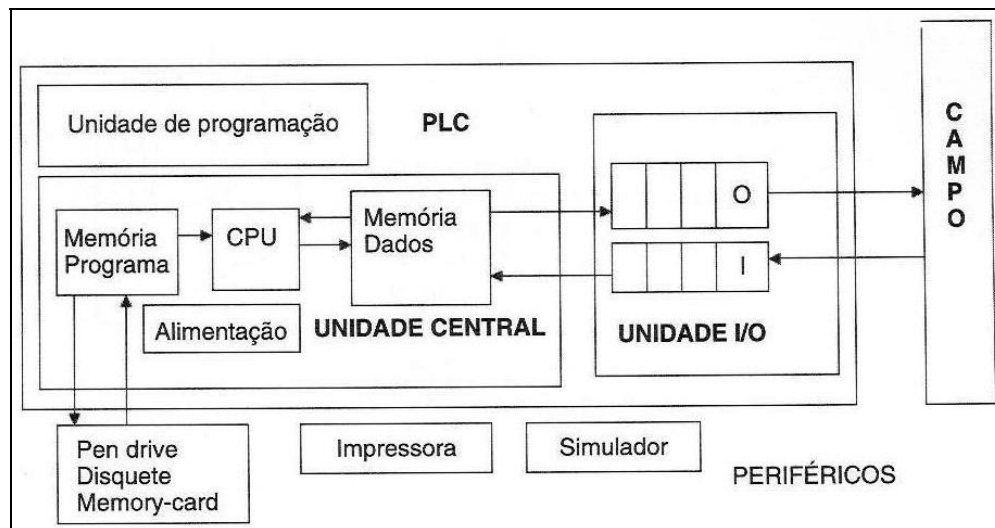


Figura 23 - Hardware de um CLP.

5.1.2 Linguagem Ladder

É uma Linguagem de programação gráfica, em forma de diagrama, que por ser de fácil criação e interpretação e representar ligações físicas entre componentes eletrônicos (sensores e atuadores), acaba sendo bastante utilizada em ambiente industrial, e por este motivo foi escolhida para a realização deste projeto.

Existem três tipos de elementos na linguagem Ladder:

- As entradas (ou contatos), que podem ler o valor de uma variável booleana;
- As saídas (ou bobinas) que podem escrever o valor de uma variável booleana;
- Os blocos funcionais que permitem realizar funções avançadas.

A entrada (ou contato) é o elemento que representa o sensor, ou seja, a entrada de sinal no bloco de controle lógico. Pode ser uma chave, um sensor reflexivo, um final de curso ou até mesmo o contato de algum relé auxiliar.

Existem dois tipos de contatos. O contato normalmente aberto (NA) fecha quando a variável booleana associada é verdadeira. O contato normalmente fechado (NF) abre quando a variável booleana associada é verdadeira.

A saída (ou bobina) é o elemento atuador, ou seja, o elemento acionado ou desligado pelo bloco de controle lógico. Pode ser uma contatora, um motor, uma lâmpada, uma sirene, entre outros.

Os blocos funcionais permitem realizar operações mais complexas que a leitura ou escrita de variáveis. São exemplos de blocos funcionais os contadores, temporizadores, bobinas de set ou reset, operadores matemáticos, entre outros.

5.2 Sistema de controle da Caldeira ATA por CLP

A figura 24 mostra o sistema de controle da caldeira em linguagem Ladder. A programação feita no CLP cumpre as mesmas funções do painel de comando existente na caldeira. A descrição dos elementos é representada em seguida na tabela 1.

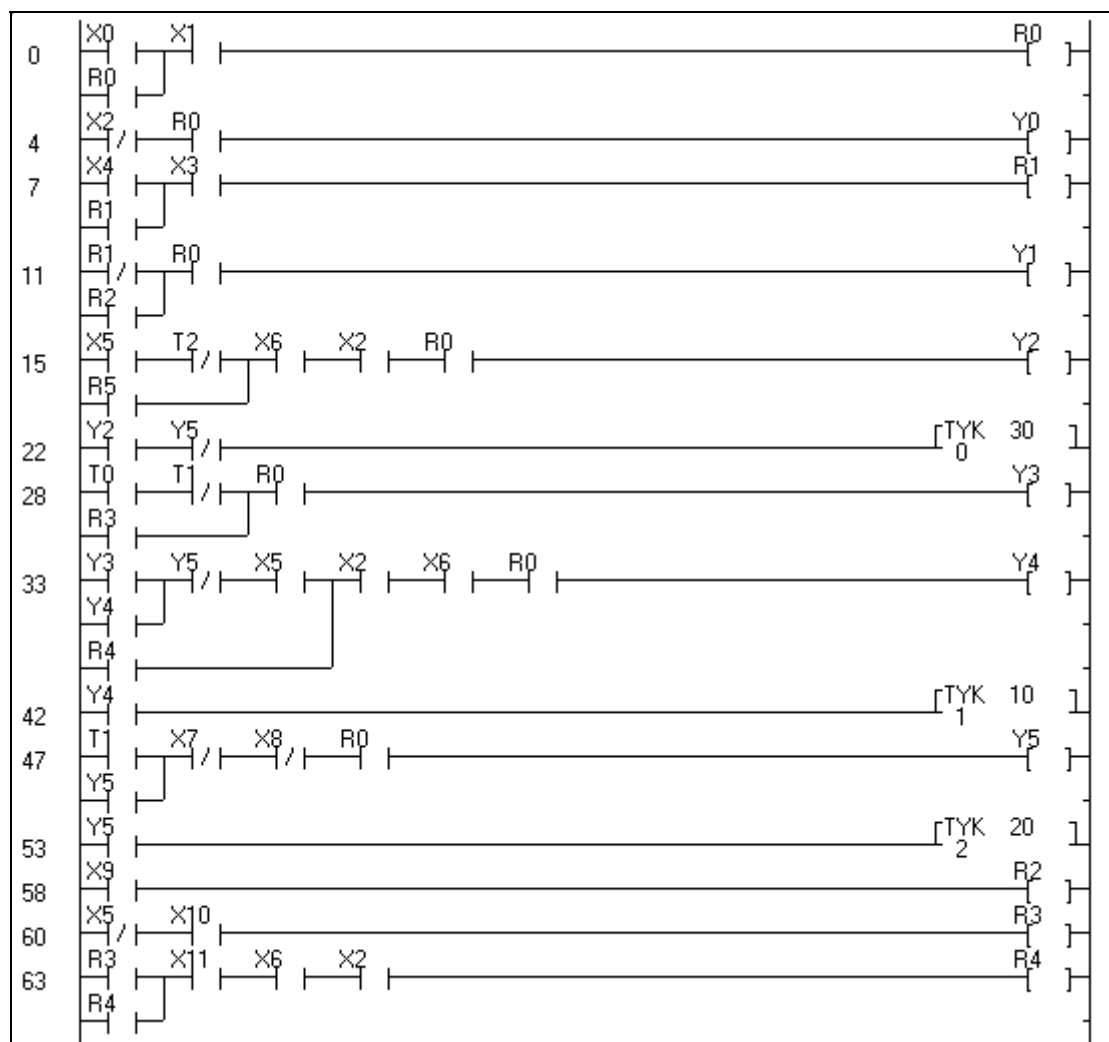


Figura 24 – Programação do CLP em linguagem Ladder.

Tabela 1 - Legenda da programação do CLP em Ladder

ENTRADAS	
X0	Botão para ligar o CLP
X1	Botão para desligar o CLP
X2	Eletrodo de nível de segurança
X3	Eletrodo de nível mínimo operacional
X4	Eletrodo de nível máximo operacional
X5	Botão de acionamento do comando automático de combustão
X6	Pressostato
X7	Fotocélula
X8	Botão de reciclo
X9	Botão de acionamento manual da bomba de água
X10	Botão de acionamento manual da centelha
X11	Botão de acionamento manual do motor e da válvula de combustível
SAÍDAS	
Y0	Alarme de falta de água
Y1	Bomba de água
Y2	Motor elétrico
Y3	Centelha
Y4	Válvula de combustível
Y5	Lâmpada de falha de ignição
RELÉS	
R0	Relé de segurança
R1	Relé auxiliar de nível
R2	Relé de acionamento manual da bomba de água
R3	Relé de acionamento manual de centelha
R4	Relé de acionamento manual do motor e da válvula de combustível
TEMPORIZADORES	
T0	Tempo de pré-purga
T1	Tempo de centelha
T2	Tempo de pós-purga

5.2.1 Lógica do sistema de controle por CLP

Assim que o operador liga o CLP, o contato X0 é acionado e muda seu estado para fechado. Dado que o botão que aciona o contato X1 é normalmente fechado, o

relé R0 é acionado, permitindo que todas as saídas sejam acionadas, e quando ele é desligado ele desliga todas as saídas. Para desligar o relé R0 deve ser acionado o contato X1. Desta forma o relé R0 é um dispositivo de segurança da caldeira.

Supondo a caldeira partindo vazia, os eletrodos não enviam sinal, e a saída Y0 (bomba de água) é ligada pelo contato R1 (relé auxiliar de nível), normalmente fechado (NF). Quando a entrada X2 é energizada, o contato NF de X2 abre, desligando a saída Y1 (alarme de baixo nível de água).

O relé R1 somente será acionado quando o contato X4 (nível máximo) for acionado, e neste momento o contato X3 (nível mínimo) já estará acionado. O acionamento do relé R1 faz desligar a saída Y0, que tornará a ligar quando o relé R1 for desacionado pela entrada X3 (neste momento o nível de água desce abaixo do eletrodo de nível mínimo).

Quando o contato X5 (comando automático da combustão) é acionado, um conjunto de ligações em série deve ser analisado. A saída Y2 (motor) somente será acionada se os contatos X6 (pressostato) e X2 estiverem acionados. Assim que o motor é ligado o contato Y2 é comutado e aciona o temporizador T0, contando o tempo de pré-purga.

Passada a pré-purga o contato T0 aciona a saída Y3 (centelha), que por sua vez comuta o contato Y3 e aciona a saída Y4 (válvula de combustível). Desta forma garante-se que não haverá injeção de combustível na câmara de combustão antes da centelha ser acionada. O contato Y4 que faz selo com o contato Y3 atua para que a injeção de combustível continue mesmo que a centelha seja desligada.

O contato Y4 aciona o temporizador T1, que conta o tempo a partir do qual deve ser verificado o sinal da entrada X7 (fotocélula). Ao ser acionado o contato T1 a saída Y3 é desligada, interrompendo a centelha.

Se a chama se mantiver, a fotocélula enviará sinal e o contato X7 será energizado, abrindo-se. Assim não será registrada falha de ignição. Por outro lado, se a chama se apagar o contato X7 se manterá fechado, ativando a saída Y5 (lâmpada de falha de ignição), que por sua vez, ativa o contador T2 (tempo de pós-purga). Após ser efetuada a pós-purga, o contato T2 é ativado e se abre, desligando a saída Y2. A combustão somente poderá ser retomada após a ativação do contato X8 (botão de reset).

Se houver falta de água (contato X2 desativado) ou sobrepressão de vapor (contato X6 desativado), as saídas Y2 e Y4 são desativadas, interrompendo a combustão. Neste caso não será computado falha de ignição, e o retorno da combustão é feito a partir da pré-purga.

A operação manual da bomba de água se dá através do contato X9, que ativa o relé R2, acionando seu respectivo contato e fazendo ligar a saída Y1.

A centelha manual é feita através do acionamento do contato X10 somente quando o contato X5 estiver desacionado (botão de comando automático de combustão desligado), ativando o relé R3, que aciona seu respectivo contato ativando a saída Y4.

O acionamento do motor elétrico e da válvula de combustível são feitos através do contato X11 e somente quando o contato R3 estiver acionado. Então, o relé R4 é acionado e seus contatos se ativam fazendo ativar as saídas Y2 e Y4 e selando o próprio relé R4. Este intertravamento garante que não haverá injeção de combustível antes da centelha e acionamento manual do motor elétrico e da válvula de combustível quando em operação automática.

5.2.2 Instalação do CLP

Para a instalação do CLP é necessário retirar do painel de comando padrão o bloco de comando automático, no qual está localizado o eixo de cames, e o bloco de comando de nível. Os bornes localizados na parte inferior do painel, as chaves na parte superior, os fusíveis e as contadoras permanecem no painel. Os sensores e os equipamentos já instalados também permanecem.

O diagrama elétrico do painel de controle com CLP está representado na figura 25.

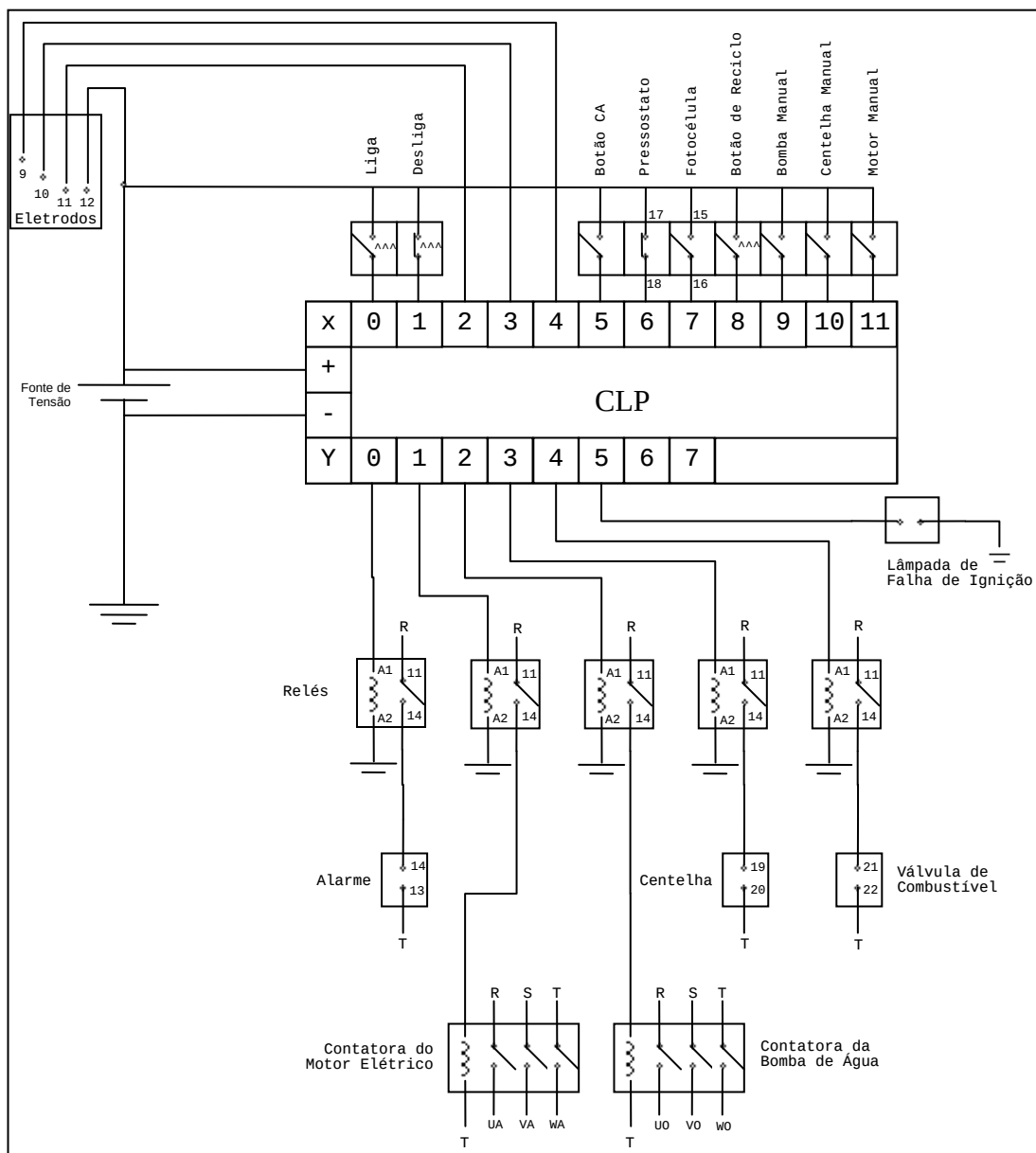


Figura 25 - Diagrama elétrico do painel de controle com CLP.

Os elementos necessários para a implantação do sistema de controle proposto e o orçamento são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Orçamento da instalação do CLP.

Item	Marca	Modelo	Preço unitário	Quantidade	Preço
CLP 12 entradas e 8 saídas digitais	WEG	TPW-03 20HR-A	1.140,00	1	1.140,00
Fonte de tensão 24V (24V/220V)	Mean Well	MDR 20-24	196,00	1	196,00
Relé	Finder	46.61.9.024 .0040	54,96	5	274,80
Botoeira Liga	Siemens	3SB3202-0AA41	3,20	1	3,20
Botoeira Desliga	Siemens	3SB3203-0AA21	3,20	1	3,20
Botão de Reinício	Siemens	3SB3202-0AA11	3,20	1	3,20
Lâmpada 24V – 10W	Philips	105	2,08	1	2,08
TOTAL					1.622,48

O CLP (APÊNDICE A) funciona com uma tensão de 24V. Desta forma, a fonte de tensão (APÊNDICE B) transforma a tensão de 220V em 24V, alimentando o CLP. Esta fonte de tensão alimenta as entradas e as saídas do CLP, bem como o eletrodo número 12, que fechará circuito com os eletrodos 11, 10 e 9 quando o nível de água atingir os eletrodos, enviando sinal para as entradas 2, 3 e 4 do CLP, respectivamente.

O botão liga tem a função de ligar o CLP, permitindo que o mesmo faça todo o controle. O botão desliga tem a função de emergência: se ocorrer alguma anomalia no processo, ao apertar o botão desliga todas as saídas são desativadas, isto é, tanto a combustão quanto a bomba de água são desligados imediatamente. O botão liga é NA e de cor verde, e o botão desliga é NF e de cor vermelha. Os botões estão detalhados no APÊNDICE C.

A fonte de tensão também é ligada ao pressostato e à fotocélula, pelos bornes 18 e 17, e 16 e 15 respectivamente, bem como nos contatos NA dos botões localizados na parte superior do painel e no botão de reciclo. Este último botão é integrado ao programador eletromecânico, e por isto é necessário instalar outro

botão. Seu código o caracteriza como sendo NA e de cor preta. Todos estes elementos irão alimentar entradas do CLP.

Em suas saídas, o CLP fornece tensão de 24V, insuficiente para acionar os elementos, que necessitam de 220V. São necessários relés (APÊNDICE D) para realizarem tais acionamentos. A saída do CLP é conectada à bobina do relé, pelo contato A1, e o contato A2 é aterrado. O contato 11 é conectado à fase R, e o contato 14 é conectado ao elemento a ser acionado ou à chave contatora (caso do motor e da bomba de água, que são elementos trifásicos). Este elemento é aproveitado do controle existente.

A lâmpada de falha de ignição pôde ser acionada diretamente pela saída do CLP porque ela foi substituída por uma lâmpada 24V, encontrada em lojas de material elétrico em geral.

As fases R, S e T são demonstradas na figura 13, e são representados pelos bornes de mesmo nome. Mas para aplicação no CLP essas fases devem ser tomadas a partir dos fusíveis localizados no barramento, com o cuidado de deixar seis fusíveis somente para os acionamentos do motor elétrico e da bomba de água. As fases R e T que fazem o acionamento do alarme de falta de água, da centelha e da válvula de combustível devem ser tomados pelos dois fusíveis à esquerda. Na figura 25, os números junto ao alarme, à válvula de combustível, à centelha e aos eletrodos representam os números dos bornes localizados à parte inferior do quadro elétrico, por onde devem ser feitas as instalações.

6 Proposta alternativa do sistema de controle por CLP

Como forma de melhoria do sistema de controle proposto, foi elaborado um segundo programa no qual o funcionamento se dará de maneira exclusivamente automática, não havendo a opção de controle manual, tão pouco da necessidade de intervenção do operador, salvo em casos de anomalias no processo. Assim, o operador passará a monitorar em tempo real o funcionamento da caldeira através de um supervisor.

A figura 26 mostra o programa proposto acima em Ladder e a descrição dos elementos é representada em seguida na tabela 3.

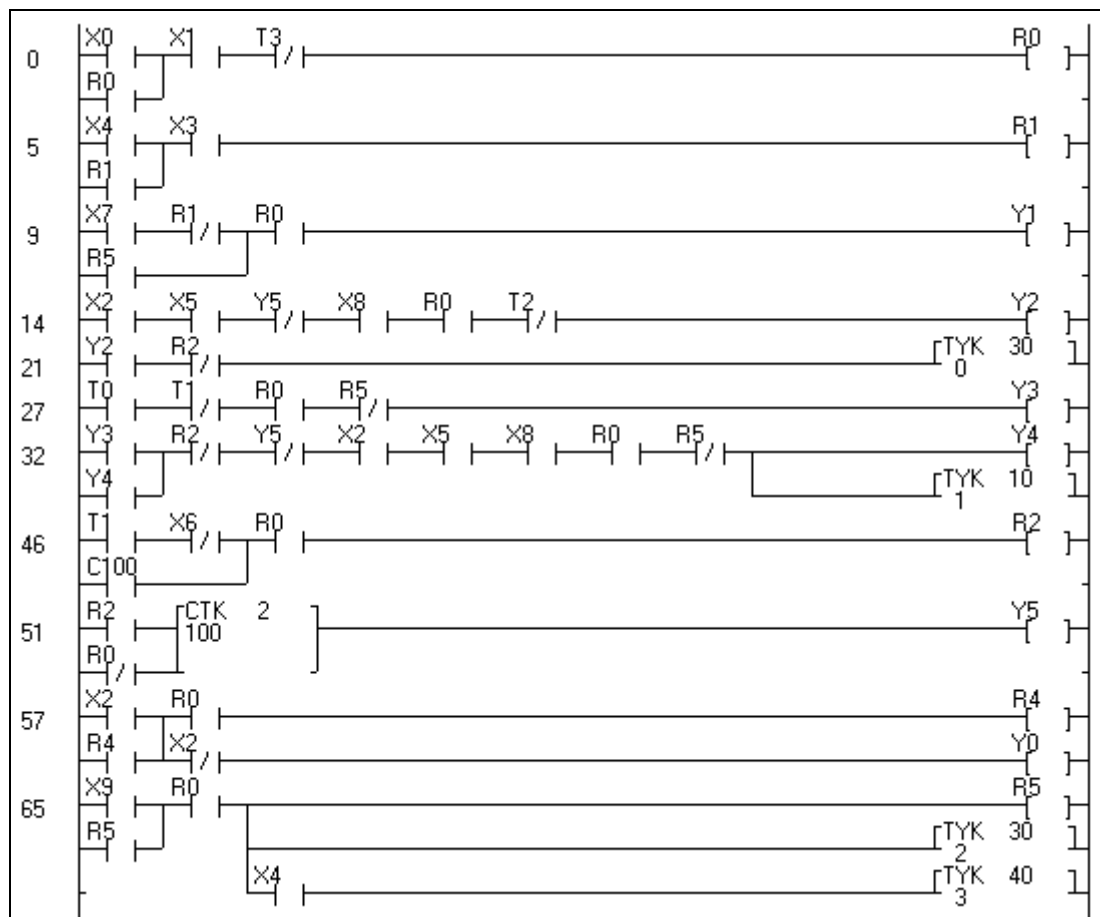


Figura 26 - Programação do CLP em linguagem Ladder, proposta alternativa.

Tabela 3 - Legenda da programação do CLP em Ladder, proposta alternativa.

ENTRADAS	
X0	Botão para ligar o CLP
X1	Botão para desligar o CLP
X2	Eletrodo de nível de segurança
X3	Eletrodo de nível mínimo operacional
X4	Eletrodo de nível máximo operacional
X5	Pressostato
X6	Fotocélula
X7	Sensor de baixo nível da caixa d'água
X8	Sensor de baixo nível do reservatório de combustível
X9	Botão de desligamento da caldeira
SAÍDAS	
Y0	Alarme de falta de água
Y1	Bomba de água
Y2	Motor elétrico
Y3	Centelha
Y4	Válvula de combustível
Y5	Lâmpada de falha de ignição
RELÉS	
R0	Relé de segurança
R1	Relé auxiliar de nível
R2	Relé de travamento por partidas mal sucedidas
R3	Relé auxiliar de alarme
R4	Relé auxiliar de desligamento da caldeira
TEMPORIZADORES	
T0	Tempo de purga
T1	Tempo de centelha
T2	Tempo de pós-purga para desligamento da caldeira
T3	Tempo de enchimento da caldeira acima do nível máximo operacional
CONTADORES	
CTK100	Contador de tentativas de partida

Nesta proposta o operador não tem possibilidades de realizar o processo manualmente, podendo apenas ligar e desligar o CLP ou parar a operação.

Assim que o CLP é ligado passa a controlar o nível de água e, tão logo o nível de água atinge o mínimo de segurança a combustão é iniciada automaticamente, isto é, sem que o operador precise acionar uma chave de comando da combustão.

O alarme de baixo nível de água também foi alterado. Ele não mais será acionado na partida, mas somente em operação se o nível cair abaixo do mínimo de segurança.

Como forma de evitar danos aos equipamentos da caldeira, foram adicionados sensores de baixo nível da caixa d'água e do reservatório de combustível. Desta forma a combustão cessa quando o nível mínimo de combustível é atingido, e a bomba de água não liga quando o reservatório de água atinge o nível mínimo.

Em caso de falha de ignição, o sistema de controle tentará repetir a partida uma vez. Caso a falha persista, o processo somente será reiniciado quando o CLP for reiniciado pelo operador.

Para o desligamento da caldeira foi adicionado um processo específico, que realiza a pós-purga, fazendo a retirada dos gases de combustão na fornalha, e enche a caldeira com água, um pouco acima do nível máximo operacional.

6.1 Lógica do sistema de controle da proposta alternativa

Ao controle de nível foi adicionado o contato X7 (sensor de baixo nível da caixa de água), que é desacionado quando o nível da caixa estiver baixo, desligando a saída Y1 (bomba de água). O mesmo mecanismo foi adicionado para desligamento das saídas Y2 (motor elétrico) e Y4 (válvula de combustível), através do contato X8 (sensor de baixo nível do reservatório de combustível).

No momento que o CLP é ligado, o relé R4 é acionado pelo contato X2 caso este esteja ativado. Este contato, em série com o contato R4 faz com que a saída Y0 (alarme de falta de água) não seja ativada. A saída Y0 somente será ligada se o nível de água desacionar o contato X2.

A partida será dada automaticamente assim que os contatos X2, X5 (pressostato) e X8 estiverem acionados, sendo ativada a saída Y2 e cumprindo-se os procedimentos de acendimento conforme procedimento relatado para a proposta inicial.

Em caso de encerramento da produção, a caldeira pode ser desligada por um botão de desligamento, que ativa o contato X9. Este aciona o relé R4 (relé de desligamento da caldeira), que atua como selo, desliga a saída Y4, aciona o

temporizador T2 (temporizador de pós-purga) e liga a saída Y1 (bomba de água). Assim que o temporizador T2 conta o tempo de pós-purga ele desliga a saída Y2. A bomba de água fica ligada, e assim que aciona o contato X4, ele ativa o temporizador T3, que manterá a bomba ligada mais 40 segundos, fazendo com que o nível de água ultrapasse o nível máximo operacional. Quando o temporizador T3 encerrar a contagem, o contato T3 é acionado, desativando o relé R0, desligando o CLP.

6.1.2 Ligações externas

O esquema de ligações externas do CLP desta segunda proposta é muito parecido com o da primeira, diferindo pela ausência dos botões de reciclo e dos botões que hoje existem sobre o painel de controle. Também foram incluídos sensores de nível dos reservatórios de água e combustível (chave bóia – APÊNDICE E), e também o botão de desligamento da caldeira, cumprindo procedimento específico. A figura 27 representa o diagrama de ligações externas.

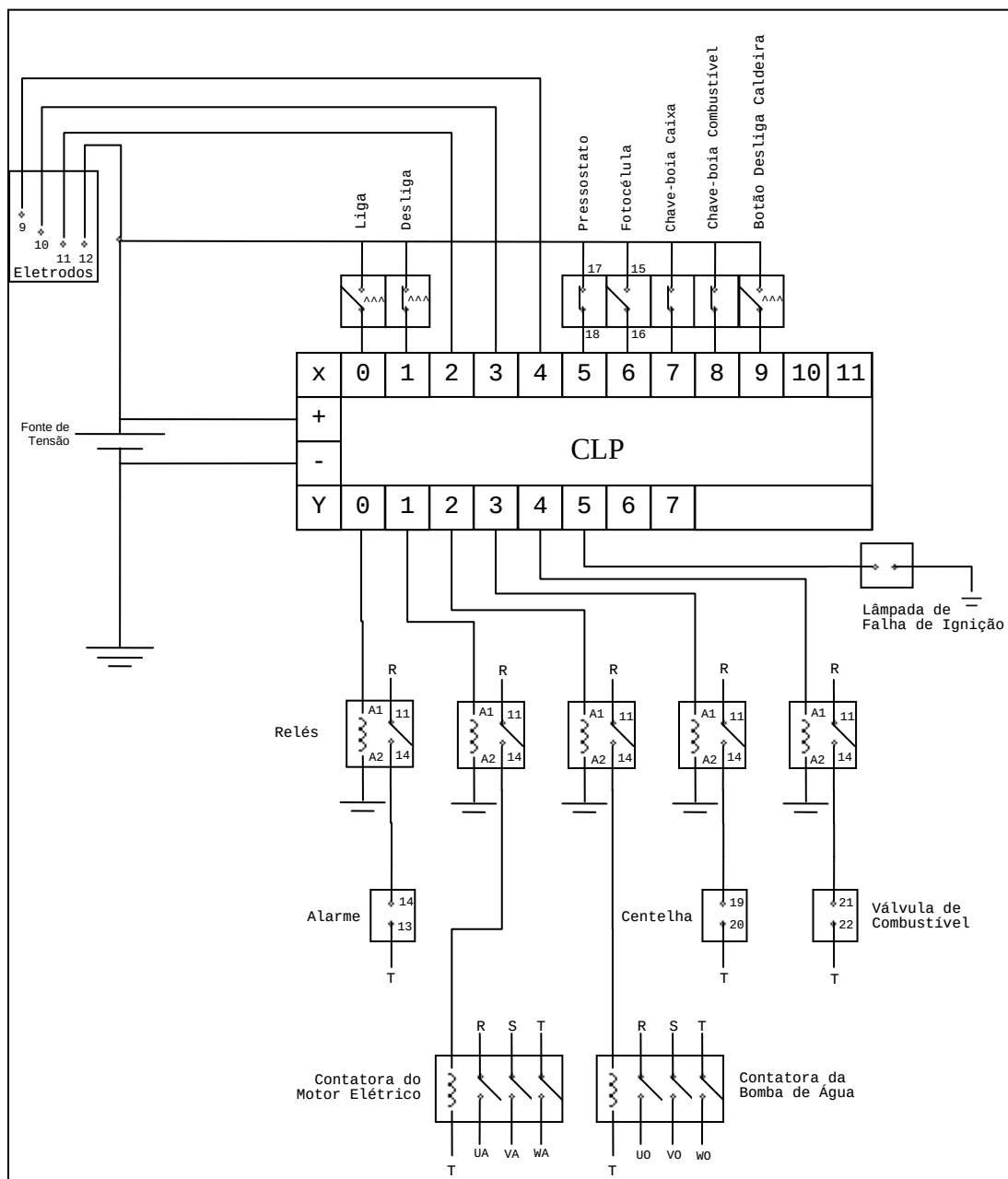


Figura 27 - Diagrama elétrico do painel de controle com CLP, proposta alternativa.

A diferença desta configuração para a anterior está nas entradas, sem os botões da parte superior do painel e o botão de reciclo, economizando cinco entradas, que existiam devido à possibilidade do acionamento manual. Por outro lado, três novas entradas foram implementadas.

Duas chaves-bóia foram inseridas, uma na caixa de água e outra no reservatório de combustível. Elas são instaladas para fazer controle de nível inferior, ou seja, as chaves abrem quando o nível diminui abaixo do regulado pelo comprimento dos fios da chave.

O botão “Desliga Caldeira”, na entrada 9 do CLP, serve para cumprir o procedimento de parada da caldeira, interrompendo a combustão, fazendo a purga e enchendo a caldeira acima do nível máximo operacional.

O orçamento desta melhoria é apresentado na tabela 4, e pouco difere do orçamento anterior.

Tabela 4 – Orçamento da instalação do CLP, proposta alternativa.

Item	Marca	Modelo	Preço unitário	Quantidade	Preço
CLP 12 entradas e 8 saídas digitais	WEG	TPW-03 20HR-A	1.140,00	1	1.140,00
Fonte de tensão 24V (24V/220V)	Mean Well	MDR 20-24	196,00	1	196,00
Relé	Finder	46.61.9.024 .0040	54,96	5	274,80
Botoeira Liga	Siemens	3SB3202- 0AA41	3,20	1	3,20
Botoeira Desliga	Siemens	3SB3203- 0AA21	3,20	1	3,20
Botão de Reinício	Siemens	3SB3202- 0AA11	3,20	1	3,20
Lâmpada 24V – 10W	Philips	105	2,08	1	2,08
Chave Bóia	Mar Girius	CB 2000	35,00	2	70,00
TOTAL					1.692,48

6.2 Supervisório

Um sistema supervisório é uma interface entre o operador e o sistema de controle, cujo objetivo é permitir o seu acompanhamento e também pode permitir o comando direto de determinados pontos de uma planta automatizada.

Seu sistema funciona a partir de um computador comum, no qual através do mouse ou teclado, o usuário pode acessar qualquer parâmetro dentro de um sistema automatizado.

O supervisório recebe sinais vindos de um CLP e do operador, via computador, e pode enviar sinais para o CLP atuando nos equipamentos instalados na planta, como mostrado na figura 28.

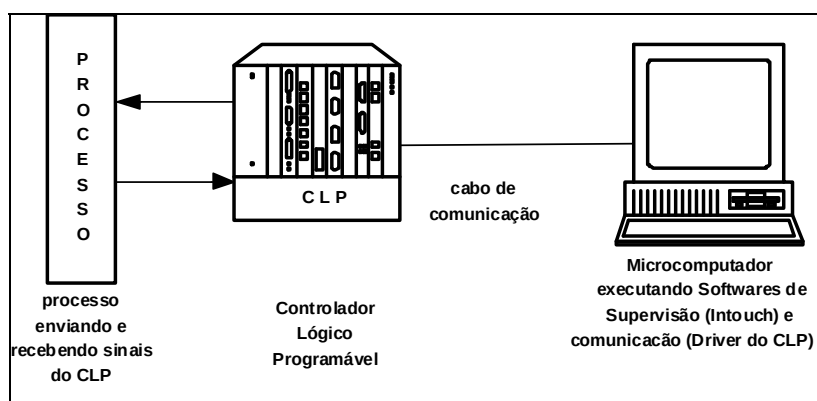


Figura 28 - Comunicação entre planta, CLP e supervisório.

O sistema supervisório para a Caldeira foi desenvolvido no programa InTouch que é a interface homem-máquina mais simples de ser configurada em comparação aos demais softwares existentes no mercado.

Entre os softwares do InTouch estão o Window Maker, o Window Viewer, o NetDDE, SPC, Recipe, SQL, os Drivers e o Intouch.

O Windows Maker destina-se a criação de janelas e edição das animações. O Windows Viewer é o software que executa a janela que foi “produzida” no Windows Maker.

A figura 29 mostra a janela do Windows Viewer com o desenho do supervisório da Caldeira.

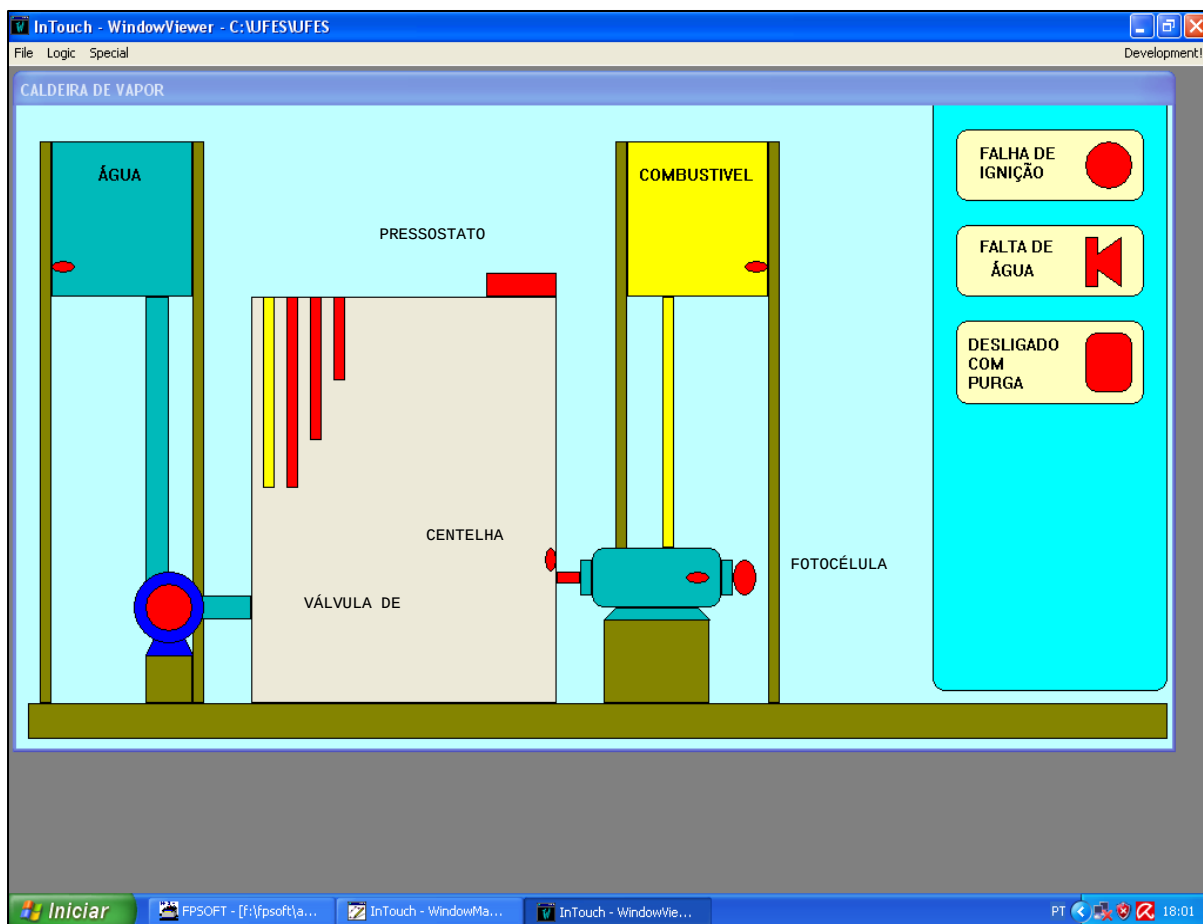


Figura 29 - Tela do supervisório.

Os elementos representados em cor vermelha são os que têm associado o número do registrador do CLP, e que mudarão para a cor verde caso sejam acionados. A mudança para a cor verde se dará da seguinte forma:

- os reservatórios de água e combustível caso estejam com o nível baixo;
- a bomba de água, o motor elétrico e a centelha quando estiverem em funcionamento;
- a válvula de combustível quando estiver permitindo a passagem de combustível;
- os eletrodos de nível de segurança, mínimo e máximo quando o nível de água na caldeira estiver no nível deles ou acima;
- o pressostato quando a pressão na caldeira estiver nos níveis operacionais;
- a fotocélula quando estiver enviando sinal, indicando que existe fogo.

Além destes elementos, no painel do supervisório existem os sinais que indicam falha de ignição, um alerta para a falta de água na caldeira (abaixo do nível de segurança) e um sinal que indica que a caldeira for desligada pelo botão de desligamento, realizando a purga.

O programa supervisório pode ser instalado em um computador já existente em uma sala próxima ao LAGEPOT, e este não precisa ser exclusivo para essa finalidade. Para a conexão entre o CLP e o computador será necessário um cabo de comunicação.

7 Sugestões

A proposta de melhoria começou repetindo o sistema de controle existente com o uso do CLP, e depois passou para a implementação do procedimento automático sem a alteração dos sensores e dos atuadores. Ainda assim o procedimento de caldeiras exige algumas atividades manuais, como a abertura e fechamento de válvulas.

Pode-se melhorar o controle proposto através da substituição das válvulas de saída de vapor e de entrada de água permite que o controle automático possa comandá-las e despreocupar o operador de tais operações.

O procedimento de parada da caldeira exige pós-purga e enchimento da caldeira, que foram programados, bem como o fechamento da válvula de saída de vapor e a abertura da válvula de dreno da coluna de nível. Esta válvula também pode ser alterada para o CLP comandá-la, de modo que o procedimento seja completamente automatizado.

Com três saídas a mais é necessário orçar um CLP com mais saídas, ou comprar um módulo de expansão.

Com maior custo, é possível alterar o queimador para ter controle analógico, fazendo o controle de combustão. Para tanto é necessário substituir o pressostato por um sensor analógico de pressão e alterar o mecanismo de regulação do ar e do combustível. Também é necessário adquirir um módulo de expansão analógica do CLP, que possui um custo mais elevado que o módulo de expansão digital. Assim, o controle da pressão não interrompe o aquecimento do fluido de trabalho, mas altera a quantidade de energia fornecida à água com a variação da pressão, objetivando mantê-la num nível abaixo do máximo operacional.

A teoria de controle exposta neste trabalho serve como base para implementação de novos controles, e foi condensada justamente pela dificuldade de reunir tais informações. Malgrado, a evolução do controle proposto neste trabalho exige pesquisa extra.

8 Conclusão

Após o surgimento da proposta de modernização do sistema de controle da caldeira, houve a necessidade do estudo do sistema existente, e com a leitura do manual de operação percebeu-se a grande quantidade de procedimentos manuais.

Com a realização do orçamento, pôde-se verificar que a implantação do CLP não necessita muitos gastos e não é complexa. Ele também possibilita alterações e expansões do sistema de controle sem a necessidade de entender a conexão de cada fio. Dado que não existem muitas variáveis e o controle não é complexo, é mais fácil entender a função de cada elemento no software do CLP para reprogramar o sistema, agilizando a melhoria.

Diante do exposto concluímos que a instalação do CLP é viável.

9 Referências

APOSTILA básica para programação com FPSoft. Disponível em <<http://www.metaltext.com.br/downloads.asp>>.

BEGA, Egídio Alberto. **Caldeiras: Instrumentação e Controle**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: JR Editora Técnica, 1989.

BEGA, Egídio Alberto. **Instrumentação Aplicada ao Controle de Caldeiras**. 3ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2003.

GUNN D.; HORTON R. **Industrial Boilers**. 1ª Edição. Inglaterra: Editora Longman Scientific & Technical, 1989.

KAKAÇ, Sadik. **Boilers, Evaporators, and Condensers**. 1ª Edição. Estados Unidos da América: Editora John Wiley & Sons, Inc, 1991.

PRUDENTE, Francesco. **Automação Industrial: PLC, teoria e aplicações: curso básico**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2007.

TORREIRA, Raúl Peragallo. **Geradores de Vapor**. 1ª Edição. São Paulo: Editora Libris, 1995.

APÊNDICES

APÊNDICE A - CLP

O CLP escolhido para implantação foi o WEG modelo TPW03 20 HR-A (figura 30). É alimentado com tensão contínua de 24V. A unidade básica possui 12 entradas e 8 saídas digitais (tabela 5), e é possível utilizar módulos de expansão para até 140 entradas e 40 saídas digitais (tabela 6), além de 8 entradas analógicas e mais 2 canais analógicos, podendo ser entradas ou saídas (tabela 7).

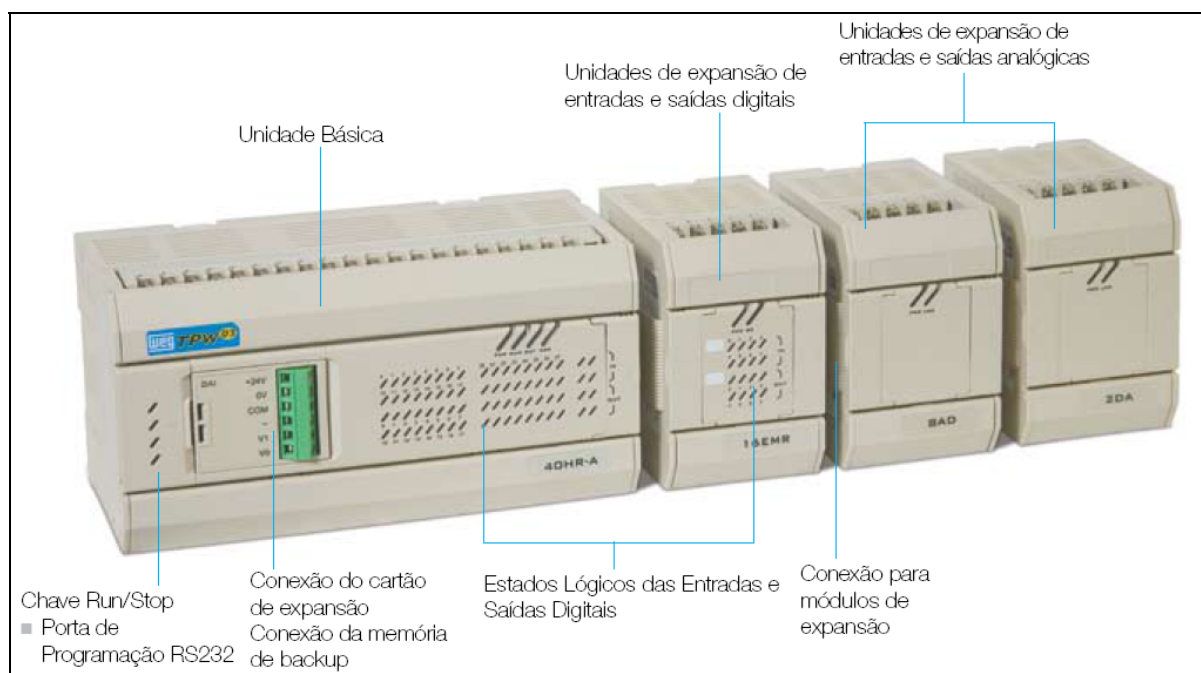


Figura 30 - CLP WEG modelo TPW03 20 HR-A

Tabela 5 - Características dos CLP's WEG.

Modelo	Tensão de Alimentação	Entradas	Saídas		Capacidade de Expansão E/S (Unidade Básica +Unidades de Expansão)				Dimensões AxLxP (mm)	Relógio Tempo Real	Unidades Expansão		
		Digital (24Vcc)	Relé (2A)	Transistor (0.3A)	Entradas Digitais	Saídas Digitais	Entradas Analógicas	I/O Analógica					
TPW-03 14SR-A	85 A 264 Vca	8	6	-	40	38	8	2	116x90x64	Não	Sim		
TPW-03 20SR-A		12	8	-	44	40			116x90x83				
TPW-03 20HR-A		12	8	-	140	40							
TPW-03 20HT-A			-	8	140	48							
TPW-03 30HR-A		16	14	-	144	44	16	6	177x90x83	Sim			
TPW-03 30HT-A			-	14	144	44							
TPW-03 40HR-A		24	16	-	152	56							
TPW-03 40HT-A			-	16	88	48							
TPW-03 60HR-A		36	24	-	164	56							
TPW-03 60HT-A			-	24	100	56							
TPW-03 40HR-D	19.2 A 28.8Vcc	24	16	-	152	56							
TPW-03 60HR-D		36	24	-	164	56							

Tabela 6 - Módulos de Expansão digitais.

Modelo	Entradas	Saídas		Dimensões
		Relé Carga Resistiva (2A)	Transistor NPN (0.3A)	AxLxP (mm)
TPW-03 / 16 EXD	16	-	-	90 x 57 x 82
TPW-03 / 16 EYR	-	16	-	
TPW-03 / 16 EYT	-	-	16	
TPW-03 / 16 EMR	8	8	-	

Tabela 7 - Módulos de Expansão Analógicos.

Modelo	Entradas	Saídas	Dimensões
	Analógica (12 bits)	Analógica (12 bits)	AxLxP (mm)
TPW-03 / 8 AD	8	-	90 x 57 x 82
TPW-03 / 2 DA	-	2	
TPW-03 / 3 MA	2	1	

Este CLP é programado através do software PC Link, que possui algumas diferenças do FPSoft. As principais diferenças são destacadas a seguir:

- a forma de inserir alguns elementos da programação no software;
- a contagem do software do FPSoft é decimal, enquanto que o PC Link é octal. Significa que a entrada X7 é a mesma para os dois, mas a entrada X8 no FPSoft é equivalente à entrada X10 no PC Link;
- a base de tempo, que no CLP modelo FP0-C32 (programado no FPSoft) é o segundo, enquanto que no modelo TPW03 20HR-A (programado no PC Link) é o décimo de segundo.
- os relés internos R do FPSoft são equivalentes aos elementos M do PC Link;
- o PC Link também pode simular o programa em Ladder sem necessitar de um aparelho externo. Porém, é necessário maior atenção do usuário, que deve acionar os elementos dentro do código em Ladder.

As programações no CLP WEG das primeira e segunda propostas seguem nas figuras 31 e 32 respectivamente.

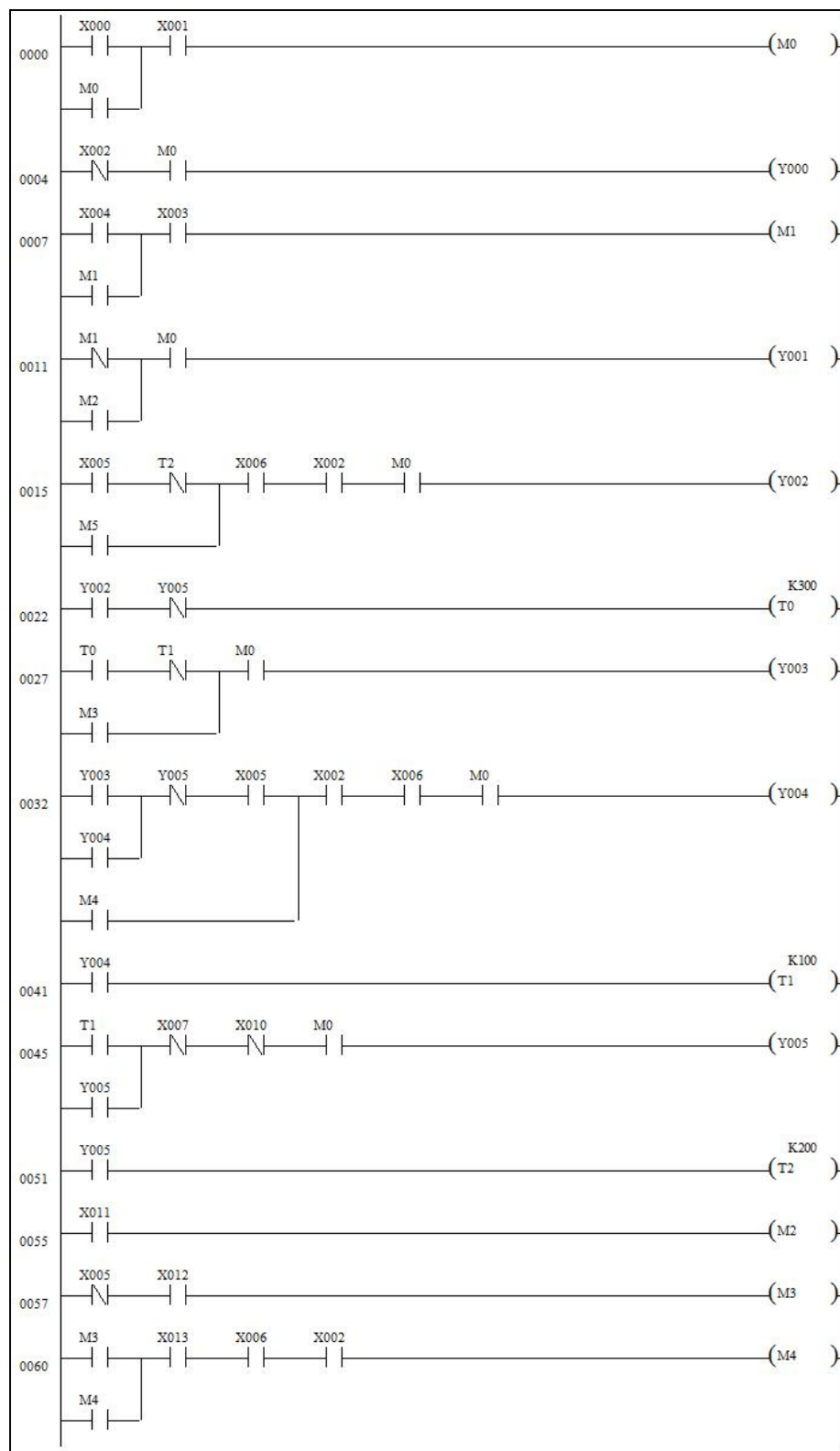


Figura 31 - Programação no CLP WEG, reprodução do controle.

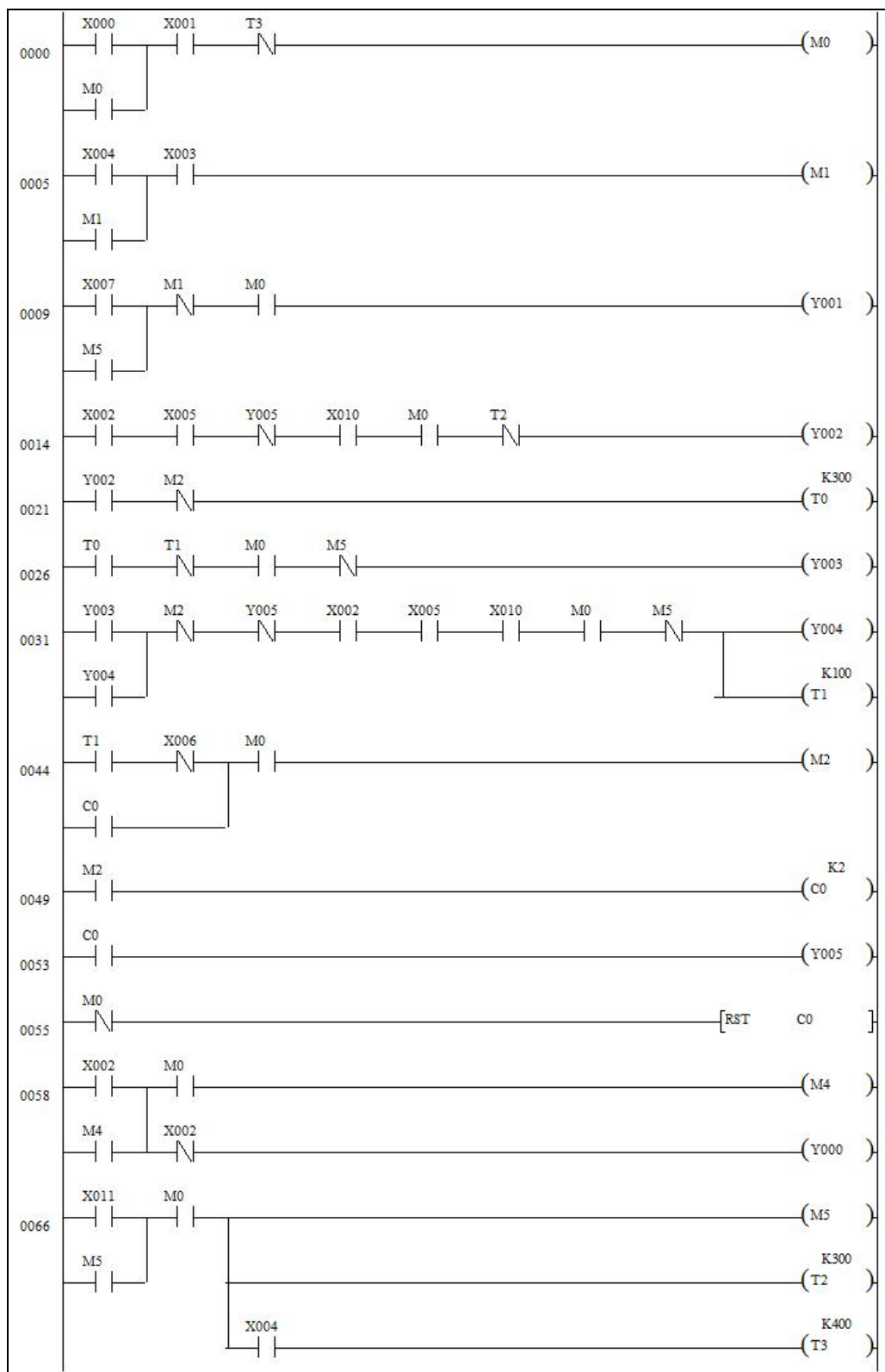


Figura 32 - Programação no CLP WEG, proposta alternativa.

APÊNDICE B – FONTE DE TENSÃO

A fonte de tensão Mean Well MDR 20-24 funciona com tensão de entrada entre 120V e 370V, e fornece saída de 24V a 1A. A fonte é mostrada na figura 33, e suas especificações na tabela 8.



Figura 33 - Fonte de Tensão Mean Well MDR 20-24.

Tabela 8 - Especificações Técnicas da Fonte Mean Well MDR 20-24.

MODEL		MDR-20-5	MDR-20-12	MDR-20-15	MDR-20-24
OUTPUT	DC VOLTAGE	5V	12V	15V	24V
	RATED CURRENT	3A	1.67A	1.34A	1A
	CURRENT RANGE	0 ~ 3A	0 ~ 1.67A	0 ~ 1.34A	0 ~ 1A
	RATED POWER	15W	20W	20W	24W
	RIPPLE & NOISE (max.) Note.2	80mVp-p	120mVp-p	120mVp-p	150mVp-p
	VOLTAGE ADJ. RANGE	4.75 ~ 5.5V	10.8 ~ 13.2V	13.5 ~ 16.5V	21.6 ~ 26.4V
	VOLTAGE TOLERANCE Note.3	±2.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%
	LINE REGULATION	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%
	LOAD REGULATION	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%
	SETUP, RISE TIME Note.5	500ms, 30ms/230VAC 1000ms, 30ms/115VAC at full load			
	HOLD UP TIME (Typ.)	50ms/230VAC 20ms/115VAC at full load			
INPUT	VOLTAGE RANGE	85 ~ 264VAC 120 ~ 370VDC			
	FREQUENCY RANGE	47 ~ 63Hz			
	EFFICIENCY (Typ.)	76%	80%	81%	84%
	AC CURRENT (Typ.)	0.55A/115VAC 0.35A/230VAC			
	INRUSH CURRENT (Typ.)	COLD START 20A/115VAC 40A/230VAC			
	LEAKAGE CURRENT	<1mA / 240VAC			

APÊNDICE C – BOTOEIRAS

Os botões utilizados são todos da Siemens, da série 3SB3. Estes botões são de acionamento manual com retorno por mola, ou seja, eles retornam à sua posição inicial quando liberados.

O botão liga é do modelo 3SB3202-0AA41, com um contato NA e de cor verde, sugestiva para o comando de ligar. Da mesma forma a cor do botão desliga é sugestiva (vermelho), e tem um contato NF (modelo 3SB3203-0AA21).

Os botões de reinício (da 1ª proposta) e de desligamento normal da caldeira (da 2ª proposta) são NA, mas de cor preta (modelo 3SB3202-0AA11). Estas instruções são detalhadas na figura 34.

Execução		Cor	Contatos	Tipo	Peso (kg)
	Botão de comando	preto	1 NA	3SB3202-0AA11	0,04
		preto	1 NF	3SB3203-0AA11	
		vermelho	1 NF	3SB3203-0AA21	
		amarelo	1 NA	3SB3202-0AA31	
		verde	1 NA	3SB3202-0AA41	
		azul	1 NA	3SB3202-0AA51	
		branco	1 NA	3SB3202-0AA61	
		preto	1 NA + 1 NF	3SB3201-0AA11	0,05
		vermelho	1 NA + 1 NF	3SB3201-0AA21	
		amarelo	1 NA + 1 NF	3SB3201-0AA31	
		verde	1 NA + 1 NF	3SB3201-0AA41	
		azul	1 NA + 1 NF	3SB3201-0AA51	
		branco	1 NA + 1 NF	3SB3201-0AA61	

Figura 34 - Especificações das Botoeiras.

APÊNDICE D – RELÉS

Os relés Finder aplicados são modelo 46.61.9.024.0040. Significa que este relé possui um contato reversível, cuja bobina de magnetização trabalha sob tensão de 24V, contínua, e possui botão de teste bloqueável e indicador mecânico do seu funcionamento. O detalhamento da especificação e o esquema elétrico do relé são mostrados nas figuras 35 e 36 respectivamente. Os contatos NA e NF (11, 12 e 14) do relé suportam tensões de até 440V.

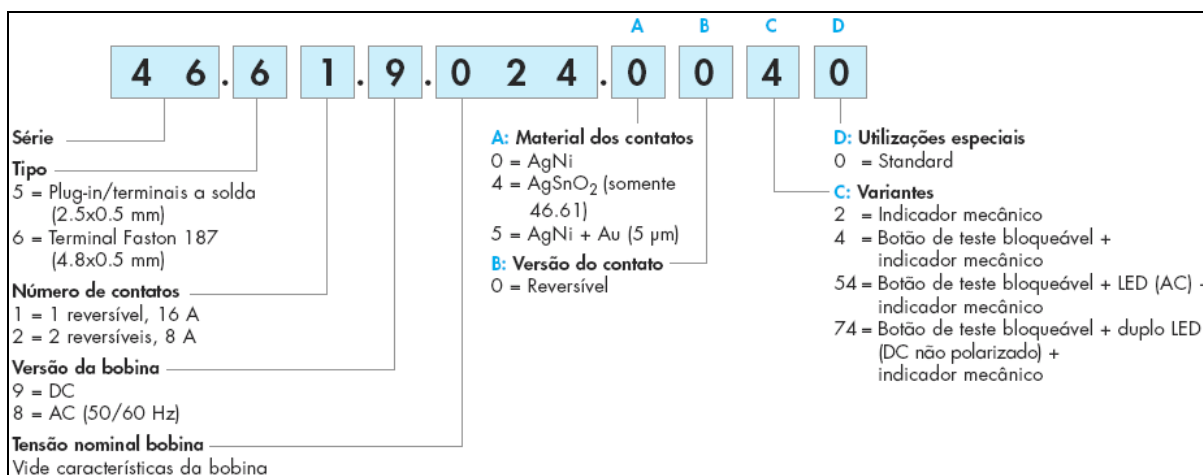


Figura 35 - Especificação dos relés utilizados.

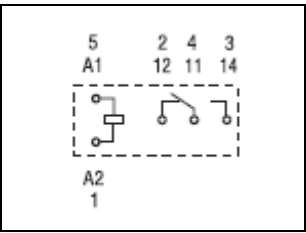


Figura 36 - Esquema elétrico dos relés utilizados.

APÊNDICE E – CHAVE BÓIA

Foi escolhida a chave bóia Mar Girius, série CB 2000, encontrada no comércio local. Ela é instalada de modo a fazer o controle de nível mínimo, ou seja, o circuito abre quando o nível diminui abaixo do regulado. Para tanto devem ser conectados no circuito elétrico os fios de cores marrom e preto, e o azul deve ser isolado por questões de segurança. O esquema de ligação e a regulagem de nível são mostrados na figura 37, enquanto que a bóia é mostrada na figura 38.

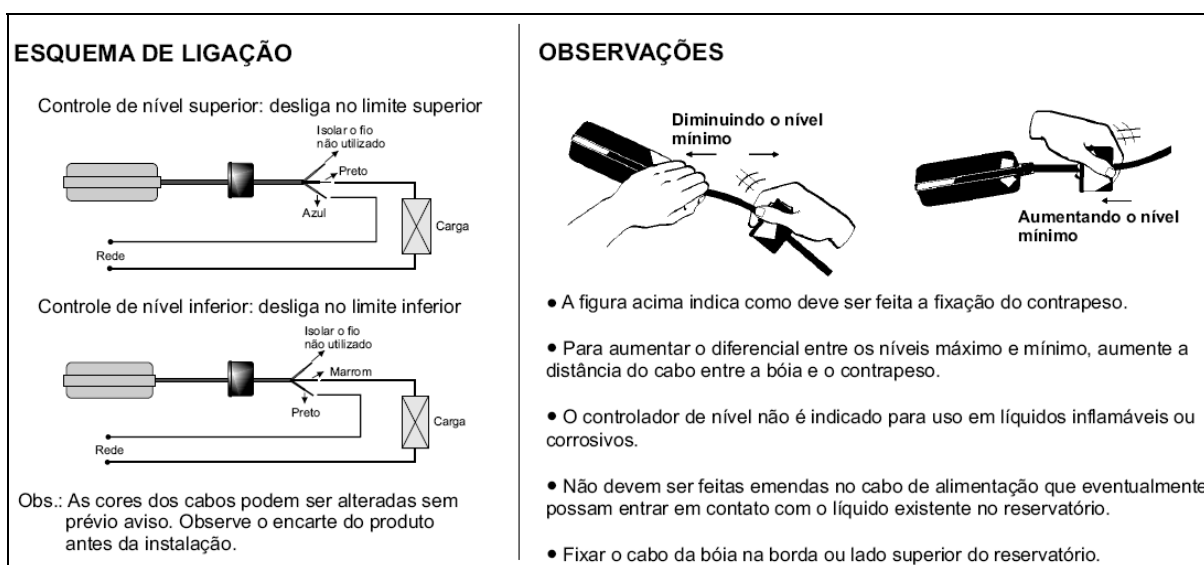


Figura 37 - Informações para a correta instalação da chave bóia.

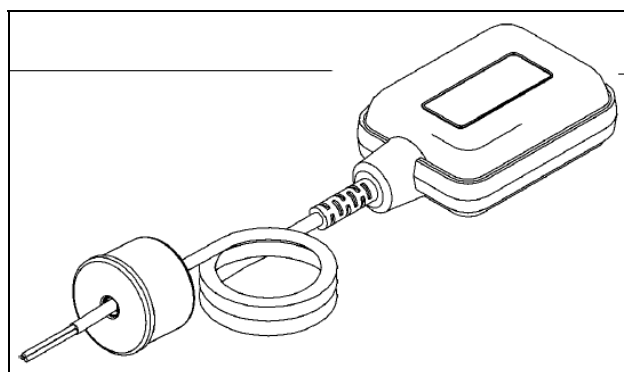


Figura 38 - Chave bóia Mar Girius série CB 2000.

**UFES – UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
DEM – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CT – CENTRO TECNOLÓGICO**

**MELISSA RODRIGUES SATHLER
VINÍCIUS DE SOUSA**

**PROPOSTA DE MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA DE
CONTROLE DA CALDEIRA FLAMOTUBULAR ATA
MODELO VI-15**

**Vitória - ES
2009**