

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE PROTEÇÃO
BASEADO EM REGRAS
PARA A ÁREA DE CALDEIRAS DA USIMINAS**

FRANCISCO DE ASSIS FERREIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE PROTEÇÃO
BASEADO EM REGRAS
PARA A ÁREA DE CALDEIRAS DA USIMINAS**

Dissertação apresentada ao
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da
Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais
como parte dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Elétrica

por

Francisco de Assis Ferreira

**Orientador
José Maria Gálvez Mendizabal
Departamento de Engenharia Eletrônica
UFMG**

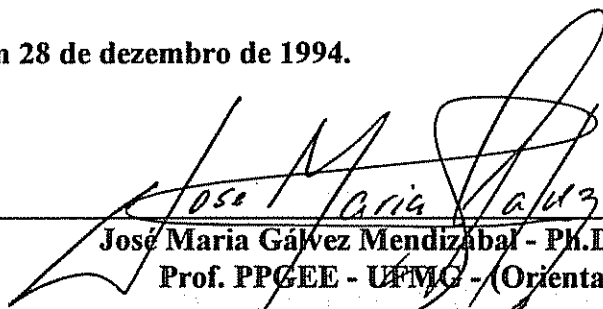
**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE PROTEÇÃO BASEADO
EM REGRAS PARA A ÁREA DE CALDEIRAS DA USIMINAS**

Francisco de Assis Ferreira

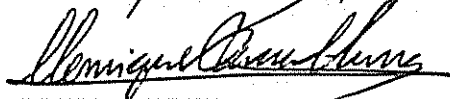
Dissertação de Mestrado submetida à banca examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 28 de dezembro de 1994.

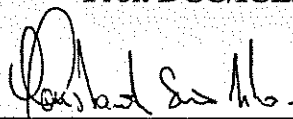
Por:



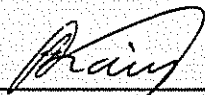
José Maria Gálvez Mendizábal - Ph.D. - EUA
Prof. PPGEE - UFMG - (Orientador)



Henrique Pacca Loureiro Luna - Dr. - França
Prof. DCC/ICEX - UFMG



Constantino Seixas Filho - M.Sc. - Brasil
Prof. DELT/EE - UFMG



Evandro de Oliveira Araújo - Dr. - França
Prof. PPGEE - UFMG



Peterson de Resende - Dr. - COPPE - Brasil
Prof. PPGEE - UFMG

Aos meus pais: João e Brígida (in memória).

AGRADECIMENTOS

O autor agradece a todos aqueles que, direta ou indiretamente colaboraram na preparação deste trabalho, e em particular:

à USIMINAS, pela oportunidade concedida;

ao Prof. Dr. José Maria Gálvez Mendizabal, pela orientação, incentivo e amizade;

ao amigo Marcos Henrique Teixeira, pelo trabalho em equipe, sugestões e críticas;

à minha esposa Maria Susana P. C. Ferreira, pelo trabalho de revisão.

CONTEÚDO

1. INTRODUÇÃO	1-1
2. INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E SISTEMAS ESPECIALISTAS	2-1
2.1 Introdução	2-1
2.2 Inteligência Artificial	2-1
2.3 Sistemas Especialistas Baseados em Regras	2-4
2.4 Sistemas Especialistas Baseados em Lógica Nebulosa	2-11
2.5 Implantação de Sistemas Especialistas	2-15
3. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE VAPOR DA USIMINAS	3-1
3.1 Introdução	3-1
3.2 Descrição das plantas que compõem o sistema de vapor da Usiminas	3-1
3.3 Produção e consumo médio mensal de vapor na Usiminas	3-5
3.4 Características de funcionamento do sistema de vapor	3-9
3.5 Configuração operacional anterior do sistema de vapor de alta pressão	3-10
3.6 Configuração operacional atual do sistema de vapor de alta pressão	3-12
3.7 Novos requisitos operacionais do sistema de vapor de alta pressão	3-15
4. ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO BASEADO EM REGRAS	4-1
4.1 Introdução	4-1
4.2 Técnicas estruturadas	4-1
4.3 Análise estruturada	4-5
4.4 Especificação funcional do sistema de proteção proposto	4-16
4.5 Limitações da metodologia	4-23
5. IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO BASEADO EM REGRAS	5-1
5.1 Introdução	5-1
5.2 Configuração de "hardware" utilizada	5-1
5.3 Implementação da estação de supervisão e operação	5-3
5.4 Implementação do sistema de controle	5-9
5.5 Implantação e acompanhamento	5-11
6. RESULTADOS OBTIDOS E CONCLUSÕES	6-1

6.1 Introdução	6-1
6.2 Resultados obtidos	6-1
6.3 Conclusões	6-21

7. BIBLIOGRAFIA	7-1
-----------------	-----

APÊNDICE A - Aplicações de sistemas de inteligência artificial na siderurgia

APÊNDICE B - Lista de entradas e saídas dos controladores programáveis das caldeiras de 130 t/h

APÊNDICE C - Lista de entradas e saídas dos controladores programáveis das caldeiras de 45 t/h

LISTA DE FIGURAS

2.1 - Divisão e aplicações de inteligência artificial	2-2
2.2 - Configuração típica de uma rede neuronal artificial	2-4
2.3 - Modelo de uma árvore de decisão para três variáveis	2-8
2.4 - Configuração de um sistema especialista baseado em regras	2-10
2.5 - Configuração de um sistema especialista baseado em lógica nebulosa	2-12
2.6 - Processo de nebulização de uma variável	2-12
2.7 - Processo de desnebulização de uma variável	2-15
3.1 - Configuração do sistema de vapor da Usiminas	3-2
3.2 - Configuração anterior do sistema de vapor de alta pressão	3-11
3.3 - Configuração do sistema de vapor de baixa pressão	3-11
3.4 - Configuração atual do sistema de vapor de alta pressão	3-13
3.5 - Esquema de conexão elétrica entre turbogeradores e subestações	3-14
4.1 - Ciclo de vida do "software"	4-3
4.2 - Evolução das técnicas estruturadas rumo à tecnologia CASE	4-4
4.3 - Componentes de um diagrama de fluxo de dados	4-6
4.4 - Exemplo de um DFD do sistema de proteção	4-7
4.5 - Exemplo do dicionário de dados do sistema de proteção	4-8
4.6 - Modalidade operacional 1	4-20
4.7 - Modalidade operacional 3	4-20
4.8 - Modalidade operacional 5	4-20
4.9 - Modalidade operacional 7	4-20
4.10 - Modalidade operacional 2	4-21
4.11 - Modalidade operacional 4	4-21
4.12 - Modalidade operacional 6	4-21
4.13 - Modalidade operacional 8	4-21
5.1 - Configuração de "hardware" do sistema de proteção	5-2
5.2 - Aplicações distribuídas em diferentes plataformas	5-8
5.3 - Arquitetura do "Factory Link"	5-8
5.4 - Diagrama de transição de estados do sistema de proteção	5-12
6.1 - Consumo total de energia elétrica na Usiminas	6-12
6.2 - Consumo de energia elétrica comprada na Usiminas	6-13
6.3 - Geração de energia elétrica na Usiminas	6-14
6.4 - Índice de funcionamento (%) dos turbogeradores 1 e 2	6-15
6.5 - Aproveitamento (%) de GAF na Usiminas	6-16
6.6 - Economia para Usiminas por gerar energia elétrica	6-18
6.7 - Valor do MWh pago mensalmente pela Usiminas	6-19
6.8 - Economia para Usiminas por gerar energia elétrica acima de 27 MW	6-20

LISTA DE TABELAS

3.1 - Principais características das caldeiras de 130 t/h de números 1 e 2	3-2
3.2 - Principais características das caldeiras de 130 t/h de número 3	3-3
3.3 - Principais características das caldeiras de 45 t/h de números 1 e 2	3-3
3.4 - Principais características dos turbogeradores de números 1 e 2	3-4
3.5 - Principais características dos turbosopradores de números 4 e 5	3-4
3.6 - Produção e consumo médio mensal do sistema de vapor de alta pressão	3-5
3.7 - Produção e consumo médio mensal do sistema de vapor de baixa pressão	3-6
3.8 - Consumo médio mensal do sistema de vapor de baixa pressão por planta	3-8
3.9 - Esquema de conexão elétrica entre turbogeradores e subestações	3-12
4.1 - Modalidade operacional 1	4-13
4.2 - Modalidade operacional 2	4-16
5.1 - Principais características do sistema operacional OS/2	5-5
5.2 - Principais recursos do sistema operacional OS/2	5-7
6.1 - Ocorrência do dia 20/03/1994	6-2
6.2 - Ocorrência do dia 05/04/1994	6-2
6.3 - Ocorrência do dia 07/04/1994	6-2
6.4 - Ocorrência do dia 15/04/1994	6-2
6.5 - Ocorrência do dia 18/04/1994	6-2
6.6 - Ocorrência do dia 05/05/1994	6-3
6.7 - Ocorrência do dia 12/05/1994	6-3
6.8 - Ocorrência do dia 14/05/1994	6-3
6.9 - Ocorrência do dia 19/05/1994	6-3
6.10 - Ocorrência do dia 27/05/1994	6-4
6.11 - Ocorrência do dia 24/06/1994	6-4
6.12 - Ocorrência do dia 17/07/1994	6-4
6.13 - Ocorrência do dia 25/07/1994	6-4
6.14 - Ocorrência do dia 13/08/1994	6-5
6.15 - Ocorrência do dia 16/09/1994	6-5
6.16 - Ocorrência do dia 13/10/1994	6-5
6.17 - Ocorrência do dia 01/11/1994	6-5
6.18 - Ocorrência do dia 13/11/1994	6-5
6.19 - Ocorrência do dia 01/12/1994	6-6
6.20 - Estatística das ocorrências no período março-dezembro/1994	6-6
6.21 - Consumo total de energia elétrica na Usiminas	6-12
6.22 - Consumo de energia elétrica comprada na Usiminas	6-13
6.23 - Geração de energia elétrica na Usiminas	6-14
6.24 - Índice de funcionamento (%) dos turbogeradores 1 e 2	6-15
6.25 - Aproveitamento (%) de GAF na Usiminas	6-16
6.26 - Produção e consumo médio mensal de GAF(Nm ³ /h) na Usiminas	6-17

6.27 - Consumo médio mensal de GAF (Nm ³ /h) por planta na Usiminas	6-17
6.28 - Economia para Usiminas por gerar energia elétrica	6-18
6.29 - Valor do MWh pago mensalmente pela Usiminas	6-19
6.30 - Economia para Usiminas por gerar energia elétrica acima de 27 MW	6-20

LISTA DE FLUXOGRAMAS

5.1 - Fluxograma principal do sistema de proteção	5-14
5.2 - Fluxograma determinar ocorrência do sistema de proteção	5-17
5.3 - Fluxograma para redução de combustível nas caldeiras 130.1 e 130.2	5-18
5.4 - Fluxograma para redução de combustível na caldeira 130.3	5-19

LISTA DE SIGLAS

CEMIG	- Centrais Elétricas de Minas Gerais S.A. (concessionária)
CH2	- chave nº 2
CP's	- controladores programáveis
CP1	- controlador programável nº 1
CSMA/CD	- "carrier sense multiple access/colision detection"
DD	- dicionário de dados
DES. Nº 1	- desaerador nº 1
DES. Nº 2	- desaerador nº 2
DES. Nº 3	- desaerador nº 3
DES. Nº 4	- desaerador nº 4
DFD	- diagrama de fluxo de dados
EP	- especificação de processo
EPROM	- "erasable programable read only memory"
GAC	- gás de aciaria
GAF	- gás de alto forno
GCO	- gás de coqueria
GLP	- gás líquido de petróleo
G1	- gerador a diesel
I.V.Q.I.	- queimador inferior infravermelho
I.V.Q.S.	- queimador superior infravermelho
MFT	- dispositivo que detecta parada de caldeira
MSP	- "multistation processor"
NKK	- "Nippon Kokan"
NSC	- "Nippon Steel Corporation"
QE	- queimador
QI	- queimador inferior
QS	- queimador superior
RAM	- "random access memory"
S/E	- subestação
TG1	- turbogerador número 1
TG2	- turbogerador número 2
TR	- transformador
TS4	- turbosoprador número 4
TS5	- turbosoprador número 5
UCP	- unidade central de processamento
U.V.Q.I.	- queimador inferior ultravioleta
U.V.Q.S.	- queimador superior ultravioleta
VICOL	- válvula de interligação dos coletores de vapor 1 e 2
VICON	- válvula de interligação de condensado
VVP1	- válvula de vapor nº 1 para necessidades do processo siderúrgico
VVP2	- válvula de vapor nº 2 para necessidades do processo siderúrgico
VVP3	- válvula de vapor nº 3 para necessidades do processo siderúrgico

V.T.F.	- ventilador de tiragem forçada
V.T.I.	- ventilador de tiragem induzida
13B012	- disjuntor que conecta um turbogerador a subestação da aciaria
130.1	- caldeira de 130 t/h número 1
130.2	- caldeira de 130 t/h número 2
130.3	- caldeira de 130 t/h número 3
45.1	- caldeira de 45 t/h número 1
45.2	- caldeira de 45 t/h número 2

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de proteção baseado em regras, utilizando metodologias estruturadas, que encontra-se implantado, desde março de 1994, na área de caldeiras de alta pressão e turbinas da Usiminas. Inicialmente, aborda-se um estudo realizado em um dos ramos da Inteligência Artificial, Sistemas Especialistas, com o objetivo de verificar a possibilidade e a necessidade de uso desta técnica. A seguir, é feita uma descrição do sistema de caldeiras e turbinas da Usiminas. Aborda-se a utilização de Técnicas Estruturadas, análise e programação, no desenvolvimento deste sistema de proteção juntamente com o "hardware" e "software" utilizados. Finalmente, mostram-se resultados operacionais e financeiros obtidos no período de março à novembro de 1994.

Palavras-chave: inteligência artificial, sistemas especialistas, sistemas baseado em regras, técnicas estruturadas, caldeiras, turbinas.

ABSTRACT

This paper deals with the design of a protection system based on rules of structured development, which was installed in march 1994 in the high pressure boilers and turbines operating in Usiminas. At the beginning, results are presented of a study carried out in one of the areas of artificial intelligence, that is expert systems, with the objective of verifying the possibility and the necessity of using this technique. This is followed by a discussion of the system of boilers and turbines in Usiminas. Aspects relating to the utilization of structured development techniques, analisys and programing for the development of this protection system together with the appropriate hardware and software, are also discussed. Finally, the operational and financial figures obtained over the period march to november 1994, are presented.

Keywords: artificial intelligence, expert systems, rules based systems, structured development, boilers, turbines.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

A área de Caldeiras, Sopradores e Termoelétrica desempenha um papel bastante importante no sistema energético da Usiminas no que diz respeito ao aproveitamento e conversão de algumas formas de energia.

Esta área, a qual passaremos a chamar de sistema de vapor da Usiminas, possui uma configuração bastante particular em relação a outras empresas siderúrgicas.

Em 1990 foi realizada uma diagnose pela NSC ("Nippon Steel Corporation") na área de Energia e Utilidades da Usiminas. A NSC é uma empresa japonesa no ramo siderúrgico. Esta diagnose resultou em uma série de recomendações, entre as quais, algumas são dirigidas para este sistema de vapor, conforme descreve-se a seguir:

- operação em paralelo da segunda unidade da termoelétrica;
- diagnose dos motores dos motosopradores números 1, 2 e 3 dos altos fornos números 1 e 2;
- troca da instrumentação das caldeiras de 130 t/h;
- geração de energia elétrica na redução de pressão do vapor das caldeiras de 130 t/h;
- nova caldeira com capacidade de 100 t/h com turbinas de extração e geração de 27 MW.

A recomendação de colocar em operação a segunda unidade da termoelétrica funcionando em paralelo com a concessionária tem como objetivo o aproveitamento de equipamentos instalados que encontravam-se ociosos como, por exemplo, uma caldeira de 130 t/h e um turbogerador de 20 MW. Aproveita-se também o gás gerado no alto forno 3 (GAF) para combustível de caldeira que antes era queimado em torres de combustão.

Foi realizado um estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação deste projeto o qual obteve um parecer positivo, dadas as características de retorno que o mesmo apresentou.

Para implantação deste projeto, foi constituída uma equipe interdepartamental (operação, elétrica, mecânica, instrumentação, automação, unidade técnica, etc.) com o objetivo de adquirir e fornecer todo o conhecimento e equipamentos necessários.

Inicialmente, foram realizadas várias modificações de caráter eletro-mecânico em algumas das plantas que compõem o sistema de vapor com o objetivo de adequá-lo a uma nova situação operacional.

Nesta nova configuração operacional, não mais teremos equipamentos ociosos, em situação normal, e além disso, todas as plantas funcionarão em um ponto de operação mais próximo de seus valores nominais. Isto torna a operação mais crítica em uma área em que as plantas envolvidas apresentam: alta periculosidade operacional e custo de manutenção elevado.

Dadas estas características, verificou-se a necessidade de se instalar um sistema de proteção com o objetivo de "vigiar" o funcionamento das plantas envolvidas e, em caso de ocorrências (anormalidades), "decidir" pela melhor configuração operacional a ser adotada.

Definido os objetivos deste sistema de proteção, e, após uma breve análise do problema a ser resolvido, concluiu-se sobre a metodologia a ser utilizada e o cronograma a ser observado.

Este documento tem por finalidade fazer uma apresentação do problema a ser resolvido e da solução adotada para o mesmo, e, está dividido da seguinte forma:

- No capítulo 2 é apresentada uma metodologia bastante utilizada em problema onde as técnicas comuns de resolução não surtem o efeito desejado. Esta metodologia pertence ao ramo da Inteligência Artificial que se propõe a resolver problemas de maneira semelhante ao cérebro humano.
- No capítulo 3 é realizada uma descrição do sistema de vapor em termos de plantas, produção e consumo de vapor na empresa, características e configurações operacionais.
- No capítulo 4 são mostradas algumas técnicas de desenvolvimento de sistemas e a utilização destas na definição "do que este sistema de proteção deveria fazer". A partir deste ponto, trabalha-se com a idéia de sistema de proteção baseado em regras utilizando-se de técnicas estruturadas de desenvolvimento de sistemas, tais como: análise estruturada (diagrama de fluxo de dados, dicionário de dados, especificações de processos, etc.), programação modular, etc.
- No capítulo 5 é descrito como foi realizada a implementação deste sistema, a partir da adoção de uma arquitetura de sistema SCADA ("Supervisory Control and Data Acquisition"), baseado em Controlador Programável, para aquisição de dados, processamento e atuação, e Microcomputador para funções de supervisão ("display", registro, análise de dados, etc.).
- Conforme informações do capítulo 6, o qual nos apresenta dados pré e pós implantação deste sistema de proteção, pode-se perceber o grau de importância que este representa para Usiminas em termos de segurança, continuidade operacional e retorno financeiro.

- O apêndice A apresenta aplicações de técnicas de inteligência artificial na siderurgia. Para cada aplicação é feita uma breve descrição, abordando o tipo de técnica utilizada e os benefícios obtidos [28 e 29].

- Os apêndices B e C listam todos os pontos de entradas e saídas analógicas e digitais do sistema de proteção. O apêndice B lista os pontos localizados no sistema de vapor de alta pressão e o apêndice C lista os pontos localizados no sistema de vapor de baixa pressão [31].

Este sistema de proteção foi implantado em março de 1994 e, seu funcionamento é efetivamente necessário a partir de uma geração superior a 27 MW na termoeletrica.

CAPÍTULO 2 - INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E SISTEMAS ESPECIALISTAS

2.1 - INTRODUÇÃO

A inteligência Artificial (I.A.) é um ramo da ciência da computação que vem desenvolvendo técnicas para permitir a elaboração de programas os quais resolvem problemas de maneira semelhante ao cérebro humano. Estas técnicas vêm sendo desenvolvidas desde a década de 50, e, atualmente, com o aumento da capacidade dos computadores aliado aos baixos custos, tornou-se viável utilizar Inteligência Artificial em aplicações do dia a dia, onde as técnicas convencionais não apresentam bons resultados.

O processamento em computador, do conhecimento daquele funcionário com longos anos de experiência, ou a resolução de problemas complexos que são apreendidos pelo próprio computador, bem como, o tratamento e processamento de variáveis que assumem valores do tipo ALTO, BAIXO ou SUBINDO, são algumas das descobertas da Inteligência Artificial que são hoje usadas nas mais diversas empresas do mundo.

Até 1997, segundo pesquisas nos Estados Unidos, 40% das aplicações comerciais em sistemas de computadores serão desenvolvidas utilizando-se técnicas criadas pela pesquisa em Inteligência Artificial. Dos 750 milhões de dólares aplicados anualmente nos Estados Unidos na compra de "SOFTWARE", 50% são programas que utilizam as técnicas de I.A. No Brasil, 60 milhões de dólares são aplicados anualmente pelos bancos na compra ou desenvolvimento de programas que utilizam estas técnicas [29].

2.2 - INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

As aplicações de I.A. estão distribuídas em 3 áreas: Sistemas Especialistas, Redes Neurais e Teoria de Conjuntos Nebulosos ("Fuzzy Sets"). A figura 2.1 mostra algumas destas aplicações específicas em cada uma destas áreas.

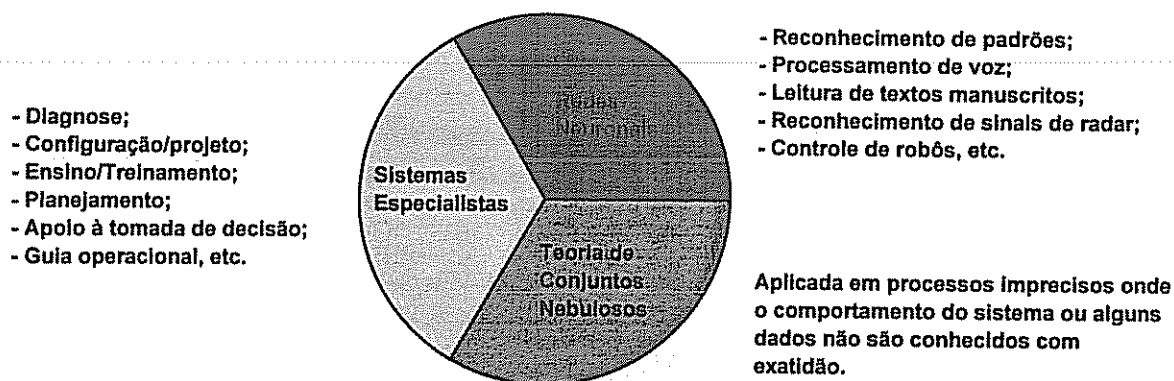


Figura 2.1 - Divisão e aplicações de Inteligência Artificial.

2.2.1 - NOÇÕES DE SISTEMAS ESPECIALISTAS ("EXPERTS SYSTEMS") [13]

Sistema Especialista é um programa de computador que processa o conhecimento de um Especialista Humano com o objetivo de resolver problemas e chegar aos mesmos resultados que este. Durante a construção deste tipo de sistema, o conhecimento de um ou mais especialistas é estruturado e armazenado no banco de conhecimentos.

A resolução do problema é feita por um módulo chamado máquina de inferência que executa todo o raciocínio descrito no banco de conhecimentos, conforme figura 2.4. Como este raciocínio é o mesmo feito pelo especialista humano que forneceu o conhecimento, os resultados que são encontrados pelo computador são iguais aos do especialista.

Sabe-se que falhas que envolvem perda de qualidade e de produção ocorrem, muitas vezes, porque ações são tomadas fora do que está estabelecido nos padrões operacionais. Os sistemas especialistas são bastantes eficientes na checagem e na análise das informações coletadas do processo. Estas informações são avaliadas sobre o ponto de vista das normas e dos padrões estabelecidos, para recomendar as ações corretivas mais adequadas. Isto facilita a tarefa de manter o processo industrial sob constante auditoria dos parâmetros que possibilitam qualidade e produtividade.

Algumas razões para se aplicar sistemas especialistas são:

- O problema é melhor resolvido usando-se o conhecimento adquirido ao longo dos anos;
- Uniformidade dos procedimentos operacionais;

- A divulgação do conhecimento, normalmente concentrado em apenas alguns especialistas;
- A retenção do conhecimento do processo, mesmo quando os especialistas se aposentam ou saem da empresa.

2.2.2 - NOÇÕES DE SISTEMAS NEBULOSOS ("FUZZY SYSTEMS") [11]

Para expressar conceitos de medidas é muito comum o uso de elementos qualitativos ao invés de valores quantitativos. É normal expressarmos valores como: "ALTO", "BAIXO", "QUENTE", "FRIO", etc. Esta maneira de atribuir valores é chamada de lingüística. Variável lingüística é uma variável que tem por característica assumir valores dentro de um conjunto de palavras ou de frases, no lugar de valores numéricos.

A matemática nebulosa criou uma série de novos conceitos, adaptando àqueles convencionais, permitindo trabalhar com valores lingüísticos na resolução de problemas em computadores. Para se mostrar a diferença entre matemática nebulosa e convencional podemos citar a teoria dos conjuntos. A matemática convencional define se um elemento pertence ou não pertence a um conjunto atribuindo grau de pertinência de zero ou um, respectivamente. Na matemática nebulosa este grau é uma escala que varia de zero a um, tornando possível tratar, por exemplo, o conceito nebuloso de temperatura MAIS_OU_MENOS_FRIA atribuindo o valor de 0,6 como grau de pertinência ao conjunto das temperaturas frias.

A idéia básica em controle nebuloso ("Fuzzy Control") é modelar as ações a partir de conhecimento especialista, ao invés de se modelar o processo em si via técnicas da matemática convencional. A figura 2.5 mostra a arquitetura deste tipo de controle.

A razão para a abordagem nebulosa vem de casos onde o conhecimento especialista de controle está disponível e os modelos matemáticos envolvidos sejam custosos ou muito complicados para serem desenvolvidos.

2.2.3 - NOÇÕES DE REDES NEURONAIS ARTIFICIAIS ("NEURAL NETWORKS") [12]

As Redes Neurais Artificiais (RNA's) são estruturas (implantadas em "hardware" ou "software") que têm a capacidade de aprender, através de exemplos, e reter, de forma distribuída, o conhecimento adquirido.

A unidade básica de uma RNA é o neurônio artificial. Uma RNA pode ser composta de alguns poucos neurônios ou de centenas deles, conforme a aplicação. Ainda, conforme a aplicação, varia a forma de integração entre os neurônios. Dentro de uma RNA, como mostra a figura 2.2, cada conexão (sinapse) entre os neurônios é

caracterizada por um número denominado peso. O peso, de certa forma, define o poder de estímulo de um neurônio sobre seu vizinho.

Uma RNA deve ser vista como um solucionador de problemas que, a partir de dados de entrada, determina as saídas que constituem a solução.

Antes do treinamento de uma RNA, os pesos de suas conexões são números randômicos pequenos (por exemplo, entre -0,5 e 0,5). Para treinamento de uma RNA deve-se dispor de um conjunto de dados, (entradas e saídas) tomados como padrões.

Basicamente, apresenta-se à rede os dados de entrada; ela calcula as saídas, compara-as com as saídas padrões e, a partir do erro encontrado, são feitos ajustes nos pesos, visando a reduzir o erro.

O processo de treinamento é iterativo e considera-se que está concluído quando o erro obtido pela rede cai dentro da tolerância admitida pela aplicação.

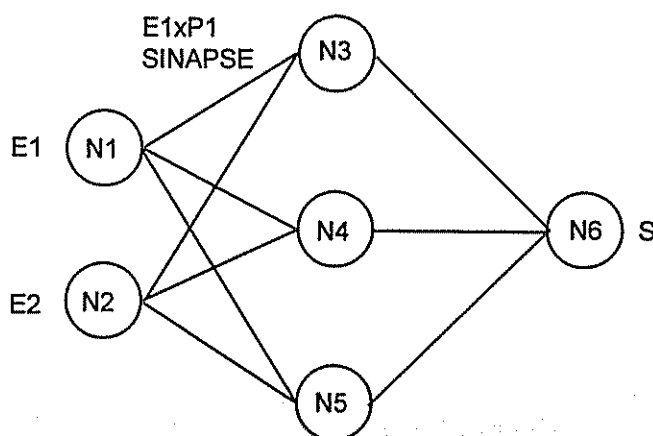


Figura 2.2 - Configuração típica de uma Rede Neuronal Artificial.

2.3 - SISTEMAS ESPECIALISTAS BASEADOS EM REGRAS ("RULE BASED EXPERT SYSTEMS") [22]

São sistemas basicamente colocados em forma de regras de procedimento do tipo SE/ENTÃO. Aproximando-se muito da forma como os especialistas "montam" seu conhecimento. As variáveis devem ser analisadas qualitativamente para gerar uma linguagem natural e usual. Ex.: temperatura alta, baixa, estável, crescendo rapidamente, etc. Portanto, as variáveis devem a partir de valores quantitativos, serem transformadas em valores qualitativos e terem um objetivo operacional.

Uma variável pode ser definida didaticamente como se segue:

EA	extremamente alto
MA	muito alto
AL	alto
NOR	normal
BA	baixo
MB	muito baixo
EB	extremamente baixo

As faixas da variável serão obtidas através de um parâmetro, que é o **valor objetivo** da variável e seus **desvios** positivos e negativos.

Exemplo: Definição de desvios para uma variável T01 (temperatura).

DEA	30 °C
DMA	20 °C
DAL	10 °C
DBA	-15 °C
DMB	-20 °C
DEB	-25 °C

Automaticamente, o sistema definirá para T01, as faixas:

Valor objetivo: 1000 °C

EA	1030 °C	(OBJ+DEA)
MA	1020 °C	(OBJ+DMA)
AL	1010 °C	(OBJ+DAL)
BA	985 °C	(OBJ+DEB)
MB	980 °C	(OBJ-DMB)
EB	975 °C	(OBJ-DBA)

Caso o usuário queira mudar o valor objetivo da temperatura T01, o sistema reajustará, automaticamente, as faixas conforme os desvios programados.

As taxas de variação são definidas conforme tabela abaixo.

AMR	acrécimo muito rápido
ARA	acrécimo rápido
ALE	acrécimo lento
EST	estável
DLE	decrécimo lento
DRA	decrécimo rápido
DMR	decrécimo muito rápido

As taxas de variação são obtidas através de Δt (intervalo de tempo entre cada amostragem) em relação aos valores das faixas. Sinais positivos para taxas de acréscimos e negativos para taxas de decréscimos. O valor para a faixa estável será dado por qualquer valor entre os limites de ALE e DLE.

Exemplo: para T01 com $\Delta t = 5$ segundos, tem-se:

AMR	20 °C/ Δt
ARA	10 °C/ Δt
ALE	5 °C/ Δt
EST	
DLE	-5 °C/ Δt
DRA	-10 °C/ Δt
DMR	-20 °C/ Δt

Em outras palavras, se a temperatura T01 variou +20 °C em 5 s, significa que esta variável apresenta um acréscimo muito rápido AMR.

Para variáveis de atuação ("setpoints" ou atuadores) podemos também, a partir de valores qualitativos, transformá-los em valores quantitativos.

Os atuadores são elementos de saída a serem controlados pelo Sistema Especialista. Fisicamente, os atuadores são os elementos de campo que receberão os "setpoints" otimizados para atuação no processo, que são: balanças, válvulas, inversores, etc.

Os parâmetros de correção podem ser definidos como:

IEA	incremento extremamente alto
IAL	incremento alto
IBA	incremento baixo
SA	nenhuma ação
DBA	decremento baixo
DMB	decremento muito baixo
DEB	decremento extremamente baixo

Os valores atribuídos aos níveis do atuador são expressos em unidades de engenharia, e convertidos para sinais analógicos para interface elétrica com o atuador.

Exemplo: IAL=0,2 t/h de combustível, DMB=-0,1 t/h de combustível.

Com as variáveis quantificadas, é possível então elaborarmos **REGRAS** do tipo SE/ENTÃO. Cada regra é formada por seu **antecedente** e **conseqüente**. O antecedente de uma regra é o conjunto de condições e expressões situadas antes da

palavra ENTÃO da regra. O conseqüente é o conjunto de ações posicionados após a palavra ENTÃO da regra.

Exemplo: Controle de temperatura e combustão.

T01 = "Tag" de temperatura.

Q01 = "Tag" de tomada de análise de gás (CO-monóxido de carbono).

COMB1 = "Setpoint" de dosadora de carvão em pó para queimador.

SE T01 AL E Q01 BA ENTÃO COMB1 SA

SE T01 BA E Q01 AL ENTÃO COMB1 DBA

SE T01 BA E Q01 BA ENTÃO COMB1 IBA

As regras podem ser melhor colocadas em forma de grades como mostramos abaixo:

		Q01						
		EA	MA	AL	NOR	BA	MB	EB
T001	EA	DEB	DEB	DEB	DEB	DEB	DEB	DEB
	MA	DEB	DMB	DMB	DMB	SA	DMB	DMB
	AL	DMB	DBA	DBA	DBA	SA	DBA	DBA
	NOR	DMB	DBA	SA	SA	SA	SA	SA
	BA	DMB	DBA	DBA	IBA	IBA	IBA	IBA
	MB	DEB	DMB	DBA	IBA	IBA	IAL	IAL
	EB	DEB	DEB	DBA	IBA	IEA	IAL	IAL

A grade acima possui o equivalente a 49 regras do tipo SE/ENTÃO. A região escurecida contém as decisões (conseqüentes) relativos aos cruzamentos dos estados das variáveis Q01 e T01 (antecedentes).

Visualizando as regras em forma de grades, podemos então, criar árvores de decisão colocando as saídas de grades como variável de entrada em outra grade, montando assim, uma estrutura para decisão de controle de um atuador baseada em entrada multivariável, como podemos ver na figura 2.3.

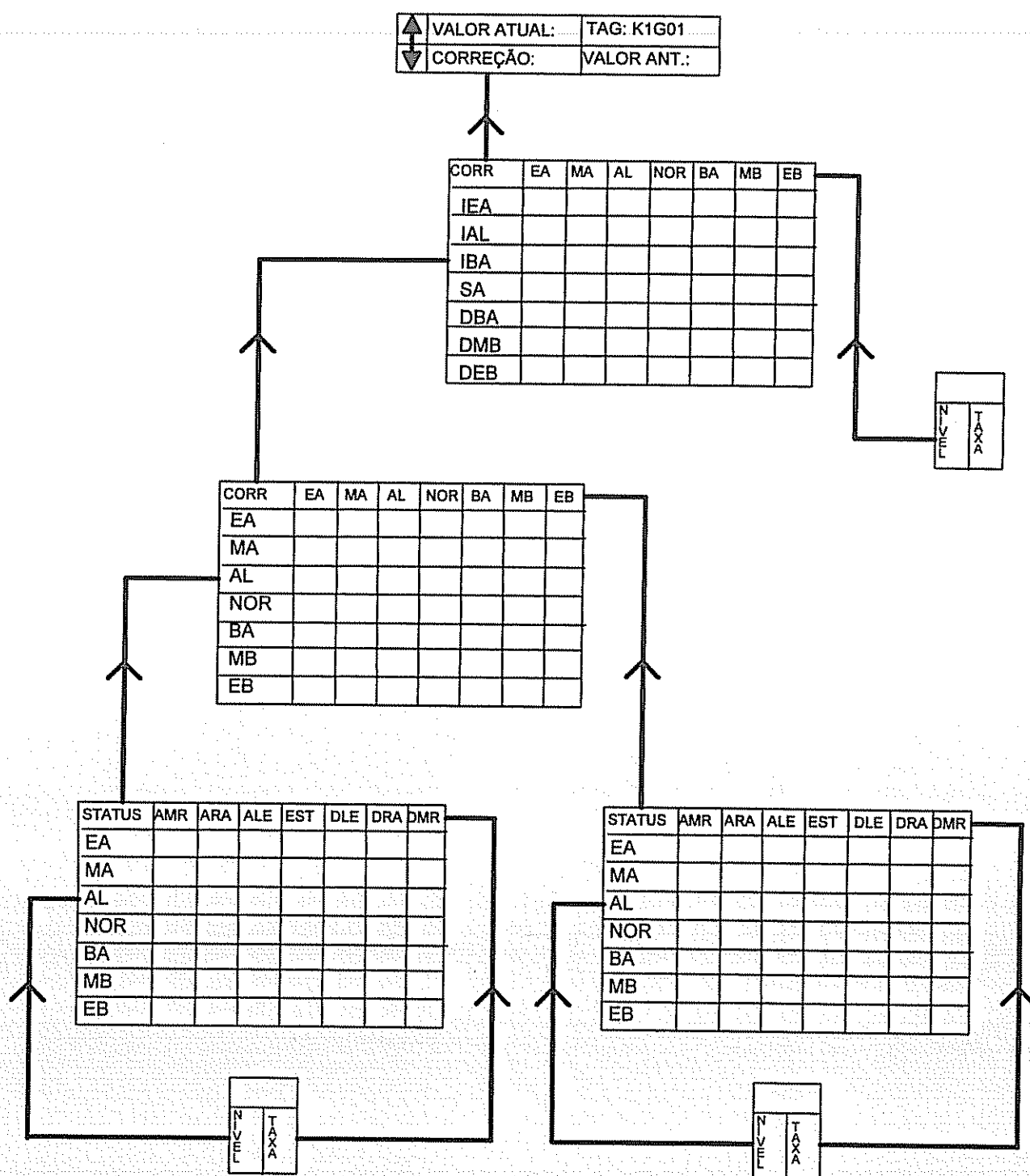


Figura 2.3 - Modelo de uma árvore de decisão para três variáveis.

Ao conjunto de informações que são fornecidas ao Sistema Especialista chamamos de BASE DE FATOS (variáveis de processo, entradas de dados manuais, retorno dos valores dos atuadores, etc.).

Ao conjunto de estratégias de busca e acionamento das regras damos o nome de MÁQUINA DE INFERÊNCIA. Como exemplos de funcionamento de uma Máquina de Inferência podemos citar as três formas mais utilizadas que são "**forward-chaining**" (encadeamento para frente), "**backward-chaining**" (encadeamento para trás) e "**scanning**" (varredura).

No método "**scanning**", o Sistema Especialista, repetidamente, invoca uma ou mais regras em intervalos de tempos regulares.

No método "**forward-chaining**", o Sistema Especialista invoca uma ou mais regras em que pelo menos um de seus antecedentes seja satisfeito ou verdadeiro.

Exemplo: O Sistema Especialista recebeu uma indicação de nível ALTO do tanque LTK-01. Sejam as seguintes regras:

- a. **SE LTK-01 ALTO ENTÃO INVOQUE REGRAS DE SEGURANÇA PARA TK-01;**
- b. **SE LTK-01 ALTO ENTÃO INFORME OPERADOR QUE "NÍVEL TK-01 ESTÁ ALTO";**
- c. **SE LTK-01 NORMAL ENTÃO INFORME OPERADOR QUE "NÍVEL TK-01 ESTÁ NORMAL".**

Somente as regras a e b teriam seus antecedentes satisfeitos e seriam acionadas.

No método "**backward-chaining**", o Sistema Especialista invoca uma ou mais regras cujos conseqüentes concluem valores para uma determinada variável. Tradicionalmente, este método pode ter duas formas de procura, que são "**depth first backward-chaining**" (procura por ordem de prioridades ou hierarquia de regras) e "**breadth first backward-chaining**" (procura pela primeira regra que forneça um valor).

Exemplo: O Sistema Especialista necessita saber o valor do nível do tanque TK-01.

PMP1 = bomba de entrada do tanque TK-01;
PMP2 = bomba de saída do tanque TK-01;
TFIC1 = totalização da vazão de PMP1;
TFIC2 = totalização da vazão de PMP2;
LIC-01 = indicação de nível de TK-01 estabilizado;
LIC-01₀ = indicação de nível de TK-01 no início da operação;
LTK-01 = nível de TK-01.

Sejam as seguintes regras:

- a. SE PMP1 ON E PMP2 ON ENTÃO $LTK-01 = TFIC1 - TFIC2 + LIC-01_{t_0}$;
- b. SE PMP1 ON E PMP2 OFF ENTÃO $LTK-01 = TFIC1 + LIC-01_{t_0}$;
- c. SE PMP1 OFF E PMP2 ON ENTÃO $LTK-01 = LIC-01_{t_0} - TFIC2$;
- d. SE PMP1 OFF E PMP2 OFF ENTÃO $LTK-01 = LIC-01$;
- e. INCONDICIONALMENTE $LTK-01 = LIC-01$.

Caso a procura seja "depth first backward-chaning", o sistema buscará o valor para LTK-01 na ordem das regras de a até d. Se a não for verdadeira, passará para b, e assim sucessivamente. Caso a procura seja por "breadth first backward-chaning", o sistema buscará o valor para LTK-01 na primeira regra verdadeira que encontrar não importando a hierarquia dada. No caso, a regra e é sempre satisfeita e pode concorrer com qualquer uma das outras regras.

A figura 2.4 mostra um diagrama de blocos de um Sistema Especialista típico.

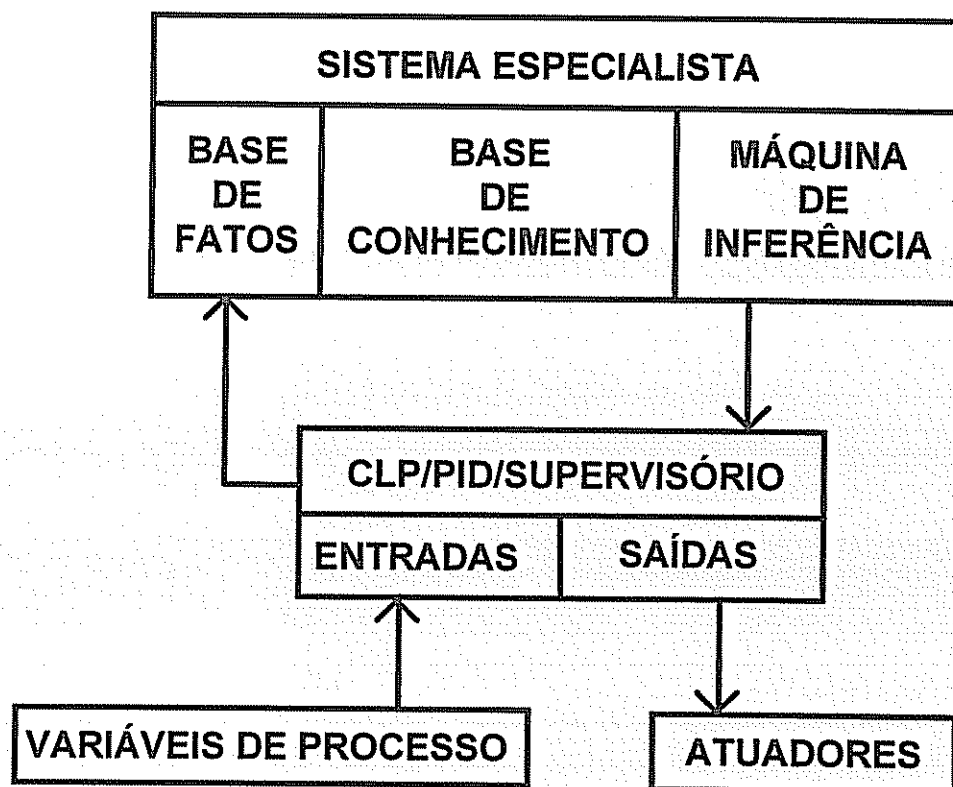


Figura 2.4 - Configuração de um Sistema Especialista

Portanto, podemos então, a partir de uma linguagem simples, unir o conhecimento desde o mais experiente operador ao mais talentoso engenheiro de processo, passando ainda por instrumentistas, eletricitas, etc.

As correções nos atuadores podem ser suaves e com frequências maiores. Diferentemente dos operadores, que às vezes necessitam de tempos maiores para detectar uma mudança de estado de uma variável, para, só então, efetuar correções manuais, as quais podem criar outras perturbações no processo por terem sido estas excessivas ou insuficientes para corrigi-lo.

2.4 - SISTEMAS ESPECIALISTAS BASEADOS EM LÓGICA NEBULOSA ("FUZZY LOGIC") [22]

Lofti Zadeh, um professor da Universidade de Berkeley, na Califórnia, é a pessoa mais intimamente ligada à Lógica Nebulosa. Em 1965, ele apresentou um trabalho formal definindo a teoria dos conjuntos nebulosos, "fuzzy sets", na qual a lógica nebulosa está baseada. Zadeh estendeu a teoria tradicional para resolver paradoxos algumas vezes gerados a partir do "tudo ou nada" da lógica de Aristóteles. Tradicionalmente, a lógica parte da premissa de que temos apenas dois estados extremos: ou completamente falso ou completamente verdadeiro. No mundo nebuloso, contudo, a lógica possui um grau de verdade de 0 a 100%, que permite ser parcialmente verdade e parcialmente falso.

Incorporando este conceito de "níveis de verdade", a lógica nebulosa amplia a lógica tradicional de duas maneiras. Primeiro, os níveis de verdade passam a ser classificados qualitativamente (usando termos lingüísticos como "baixo", "quente", "perto", etc.); segundo, os elementos destes níveis possuem diversos graus de pertinência. Por exemplo, um homem com 1,85m e outro com 1,90m de altura, ambos são membros do conjunto de "homens altos", embora o homem com 1,90m possui um maior grau de pertinência.

Em Sistemas Especialistas baseados em lógica nebulosa as entradas passam por três processos distintos antes de atuarem nas saídas. O primeiro processo, chamado de nebulização, utiliza funções de pertinência pré-definidas para mapear uma entrada em um ou mais graus de pertinência. Então, as regras, na base de regras (também pré-definidas) são avaliadas pela combinação dos graus de pertinência para formar o peso das saídas. Por último, o processo de desnebulização gera um valor na saída baseado nos pesos gerados e nas funções da saída.

A figura 2.5 mostra graficamente o tratamento baseado em lógica nebulosa.

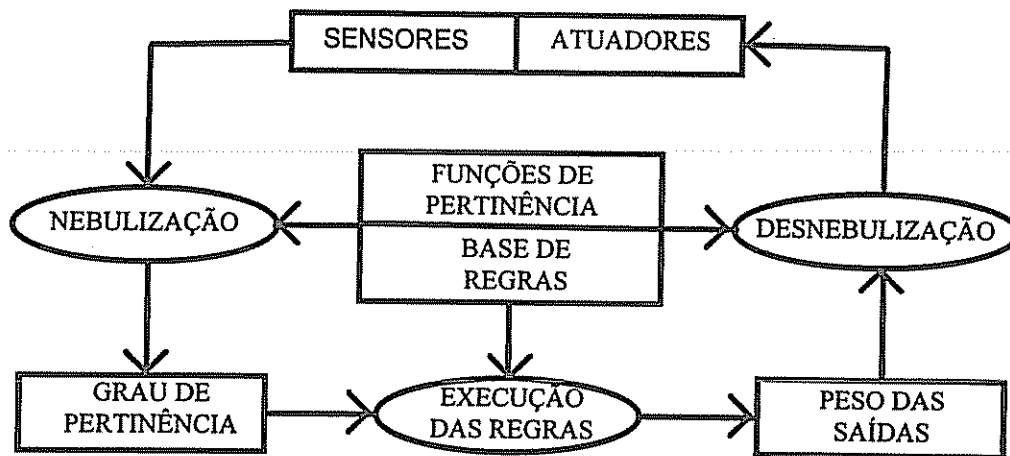


Figura 2.5 - Configuração de Sistema Especialista baseado em lógica nebulosa.

2.4.1 - NEBULIZAÇÃO

O processo de nebulização consiste em atribuir ou calcular um valor que represente um grau de pertinência da entrada em um ou mais grupos qualitativos, chamados conjuntos nebulosos ("fuzzy sets"). A figura 2.6 exemplifica uma variável de entrada - uma temperatura qualquer - que possui 3 conjuntos nebulosos chamados: FRIO, MORNO e QUENTE. Cada valor de temperatura (eixo X), possui um grau de pertinência para cada conjunto.

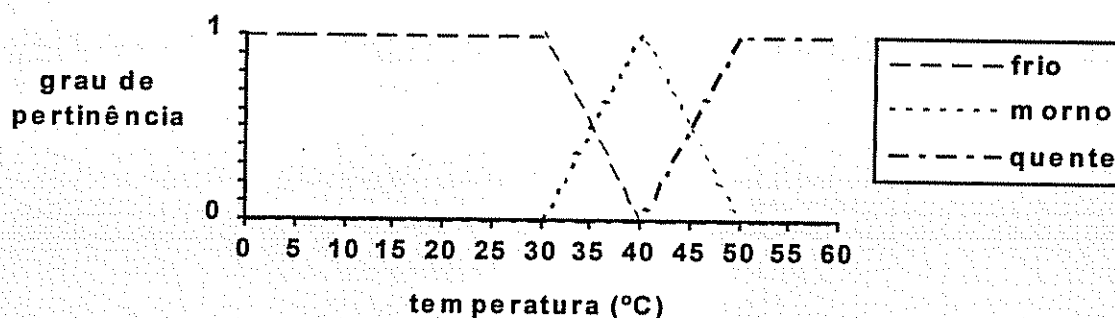


Figura 2.6 - Processo de nebulização de uma variável.

O eixo X representa a faixa na qual a variável temperatura irá trabalhar (universo de discurso). O eixo Y representa o grau de pertinência da variável, que varia de 0 (totalmente falso) a 1 (totalmente verdade). No exemplo acima, quando a temperatura estiver a 42°C, podemos concluir um valor para cada função, ou seja:

- a temperatura não está fria (0 na escala frio);
- a temperatura está bastante morna (0,8 na escala morno);

- a temperatura está um pouco quente (0,2 na escala quente).

As funções podem mudar de forma durante a fase de implantação do sistema a fim de atingir uma boa resposta do processo. As funções podem assumir diversas formas (trapezoidal, triangular ou sino, por exemplo). As formas triangulares e trapezoidais são as mais utilizadas e permitem um comportamento satisfatório do sistema, tornando-o eficiente e eficaz. Porém, é comum a inserção de funções intermediárias para tratamento específico de determinada faixa do universo de discurso, que dependa exclusivamente da precisão exigida, tempo de resposta, estabilidade do sistema, facilidade de implementação, manutenção e assim por diante.

O processo de nebulização é o elo entre os termos lingüísticos (ALTO, BAIXO, PERTO, etc.) e as funções de pertinência, fazendo com que os termos façam sentido para a máquina. Como resultado, o projetista pode fazer a manutenção do sistema, utilizando uma linguagem natural, tornando clara e precisa a descrição de tarefas complexas.

2.4.2 - ANÁLISE DAS REGRAS

Para governar o comportamento do sistema, o projetista desenvolve um conjunto de regras do tipo SE-ENTÃO. O lado SE da regra contém uma ou mais condições, chamadas de "antecedentes"; o lado ENTÃO contém uma ou mais ações, chamadas de "conseqüentes", tal qual nos Sistemas Especialistas Baseados em Regras. Os antecedentes das regras correspondem diretamente ao grau de pertinência calculado no processo de nebulização.

Por exemplo, considere uma potencial regra para controle de alimentação de combustível de um forno de cimento, onde POTÊNCIA indica a potência do forno em kW e FCAO indica cal-livre do forno.

SE POTÊNCIA É BAIXA E FCAO É BAIXO ENTÃO AUMENTA COMB.

As duas condições (POTÊNCIA É BAIXA) e (FCAO É BAIXO) formam os antecedentes da regra. Cada antecedente possui um grau de verdade (pertinência), valor este atribuído no processo de nebulização. A ação da regra (ou saída nebulosa) é (AUMENTA COMB).

Durante a análise da regra, um peso é computado baseado nos valores dos antecedentes, e, então, atribuído para a saída da regra. A ação (AUMENTA COMB) é então transportada para a saída em um grau que reflete o peso da regra. Em outras palavras, o conseqüente é baseado no grau da POTÊNCIA estar BAIXA e a FCAO estar também BAIXO.

Para uma função lógica do tipo E, geralmente, utiliza-se o mínimo das entradas; e, no caso do operador lógico ser do tipo OU, utiliza-se o máximo. Muitas

vezes, mais de uma regra pode gerar uma ação, neste caso, é prática comum utilizarmos a regra que mais peso possui, ou seja, a mais verdadeira.

Exemplo:

regra 1 : Se A e B então Z

regra 2: se C e D então Z

peso da regra 1 = mínimo entre A e B

peso da regra 2 = mínimo entre C e D

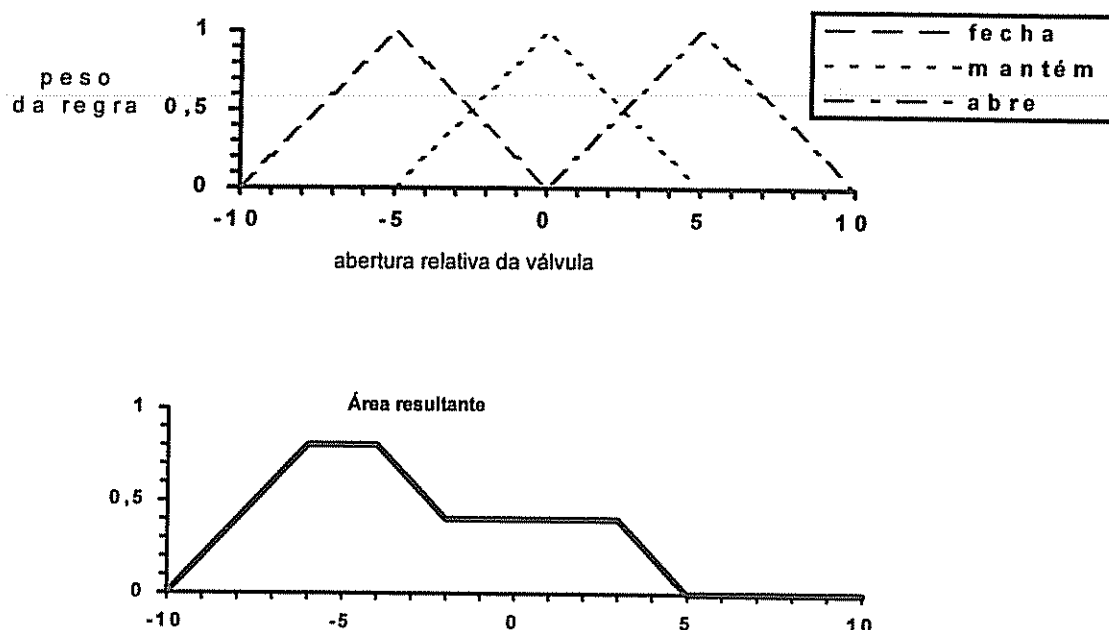
Z = máximo (peso da regra 1, peso da regra 2), ou seja,

$Z = \max(\min(A,B), \min(C,D))$.

2.4.3 - DESNEBULIZAÇÃO DAS SAÍDAS

Mesmo pensando que a análise das regras já atribui um valor para cada ação de saída específica, um processamento posterior, chamado de desnebulização, é necessário por duas razões. Primeiro, é necessário decifrar o significado vago (nebuloso) das ações, como em "...ENTÃO FECHA", utilizando-se as funções de pertinência da saída. A segunda razão é resolver os conflitos entre as duas ações como "...ENTÃO FECHA" e "...ENTÃO MANTÉM POSIÇÃO", que foram resultados significativos durante a análise das regras. A desnebulização emprega algumas técnicas para resolver estes conflitos.

Uma técnica comum de desnebulização chama-se "método do centro de gravidade", que possui diversos passos. Inicialmente, o ponto central no eixo X é calculado para cada função. Então, as funções de pertinência são limitadas na altura pela regra aplicada. As áreas das funções são calculadas. Finalmente, a saída desnebulizada é obtida pelo ponto médio da área total. O método do centro de gravidade é apresentado na figura 2.7. Neste exemplo, a saída resultante é -3,0% de abertura da válvula, ou seja, se a abertura atual da válvula estivesse em 48%, seria enviado um "setpoint" para o dispositivo de controle para 45%.



1) Ponto central 1 no eixo X = -5

2) Peso aplicado à saída 1 = 0,8

3) Área resultante da saída 1 =

$$0,8(10+2)/2=4,8 =$$

4) Centro de gravidade = $4,8(-5) + 3,2(0) / (4,8 + 3,2) = -3$

Ponto central 2 no eixo X = 0

Peso aplicado à saída 1 = 0,4

Área resultante da saída 2 =

$$0,4(10+6)/2=3,2$$

Figura 2.7 - Processo de desnebulização de uma variável.

2.5 - IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS ESPECIALISTAS [22]

O objetivo desta fase é a criação da base de conhecimento. As estratégias de controle das árvores de decisão estão previamente definidas pelo Sistema Especialista. Entretanto, os conhecimentos específicos da operação de cada equipamento da planta, acumulados pela experiência de operadores e engenheiros de processo, precisam ser transportados e inseridos na base de conhecimento do sistema.

O fator de sucesso da implantação do sistema especialista dependerá, fundamentalmente, do cuidado com que for realizada esta etapa. É um processo realizado a quatro mãos entre o Engenheiro de Conhecimento e os Especialistas da Planta. É basicamente um trabalho de Antropologia, pois o Engenheiro de Conhecimento freqüentemente lida com medos e vaidades pessoais que podem atrapalhar o processo de formação da base de conhecimento. Expressões tais como: "este sistema veio para nos substituir", "eu confio somente em mim", "não acredito

neste elefante branco", "não tenho nada para colocar como conhecimento importante", são muito ouvidas pelo Engenheiro de Conhecimento. Ele tem a responsabilidade de informar corretamente o porquê da utilização do Sistema Especialista e tirar o "medo do novo" de todos os envolvidos.

A metodologia consiste na programação de reuniões envolvendo todo pessoal técnico onde se discutem e se avaliam todos os parâmetros que irão compor as estratégias de controle. Muitas vezes, nestas reuniões, é que os especialistas chegam a reconhecer vícios antigos de operação e têm oportunidade de corrigi-los neste momento. Às vezes, temos longos debates para chegar a um consenso operacional, que é um importante objetivo do Sistema Especialista. É aí que conseguimos uma verdadeira "sinergia" para o melhoramento do Controle do Processo.

Apresenta-se a seguir, uma sequência de etapas para implementação de um Sistema Especialista. Obviamente, estas etapas poderão mudar de acordo com as condições de operação de cada planta.

Levantamento de dados

Trabalho de engenharia para levantamento de dados de campo para avaliação de instrumentação existente e necessária.

Estruturação de árvores de decisão

Trabalho em conjunto com pessoal técnico de operação para montagem das estratégias de controle.

Interface

Definição de variáveis para comunicação com o sistema especialista, interligação de redes e testes de protocolos de comunicação.

Implantação do Sistema Especialista e Base de Conhecimento

Instalação dos sistemas operacionais, instalação do Sistema Especialista e aplicativos, equipamentos de comunicação e inserção da base de conhecimento.

"Start-up"

Implantação gradativa das estratégias de controle, monitoração e avaliação de resultados.

CAPÍTULO 3 - CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE VAPOR DA USIMINAS

3.1 - INTRODUÇÃO

A área de caldeiras, sopradores de alto forno e termoelétrica desempenha um papel importante no sistema energético da Usiminas no que diz respeito ao aproveitamento e conversão de algumas formas de energia.

O sistema de vapor da Usiminas apresenta uma configuração bastante particular em relação a outras empresas siderúrgicas.

Estudos recentes nesta área mostraram a necessidade de se aproveitar da melhor maneira possível os equipamentos instalados, determinando-se que todas as plantas que compõem o sistema de vapor funcionem em um ponto de operação próximo às suas capacidades nominais.

Para que isto se tornasse realidade, foram executadas várias alterações nesta área que permitiram ganhos mensuráveis, entre eles, um aumento na capacidade de geração de energia elétrica, sem comprometer o funcionamento do turbosoprador para o alto forno 3.

3.2 - DESCRIÇÃO DAS PLANTAS QUE COMPÕEM O SISTEMA DE VAPOR

O sistema de vapor da USIMINAS é constituído das seguintes plantas:

- 3 caldeiras de alta pressão;
- 2 caldeiras de baixa pressão;
- 2 unidades turbogeradores;
- 2 unidades turbosopradores;
- vapor auxiliar (consumo próprio destas plantas);
- consumidores de vapor para necessidades do processo siderúrgico.

A configuração do sistema de vapor da Usiminas, em termos de produtores e consumidores de vapor, divididos em sistema de alta e baixa pressão encontra-se apresentado na figura 3.1. O sistema de alta funciona a uma pressão de 60 kgf/cm^2 enquanto o de baixa a uma pressão de 12 kgf/cm^2 . Como produtores de vapor entende-se todas as caldeiras, e como consumidores, os turbosopradores, turbogeradores, necessidades do processo siderúrgico, etc.

As tabelas 3.1 a 3.5 mostram características nominais das caldeiras 130.1, 130.2, 130.3, 45.1, 45.2, dos turbogeradores 1 e 2 e dos turbosopradores 4 e 5, respectivamente.

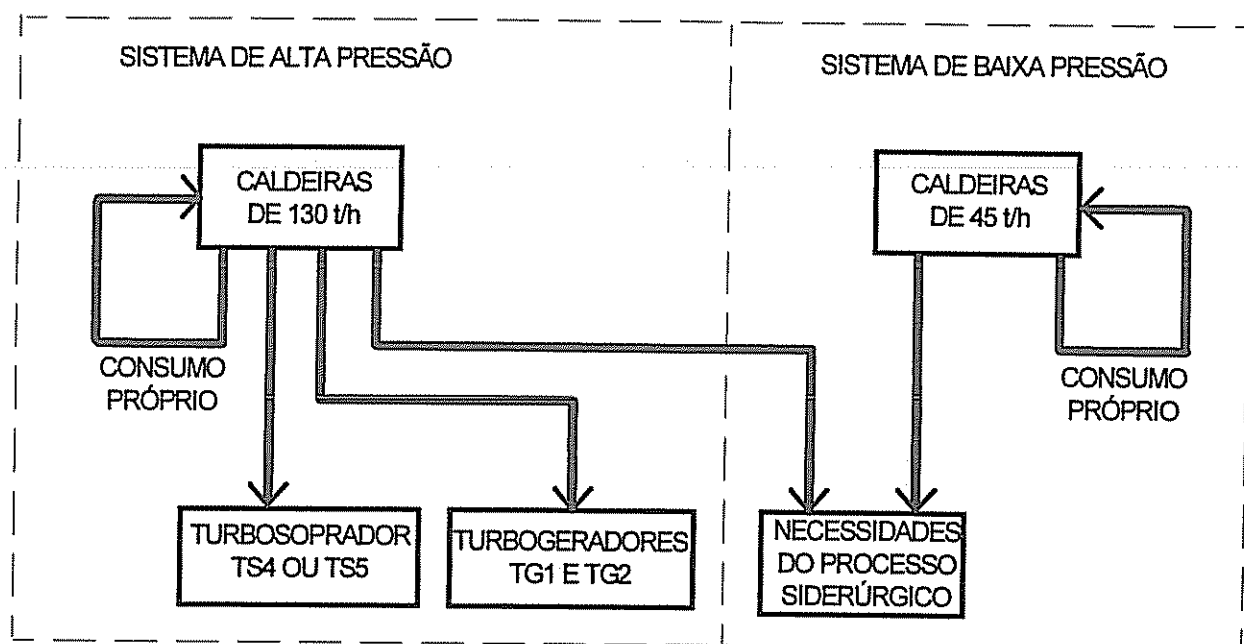


Figura 3.1 - Configuração do sistema de vapor da Usiminas.

Modelo	Mitsubishi - VU40
Fabricante	Mitsubishi
Data de fabricação	Out. e Nov./1973
Evaporação máxima (t/h)	130
Pressão máxima de projeto (kgf/cm ²)	73
Pressão do vapor na saída do superaquecedor (kgf/cm ²)	65
Temperatura da água de alimentação (°C)	160
Combustíveis	GCO, GAF e alcatrão
Superfície de aquecimento (m ²)	1640
Diâmetro interno do tambor de vapor (mm)	1524
Diâmetro interno do tambor de água (mm)	915
Diâmetro externo dos tubos da caldeira (mm)	63,5
Espessura dos tubos da caldeira (mm)	3,2
Superfície de aquecimento da fornalha (m ²)	930

Tabela 3.1 - Principais características das caldeiras de 130 t/h de números 1 e 2 [16].

Modelo	Mitsubishi - VU40
Fabricante	CBC
Data de fabricação	Janeiro/1985
Evaporação máxima (t/h)	130
Pressão máxima de projeto (kgf/cm ²)	73
Pressão do vapor na saída do superaquecedor (kgf/cm ²)	65
Temperatura da água de alimentação (°C)	160
Combustíveis	GCO, GAF e alcatrão
Superfície de aquecimento (m ²)	1640
Diâmetro interno do tambor de vapor (mm)	1524
Diâmetro interno do tambor de água (mm)	915
Diâmetro externo dos tubos da caldeira (mm)	63,5
Espessura dos tubos da caldeira (mm)	3,2
Superfície de aquecimento da fornalha (m ²)	930

Tabela 3.2 - Principais características da caldeira de 130 t/h de número 3 [06].

Modelo	Kawasaki - E-53-SK
Fabricante	Dedini
Data de fabricação	1977
Evaporação máxima (t/h)	45
Pressão máxima de projeto (kgf/cm ²)	12
Pressão do vapor na saída do superaquecedor (kgf/cm ²)	310
Temperatura da água de alimentação (°C)	105
Combustíveis	GAC, GAF e alcatrão
Superfície de aquecimento (m ²)	1100
Diâmetro interno do tambor de vapor (mm)	1282
Diâmetro interno do tambor de água (mm)	800
Diâmetro externo dos tubos da caldeira (mm)	63,5
Espessura dos tubos da caldeira (mm)	3,76
Superfície de aquecimento da fornalha (m ²)	240

Tabela 3.3 - Principais características das caldeiras de 45 t/h de números 1 e 2 [15].

Fabricante da Turbina	BBC Brown Boveri
Ano de fabricação	1980
Tipo	KAAA
Potência (kW)	20.000
Velocidade (rpm)	3.600
Pressão do vapor (bar)	59,8
Temperatura do vapor (°C)	480
Pressão de Exaustão	Condensação
Rotação (na direção do fluxo de vapor)	sentido dos ponteiros de um relógio
Fabricante do gerador síncrono	BBC Brown Boveri
Ano de fabricação	1980
Potência aparente (kVA)	25.000
Velocidade (rpm)	3.600
Frequência (Hz)	60
Tensão (V)	11.500
Corrente (A)	1255
Fator de potência (cos ϕ)	0,8
Fases	3

Tabela 3.4 - Principais características dos turbogeradores de números 1 e 2 [04].

Nome do fabricante	Mitsubishi
Data de fabricação	Outubro/1973
Potência Nominal (MW)	27,9
Velocidade (rpm)	3600
Vácuo (mmHg abs)	110
Pressão do vapor (kgf/cm ²)	60
Temperatura do vapor (°C)	480
Vazão Nominal (Nm ³ /min.)	5900
Pressão Nominal (kgf/cm ²)	3,2

Tabela 3.5 - Principais características dos turbosopradores de números 4 e 5 [16].

3.3 - PRODUÇÃO E CONSUMO MÉDIO MENSAL DE VAPOR NA USIMINAS

3.3.1 - PRODUÇÃO E CONSUMO MÉDIO MENSAL NO SISTEMA DE VAPOR DE ALTA PRESSÃO

A seguir, apresenta-se a produção e consumo médio mensal de vapor de alta pressão, em t/h, nos últimos 12 meses, conforme tabela 3.6. Como podemos observar nos números apresentados, produção e consumo estão intimamente relacionados neste sistema, dado que, a maior parte do vapor gerado nas caldeiras é utilizada em: processos secundários nas próprias caldeiras, nos turbogeradores e turbosopradores.

Estes dados são importantes pois indicam, aproximadamente, o ponto de operação destas plantas em funcionamento normal.

	JAN/94	FEV/94	MAR/94	ABR/94	MAI/94	JUN/94
PRODUÇÃO C130.1 t/h	78,6	75,8	100,7	102,1	109,7	105,7
PRODUÇÃO C130.2 t/h	77,1	78,5	97,8	99,7	106,2	105,8
PRODUÇÃO C130.3 t/h	81,2	77,8	117,5	112,3	122,4	124,5
CONSUMO TS4 t/h	102,3	0,0	91,1	96,8	100,4	98,7
CONSUMO TS5 t/h	0,0	107,6	0,0	0,0	0,0	0,0
CONSUMO TG1 t/h	95,8	94,2	95,5	96,1	96,2	97,0
CONSUMO TG2 t/h	0,0	0,0	90,6	91,2	94,0	93,3
PHOSAN	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
CONS. AUX. C130.1 t/h	1,6	1,6	1,4	1,7	1,5	1,6
CONS. AUX. C130.2 t/h	1,5	1,6	2,1	2,1	2,2	2,1
CONS. AUX. C130.3 t/h	1,7	1,5	2,1	2,1	1,9	2,4
CONS. AUX. TS's t/h	2,3	1,9	5,9	4,2	7,4	7,6
CONS. AUX. TG's t/h	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0

	JUL/94	AGO/94	SET/94	OUT/94	NOV/94	DEZ/94
PRODUÇÃO C130.1 t/h	100,8	100,8	106,7	106,6	105,3	106,6
PRODUÇÃO C130.2 t/h	99,9	97,8	104,7	96,9	97,2	96,9
PRODUÇÃO C130.3 t/h	121,8	117,5	91,5	111,7	113,5	111,7
CONSUMO TS4 t/h	96,0	91,1	96,8	97,6	96,9	97,6
CONSUMO TS5 t/h	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CONSUMO TG1 t/h	98,5	95,5	97,7	96,4	95,8	96,4
CONSUMO TG2 t/h	90,6	90,6	81,4	93,1	92,7	93,1
PHOSAN	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
CONS. AUX. C130.1 t/h	1,7	1,4	0,8	0,1	0,1	0,1
CONS. AUX. C130.2 t/h	2,2	2,1	1,8	2,0	1,9	2,0
CONS. AUX. C130.3 t/h	1,8	2,1	1,3	1,5	1,7	1,5
CONS. AUX. TS's t/h	7,2	5,9	3,9	5,8	5,7	5,8
CONS. AUX. TG's t/h	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

Tabela 3.6 - Produção e consumo médio mensal do sistema de vapor de alta pressão.

3.3.2 - PRODUÇÃO E CONSUMO MÉDIO MENSAL NO SISTEMA DE VAPOR DE BAIXA PRESSÃO

A tabela 3.7 apresenta dados de produção e consumo de vapor, em t/h, em necessidades do processo siderúrgico nos últimos 12 meses. Como podemos observar, parte deste vapor é gerado no sistema de alta pressão e a maior parte no sistema de baixa pressão. Como necessidades do processo siderúrgico entende-se aquelas plantas que necessitam de aquecimento para seu funcionamento; e este aquecimento é proveniente da troca de calor com vapor de baixa pressão. Isto é também chamado de vapor para processo. Estes dados são importantes pois identificam o ritmo operacional destas plantas.

Os dados da tabela 3.8 identificam o consumo médio mensal por planta, em t/h, em necessidades do processo siderúrgico.

	JAN/94	FEV/94	MAR/94	ABR/94	MAI/94	JUN/94
PROD. CALD. 45 t/h	74,2	72,6	72,1	79,1	52,8	61,1
ENVIO CALD. 130 t/h	11,0	11,2	5,9	0,3	23,8	19,7
TOTAL RECEBIDO	85,3	83,8	78,0	79,4	76,7	80,8
DISTRIBUIÇÃO TOTAL	82,9	81,0	75,6	76,8	76,3	77,4
PERDA	2,4	2,8	2,4	2,6	0,3	3,4
APROVEITAMENTO (%)	97,2	96,6	96,9	96,7	99,6	95,8

	JUL/94	AGO/94	SET/94	OUT/94	NOV/94	DEZ/94
PROD. CALD. 45 t/h	77,5	69,9	85,9	91,0	88,1	82,5
ENVIO CALD. 130 t/h	12,0	24,4	12,5	0,8	11,3	5,9
TOTAL RECEBIDO	89,5	94,3	98,4	91,9	99,3	88,4
DISTRIBUIÇÃO TOTAL	84,8	86,8	90,7	90,4	91,3	83,9
PERDA	4,7	7,5	7,7	1,5	8,0	4,6
APROVEITAMENTO (%)	94,7	92,0	92,2	98,4	91,9	94,8

Tabela 3.7 - Produção e consumo médio mensal do sistema de vapor de baixa pressão.

	JAN/94	FEV/94	MAR/94	ABR/94	MAI/94	JUN/94
MANUTENÇÃO ELET. GERAL	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3
FÁBRICAS DE OXIGÊNIO	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
OLEOMETRO	1,9	1,4	1,5	1,4	1,8	1,7
TRAT. AMÔNIA(PHOSAN)	5,5	7,4	6,8	7,5	7,4	6,9
USINA DE ÓLEO LEVE	0,8	0,8	1,0	0,9	0,8	1,1
USINA DE ALCATRÃO	12,4	10,7	9,2	10,4	9,9	9,5
OPERAÇÃO BATERIAS 1 E 2	2,0	2,1	2,2	1,9	2,3	2,1
FORNO E REGENERADOR 1	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2
FORNO E REGENERADOR 2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2
TRAT. PRIMÁRIO GÁS COQ.	2,4	2,5	2,7	2,2	2,8	2,7
TRAT. FINAL GÁS COQ.	2,0	2,1	2,3	2,1	2,6	2,6
SINTER 3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OPERAÇÃO BATERIAS 3 E 4	3,5	3,6	3,7	2,8	3,9	3,7
FORNO E REGENERADOR 3	4,7	4,9	4,6	4,2	4,4	4,1
TRAT. AÇO LIQ. AC 1(RH)	1,3	1,1	1,1	1,1	1,0	1,1
FAB. MASSA REFRAATÁRIA	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,3
CALCINAÇÃO DO F. ROTATIVO	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
LAMINADOR DE T. QUENTE	0,3	0,0	0,3	0,4	0,4	0,7
LAM. ACAB. SUPERFICIAL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FORNO CONT. REAQ.(LCG)	1,4	1,3	1,6	1,4	1,4	1,6
LAMINADOR C. GROSSAS	1,8	1,7	1,6	1,8	1,6	1,4
DECAPAGEM 1	1,0	0,0	0,0	1,6	0,3	0,5
DECAPAGEM 2	5,0	3,9	4,0	3,6	4,5	4,2
LAM. TIRAS A FRIO	3,7	2,5	2,6	2,8	3,1	2,8
LIMPEZA ELETROLÍTICA	10,9	13,3	9,5	8,5	9,1	11,3
LAM. DE ENC. A FRIO 1	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8
LAM. DE ENC. A FRIO 2	0,9	0,9	1,0	0,9	1,0	1,0
DECAPAGEM 3	4,1	3,9	4,0	4,0	3,8	3,8
RESTAURANTE	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
CALDEIRAS DE 45 t/h	10,4	10,2	10,1	11,1	7,4	8,6
TERMOELÉTRICA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TRAT. AÇO LIQ. AC. 2(RH)	2,0	1,5	0,5	0,4	1,0	0,7
LINHA DE GALVANIZAÇÃO	0,2	0,5	0,6	1,1	1,2	1,1

	JUL/94	AGO/94	SET/94	OUT/94	NOV/94	DEZ/94
MANUTENÇÃO ELET. GERAL	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
FÁBRICAS DE OXIGÊNIO	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
OLEOMETRO	1,7	1,7	1,7	1,5	1,6	1,5
TRAT. AMÔNIA(PHOSAN)	7,4	6,2	7,4	6,9	6,9	6,7
USINA DE ÓLEO LEVE	0,6	0,7	0,4	0,6	0,7	0,7
USINA DE ALCATRÃO	9,6	10,6	10,5	10,1	10,6	7,4
OPERAÇÃO BATERIAS 1 E 2	2,2	2,0	2,2	1,9	2,2	2,3
FORNO E REGENERADOR 1	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
FORNO E REGENERADOR 2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
TRAT. PRIMÁRIO GÁS COQ.	2,7	2,6	2,8	2,5	2,8	3,1
TRAT. FINAL GÁS COQ.	2,5	2,6	1,2	2,3	2,6	2,9
SINTER 3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OPERAÇÃO BATERIAS 3 E 4	3,8	3,8	3,8	3,6	3,5	3,8
FORNO E REGENERADOR 3	4,4	5,4	4,8	4,5	5,6	3,9
TRAT. AÇO LIQ. AC 1(RH)	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,7
FAB. MASSA REFRAATÁRIA	0,3	0,2	0,5	0,6	0,7	0,6
CALCINAÇÃO DO F. ROTATIVO	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
LAMINADOR DE T. QUENTE	1,2	0,8	0,4	0,5	0,8	0,6
LAM. ACAB. SUPERFICIAL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FORNO CONT. REAQ.(LCG)	1,8	1,4	1,5	1,6	2,1	2,3
LAMINADOR C. GROSSAS	1,6	1,9	1,8	1,7	1,3	0,7
DECAPAGEM 1	1,8	2,2	3,2	4,4	4,8	3,1
DECAPAGEM 2	4,5	4,7	4,6	4,6	3,4	3,5
LAM. TIRAS A FRIO	3,3	3,4	3,8	3,9	3,2	3,0
LIMPEZA ELETROLÍTICA	11,8	12,3	12,4	12,4	10,8	11,4
LAM. DE ENC. A FRIO 1	0,9	0,8	1,0	1,1	1,2	1,1
LAM. DE ENC. A FRIO 2	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
DECAPAGEM 3	4,2	4,6	4,2	4,5	3,9	3,5
RESTAURANTE	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
CALDEIRAS DE 45 t/h	10,9	9,8	12,0	12,7	12,3	11,5
TERMOELÉTRICA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TRAT. AÇO LIQ. AC. 2(RH)	1,1	2,0	3,9	1,7	2,4	0,9
LINHA DE GALVANIZAÇÃO	1,5	2,0	1,0	2,0	3,0	4,0

Tabela 3.8 - Consumo médio mensal do sistema de vapor de baixa pressão por planta.

3.4 - CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE VAPOR

3.4.1 - CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE VAPOR DE ALTA PRESSÃO

As caldeiras de alta pressão permitem trabalhar com os combustíveis GCO, GAF, Alcatrão e seus derivados em várias combinações. A estratégia de controle das caldeiras de alta pressão é do tipo "caldeira seguindo" ("boiler following"). Isto significa que a carga será sempre alterada inicialmente pelo usuário de vapor (turbinas, etc.). A alteração de carga afeta a pressão do vapor principal. Esta pressão é controlada atuando-se sobre a taxa de combustão. Desta forma, a taxa de combustão na caldeira "segue" a solicitação de carga dos consumidores de vapor. O sinal de "master", saída do controlador de pressão do vapor principal, é o "setpoint" para os sistemas de controle de ar e de combustíveis.

As manobras de carga nos turbogeradores são feitas através de mudanças implementadas no nível de potência gerada. Trata-se de controle em malha aberta, onde o operador, uma vez definido o nível de geração desejado, aciona o servo posicionador da válvula governadora até que o erro de geração seja nulo. A potência gerada é lida pelo operador em um wattímetro.

A operação do turbosoprador, que alimenta de ar os regeneradores do alto forno nº 3, segue um ciclo de carga contínuo, que só é alterado quando da troca de regeneradores. Esta troca acontece a cada 90 minutos, aproximadamente, e dura em torno de 5 minutos.

3.4.2 - CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE VAPOR DE BAIXA PRESSÃO

As caldeiras de baixa pressão permitem trabalhar com os combustíveis GAC, GAF, Alcatrão e seus derivados em várias combinações. A estratégia de controle das caldeiras de baixa pressão é idêntica à estratégia das de alta pressão, ou seja, do tipo "caldeira seguindo" ("boiler following").

O processo siderúrgico tem um consumo de vapor relativamente aleatório em cada instante, pois tem-se constantemente alternância de funcionamento das plantas que fazem uso deste vapor.

3.5 - CONFIGURAÇÃO OPERACIONAL ANTERIOR DO SISTEMA DE VAPOR DE ALTA PRESSÃO

Conforme podemos verificar na figura 3.2, as três caldeiras de 130 t/h produziam vapor para ser consumido pelos turbogeradores 1 e 2, turbosopradores 4 ou 5 (o que estivesse em operação) e necessidades do processo siderúrgico, após uma redução de pressão de 60 para 12 kgf/cm².

Nesta figura destacam-se: as caldeiras, coletores de vapor, turbinas, condensadores, bombas condensadoras, desaeradores, bombas desaeradoras, válvulas, etc. Entende-se como VVP1, VVP2, VVP3, as válvulas de vapor para necessidades do processo siderúrgico de números 1, 2 e 3.

Como podemos observar, na referida figura, o sistema de caldeiras e turbinas é um circuito fechado de água/vapor. Quase toda a água turbinada na forma de vapor é reaproveitada. Isto não acontece com o vapor destinado às necessidades do processo siderúrgico, este não retorna. O sistema de água de reposição se encarrega de repor a água que não retorna às caldeiras.

A seguir, descreve-se à configuração operacional anterior do sistema de vapor de alta pressão, até fevereiro de 1994.

As caldeiras de 130 t/h de números 1 e 2 geravam vapor para ser consumido por um dos turbosopradores 4 ou 5 (o que estivesse em funcionamento) e, dependendo das necessidades operacionais, parte deste vapor era utilizada para necessidades do processo siderúrgico. Considerando que as duas caldeiras juntas são capazes de produzir até 260 t/h para um consumo médio de até, aproximadamente, 116 t/h pelo turbosoprador em operação, e, até, aproximadamente, 80 t/h em necessidades do processo siderúrgico, verificamos que a capacidade instalada de geração de vapor era bastante superior ao consumo máximo real. Esta reserva de capacidade era justificada pela necessidade de continuidade operacional do turbosoprador. Isto implicava na existência de um potencial de geração de vapor não utilizado.

A caldeira de 130 t/h número 3, por sua vez, gerava vapor suficiente para produzir apenas 27 dos 40 MW instalados na termoeletrônica. Agora, neste caso, os papéis se invertem, temos um potencial de consumo de vapor bastante superior à produção efetivamente instalada, considerando que, para gerar 40 MW, são necessários, aproximadamente, 200 t/h de vapor produzido.

As caldeiras de 45 t/h geram vapor para ser utilizado em necessidades do processo siderúrgico e, parte deste vapor pode ser gerado no sistema de alta pressão, conforme figura 3.3. É importante observar, que neste sistema, o vapor não retorna na forma de água.

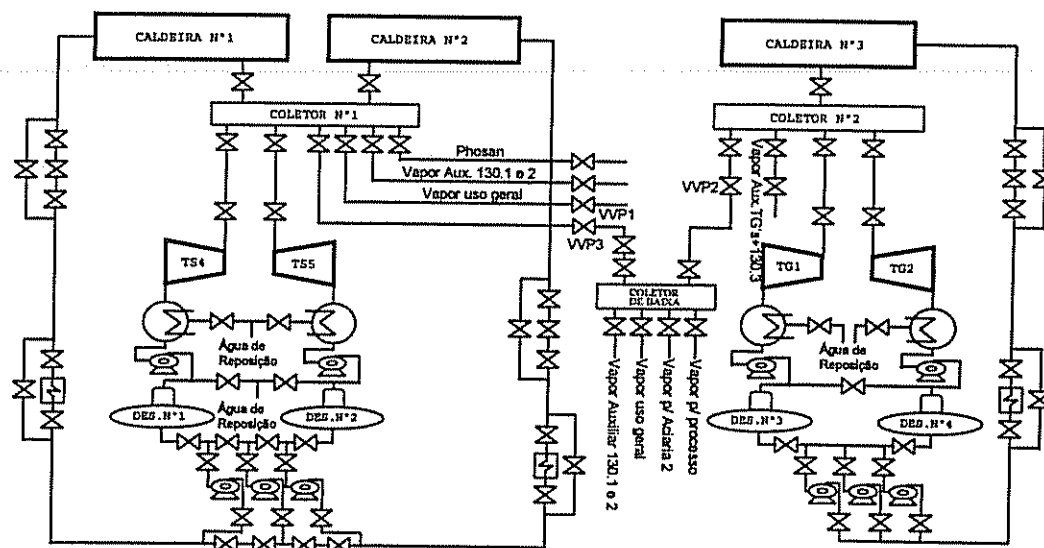


Figura 3.2 - Configuração anterior do sistema de vapor de alta pressão.

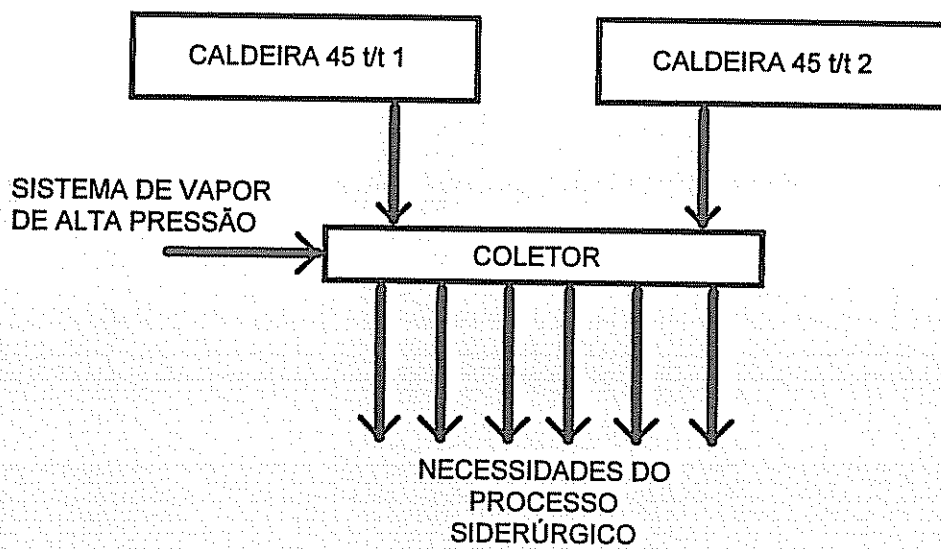


Figura 3.3 - Configuração do sistema de vapor de baixa pressão.

3.6 - CONFIGURAÇÃO OPERACIONAL ATUAL DO SISTEMA DE VAPOR DE ALTA PRESSÃO

Considerando a configuração operacional anterior, é possível vislumbrar a possibilidade de se aproveitar melhor o potencial de geração de vapor das caldeiras 1 e 2 e utilizá-lo na geração de energia elétrica nos turbogeradores 1 e 2, desde que sejam realizadas algumas alterações físicas nesta configuração e tomados alguns cuidados com relação à segurança e à continuidade operacional das plantas envolvidas.

Considerando que o processo siderúrgico é responsável pela geração de diversos gases (GCO, GAF e GAC), e que, apesar de já serem aproveitados como combustível em diversas áreas da Usiminas, ocorre frequentemente sobra destes gases, (os quais são queimados em torres de combustão), idealizou-se a possibilidade de aproveitamento desta sobra para gerar energia elétrica através da central termoelétrica.

As figuras 3.4 e 3.5 mostram algumas das alterações físicas necessárias na configuração do Sistema de Vapor para concretização deste projeto, tais como: interligação dos coletores de vapor 1 e 2 através da válvula VICOL, interligação do condensado (água condensada) das caldeiras 1 e 2 com o da caldeira 3 através da válvula VICON, interligação elétrica entre a 2ª unidade da termoelétrica e a subestação da aciaria conforme tabela 3.9. Além dessas, foram realizadas outras alterações físicas, tais como: aumento na capacidade do sistema de fornecimento de água e combustíveis para as caldeiras, redimensionamento de alguns componentes de caldeiras como desaeradores, etc.

É importante ressaltar que todas modificações foram realizadas no sistema de vapor de alta pressão, e que, de certa forma, o sistema de vapor de baixa pressão sofreu algumas influências, desde que, estes sistemas eram interligados.

No esquema mostrado na tabela 3.9, somente um turbogerador pode estar ligado em um barramento da subestação da aciaria ou do alto forno. Para isto, existe uma função de intertravamento.

Conexão entre:	Seqüência de disjuntores ligados:
TG1 e S/E da aciaria	T341-T371-T343-13B012
TG1 e S/E do alto forno	T341-T381-T373-PB381
TG2 e S/E da aciaria	T342-T372-T343-13B012
TG2 e S/E do alto forno	T342-T382-T373-PB381

Tabela 3.9 - Esquema de conexão elétrica entre turbogeradores e subestações.

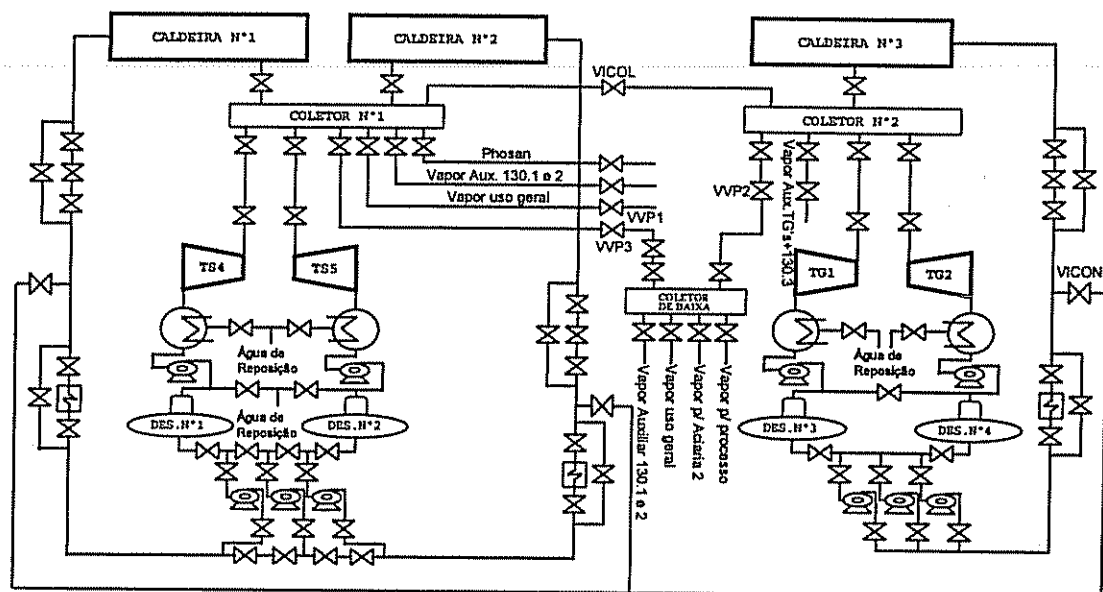


Figura 3.4 - Configuração atual do sistema de vapor de alta pressão.

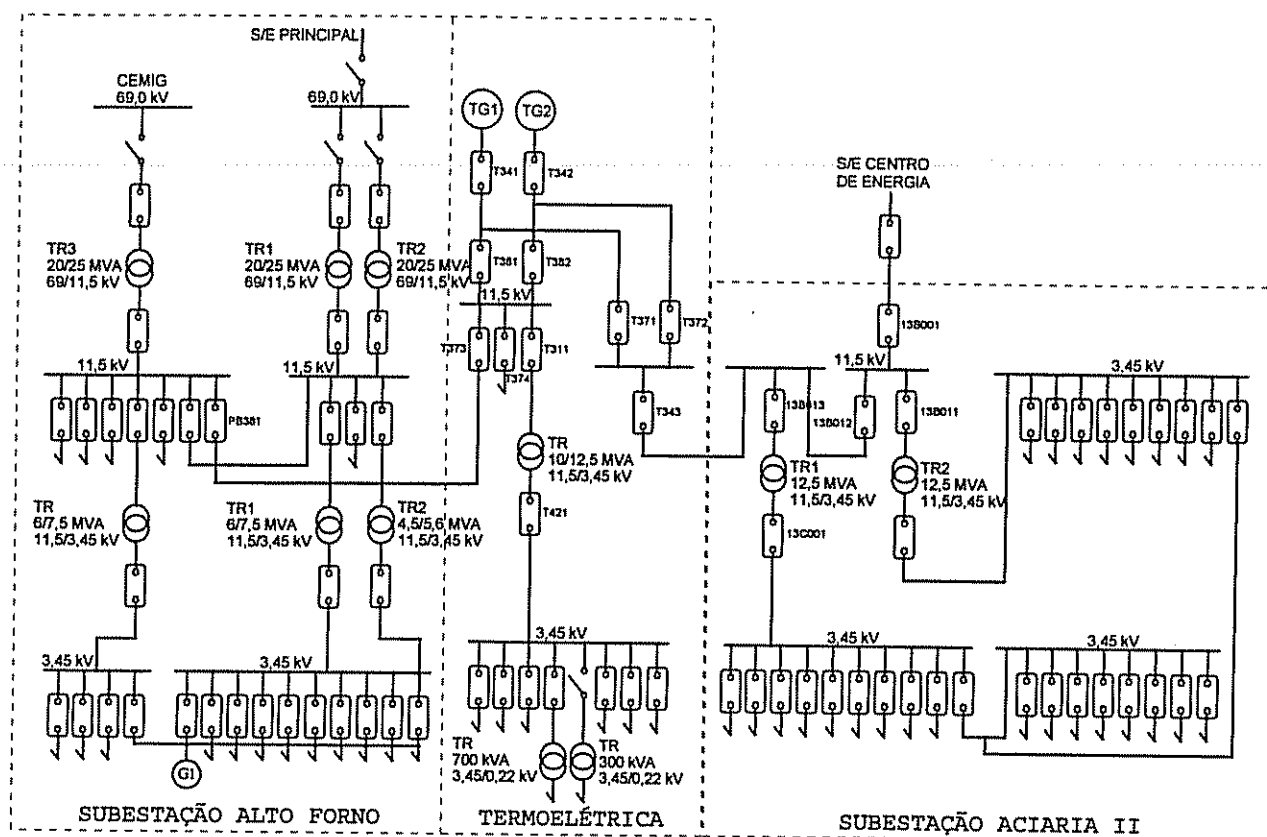


Figura 3.5 - Esquema de conexão elétrica entre turbogeradores e subestações.

3.7 - NOVOS REQUISITOS OPERACIONAIS DO SISTEMA DE VAPOR DE ALTA PRESSÃO

Considerando que, a partir do momento em que esta nova configuração estivesse em funcionamento todas as plantas envolvidas estariam trabalhando em um ponto de operação próximo de seus valores nominais, e que, devido a isto, caso ocorresse falha em alguma das plantas envolvidas, a possibilidade de reconfiguração do sistema de vapor tornar-se-ia mais complicada e o retorno da planta envolvida tornar-se-ia mais remoto, em um curto espaço de tempo, foi implantado um sistema de proteção com o objetivo de dotar esta nova configuração do sistema de vapor de maior segurança, confiabilidade e continuidade operacional, resguardando e estabelecendo prioridades de funcionamento de cada planta que compõe o referido sistema.

Com esta nova configuração, foi possível definir um novo conceito: o de MODALIDADE OPERACIONAL. Isto significa que a configuração do sistema de vapor é uma função das plantas que estiverem em funcionamento e de suas vazões de vapor (produção ou consumo). Para cada situação, teremos uma MODALIDADE OPERACIONAL distinta e única.

CAPÍTULO 4 - ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA DE PROTEÇÃO BASEADO EM REGRAS

4.1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a definição sobre "o que fazer", em termos da solução adotada no desenvolvimento deste sistema de proteção.

Apresenta-se, inicialmente, os conceitos básicos da metodologia utilizada na análise deste problema, e, a seguir, a aplicação das técnicas estruturadas na solução adotada.

Este sistema de proteção foi desenvolvido utilizando metodologia estruturada: diagrama de fluxo de dados (DFD), dicionário de dados (DD), especificação de processos (EP), etc.

Durante seu desenvolvimento utilizou-se uma ferramenta CASE ("Computer-Aided Systems Engineering"), que significa Engenharia de Sistemas apoiada por Computador, com o objetivo de padronizar, agilizar e documentar esta fase de análise.

4.2 - TÉCNICAS ESTRUTURADAS [14]

As técnicas estruturadas representam uma busca de disciplina na análise e programação. Elas contribuíram bastante para a melhoria da qualidade dos programas e da previsibilidade do processo de análise e programação. As técnicas estruturadas não são estáticas, estão constantemente desenvolvendo-se. Provavelmente, nos próximos anos serão observadas grandes mudanças nas técnicas, mudanças que conduzirão a desenvolvimentos de aplicações mais automatizados e, conseqüentemente, mais rápidos.

4.2.1 - OBJETIVOS

Principais:

- Construir programas de alta qualidade que tenham comportamento previsível;
- Construir programas que sejam facilmente modificáveis (manuteníveis);
- Simplificar os programas e o seu processo de desenvolvimento;
- Conseguir maior previsibilidade e controle no processo de desenvolvimento;
- Acelerar o desenvolvimento de sistemas;
- Diminuir o custo do desenvolvimento de sistemas.

Secundários (desejáveis para realização dos objetivos principais):

- Decompor estruturas básicas e problemas complexos em estruturas sucessivamente mais simples;
- Conseguir simplicidade de projeto;
- Controlar a complexidade;
- Conseguir um conceito claro sobre sistemas e programas;
- Utilizar técnicas de diagramação que sejam tão claras quanto possível;
- Melhorar a legibilidade dos diagramas e códigos;
- Melhorar a comunicação com os usuários finais;
- Conseguir a unidade da arquitetura;
- Utilizar métodos coerentes e fáceis de serem ensinados;
- Utilizar um conjunto padrão de estruturas de controle que possa ser convertido em código, com o mínimo esforço;
- Conseguir uma comunicação precisa entre os membros de uma equipe de desenvolvimento;
- Minimizar o número de responsáveis pelo desenvolvimento em uma equipe, quando possível;
- Usar técnicas que funcionem bem, tanto para grandes sistemas como para pequenos;
- Minimizar os erros;
- Detectar os erros o mais cedo possível;
- Conseguir um projeto comprovadamente correto, quando possível;
- Conseguir interfaces precisas entre módulos desenvolvidos independentemente;
- Conseguir bibliotecas e blocos de construção sempre mais poderosos;
- Conseguir uma administração e análise de dados eficazes;
- Fornecer uma bancada de trabalho ("workbench") para o analista e para o programador, maximizando a ajuda dos computadores na consecução dos objetivos;
- Conseguir a máxima automação do projeto de sistema, com técnicas que possibilitem a geração automática de código.

4.2.2 - EVOLUÇÃO

As técnicas estruturadas evoluíram de uma metodologia de codificação (programação estruturada) para técnicas que incluem tanto metodologia de análise, projeto e teste como conceitos de gestão de projetos e ferramentas de documentação. Pretendia-se que as técnicas estruturadas fossem um passo para mudar a construção de "software" de uma arte manual para uma disciplina semelhante à engenharia. De certo modo, elas são mais uma atitude do que uma metodologia específica.

Estas técnicas assumiram uma importância mais fundamental com o advento das ferramentas CASE ("Computer-Aided Systems Engineering" - engenharia de sistemas apoiada por computadores). São essenciais para a obtenção de apoios automatizados para o projeto de sistema, verificação computadorizada do projeto e geração automática de código a partir do projeto.

As técnicas estruturadas foram introduzidas na comunidade acadêmica no fim da década de 60. Tornaram-se bem conhecidas na indústria no início da década de 70, após o trabalho de F. Terry e Harlan Mills, da IBM, especialmente no projeto do "New York Times". Desde então, tornaram-se bem populares e têm provocado um impacto profundo na arte de programar.

No fim da década de 70, as técnicas estruturadas evoluíram para um conjunto de tecnologias, abrangendo todo ciclo de vida do "software" como mostrado na figura 4.1. O ciclo de vida do "software" é um processo multifásico, consistindo em cinco fases seqüenciais básicas: análise, projeto, codificação, teste e manutenção.

As técnicas estruturadas aplicam-se tanto a questões técnicas como gerenciais. Abrangem desde estruturas básicas de linguagem de programação até procedimentos de resolução de problemas. A figura 4.2 apresenta a relação de algumas técnicas mais conhecidas e a seqüência cronológica de sua evolução.

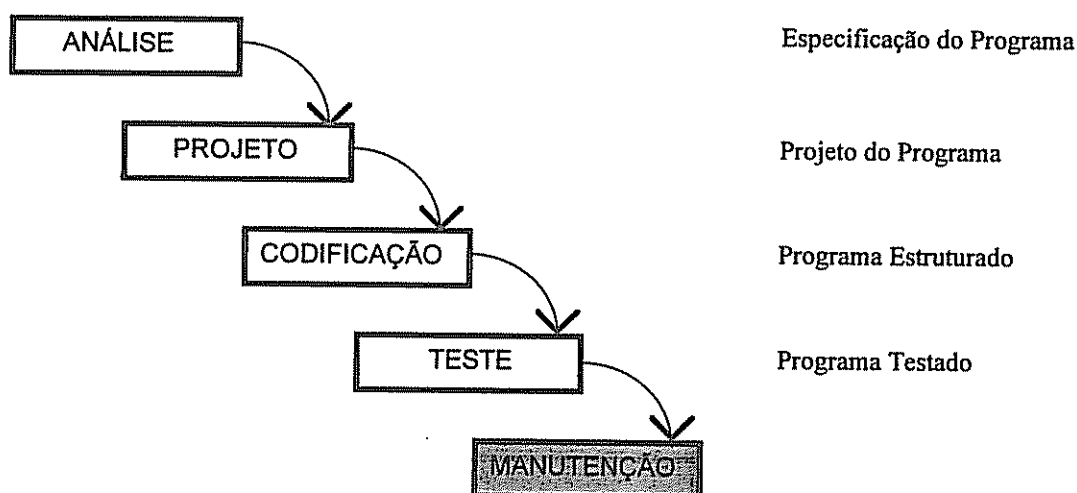


Figura 4.1 - O ciclo de vida do "software".

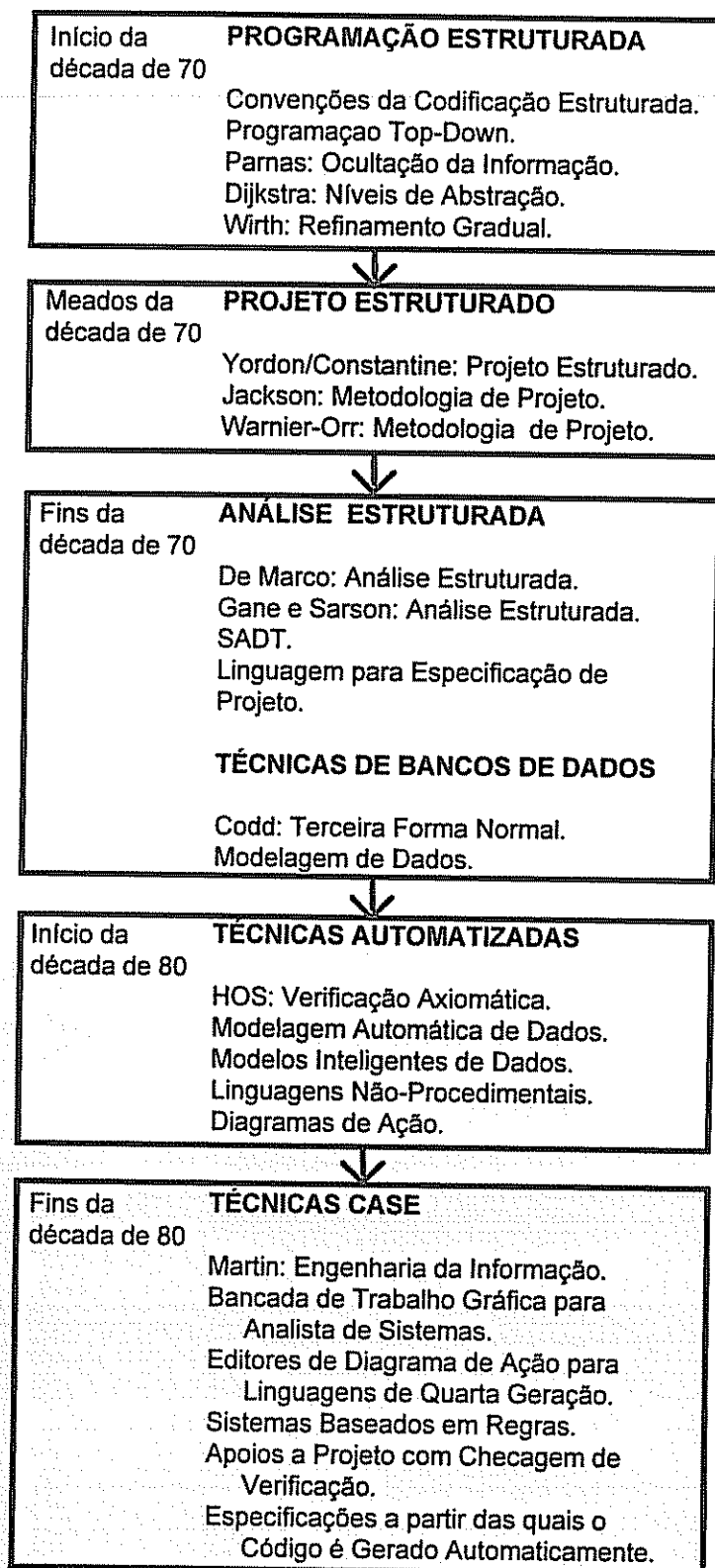


Figura 4.2 - Evolução das técnicas estruturadas rumo à tecnologia CASE .

4.3 - ANÁLISE ESTRUTURADA [14]

A análise é uma fase crítica no desenvolvimento de sistemas e programas de "software" porque afeta todas as fases de desenvolvimento seguintes. Ela é difícil por causa dos problemas de comunicação, das mudanças nos requisitos do sistema e das técnicas inadequadas de avaliação.

Não é fácil descrever os requisitos do sistema em uma forma precisa. A linguagem do usuário e a linguagem do responsável pelo desenvolvimento são tão diferentes que torna complicada uma comunicação eficaz. Embora esta seja raramente uma atitude realista, o responsável pelo desenvolvimento do sistema gostaria de congelar os requisitos e então construir um sistema que se adaptasse a eles. Os requisitos, no entanto, apresentam um alvo móvel que continua a modificar-se por todo o desenvolvimento do sistema e por todo o seu ciclo de vida.

A análise estruturada tem como objetivo resolver essas dificuldades fornecendo uma abordagem sistemática, etapa por etapa, para desenvolver a análise e produzir uma especificação de sistema nova e melhorada. Para conseguir este objetivo, a análise estruturada centraliza-se em uma comunicação clara e concisa.

Existem duas versões análogas de análise estruturada: De Marco e Yordon e Gane e Sarson [08]. Ambas representam uma disciplina estruturada fundamentada nos seguintes conceitos de estruturação:

- Organização "top-down", hierárquica;
- Dividir-para-conquistar;
- Ferramentas gráficas de comunicação/documentação.

A análise estruturada usa métodos de decomposição funcional, "top-down", para definir os requisitos do sistema. A especificação do sistema produzida pelo processo de análise estruturada é um modelo decomposto e "top-down" do sistema a ser construído. Devido à especificação ser um modelo gráfico conciso e de fácil compreensão, o usuário pode familiarizar-se bem com o sistema muito antes de sua implantação. Isto possibilita a descoberta de erros e interpretações falsas, o mais cedo possível, durante o processo de desenvolvimento. Como a especificação é dividida em partes menores, as mudanças nos requisitos que ocorrem durante o ciclo de vida são mais facilmente alternadas.

De Marco define a análise como "o processo de transformar um fluxo de informações sobre operações correntes e novos requisitos em algum tipo de descrição precisa do sistema a ser construído". Explica que a principal diferença entre a análise clássica e a análise estruturada é uma nova especificação de sistema, muito mais precisa e muito mais fácil de ser usada do que a especificação em forma narrativa, gigantesca, impossível de ser lida e produzida pelos métodos clássicos de análise.

A especificação do sistema produzida pelo processo de análise estruturada é chamada de *especificação estruturada* e tem as seguintes características:

- é gráfica - um modelo gráfico dos processos ou procedimentos do sistema;
- é decomposta - capaz de mostrar os componentes do sistema em diversos níveis de detalhes;
- é um modelo "top-down" hierárquico - desenvolvido pelo uso da decomposição funcional;
- é lógica - em contraposição ao modelo físico dos processos ou procedimentos do sistema.

A especificação estruturada é composta de diagramas de fluxo de dados, um dicionário de dados e especificação dos processos.

4.3.1 - DIAGRAMA DE FLUXO DE DADOS

Um diagrama de fluxo de dados é uma representação em rede dos processos (funções ou procedimentos) de um sistema e dos dados que ligam estes processos. Mostra o que um sistema/procedimento faz, mas não como faz. É a ferramenta principal de modelagem da análise estruturada e é usada para dividir o sistema em uma hierarquia de processos.

Os diagramas de fluxo de dados são constituídos de: entidades externas, processos, fluxos de dados e depósitos de dados, como mostra a figura 4.3.

A figura 4.4 é um exemplo de um diagrama de fluxo de dados. DETERMINAR MODALIDADE OPERACIONAL é um dos processos do sistema. Cada processo é representado por um círculo no diagrama. O nome do processo é escrito dentro do círculo. Setas são usadas para mostrar o movimento dos fluxos de dados pelos processos. O nome dos dados é escrito ao lado da seta. INFORMA QUEM PAROU é a saída do DETERMINAR TIPO DE OCORRÊNCIA e a entrada para MONITORAR E CONTROLAR OCORRÊNCIAS. As linhas retas (por exemplo, MODALIDADE OPERACIONAL) mostram depósitos de dados - os arquivos e bancos de dados usados pelo sistema.

Os diagramas de fluxo de dados podem ser usados em um modo "top-down" para mostrar os processos do sistema em detalhes cada vez maiores.

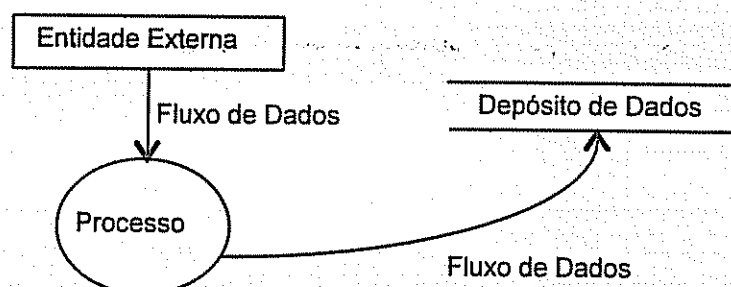


Figura 4.3 - Componentes de um diagrama de fluxo de dados.

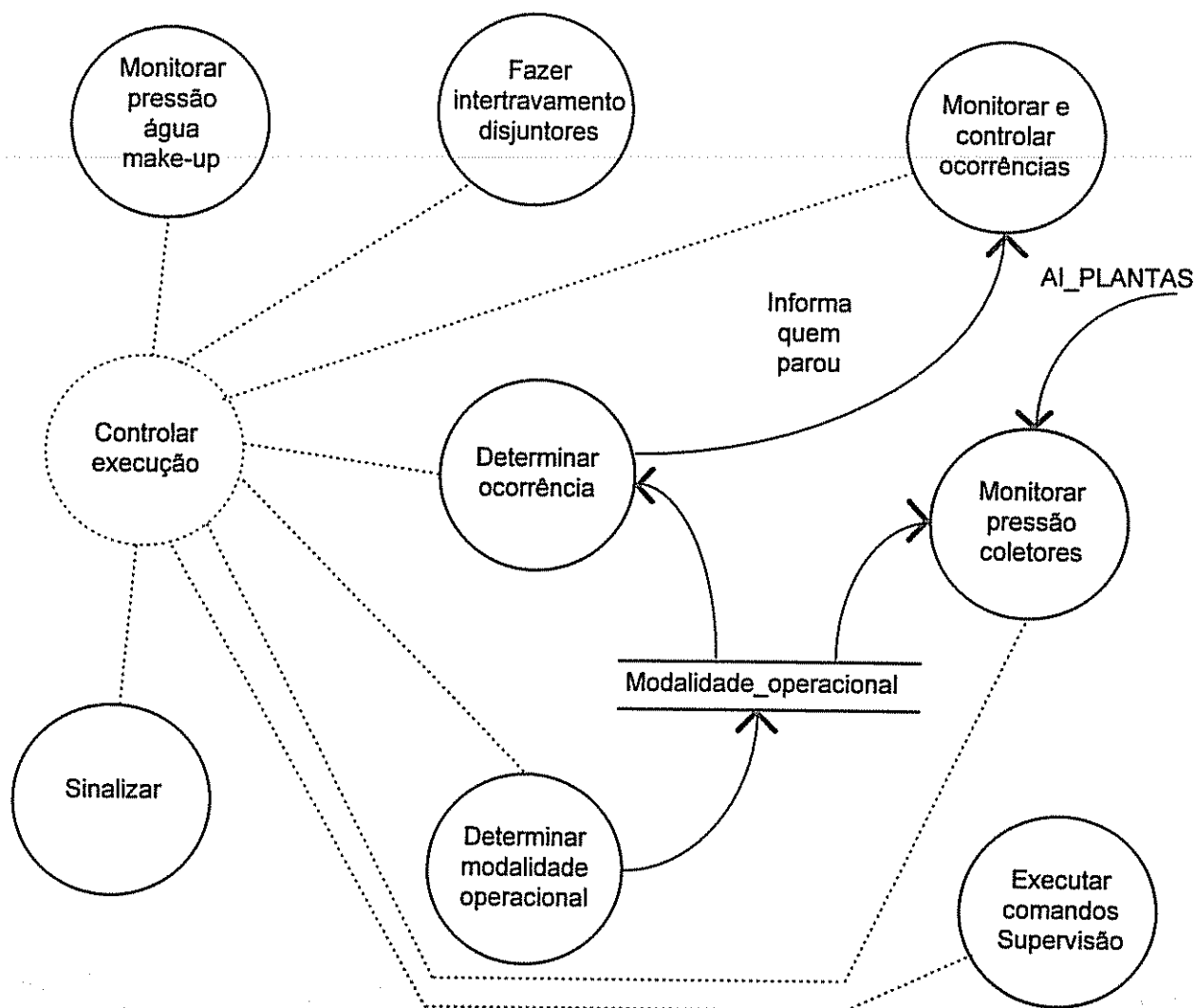


Figura 4.4 - Exemplo de um DFD do sistema de proteção.

4.3.2 - DICIONÁRIO DE DADOS

Os diagramas de fluxo de dados fornecem apenas uma descrição informal do sistema. O dicionário de dados é usado para acrescentar precisão à especificação. O dicionário de dados é um conjunto de definições formais de todos os dados que aparecem como fluxos ou depósitos de dados nos diagramas de fluxo de dados. A definição de cada item de dados consiste nos componentes de dados que compõem o item e nos relacionamentos entre eles. Ela é uma definição hierárquica que define os componentes e os sucessivos subcomponentes de cada item de dados. A hierarquia estará completa quando componentes do nível inferior forem definidos em termos de elementos de dados que não terão nenhum significado lógico se forem subdivididos ainda mais. Os relacionamentos de dados podem incluir:

E itens de dados conectados que devem ser usados juntos;

OU pelo menos um dos itens de dados conectados deve estar presente;
OPCIONAL um item de dados pode estar presente ou não;
ITERAÇÕES zero, um ou mais itens de dados conectados devem estar presentes.

A Figura 4.5 mostra um exemplo de uma entrada de dados no dicionário de dados do sistema de proteção. AI_PLANTAS, é uma estrutura de dados que chega ao processo MONITORAR PRESSÃO DOS COLETORES no diagrama de fluxo de dados mostrado na Figura 4.4.

```
AI_PLANTAS = AI_CALDEIRA_130.1  
             AI_CALDEIRA_130.2  
             AI_CALDEIRA_130.3  
             AI_SOPRADOR_4  
             AI_SOPRADOR_5  
             AI_TURBOGERADOR_1  
             AI_TURBOGERADOR_2  
             AI_COLETOR_1  
             AI_COLETOR_2  
             AI_BOMBAS_ALIMENTAÇÃO  
             AI_MAKE_UP
```

Figura 4.5 - Exemplo do dicionário de dados do sistema de proteção.

4.3.3 - ESPECIFICAÇÃO DOS PROCESSOS PRIMITIVOS

Uma especificação de processo, ou "*minispec*", descreve o que acontece dentro de um círculo do processo em um diagrama de fluxo de dados. Uma "*minispec*" ocupa normalmente cerca de uma página e explica como os dados de entrada são transformados em dados de saída. Uma "*minispec*" é escrita em português estruturado (pseudocódigo), ou através de uma tabela de decisão ou árvores de decisão.

4.3.3.1 - PORTUGUÊS ESTRUTURADO (PSEUDOCÓDIGO)

É possível escrever qualquer especificação lógica utilizando as quatro estruturas básicas: seqüência, decisão, caso e repetição. Quando a lógica é escrita com sentenças em português, utilizando as convenções de letra maiúscula e deslocamento vertical (identação), esta lógica é conhecida como *português estruturado*. Podemos resumir as convenções para português estruturado como se segue:

- a lógica de todos os processos num sistema é expressa como uma combinação de estruturas de seqüência, decisão, caso e repetição;
- as regras de português sem ambigüidade devem ser observadas;

- as palavras-chaves SE, ENTÃO, SENÃO, LOGO, REPETIR, e ATÉ devem ser escritas com letras maiúsculas e as estruturas devem ser deslocadas verticalmente (identação) para mostrar sua hierarquia lógica;
- blocos de instruções podem ser agrupados recebendo um nome significativo que descreva a função deles e que seja escrito também com letras maiúsculas;
- quando usarmos uma palavra ou frase que esteja definida em um dicionário de dados, a palavra ou frase deve ser sublinhada.

4.3.3.2 - TABELAS DE DECISÃO

Uma tabela de decisão é um modelo alternativo para uma função. Ela apresenta a função em forma tabular ou matricial; as colunas mais à esquerda da tabela especificam as variáveis ou condições a serem avaliadas, e as colunas mais à direita especificam a ação correspondente a ser executada quando um teste de avaliação é satisfeito. Uma linha na tabela é chamada de regra. Cada regra define um procedimento do tipo: se a condição for verdadeira, executar a ação correspondente. Se as decisões estão relacionadas com combinações complexas de condições, a tabela de decisão contribui significativamente para a clareza das idéias.

As Tabelas 4.1 e 4.2 ilustram o uso de tabela de decisão no desenvolvimento do sistema de proteção. Pode-se ver nas Tabelas 4.1 e 4.2 a representação dos principais processos primitivos deste sistema de proteção. Isto funciona como um sistema baseado em regras conforme veremos. No lado esquerdo da tabela têm-se as condições de C1 a C6 e no lado direito têm-se as ações que o sistema de proteção deve tomar em caso de ocorrências, de A1 a A15. A seguir, lista-se o significado de cada condição e ação:

- C1 - estado da caldeira 130.1 - 0=parada, 1=funcionando;
- C2 - estado da caldeira 130.2 - 0=parada, 1=funcionando;
- C3 - estado da caldeira 130.3 - 0=parada, 1=funcionando;
- C4 - estado do turbosoprador 4 ou 5 - 0=parado, 1=funcionando;
- C5 - estado do turbogerador p/ S/E alto forno - 0=parado, 1=funcionando;
- C6 - estado do turbogerador p/ S/E aciaria - 0=parado, 1=funcionando c/ carga total, 2=perdeu flutuação pelo fechamento da válvula de interligação do coletor ou condensado, 3=perdeu flutuação pela abertura do disjuntor 13B012;
- A1 - fechar válvula de vapor para processo número 3;
- A2 - fechar válvula de interligação dos coletores de vapor 1 e 2;
- A3 - fechar válvula de interligação do condensado;
- A4 - abrir válvula de água de alimentação da caldeira 130.1;
- A5 - abrir válvula de água de alimentação da caldeira 130.2;
- A6 - desligar uma bomba de água de alimentação da caldeira 130.3;
- A7 - reduzir combustível GAF na caldeira 130.1;
- A8 - reduzir combustível GAF na caldeira 130.2;
- A9 - reduzir combustível GAF na caldeira 130.3;
- A10 - desligar disjuntor 13B012 na S/E da aciaria;
- A11 - desligar disjuntor aciaria;

- A12 - desligar disjuntor alto forno;
- A13 - reduzir produção nas caldeira 45.1 e/ou 45.2;
- A14 - sinalizar ocorrência na sala de operação das caldeiras e turbogeradores;
- A15 - parar turbosoprador em funcionamento (TS4 ou TS5).

Cada regra é composta por um conjunto de condições (antecedentes) e por um conjunto de ações (conseqüentes), **SE** (C1 E C2 E C3 E C4 E C5 E C6) **ENTÃO** (A1 E A2 E ... A15). É importante observar que o conseqüente da regra é formado por aquelas ações que estão assinaladas na tabela para uma dada condição.

Exemplo: modalidade 1.

SE	parou caldeira 130.2
ENTÃO	fechar válvula de vapor para processo número 3
	fechar válvula de interligação dos coletores 1 e 2
	fechar válvula de interligação do condensado
	desligar disjuntor 13B012 na S/E da aciaria
	sinalizar ocorrência na sala de operação das caldeiras e turbogeradores

MODALIDADE OPERACIONAL 1																				
CONDIÇÕES						AÇÕES														
C1	C2	C3	C4	C5	C6	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15
0	0	0	0	0	0															
0	0	0	0	0	1															
0	0	0	0	0	2															
0	0	0	0	0	3															
0	0	0	0	1	0															
0	0	0	0	1	1															
0	0	0	0	1	2															
0	0	0	0	1	3															
0	0	0	1	0	0															
0	0	0	1	0	1															
0	0	0	1	0	2															
0	0	0	1	0	3															
0	0	0	1	1	0															
0	0	0	1	1	1															
0	0	0	1	1	2															
0	0	0	1	1	3															
0	0	1	0	0	0						X			X					X	
0	0	1	0	0	1	X					X			X					X	
0	0	1	0	0	2	X	X	X			X			X					X	
0	0	1	0	0	3						X			X	X				X	
0	0	1	0	1	0	X					X			X					X	
0	0	1	0	1	1	X					X			X		X			X	
0	0	1	0	1	2	X	X	X							X				X	
0	0	1	0	1	3															
0	0	1	1	0	0						X			X					X	X
0	0	1	1	0	1	X					X			X					X	X
0	0	1	1	0	2	X	X	X			X			X					X	X
0	0	1	1	0	3						X			X	X				X	X
0	0	1	1	1	0	X					X			X		X			X	X
0	0	1	1	1	1	X	X	X			X					X			X	X
0	0	1	1	1	2	X	X	X			X				X				X	X
0	0	1	1	1	3															
0	1	0	0	0	0		X	X			X			X					X	
0	1	0	0	0	1	X					X								X	
0	1	0	0	0	2								X			X			X	
0	1	0	0	0	3															
0	1	0	0	1	0	X					X								X	
0	1	0	0	1	1	X					X					X			X	
0	1	0	0	1	2		X	X			X			X		X	X		X	
0	1	0	0	1	3															
0	1	0	1	0	0	X	X	X		X	X								X	
0	1	0	1	0	1	X	X	X		X	X				X				X	
0	1	0	1	0	2	X	X	X		X	X				X				X	
0	1	0	1	0	3															
0	1	0	1	1	0	X	X	X		X	X								X	
0	1	0	1	1	1	X	X	X		X	X						X		X	
0	1	0	1	1	2	X	X	X		X	X				X	X			X	
0	1	0	1	1	3															
0	1	1	0	0	0						X		X	X				2	X	
0	1	1	0	0	1						X		X						X	
0	1	1	0	0	2		X	X			X		X	X					X	
0	1	1	0	0	3						X		X	X	X			1	X	
0	1	1	0	1	0						X		X	X					X	
0	1	1	0	1	1														X	
0	1	1	0	1	2		X	X					X		X				X	
0	1	1	0	1	3			X	X				X		X				X	
0	1	1	1	0	0	X	X	X		X	X			X				1	X	
0	1	1	1	0	1	X	X	X		X	X			X					X	
0	1	1	1	0	2	X	X	X		X	X			X					X	
0	1	1	1	0	3	X	X	X		X	X			X	X			1	X	
0	1	1	1	1	0	X	X	X		X	X			X					X	

- "Flash" EPROM e RAM

A unidade central de processamento (UCP) AL-2002/MSP utiliza memórias não voláteis "Flash" EPROM para armazenamento de programas aplicativos. A memória "Flash" EPROM é gravada "on board", não sendo necessário retirá-la da UCP para realizar uma regravação.

Os operandos do programa aplicativo podem ser retentivos, mantendo seus valores mesmo com o sistema desenergizado. Para isto, são utilizadas memórias RAM com alimentação por bateria de lítio.

- Troca a Quente

O CP AL-2002 permite a troca a quente de módulos de E/S.

Alguns módulos da série AL-3000, desenvolvidos para trabalhar com o AL-2002, podem ser substituídos, individualmente, sem a necessidade de descontinuar o controle. Os módulos da série AL-1000, quando utilizados com o CP AL-2002, são distribuídos em até 8 barramentos e podem ser substituídos desativando-se apenas um único, permanecendo os demais ativos, permitindo a troca de módulos com o CP em execução de programa aplicativo.

- Módulos Coprocessadores

A UCP AL-2002/MSP pode trabalhar em conjunto com módulos coprocessadores, permitindo uma maior flexibilidade do sistema.

Alguns exemplos destes módulos são o coprocessador Z80 AL-3400, que possibilita conexão de diversos equipamentos com canal serial ao CP, e a interface Ethernet AL-3405, que possibilita a conexão do CP a sistemas abertos.

- Relógio de Tempo Real

A UCP AL-2002/MSP possui relógio de tempo real integrado oferecendo um calendário completo, possibilitando a programação do disparo de processos em horários pré-estabelecidos.

- Sincronismo de UCP's

Os CP's AL-2002 podem trabalhar com seus relógios sincronizados, permitindo a aquisição de eventos de forma distribuída com precisão de 1 ms.

- Rede de comunicação ALNET I

A ALNET I é uma rede de comunicação mestre-escravo, com transmissão serial de dados e topologia barramento, especificada para ambientes de supervisão industrial. O protocolo utilizado nesta rede é definido pela norma técnica ALTUS NT-031. Os CP's AL-600, AL-2000, AL-2002 e AL-3000 podem trabalhar em uma mesma rede ALNET I.

- Rede de comunicação ALNET II

A rede ALNET II é muti-mestre, de alta velocidade, com transmissão serial de dados e topologia de barramento. A disciplina de acesso ao meio é CSMA/CD com "backoff" determinístico. A interface elétrica utilizada é EIA RS-485 e o protocolo de enlace é IEEE 802.2. Os CP's AL-2000 e AL-2002 podem trabalhar em uma mesma rede ALNET II.

5.3 - IMPLEMENTAÇÃO DA ESTAÇÃO DE SUPERVISÃO E OPERAÇÃO

Para implementação da estação de supervisão optou-se pela seguinte configuração de "hardware" e "software":

- processador 486 DX2, 66 MHz;
- 16 MBytes de memória principal;
- 2 canais seriais e um paralelo;
- 2 "drives" para disquetes de 3,5 e 5,25 polegadas;
- disco rígido de 120 MBytes;
- vídeo colorido de 19 polegadas no padrão VGA;
- impressora matricial Emília PS;
- sistema operacional OS/2 v2.0 - IBM;
- "software" supervisorio "Factory Link IV" v4.1.3 - USDATA (USA);
- protocolo de comunicação TCP/IP - 3COM.

Definiu-se pela aquisição do "software" supervisorio "Factory Link" pela sua versatilidade de rodar em múltiplas plataformas e facilidades de migração de aplicação entre plataformas. O sistema operacional OS/2 apresentava características superiores aos demais sistemas operacionais para microcomputador conforme veremos a seguir.

5.3.1 - SISTEMA OPERACIONAL OS/2 VERSÃO 2.0

A escolha deste produto IBM deu-se em função de sua disponibilidade imediata e peculiaridades com relação a outros disponíveis no mercado. As tabelas 5.1 e 5.2 apresentam as principais características e recursos deste "software".

Principais Características do OS/2	
Memória endereçável	48 MB de memória EMS/XMS por aplicação; até 512 MB por aplicação escrita para a especificação da interface em modo protegido do DOS (DOS "Protect Mode Interface" - DPML).
Endereçamento	32 bits.
Processamento multitarefa ("preemptive multitasking")	Processamento simultâneo de várias aplicações DOS, Windows e OS/2; movimentação rápida e fácil entre as aplicações; proteção entre aplicações.
Recursos de fácil utilização	Interface icônica, curso de aprendizagem on-line, auxílio ("Help") contextual, instalação gráfica.
Miniaplicações integradas	Miniaplicações de produtividade e lazer prontas para serem usadas.
Linguagens suportadas	- Já existentes: IBM COBOL/2, FORTRAN/2, C/2, "PASCAL Compiler/2", "Basic Compiler/2". - Novas de 32 bits: "C Set/2".
Sistemas suportados	Unidades de sistema PS/2 IBM e outros computadores pessoais que possuam: - Microprocessador i386 SX ou mais poderoso; - Mínimo de 4 MB de memória; - Disco rígido de 40 MB ou superior, com 15 MB-30 MB disponíveis para o OS/2 2.0.
Opções extras	"IBM Extend Services" para OS/2 - inclui suporte flexível e extensivo aos bancos de dados e ao sistema de comunicação. "IBM Distributed Database Connection Services/2" - equipa a estação de trabalho OS/2 para que funcione como uma passagem entre um banco de dados e um sistema principal. "OS/2 LAN Server", Versão 2.0 - fornece compartilhamento de recursos sem causar problemas na rede LAN. "IBM Print Services Facility/2" - fornece capacidade para imprimir dados do sistema central e estação de trabalho em impressoras conectadas à rede LAN.
Garantia	Três meses.
Suporte	Serviço gratuito durante 24 meses após disponibilidade no país.

Tabela 5.1 - Principais características do sistema operacional OS/2.

RECURSOS	VANTAGENS
Ambiente "Shell" (Interface com o usuário baseada em objetos)	• Oferece recursos "arraste e solte" para manuseio de ícones que são fáceis de utilizar e consistentes em todo o sistema operacional. • Fornece uma abordagem única que facilita o gerenciamento de impressoras, unidades de disco, arquivos e programas. • Permite o gerenciamento de vários recursos e aplicações do sistema ao mesmo tempo. • Permite que recursos de rede como, por exemplo, pastas e impressoras, sejam acessadas como objetos em seu "desktop". • Possibilita a manipulação e integração de arquivos separadamente da hierarquia de diretório de arquivos; também fornece acesso a várias árvores de diretórios. • Inclui um Índice-mestre com os procedimentos e conceitos do sistema operacional. • Aumenta a produtividade do usuário com experiência em computadores; reduz a necessidade de treinamento para novatos.
Suporte a aplicações DOS	• Executa várias aplicações DOS com mais memória disponível para cada uma. • Permite que janelas sejam abertas em aplicações DOS. • Permite "cortar e copiar" nas aplicações DOS.
Suporte a aplicações Windows	• Executa a maioria das aplicações Windows 2.X e 3.0 sem necessidade de alterações. • Permite que se execute simultaneamente várias aplicações Windows no "desktop". • Permite uma maior integridade do sistema.
Suporte a aplicações OS/2	• Executa aplicações OS/2 de 16 e 32 bits.
Processamento multitarefa ("Preemptive multitasking")	• Permite a execução simultânea de múltiplas aplicações - incluindo aplicações DOS, Windows e OS/2 de 16 e 32 bits. • Permite aos usuários realizar um novo processo, enquanto o sistema conclui o anterior. • Aumenta a confiabilidade na comunicação simultânea e paralela em alta velocidade.
Transações ("Multithreading")	• Permite concluir muitas transações de um mesmo processo simultaneamente.
Proteção das aplicações	• Aprimora a integridade do sistema, isolando as aplicações uma das outras e do OS/2, o que reduz a probabilidade de qualquer das aplicações travar o sistema. • Fornece um ambiente estável para as aplicações DOS e Windows, permitindo a permuta de dados entre elas e com as aplicações baseadas no OS/2. • Elimina a necessidade de reiniciar, reconectar ou reconfigurar o computador novamente, caso ocorra uma falha em uma determinada aplicação.
Endereçamento de 32 bits	• Permite que se possa tirar o máximo proveito da atual tecnologia em microprocessamento - processadores i386 SX e mais poderosos. • Proporciona uma plataforma estável para desenvolvimento de aplicações avançadas, especialmente as que envolvem vídeo "full-motion", som digital, e reconhecimento de voz e escrita. • Oferece um modo de dobrar o desempenho das funções de nível baixo, tais como manipulação de cadeias, aritmética inteira de 32-bits, movimentação de dados e operações com indicadores.
Avançada tecnologia de memória	• Reconhece e utiliza toda a memória disponível. • Abre caminhos para o uso melhorado da memória virtual - limitado apenas pelo espaço disponível em disco.

	• Põe fim aos problemas causados por memória segmentada, gerenciando a memória em uma unidade de qualquer tamanho.
"Design" aprimorado de sistema de arquivos	• Possibilita a fácil instalação de sistemas de arquivos. • Simplifica a compatibilidade com novos meios de armazenamento (como CD-ROM) que necessitem de funções especializadas. • Oferece estratégias avançadas de transporte de arquivos para disco, reduzindo a fragmentação e aumentando o desempenho. • Utiliza os recursos SCSI de desempenho de "hardware". • Ativa um sofisticado sistema de cache para leitura e gravação. • Inclui suporte para discos de maior capacidade, para arquivos com nomes extensos e para sistemas de arquivos FAT.
Miniaplicações integradas	• Inclui aplicações simples de produtividade, jogos e utilitários que auxiliam os usuários a aprender a lidar com o sistema e a começar a trabalhar sem demora.

Tabela 5.2 - Principais recursos do sistema operacional OS/2.

5.3.2 - "SOFTWARE" SUPERVISÓRIO "FACTORY LINK IV" VERSÃO 4.1.3

"Factory Link" é uma família de programas habilitadores de aplicações, desenvolvidos pela USDATA e outros, que são configurados pelo usuário sem programação, para realizar uma ampla variedade de funções distribuídas em tempo real em ambiente de manufatura e processo.

As aplicações rodam nas seguintes plataformas: DOS/DESQView, OS/2, OS/2 com "Distributed Automation Edition", VMS e UNIX.

É designado para aplicações "stand-alone" e distribuídas. Em aplicações distribuídas, roda em diferentes plataformas, trocando dados e interagindo usando comunicação "peer-to-peer" em tempo real, através de redes de comunicação industriais padronizadas, como mostra a Figura 5.2.

As aplicações usam variáveis ("tags") globais para interagirem em tempo real através da sua arquitetura: "Open software Bus", figura 5.3. Esta arquitetura favorece o aumento de velocidade e melhora a performance deste "software".

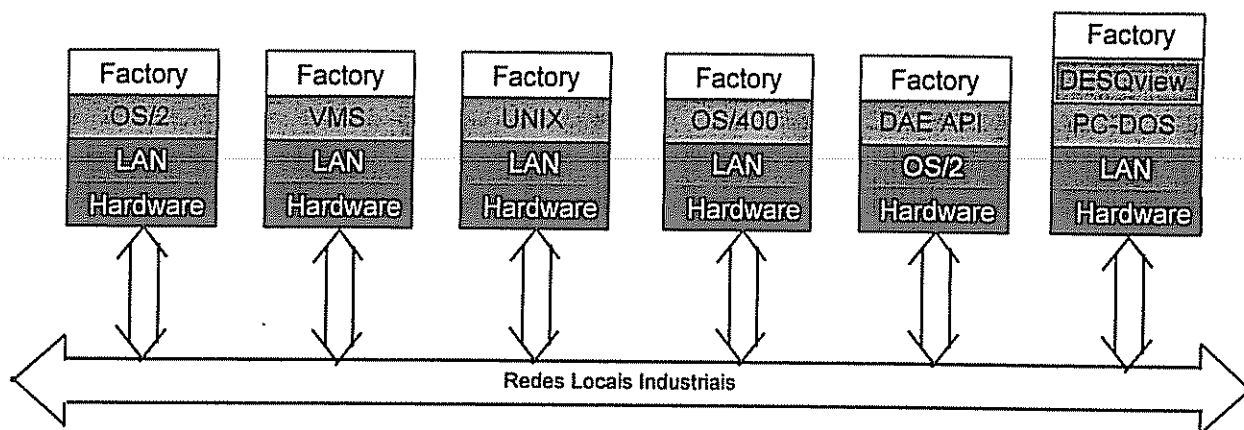


Figura 5.2 - Aplicações distribuídas em diferentes plataformas.

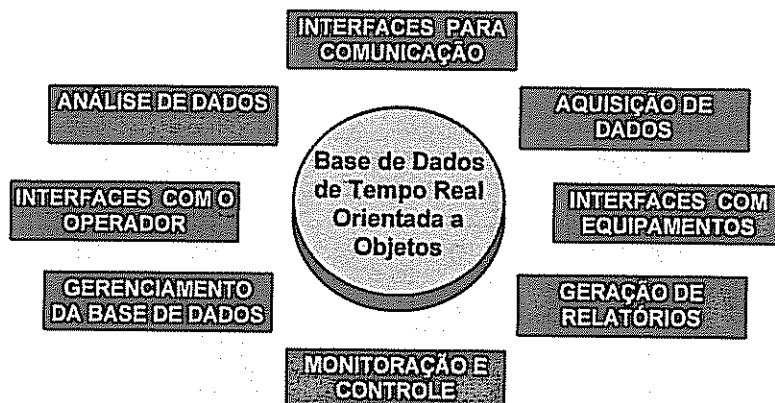


Figura 5.3 - Arquitetura do "Factory Link".

5.3.2.1 - FUNÇÕES DO "FACTORY LINK"

- Gráficos coloridos e interativos.
- Editor gráfico e de animações.
- Gerador de eventos temporais e de intervalos de tempo.
- Funções matemáticas e lógicas.
- Funções de receitas.
- Tendência histórica e de tempo real.
- Monitoração de alarmes, supervisão e arquivamento.
- Geração de relatórios em tempo real.
- Controle estatístico de processo "on-line".
- Interação entre dados de tempo real e dados históricos.
- Interação com planilha eletrônica.
- Interfaces com CLP's, remotas e outros equipamentos.

- Interação com programas desenvolvidos por terceiros usando o "Programmer's Access Kit".
- Redes locais de tempo real.
- "Kit" para desenvolvimento de novas funções.

5.3.2.2 - CONFIGURAÇÃO, TESTES "OFF-LINE" E "ON-LINE"

O "Factory Link" é constituído de duas partes: Desenvolvimento ("development") e Execução ("run-time"). A implementação da aplicação é feita no modo *desenvolvimento*, enquanto que o acompanhamento do que foi configurado é realizado no modo *execução*.

Durante a implementação da estação de supervisão, foi montada uma bancada de desenvolvimento e testes "off-line".

Na fase de implantação, toda aplicação desenvolvida foi submetida a teste "on-line", ou seja, com a planta em funcionamento.

5.4 - IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE

A implementação do sistema de proteção baseou-se efetivamente na documentação gerada na fase de análise do sistema. Cada processo primitivo descrito na forma de pseudocódigo ou tabela de decisão foi transcrito em um programa. A linguagem de programação utilizada é a linguagem de relés ("ladder") e blocos de função do controlador programável.

5.4.1 - CARACTERÍSTICAS DO "SOFTWARE" UTILIZADO PARA PROGRAMAÇÃO DO CONTROLADOR PROGRAMÁVEL [02]

O controlador programável é um equipamento que realiza controle, sob o comando de um programa aplicativo escrito em linguagem de relés e blocos. Compõe-se de uma unidade central de processamento (UCP), fonte de alimentação e estrutura de E/S.

Um microcomputador é conectado, temporariamente, ao controlador programável ou roteador com o propósito de, através do "software" *programador*, enviar o programa aplicativo ou módulo de configuração construído.

O "software" *programador* de controladores programáveis AL-3830 é executável em microcomputador padrão IBM-PC executando MS-DOS versão 3.00 ou posterior. Possui um ambiente com funções integradas, contendo todas as ferramentas necessárias à programação, visualização, impressão, gravação e modificação em

tempo real dos programas aplicativos desenvolvidos para controladores programáveis das séries AL-2000, AL-3000 e AL-600, bem como, a edição do módulo de configuração de rede dos dispositivos roteadores.

Utiliza-se o AL-3830 para verificar programas já enviados, modificar programas prontos ou para examinar o estado dinâmico das variáveis do sistema de controle. É possível acompanhar todos os passos do programa aplicativo em tempo real, forçando a ocorrência de ações específicas.

5.4.2. - PROGRAMAS DO EQUIPAMENTO ATIVO [31]

A seguir, é apresentado a lista de programas e procedimentos desenvolvidos para o controlador programável que permanece no modo ativo:

- E-C130PR.000 - inicializa tabelas e parâmetros;
- E-C130PR.001 - verifica necessidade e faz chamada a procedimento;
- P-EAPR.000 - lê entradas analógicas;
- P-TRDP.001 - realiza algoritmo de redundância;
- P-DTMP.002 - determina modalidade operacional;
- P-DTOP.003 - determina ocorrência;
- P-LEED.004 - organiza as entradas do processo em uma única tabela;
- P-SINL.005 - verifica e sinaliza condição anormal;
- P-MAKE.006 - controla abertura da válvula de "make-up";
- P-TROP.007 - identifica a ocorrência e verifica a ação a ser tomada;
- P-TCSP.009 - trata comandos da estação de supervisão e operação;
- P-INTR.010 - realiza intertravamento dos disjuntores da termoeletrica;
- P-MR1P.020 - retira alarme dos queimadores de GAF da caldeira 130 t/h nº 1 que não apagou;
- P-MR2P.021 - retira alarme dos queimadores de GAF da caldeira 130 t/h nº 2 que não apagou;
- P-MR3P.022 - retira alarme dos queimadores de GAF da caldeira 130 t/h nº 3 que não apagou;
- P-MQ1P.023 - retira o número de queimadores calculados e monitora a sua saída para caldeira de 130 t/h nº 1;
- P-MQ2P.024 - retira o número de queimadores calculados e monitora a sua saída para caldeira 130 t/h nº 2;
- P-MQ3P.025 - retira o número de queimadores calculados e monitora a sua saída para caldeira 130 t/h nº 3;
- P-MPCP.026 - monitora pressão nos coletores de números 1 e 2;
- P-MANP.027 - monitora ações não efetivadas até normalização;
- P-MEAP.028 - monitora a efetivação das ações tomadas;
- P-TDAP.029 - executa as atuações da tabela;
- P-BAL3.030 - informa qual a bomba de alimentação a ser desligada;
- P-RC1P.031 - identifica o nível de rejeição e calcula o número de queimadores a serem retirados da caldeira 130 t/h nº 1;

- P-RC2P.032 - identifica o nível de rejeição e calcula o número de queimadores a serem retirados da caldeira 130 t/h nº 2;
- P-RC3P.033 - identifica o nível de rejeição e calcula o número de queimadores a serem retirados da caldeira 130 t/h nº 3;
- P-RC45P.034 - solicita redução nas caldeiras de 45 t/h.

Na Figura 5.4, é apresentado o diagrama de transição de estados do sistema de proteção, enquanto que, nos fluxogramas 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4, são mostrados, respectivamente, o programa principal, o procedimento que determina as ocorrências do sistema de vapor, o procedimento de redução de combustível nas caldeiras 130.1 e 130.2 e o procedimento de redução de combustível na caldeira 130.3.

Esta aplicação é constituída pelo programa principal que faz chamadas a procedimentos e funções.

5.4.3 - PROGRAMAS DO EQUIPAMENTO "HOT STAND BY" [31]

A lista de programas desenvolvida para o equipamento que permanece em modo "hot stand by" é a mesma que aquela do equipamento em modo ativo; o que muda é a implementação de alguns programas.

5.4.4 - TESTES "OFF-LINE" E "ON-LINE"

Durante a implementação do "software" de controle, foi montada uma bancada de desenvolvimento e testes "off-line".

Na fase de implantação, toda aplicação desenvolvida foi submetida a teste on-line, ou seja, com a planta em funcionamento.

5.5 - IMPLANTAÇÃO E ACOMPANHAMENTO

Este sistema de proteção foi implantado na Usiminas em março de 1994, a partir de quando iniciou-se a fase de acompanhamento do mesmo.

A fase de implantação foi relativamente tranqüila, dado que, a maioria dos problemas foram resolvidos na fase de desenvolvimento e testes "off-line".

A fase de acompanhamento está servindo para avaliarmos as ocorrências e respectivas atuações. Alguns ajustes estão sendo realizados nesta fase.

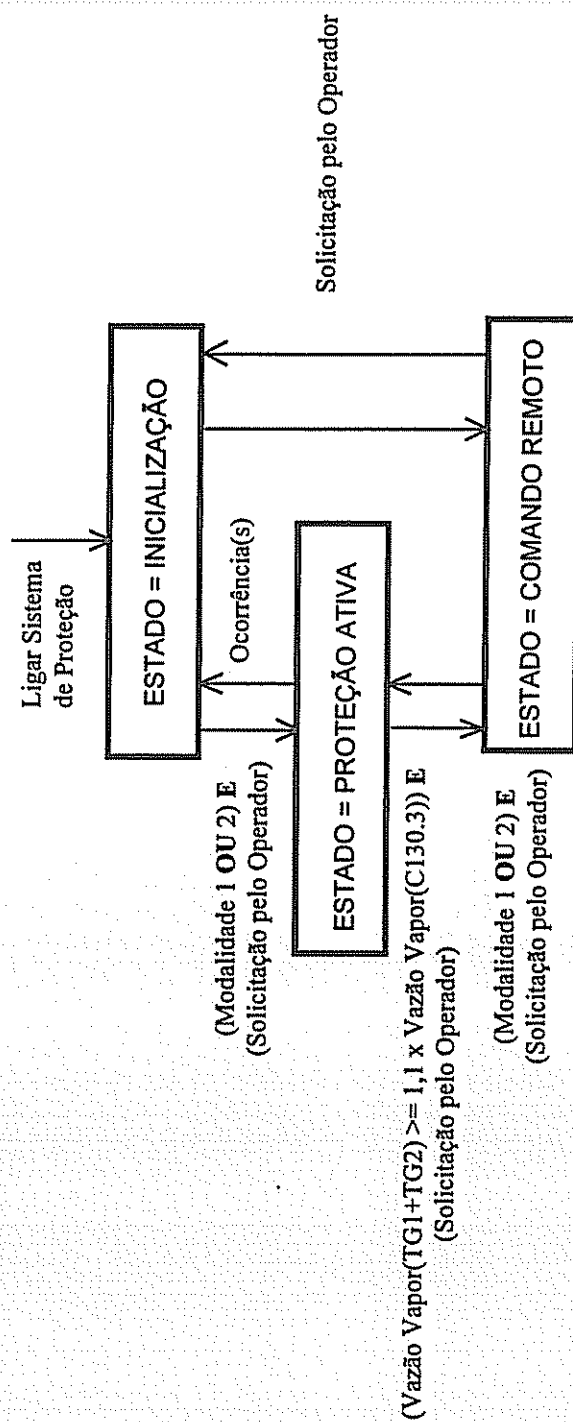
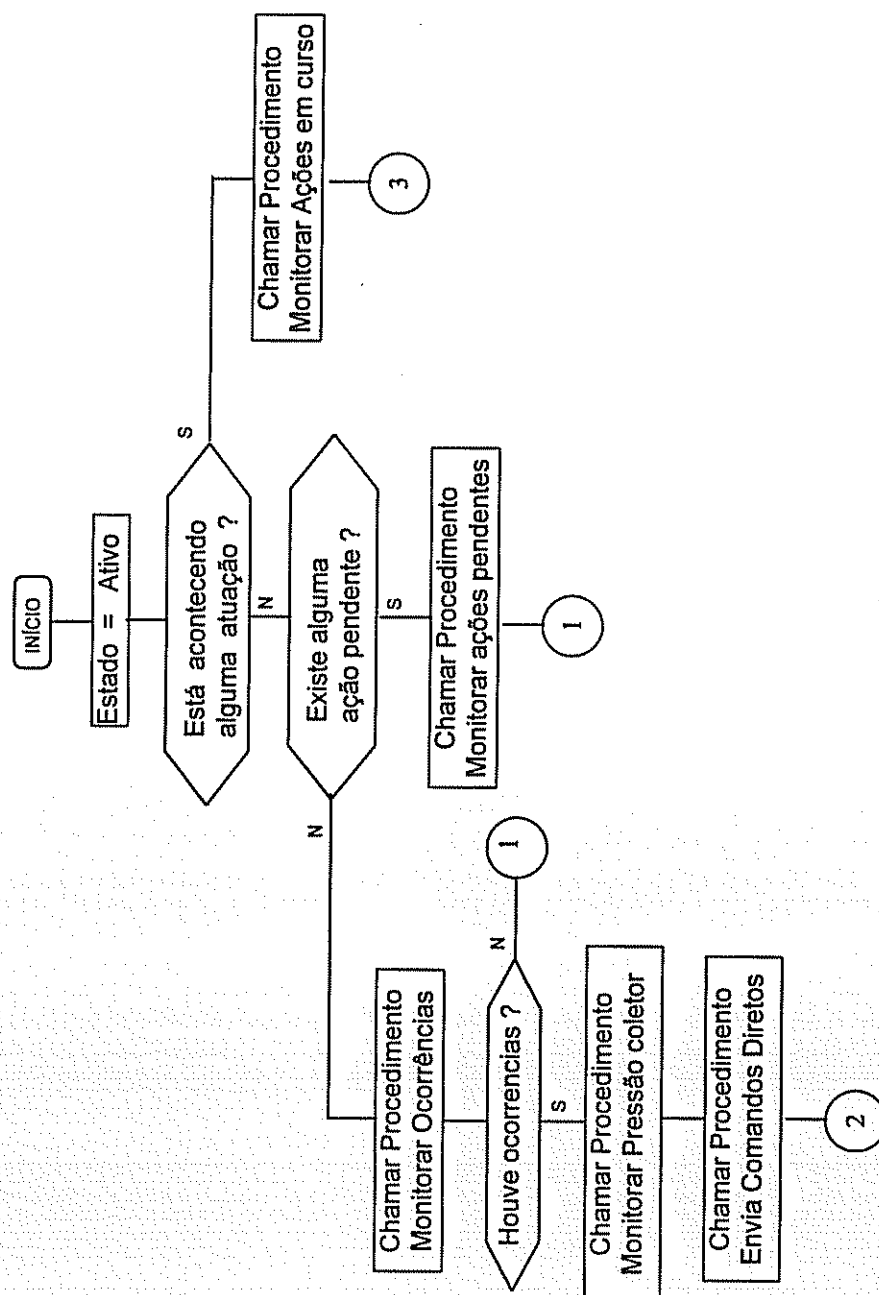
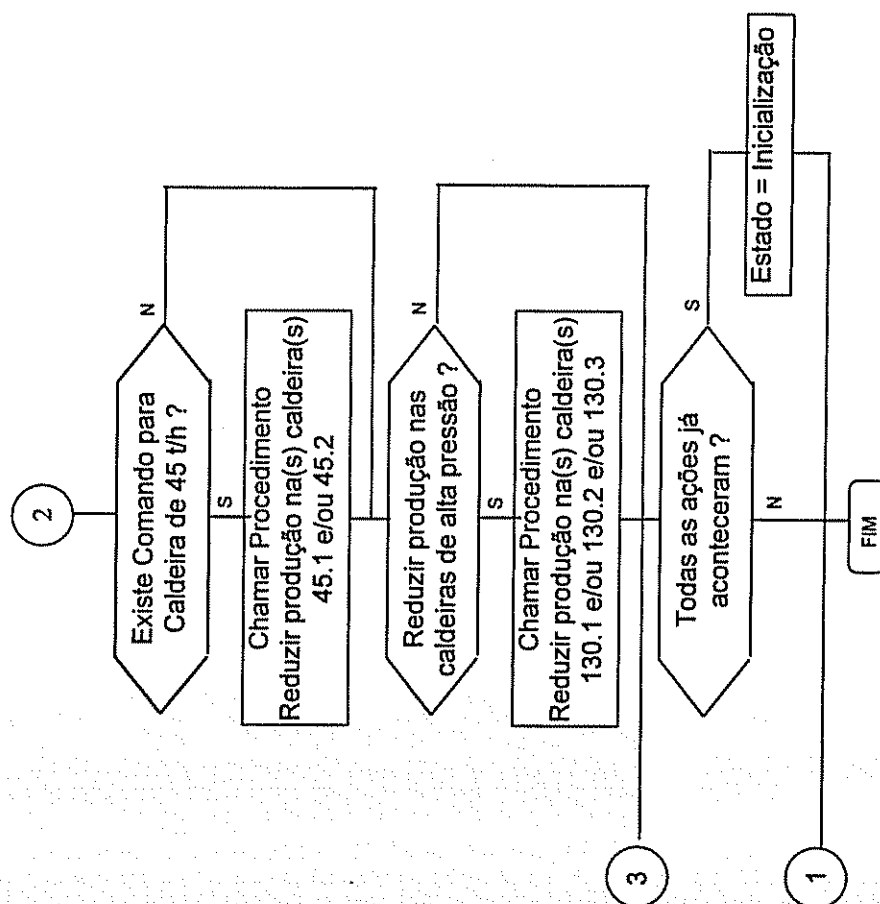


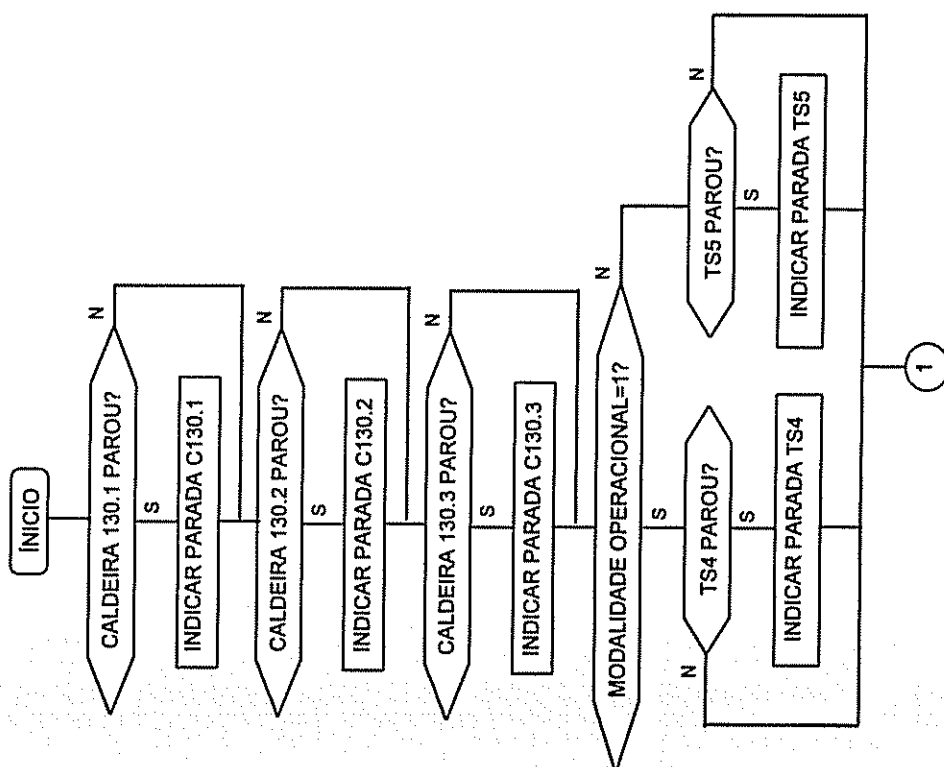
Figura 5.4 - Diagrama de transição de estados do sistema de proteção.



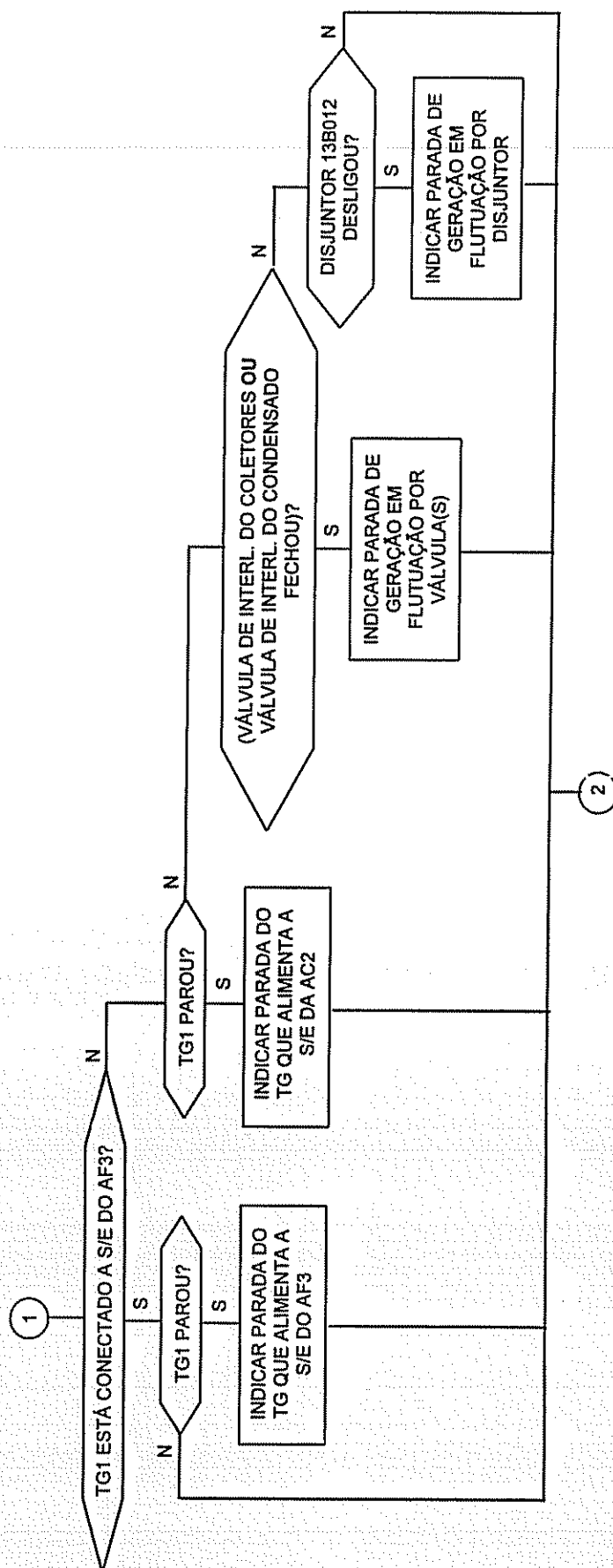
Fluxograma 5.1 - Programa principal do sistema de proteção.



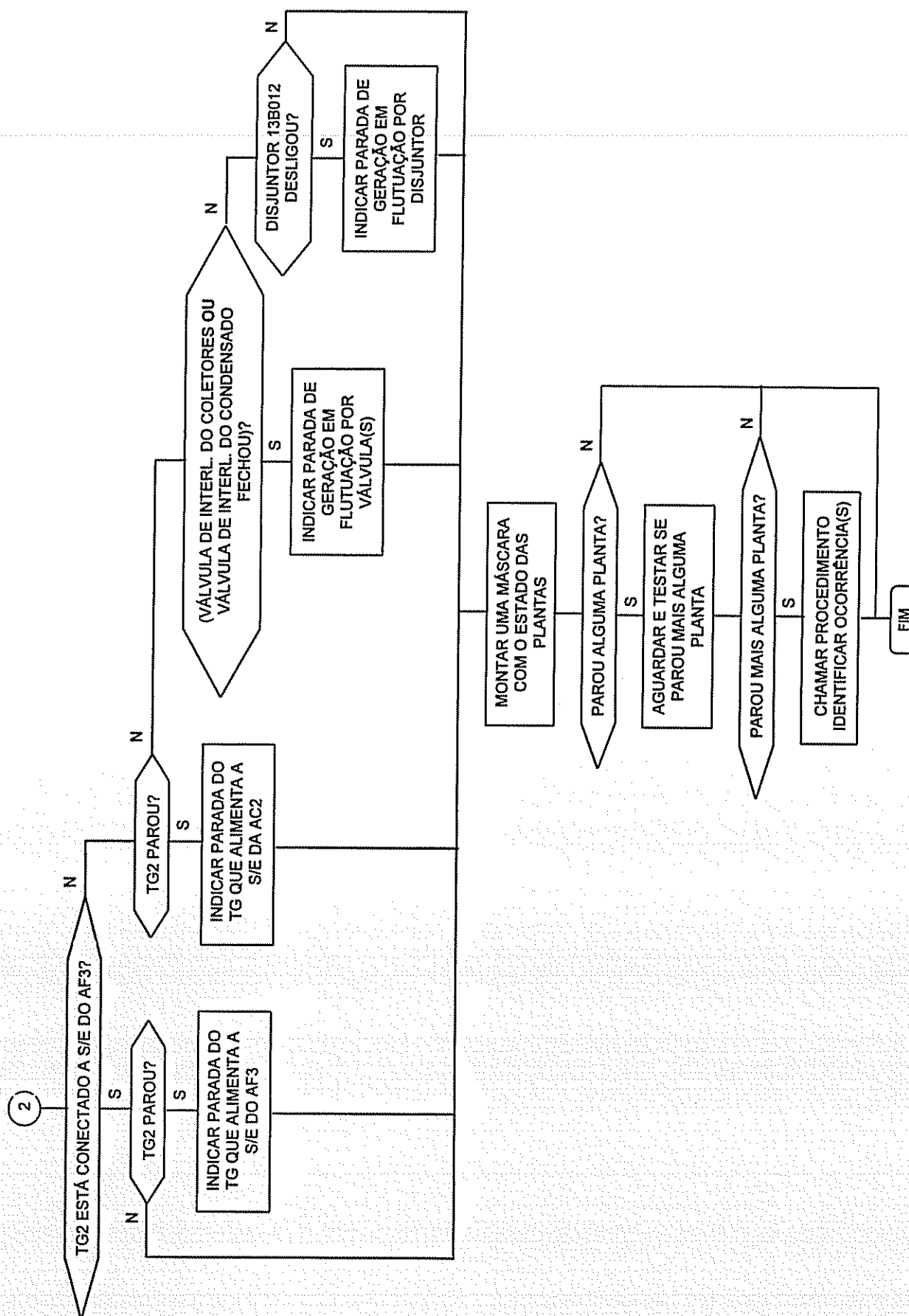
Fluxograma 5.1 - Programa principal do sistema de proteção.



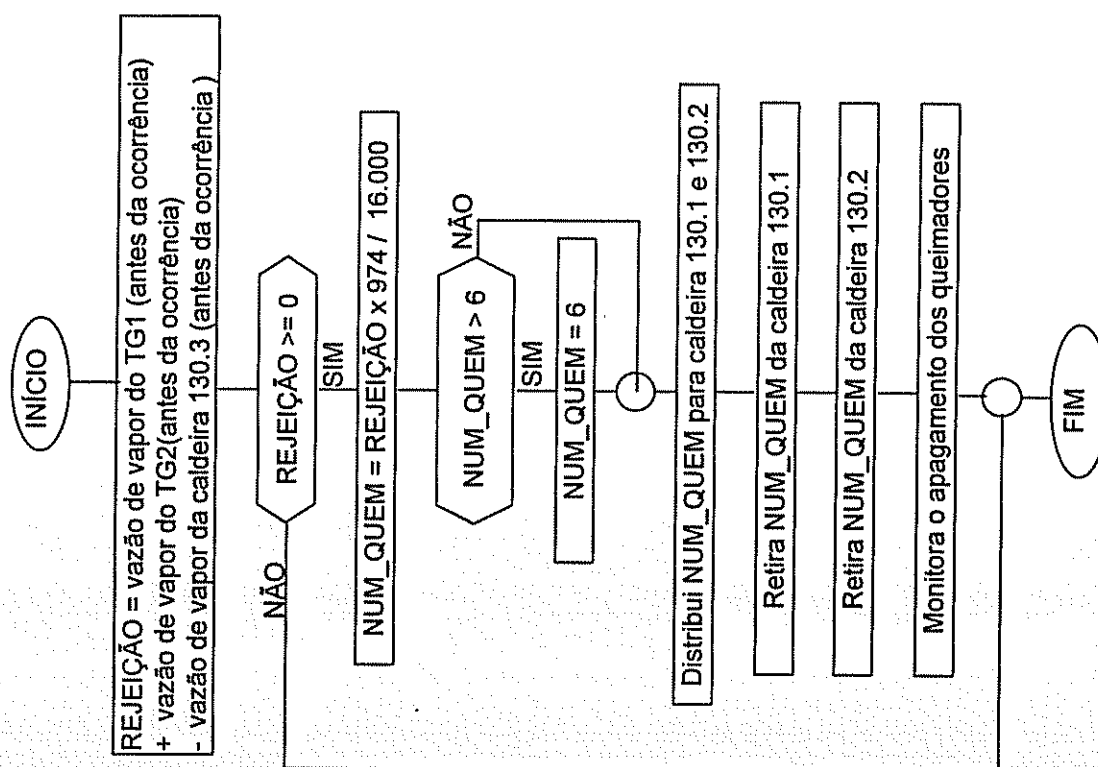
Fluxograma 5.2 - Procedimento determinar ocorrências do sistema de proteção.



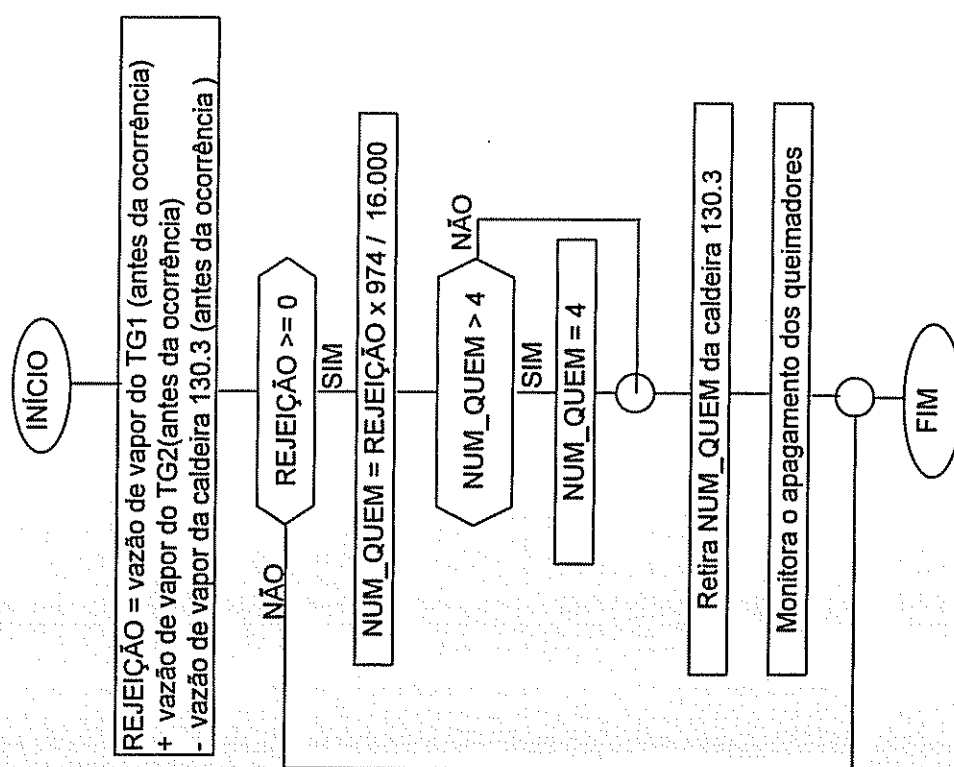
Fluxograma 5.2 - Procedimento determinar ocorrências do sistema de proteção.



Fluxograma 5.2 - Procedimento determinar ocorrências do sistema de proteção.



Fluxograma 5.4 - Redução de combustível nas caldeiras 130.1 e 130.2



Fluxograma 5.4 - Redução de combustível na caldeira 130.3.

CAPÍTULO 6 - RESULTADOS OBTIDOS E CONCLUSÕES

6.1 - INTRODUÇÃO

A implantação deste sistema de proteção foi bastante positiva para a Empresa em termos de confiabilidade, continuidade operacional e retorno financeiro, conforme pode-se ver nos resultados apresentados neste capítulo.

Apresenta-se resultados de atuações em situações reais, aumento na geração interna de energia elétrica, melhor aproveitamento do gás de alto forno (GAF) como combustível nas caldeiras de alta pressão, etc.

Conclui-se pela necessidade de se continuar investindo na implantação das etapas seguintes deste sistema de proteção, como forma de aumentar o nível de segurança e continuidade operacional das plantas que compõem o sistema de vapor da Usiminas.

6.2 - RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos são bastantes significativos em termos de aproveitamento de equipamentos instalados que encontravam-se ociosos e aproveitamento de gás de alto forno como combustível nas caldeiras. É interessante lembrar que, antes deste projeto, uma caldeira de 130 t/h e um turbogerador de 20 MW ficavam praticamente ociosos, enquanto que uma parcela maior de gás de alto forno era queimada em torres de combustão.

Os resultados obtidos são contabilizados em termos de: atuações do sistema de proteção em ocorrências reais, aumento na geração interna de energia elétrica e melhor aproveitamento de gás de alto forno (GAF) como combustível nas caldeiras.

6.2.1- RESULTADOS DE ATUAÇÕES EM OCORRÊNCIAS REAIS

A seguir é mostrada todas as ocorrências com suas respectivas atuações no período de março à dezembro de 1994.

HORA	OCORRÊNCIA(S)	AÇÕES
18:55:38	Parou turbogerador S/E aciaria	
18:55:38		Reduziu combustível na caldeira 130.2
18:55:38		Reduziu combustível na caldeira 130.3
18:55:38		Desligou uma bomba de água de alimentação C130.3
18:56:06		Fechou válvula de interligação do condensado
18:56:06		Fechou válvula de interligação dos coletores

Tabela 6.1 - Ocorrência do dia 20/03/94.

HORA	OCORRÊNCIA(S)	AÇÕES
10:24:02	Desligou o disjuntor 13B012	
10:24:02		Reduziu combustível na caldeira 130.2
10:24:23		Fechou válvula de interligação do condensado
10:24:33		Fechou válvula de interligação dos coletores

Tabela 6.2 - Ocorrência do dia 05/04/94.

HORA	OCORRÊNCIA(S)	AÇÕES
16:00:42	Parou turbogerador S/E aciaria	
16:00:44		Reduziu combustível na caldeira 130.2
16:00:44		Reduziu combustível na caldeira 130.3
16:00:44		Desligou uma bomba de água de alimentação c130.3
16:01:08		Fechou válvula de interligação dos coletores
16:01:16		Fechou válvula de interligação do condensado

Tabela 6.3 - Ocorrência do dia 07/04/94.

HORA	OCORRÊNCIA(S)	AÇÕES
14:17:06	Parou turbogerador S/E aciaria	
14:17:08		Reduziu combustível na caldeira 130.2
14:17:08		Reduziu combustível na caldeira 130.3
14:17:08		Desligou uma bomba de água de alimentação c130.3
14:17:32		Fechou válvula de interligação do condensado
14:17:40		Fechou válvula de interligação dos coletores

Tabela 6.4 - Ocorrência do dia 15/04/94.

HORA	OCORRÊNCIA(S)	AÇÕES
11:28:10	Desligou o disjuntor 13B012	
11:28:10		Reduziu combustível na caldeira 130.2
11:28:37		Fechou válvula de interligação do condensado
11:28:42		Fechou válvula de interligação dos coletores

Tabela 6.5 - Ocorrência do dia 18/04/94.

HORA	OCORRÊNCIA(S)	AÇÕES
15:40:20	Parou turbogerador S/E alto forno	
15:40:21		Reduziu combustível na caldeira 130.2
15:40:21		Reduziu combustível na caldeira 130.3
15:40:21		Desligou uma bomba de água de alimentação c130.3
15:40:40		Fechou válvula de interligação do condensado
15:40:53		Fechou válvula de interligação dos coletores

Tabela 6.6 - Ocorrência do dia 05/05/94.

HORA	OCORRÊNCIA(S)	AÇÕES
10:34:12	Parou turbosoprador 4	
10:34:14		Nenhuma

Tabela 6.7 - Ocorrência do dia 12/05/94.

HORA	OCORRÊNCIA(S)	AÇÕES
23:27:32	Parou turbogerador S/E alto forno	
23:27:32		Reduziu combustível na caldeira 130.2
23:27:32		Reduziu combustível na caldeira 130.3
23:27:32		Desligou uma bomba de água de alimentação c130.3
23:27:51		Fechou válvula de interligação do condensado
23:28:01		Fechou válvula de interligação dos coletores

Tabela 6.8 - Ocorrência do dia 14/05/94.

HORA	OCORRÊNCIA(S)	AÇÕES
13:43:40	Desligou o disjuntor 13B012	
13:43:40		Reduziu combustível na caldeira 130.2
13:44:02		Fechou válvula de interligação do condensado
13:44:09		Fechou válvula de interligação dos coletores

Tabela 6.9 - Ocorrência do dia 19/05/94.

HORA	OCORRÊNCIA(S)	AÇÕES
14:02:07	Parou turbogerador S/E alto forno	
14:02:09		Reduziu combustível na caldeira 130.2
14:02:09		Reduziu combustível na caldeira 130.3
14:02:09		Desligou uma bomba de água de alimentação c130.3
14:02:27		Fechou válvula de interligação do condensado
14:02:40		Fechou válvula de interligação dos coletores

Tabela 6.10 - Ocorrência do dia 27/05/94.

HORA	OCORRÊNCIA(S)	AÇÕES
16:27:02	Desligou o disjuntor 13B012	
16:27:02		Reduziu combustível na caldeira 130.2
16:27:23		Fechou válvula de interligação do condensado
16:27:36		Fechou válvula de interligação dos coletores

Tabela 6.11 - Ocorrência do dia 24/06/94.

HORA	OCORRÊNCIA(S)	AÇÕES
10:33:16	Parou turbogerador S/E aciaria	
10:33:16		Reduziu combustível na caldeira 130.2
10:33:16		Reduziu combustível na caldeira 130.3
10:33:16		Desligou uma bomba de água de alimentação c130.3
10:33:39		Fechou válvula de interligação do condensado
10:33:48		Fechou válvula de interligação dos coletores
10:34:14		* Abriu válvula vapor processo 2

Tabela 6.12 - Ocorrência do dia 17/07/94.

HORA	OCORRÊNCIA(S)	AÇÕES
15:08:16	Parou turbogerador S/E aciaria	
15:08:19		Reduziu combustível na caldeira 130.2
15:08:19		Reduziu combustível na caldeira 130.3
15:08:19		Desligou uma bomba de água de alimentação c130.3
15:08:38		Fechou válvula de interligação do condensado
15:08:47		Fechou válvula de interligação dos coletores

Tabela 6.13 - Ocorrência do dia 25/07/94.

HORA	OCORRÊNCIA(S)	AÇÕES
12:59:16	Desligou o disjuntor 13B012	
12:59:27		Reduziu combustível na caldeira 130.2
12:59:47		Fechou válvula de interligação do condensado
13:00:01		Fechou válvula de interligação dos coletores

Tabela 6.14 - Ocorrência do dia 13/08/94.

HORA	OCORRÊNCIA(S)	AÇÕES
12:51:24	Parou caldeira 130.2 e Abriu disjuntor 13B012	
12:51:25		Desligou disjuntor 13B012 (confirmação)
12:51:41		Fechou válvula de interligação do condensado
12:51:59		Fechou válvula de interligação dos coletores

Tabela 6.15 - Ocorrência do dia 16/09/94.

HORA	OCORRÊNCIA(S)	AÇÕES
15:42:49	Parou caldeira 130.3	
15:42:58		Desligou uma bomba de água de alimentação c130.3
15:42:58		Parou turbogerador S/E aciaria

Tabela 6.16 - Ocorrência do dia 13/10/94.

HORA	OCORRÊNCIA(S)	AÇÕES
10:54:05	Parou caldeira 130.1 e turbosoprador 4	
10:54:10		Nenhuma
10:58:37	Parou caldeira 130.2	
10:58:40		Fechou válvula vapor processo 3
10:58:40		Desligou uma bomba c130.3
10:58:43		Desligou turbogerador S/E aciaria

Tabela 6.17 - Ocorrência do dia 01/11/94.

HORA	OCORRÊNCIA(S)	AÇÕES
21:20:11	Desligou o disjuntor 13B012	
21:20:20		Reduziu combustível na caldeira 130.2
21:20:38		Fechou válvula de interligação do condensado
21:20:48		Fechou válvula de interligação dos coletores

Tabela 6.18 - Ocorrência do dia 13/11/94.

HORA	OCORRÊNCIA(S)	AÇÕES
09:48:31	Parou caldeira 130.1	
09:48:40		Abriu válvula de água de alimentação c130.2
09:48:40		Aconselhou aumentar combustível na caldeira 130.2
09:48:40		Desligou disjuntor 13B012
09:48:59		Fechou válvula de interligação do condensado
09:49:08		Fechou válvula de interligação dos coletores

Tabela 6.19 - Ocorrência do dia 01/12/94.

6.2.2 - ESTATÍSTICA DAS OCORRÊNCIAS

OCORRÊNCIA(S)	NÚMERO DE VEZES NO PERÍODO
Parou turbogerador S/E aciaria	5
Desligou disjuntor 13B012	6
Parou turbogerador S/E alto forno	3
Parou turbosoprador 4	1
Parou caldeira 130.2 e Desligou disjuntor 13B012	1
Parou caldeira 130.3	1
Parou caldeira 130.1 e Parou turbosoprador 4 e Parou caldeira 130.2	1
Parou caldeira 130.1	1

Tabela 6.20 - Estatística das ocorrências no período de março à dezembro de 1994.

6.2.3 - COMENTÁRIOS SOBRE AS OCORRÊNCIAS

É importante lembrar que o objetivo deste sistema de proteção é aproveitar melhor os equipamentos instalados, sem, no entanto, colocar em risco o funcionamento das plantas: uma caldeira de 130 t/h e o turbosoprador que estiver enviando ar para os regeneradores do alto forno 3, principal produtor de ferro gusa líquido da Usiminas.

Pode-se considerar como principais ocorrências, aquelas que comprometem o funcionamento do turbosoprador que alimenta de ar o alto forno 3 ou acionam as válvulas de segurança dos coletores de vapor. No primeiro caso, isto acontece quando ocorre a parada de algum produtor de vapor; no segundo caso, quando ocorre a parada de algum consumidor de vapor.

Na avaliação destas ocorrências mostra-se que as atuações efetuadas pelo sistema de proteção, buscaram intervir no sistema de vapor, água e energia elétrica, objetivando, além de um equilíbrio produção/consumo de vapor, a priorização de funcionamento de determinadas cargas (consumidores de vapor) e evitando-se o disparo das válvulas de segurança dos coletores de vapor.

Todas as ações efetuadas pelo sistema de proteção nestas ocorrências, devem ser analisadas considerando que, o conjunto de ações demonstram as prioridades pré-definidas pelo sistema em cada ocorrência.

As prioridades pré-definidas pelo sistema em caso de ocorrência de perda de produção de vapor são:

- 1º - parada de turbosoprador em funcionamento;
- 2º - redução/corte de envio de vapor para necessidades do processo siderúrgico;

3º - parada de geração de energia elétrica no turbogerador conectado à subestação do alto forno;

4º - parada de geração de energia elétrica no turbogerador conectado à subestação da aciaria.

As prioridades pré-definidas pelo sistema em caso de ocorrência de perda de consumo de vapor são:

1º - redução de produção na caldeira de 130 t/h que estiver alimentando diretamente o consumidor que parou;

2º - redução de produção na caldeira de 130 t/h que estiver alimentando indiretamente o consumidor que parou;

3º - redução de produção na(s) caldeira(s) de 45 t/h, dependendo da quantidade de vapor rejeitada.

A) Parou Turbogenerador S/E Aciaria

- Causa

Parada normalmente ocasionada por um defeito elétrico e/ou mecânico.

- Descrição

Nesta ocorrência, a primeira prioridade foi o envio de vapor para o turbosoprador que alimentava o alto forno 3, através da caldeira 130.1, que continuou funcionando. A segunda prioridade foi continuar auxiliando as caldeiras de 45 t/h no envio de vapor para processo, através da caldeira 130.2. A terceira prioridade foi a geração de energia elétrica em proporções menores, através da caldeira 130.3 e de um turbogerador.

Analizando as ações tomadas pelo sistema de proteção, pôde-se verificar que este fechou as válvulas de interligação dos coletores e condensado, isolando os circuitos de vapor e água, priorizando assim, o funcionamento do conjunto caldeira 130.1 e turbosoprador 4. Pôde-se verificar que a válvula de processo 3 permaneceu no estado em que se encontrava, provavelmente aberta. Com isto, a caldeira 130.2 continuou auxiliando as caldeiras de 45 t/h no envio de vapor para os processos siderúrgicos. Outra ação tomada foi o desligamento de uma bomba de alimentação da caldeira 130.3, pois a quantidade de energia elétrica gerada não justificava o funcionamento da mesma. Com a perda do turbogerador que alimentava a subestação da aciaria e com o fechamento das válvulas de interligação coletores e condensado, a geração de energia elétrica ficou limitada em 20 MWh, sendo que, o vapor necessário para esta geração foi suprido apenas através da caldeira 130.3. A redução de combustível (gás de alto forno) na caldeira 130.2 e na caldeira 130.3 é um ajuste rápido feito pelo sistema de proteção, para equilibrar, no momento da ocorrência, a relação produção/consumo de vapor, exatamente nas caldeiras que, neste momento, estavam enviando vapor para geração de energia elétrica. A abertura da válvula de vapor para processo 2 aconteceu, pois, neste instante, a pressão do coletor 2 ultrapassou 66 kgf/cm².

Esta ocorrência poderia comprometer o funcionamento do alto forno 3 em função do desequilíbrio provocado no sistema de vapor. Por isso, destacam-se as principais atuações: primeiro, isolando o circuito de vapor e água; e depois, ajustando a produção/consumo de vapor.

B) Desligou Disjuntor 13B012

• Causa

Geralmente, perda de sincronismo do turbogerador conectado à S/E da aciaria.

• Descrição

Nesta ocorrência, a primeira prioridade foi o envio de vapor para o turbosoprador que alimentava o alto forno 3, através da caldeira 130.1, que continuou funcionando. A segunda prioridade foi continuar auxiliando as caldeiras de 45 t/h no envio de vapor para processo, através da caldeira 130.2. A terceira prioridade foi a geração de energia elétrica em proporções menores, através da caldeira 130.3 e dos dois turbogeradores. Analisando as ações tomadas pelo sistema de proteção, pode-se verificar que o sistema fechou as válvulas de interligação dos coletores e condensado, isolando os circuitos de vapor e água, priorizando assim, o funcionamento do conjunto caldeira 130.1 e turbosoprador 4. Verificou-se que a válvula de processo 3 permaneceu no estado em que se encontrava, provavelmente aberta. Com isto, a caldeira 130.2 continuou auxiliando às caldeiras de 45 t/h no envio de vapor para os processos siderúrgicos. Com a abertura do disjuntor 13B012 e com o fechamento das válvulas de interligação dos coletores e condensado, a geração de energia elétrica ficou limitada à 27 MWh, sendo que o vapor necessário para esta geração foi suprido apenas através da caldeira 130.3. A redução de combustível (gás de alto forno) na caldeira 130.2 é um ajuste rápido feito pelo sistema para equilibrar, no momento da ocorrência, a relação produção/consumo de vapor, exatamente na caldeira que, neste momento, estava enviando vapor para o turbogerador em flutuação.

A abertura do disjuntor 13B012 é uma das ocorrências que mais aconteceram desde a implantação deste sistema. Este ponto é muito crítico, pois é um dos elos de acoplamento entre a termoeletrica da Usiminas e a concessionária de energia elétrica (CEMIG).

C) Parou Turbogenerador S/E Alto Forno

• Causa

Parada normalmente ocasionada por um defeito elétrico.

• Descrição

Nesta ocorrência, a primeira prioridade foi o envio de vapor para o turbosoprador que alimentava o alto forno 3, através da caldeira 130.1, que continuou funcionando. A segunda prioridade foi continuar auxiliando as caldeiras de 45 t/h no envio de vapor para processo, através da caldeira 130.2. A terceira prioridade foi a geração de energia elétrica em proporções menores, através da caldeira 130.3 e de um turbogerador.

Analisando as ações tomadas pelo sistema de proteção pôde-se verificar que o mesmo fechou as válvulas de interligação dos coletores e condensado, isolando os circuitos de vapor e água, priorizando assim, o funcionamento do conjunto caldeira 130.1 e turbosoprador 4. Pôde-se verificar que a válvula de processo 3 permaneceu no estado em que se encontrava, provavelmente aberta. Com isto, a caldeira 130.2 continuou auxiliando às caldeiras de 45 t/h no envio de vapor para os processos siderúrgicos. Outra ação tomada foi o desligamento de uma bomba de alimentação da caldeira 130.3, pois a quantidade de energia elétrica gerada não justificava o funcionamento da mesma. Com a perda do turbogerador que alimentava a subestação da alto forno e

com o fechamento das válvulas de interligação dos coletores e condensado, a geração de energia elétrica ficou limitada à 20 MWh, sendo que o vapor necessário para esta geração foi suprido apenas através da caldeira 130.3. A redução de combustível (gás de alto forno) na caldeira 130.2 e na caldeira 130.3 é um ajuste rápido feito pelo sistema para equilibrar, no momento da ocorrência, a relação produção/consumo de vapor, exatamente nas caldeiras que, neste momento, estavam enviando vapor para geração de energia elétrica. A abertura da válvula de vapor para processo 2 aconteceu, pois neste instante a pressão do coletor 2 ultrapassou 66 kgf/cm² de pressão.

Esta ocorrência poderia comprometer o funcionamento do alto forno 3 em função do desequilíbrio provocado no sistema de vapor. Por isso, destacam-se as principais atuações: primeiro, isolando o circuito de vapor e água; e depois, ajustando a produção/consumo de vapor.

D) Parou Turbosoprador 4

- Causa

Parada normalmente ocasionada por um defeito elétrico e/ou mecânico.

- Descrição

Esta ocorrência não apresenta ações, dado que, o principal objetivo deste sistema de proteção seria evitar a parada desta planta, em caso de ocorrências em outras plantas que compõem o sistema de vapor da Usiminas.

E) Parou Caldeira 130.2 e Desligou Disjuntor 13B012

- Causa

A parada da caldeira 130.2 e o desligamento do disjuntor 13B012 foi ocasionado por uma falha no fornecimento de energia elétrica pela concessionária (CEMIG).

- Descrição

Nesta ocorrência, a primeira prioridade foi o envio de vapor para o turbosoprador que alimentava o alto forno 3, através da caldeira 130.1, que continuou funcionando. A segunda prioridade foi continuar auxiliando as caldeiras de 45 t/h no envio de vapor para processo, através da caldeira 130.1. A terceira prioridade foi a geração de energia elétrica em proporções menores, através da caldeira 130.3 e do funcionamento dos dois turbogeradores.

Analisando as ações tomadas pelo sistema de proteção, pôde-se verificar que o sistema fechou as válvulas de interligação dos coletores e condensado, isolando os circuitos de vapor e água, priorizando assim, o funcionamento do conjunto caldeira 130.1 e turbosoprador 4. Outra ação tomada foi a confirmação da abertura do disjuntor 13B012, garantindo o funcionamento da caldeira 130.3 e os dois turbogeradores, porém limitando a geração de energia elétrica à 27 MWh. Pôde-se verificar que a válvula de processo 3 permaneceu no estado em que se encontrava, provavelmente aberta. Com isto, a caldeira 130.1 continuou auxiliando as caldeiras de 45 t/h no envio de vapor para os processos siderúrgicos.

F) Parou Caldeira 130.3

• Causa

Parada normalmente ocasionada por um defeito elétrico e/ou mecânico.

• Descrição

Nesta ocorrência, a primeira prioridade foi o envio de vapor para o turbosoprador que alimentava o alto forno 3, através da caldeira 130.1, que continuou funcionando. A segunda prioridade foi continuar auxiliando as caldeiras de 45 t/h no envio de vapor para processo, através da caldeira 130.1 e/ou caldeira 130.2. A terceira prioridade foi a geração de energia elétrica em proporções ainda menores do que a ocorrência do dia 16/09/94, desta vez, através da caldeira 130.2 e do turbogerador que alimentava a subestação do alto forno.

Analisando as ações tomadas pelo sistema de proteção, pôde-se verificar que o mesmo desligou o disjuntor do turbogerador que alimentava a subestação da aciaria. Com isto, reduziu-se a geração de energia elétrica à 20 MWh, priorizando assim, o funcionamento do conjunto caldeira 130.1 e turbosoprador 4. Outra ação tomada foi o desligamento de uma bomba de alimentação da caldeira 130.3, pois a quantidade de energia elétrica gerada não justificava o funcionamento da mesma. Pôde-se verificar que a válvula de processo 3 permaneceu no estado em que se encontrava, provavelmente aberta. Com isto, a caldeira 130.1 e/ou a caldeira 130.2 continuou auxiliando às caldeiras de 45 t/h no envio de vapor para os processos siderúrgicos. Outras válvulas que permaneceram no mesmo estado foram as válvulas de interligação dos coletores e condensado, pois o objetivo era continuar gerando energia elétrica, porém em quantidades bem menores, através do fornecimento de vapor proveniente da caldeira 130.2.

Esta ocorrência poderia comprometer o funcionamento do alto forno se não houvesse uma parada imediata do turbogerador que alimentava a subestação da aciaria, pois a tendência dos turbogeradores, neste caso, seria absorver o vapor necessário para continuar gerando 40 MWh de energia elétrica. Isto poderia provocar falta de vapor na turbina do turbosoprador 4 e, conseqüentemente, acarretar sua parada. Ressalta-se que o "trip" em turbogeradores deve ser evitado, porém nesta ocorrência houve necessidade de se limitar a geração de energia elétrica ao máximo possível, pois o circuito de vapor e água continuariam interligados. Neste caso, a redução de vapor obtida através da abertura do disjuntor 13B012, seria muito pequena em vista do necessário.

G) Parou Caldeira 130.1 e Parou Turbosoprador 4 e Parou Caldeira 130.2

• Causa

Acidente provocado por um operário que realizava serviços de perfuração na sala elétrica destas plantas.

• Descrição

As ocorrências: Parou Turbosoprador 4 e Parou Turbosoprador 4 e Caldeira 130.1 não apresentam ações, por motivo de prioridade de funcionamento de consumidores de vapor.

A ocorrência Parou Caldeira 130.1 e Parou Turbosoprador 4 e Parou Caldeira 130.2 prioriza o fornecimento de vapor para necessidades do processo siderúrgico e geração de energia elétrica com o vapor que sobrar.

Analisando as ações tomadas pelo sistema de proteção, pôde-se verificar que o mesmo comandou o fechamento da válvula de vapor para necessidades do processo siderúrgico 3, para cortar o fornecimento de vapor através do coletor 1. É interessante lembrar que as caldeiras 130.1 e 130.2 pararam. O desligamento do turbogerador que alimentava a subestação da aciaria, reduziu o consumo de vapor para geração de energia elétrica, e, com isto, pôde-se desligar uma bomba de retorno de condensado da caldeira 130.3.

H) Parou Caldeira 130.1

- Causa

Simulação "a quente" para testar as ações tomadas na ocorrência do dia 01/11/1994.

- Descrição

Nesta ocorrência, a primeira prioridade foi o envio de vapor para o turbosoprador que alimentava o alto forno 3, através da caldeira 130.2, que assumiu as funções da caldeira 130.1. A segunda prioridade foi continuar auxiliando as caldeiras de 45 t/h no envio de vapor para processo, através da caldeira 130.2 e/ou caldeira 130.3. A terceira prioridade foi a geração de energia elétrica em 27 MW através da caldeira 130.3 e dos turbogeradores.

Analisando as ações tomadas pelo sistema de proteção, pôde-se verificar que o mesmo abriu a válvula de água de alimentação da caldeira 130.2 para que toda água condensada na turbina do turbosoprador retornasse para caldeira 130.2. Aconselhou o aumento do combustível da caldeira 130.2 para que sua produção fosse compatível com o fornecimento para o turbosoprador e necessidades do processo siderúrgico. Ordenou o desligamento do disjuntor 13B012 para baixar o nível de geração de energia elétrica para 27 MW, onde, a partir deste momento, todo vapor para produção de energia elétrica seria fornecido pela caldeira 130.3. Com isto pôde-se trabalhar com coletores isolados e, por isto, comandou-se o fechamento das válvulas de interligação de coletores e condensado.

Pôde-se verificar que a válvula de processo 3 permaneceu no estado em que se encontrava, provavelmente aberta, com isto, a caldeira 130.2 continuou auxiliando às caldeiras de 45 t/h no envio de vapor para os processos siderúrgicos.

Esta ocorrência poderia comprometer o funcionamento do alto forno se não houvesse uma redução imediata da geração de energia elétrica no turbogerador que alimentava a subestação da aciaria, através da abertura do disjuntor 13B012, pois a tendência dos turbogeradores, neste caso, seria absorver o vapor necessário para continuar gerando 40 MWh de energia elétrica. Isto poderia provocar falta de vapor na turbina do turbosoprador 4 e, conseqüentemente, sua parada.

6.2.4 - RESULTADOS OPERACIONAIS [33]

Como mostra a figura 6.1, consumo de energia elétrica na Usiminas sofreu um acréscimo mensal em consequência do ritmo de produção de aço estipulado para o ano.

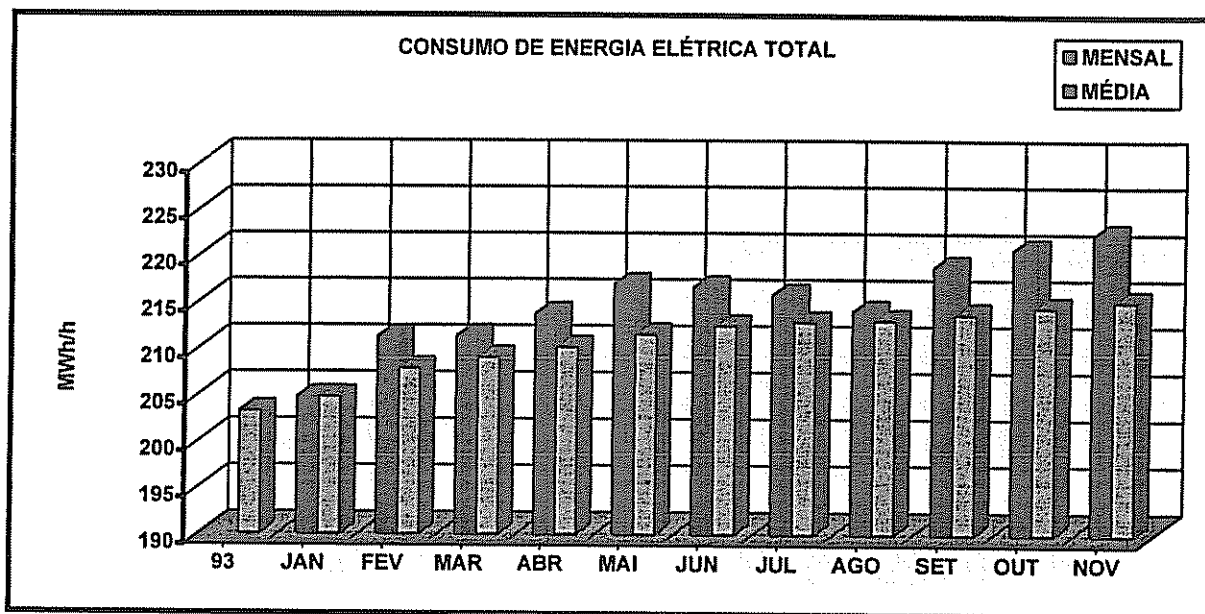


Figura 6.1 - Consumo total de energia elétrica na Usiminas.

	1993	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI
MENSAL		204,7	211,2	211,3	213,7	216,9
MÉDIA MENSAL	203,2	204,7	207,8	209,0	210,1	211,5

	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV
MENSAL	216,6	215,8	214,0	218,8	220,7	222,3
MÉDIA MENSAL	212,4	212,8	213,0	213,7	214,4	215,1

Tabela 6.21 - Consumo total de energia elétrica na Usiminas.

A figura 6.2, mostra que a partir de março, data da implantação deste sistema de proteção, a Usiminas passou a comprar menos energia elétrica, em consequência de um aumento na geração de energia elétrica na sua termoelétrica.

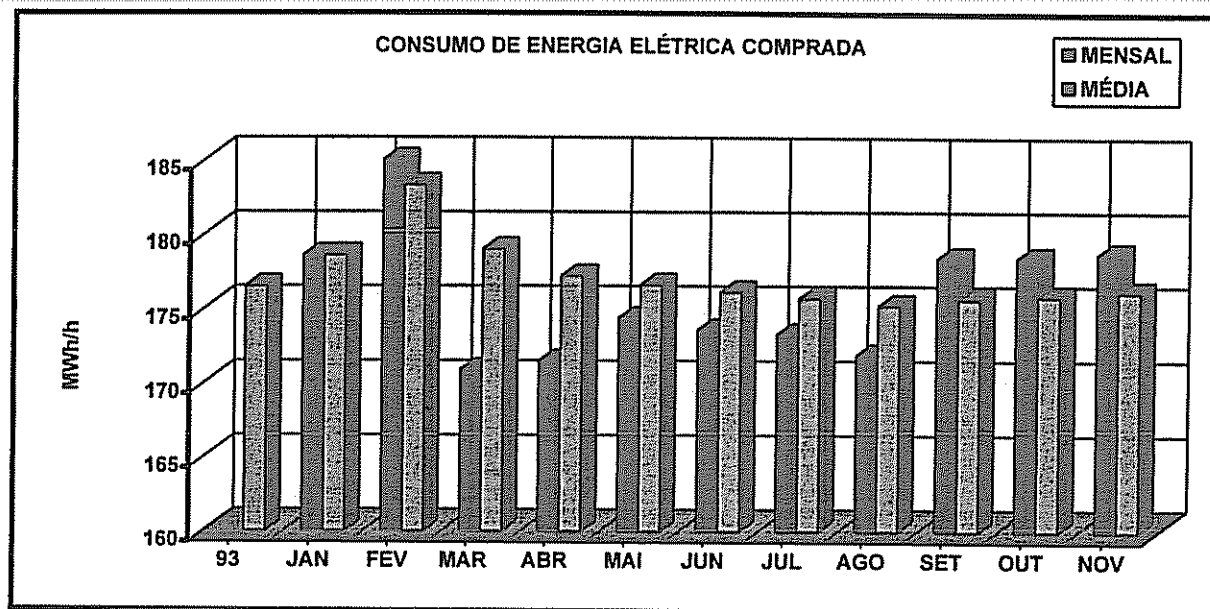


Figura 6.2 - Consumo de energia elétrica comprada na Usiminas.

	1993	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI
MENSAL		178,6	188,6	170,9	171,5	174,4
MÉDIA MENSAL	176,5	178,6	183,3	179,0	177,2	176,6

	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV
MENSAL	173,6	173,3	171,9	178,4	178,4	178,7
MÉDIA MENSAL	176,1	175,7	175,2	175,6	175,8	176,1

Tabela 6.22 - Consumo de energia elétrica comprada na Usiminas.

Como mostra a figura 6.3, a geração na termoeletrica a partir de março de 1994 sofreu um acréscimo considerável, graças à entrada em funcionamento da segunda unidade da termoeletrica e ao sistema de proteção implantado.

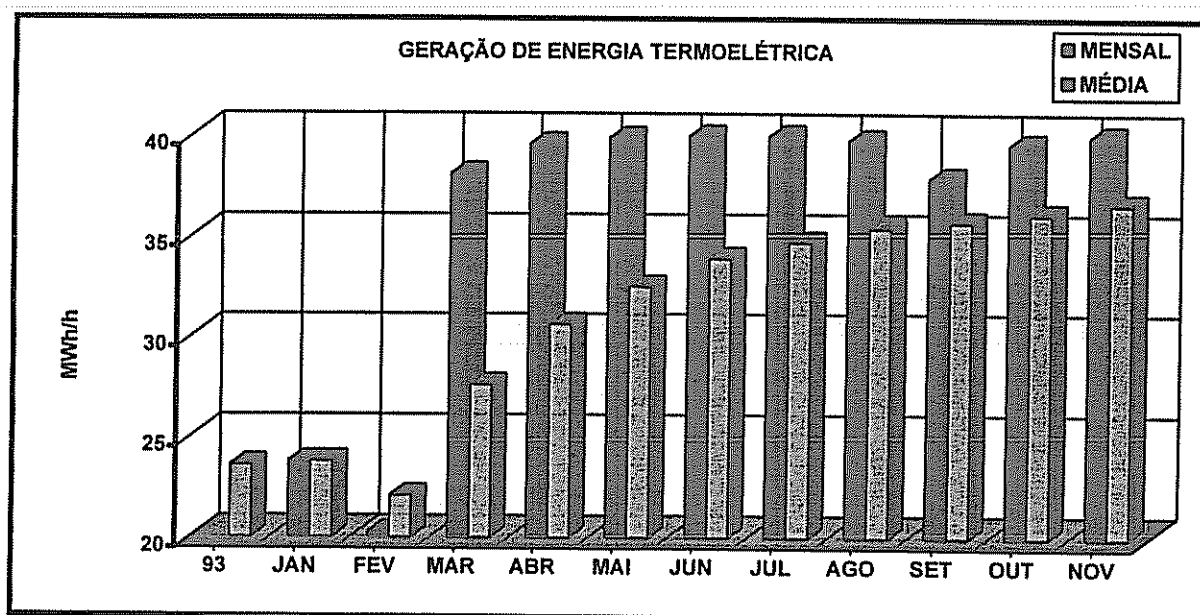


Figura 6.3 - Geração de energia elétrica na Usiminas.

	1993	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI
MENSAL		23,8	20,3	38,1	39,6	39,9
MÉDIA MENSAL	23,6	23,8	22,1	27,6	30,6	32,5

	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV
MENSAL	40,5	40,1	39,8	37,9	39,6	41,2
MÉDIA MENSAL	33,9	34,7	35,4	35,7	36,1	36,6

Tabela 6.23 - Geração de energia elétrica na Usiminas.

A figura 6.4 apresenta resultados de funcionamento contínuo dos dois turbogeradores.

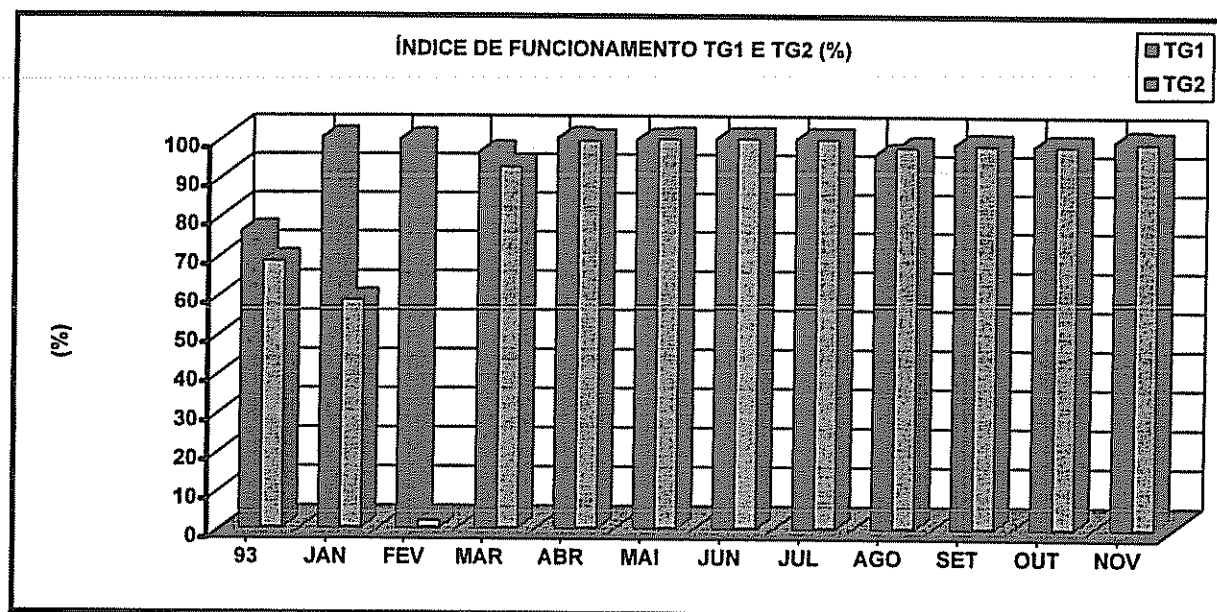


Figura 6.4 - Índice de funcionamento (%) dos turbogeradores 1 e 2.

	1993	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI
TG1	75,8	100,0	99,6	96,2	99,9	99,6
TG2	68,2	58,3	1,9	92,5	99,3	99,9

	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	MÉDIA
TG1	100,0	99,9	96,0	98,6	98,2	99,5	98,8
TG2	100,0	99,9	97,8	98,4	98,2	99,0	86,5

Tabela 6.24 - Índice de funcionamento (%) dos turbogeradores 1 e 2.

Como pode ser observado na figura 6.5, o aproveitamento do gás de alto forno apresentou um acréscimo bastante considerável a partir de março de 1994. Isto é devido a necessidade de combustível na caldeira de 130 t/h que ficava ociosa, como mostra a tabela 6.27, e que agora é utilizada para gerar energia elétrica através da segunda unidade da termoeletrica.

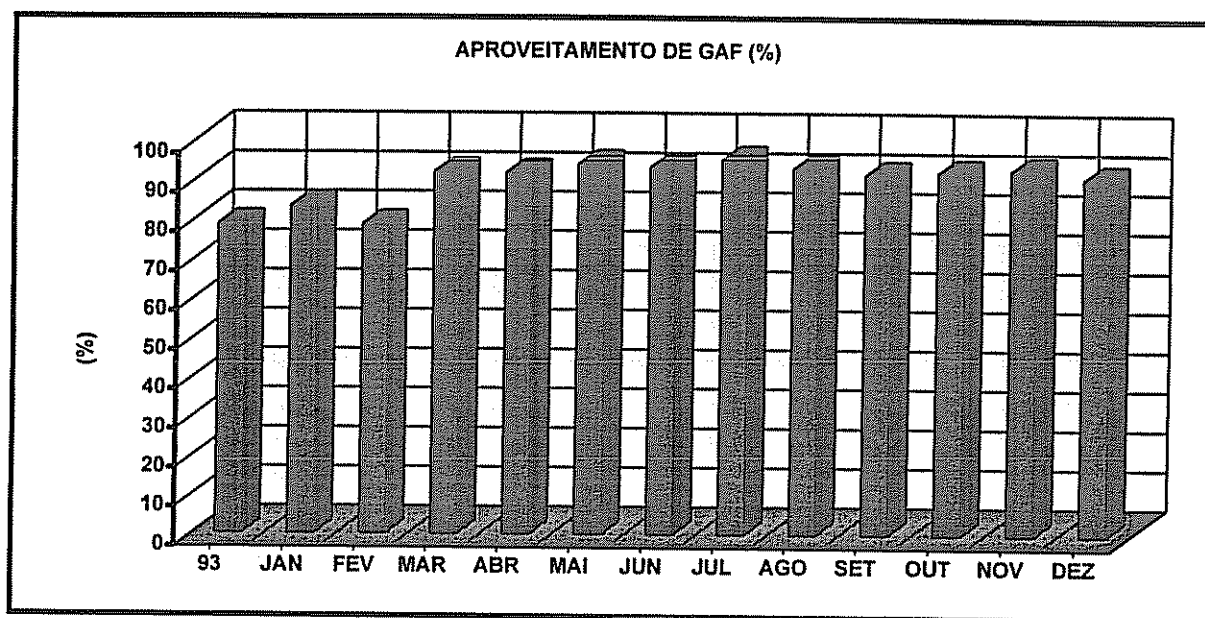


Figura 6.5 - Aproveitamento de gás de Alto Forno (GAF) na Usiminas.

	1993	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI
APROVEITAMENTO(%)	78,8	83,3	78,6	92,1	91,9	94,2

	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
APROVEITAMENTO(%)	93,4	95,3	93,1	91,5	92,1	92,7	90,7

Tabela 6.25 - Aproveitamento de gás de Alto Forno (GAF) na Usiminas.

	JAN/94	FEV/94	MAR/94	ABR/94	MAI/94	JUN/94
PRODUÇÃO A. FORNO 1	120531	123144	120197	110899	109297	113152
PRODUÇÃO A. FORNO 2	118001	123168	115484	110899	109663	115625
PRODUÇÃO A. FORNO 3	455028	458105	450890	467023	473466	461326
PRODUÇÃO TOTAL	693560	704418	686571	688821	692426	690104
DISTRIBUIÇÃO TOTAL	578038	553610	632020	633339	652313	644899
COMBUSTÃO	115522	150808	54551	55483	40113	45205
APROVEITAMENTO (%)	83,3	78,6	92,1	91,9	94,2	93,4

	JUL/94	AGO/94	SET/94	OUT/94	NOV/94	DEZ/94
PRODUÇÃO A. FORNO 1	99357	107814	109557	104958	110366	114189
PRODUÇÃO A. FORNO 2	101489	110127	105470	101043	111046	114845
PRODUÇÃO A. FORNO 3	462339	436612	471202	479066	448705	442196
PRODUÇÃO TOTAL	663185	654553	686229	685067	670117	671229
DISTRIBUIÇÃO TOTAL	632267	609580	628141	631155	620957	608988
COMBUSTÃO	30918	44973	58089	53912	49161	62242
APROVEITAMENTO (%)	95,3	93,1	91,5	92,1	92,7	90,7

Tabela 6.26 - Produção e consumo médio mensal de GAF(Nm³/h) na Usiminas.

	JAN/94	FEV/94	MAR/94	ABR/94	MAI/94	JUN/94
CALDEIRAS DE 130 t/h	192996	177540	257431	251339	281769	280665
CALDEIRAS DE 45 t/h	47684	44307	42117	48061	33976	37107
OPERAÇÃO BATERIAS 1 E 2	47862	46334	46765	46791	44650	43098
OPERAÇÃO BATERIAS 3 E 4	80963	76298	77399	76006	78304	73116
FORNO E REGENERADOR 1	30097	28810	28722	27950	29244	29209
FORNO E REGENERADOR 2	29138	31089	31454	31719	31688	30160
FORNO E REGENERADOR 3	119541	117275	119248	124937	124942	124148
FORNO POÇO (L. PLACAS)	9104	8333	8257	6604	6581	6357
FORNO REAQ. (L.T.Q)	13958	15473	14360	14336	15072	15156
FORNO CONT. REAQ. (L.C.G.)	2619	3222	1974	2641	2273	1988
INJEÇÃO FINOS CARVÃO	4075	4928	4294	2956	3814	3895

	JUL/94	AGO/94	SET/94	OUT/94	NOV/94	DEZ/94
CALDEIRAS DE 130 t/h	261730	249933	246847	251315	247259	238020
CALDEIRAS DE 45 t/h	46440	41869	58765	60845	58441	52292
OPERAÇÃO BATERIAS 1 E 2	43167	42626	41935	41527	42975	454682
OPERAÇÃO BATERIAS 3 E 4	73640	73660	74228	73773	73928	77015
FORNO E REGENERADOR 1	28723	28495	28256	26655	26637	28089
FORNO E REGENERADOR 2	29602	30364	29500	27601	29985	31014
FORNO E REGENERADOR 3	123686	116037	122927	121484	113274	107381
FORNO POÇO (L. PLACAS)	4072	5082	3888	5614	5509	7389
FORNO REAQ. (L.T.Q)	15520	15510	16167	16574	16967	17790
FORNO CONT. REAQ. (L.C.G.)	2088	2717	2545	2522	1850	1402
INJEÇÃO FINOS CARVÃO	3598	3283	3084	3246	4132	3126

Tabela 6.27 - Consumo médio mensal de GAF por planta na Usiminas (Nm³/h).

6.2.5 - RESULTADOS FINANCEIROS [33]

Estes resultados apresentados na figura 6.6 são devidos à geração interna total de energia elétrica.

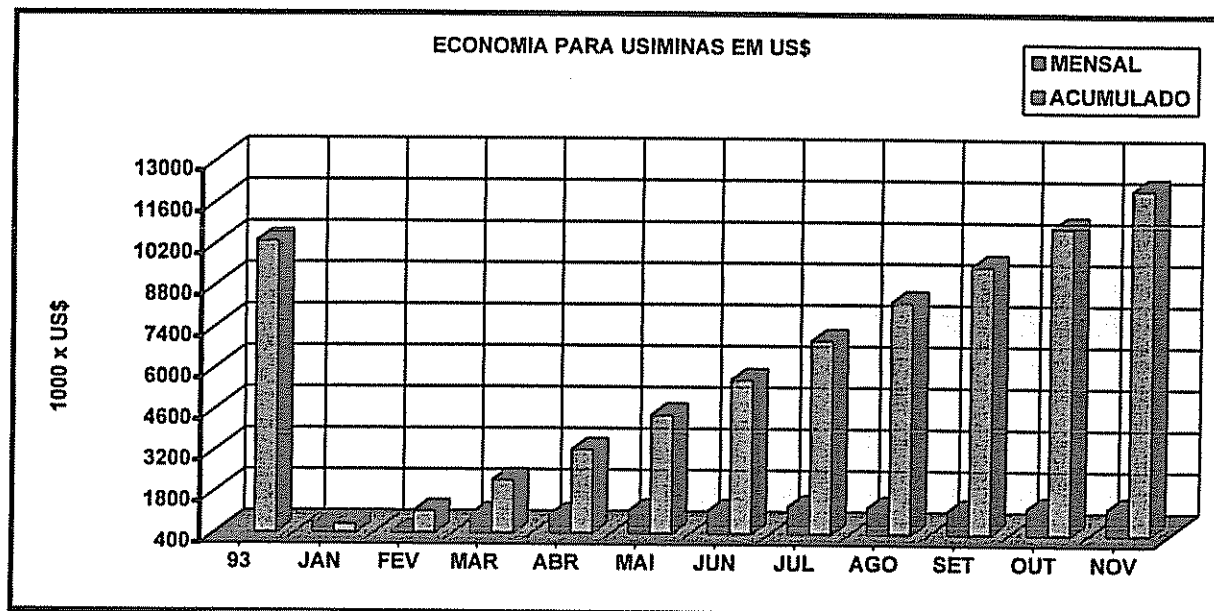


Figura 6.6 - Economia para Usiminas por gerar energia elétrica.

	1993	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI
MENSAL		695	454	1058	1032	1186
ACUMULADO	10286	695	1149	2207	3239	4425

	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV
MENSAL	1195	1333	1306	1212	1302	1300
ACUMULADO	5620	6953	8259	9471	10773	12073

Tabela 6.28 - Economia para Usiminas por gerar energia elétrica.

A figura 6.7 mostra que as tarifas de energia elétrica sofreram um aumento durante o ano e, por isto, quanto maior for a geração interna de energia elétrica, maior será o ganho para Usiminas.

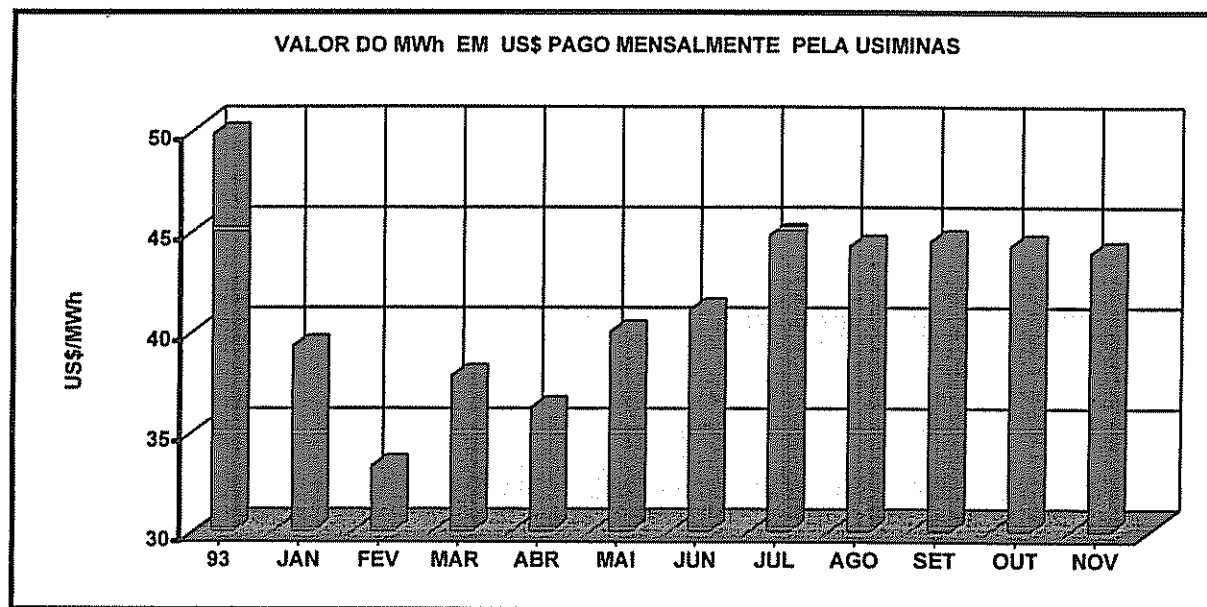


Figura 6.7 - Valor do MWh em US\$ pago mensalmente pela Usiminas.

	1993	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI
US\$/MWh	49,75	39,20	33,25	37,73	36,16	39,91

	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV
US\$/MWh	41,01	44,72	44,15	44,40	44,18	43,83

Tabela 6.29 - Valor do MWh em US\$ pago mensalmente pela Usiminas.

Estes resultados apresentados na figura 6.8 são devidos à geração interna de energia elétrica acima de 27 MW, pois nesta faixa de geração é necessário a ativação do sistema de proteção.

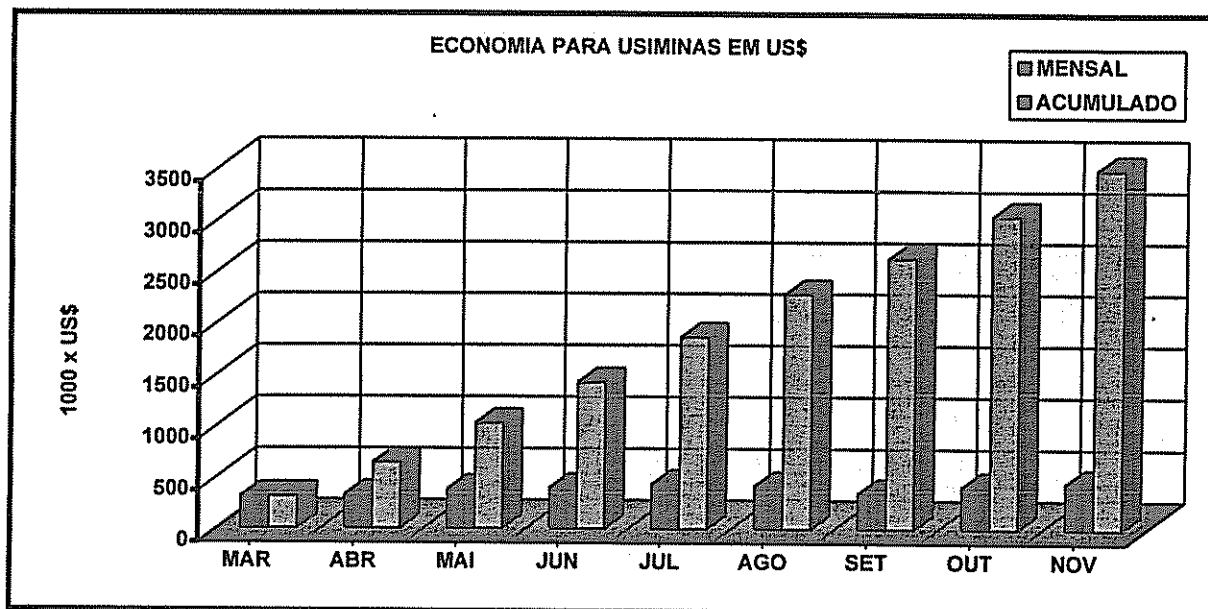


Figura 6.8 - Economia para Usiminas por gerar energia elétrica acima de 27 MW.

	MAR	ABR	MAI	JUN
MENSAL	312	328	383	399
ACUMULADO	312	640	1023	1422

	JUL	AGO	SET	OUT	NOV
MENSAL	436	420	348	414	448
ACUMULADO	1858	2278	2626	3040	3488

Tabela 6.30 - Economia para Usiminas por gerar energia elétrica acima de 27 MW.

6.3 - CONCLUSÕES

Dada a complexidade deste problema, seu desenvolvimento foi dividido em etapas.

Na primeira etapa, foi implantada uma solução simplificada, utilizando a metodologia anteriormente descrita e dando ênfase as modalidades operacionais 1 e 2.

Na segunda etapa, permanece-se com a mesma metodologia e serão implementadas as seguintes modificações:

- incremento no número de modalidades operacionais;
- implementação de mecanismos que possam antecipar o acontecimento de ocorrências;
- incremento no número de ações para cada ocorrência.

Na terceira etapa, será utilizada uma nova metodologia de implementação de sistemas, provavelmente utilizando-se outras técnicas de Inteligência Artificial, tendo em vista a dificuldade de resolver-se, completamente, este problema utilizando-se técnicas convencionais.

Dadas as características de segurança, confiabilidade e continuidade operacional que a área exige, a solução deste problema deverá contemplar todas as possibilidades de falhas possíveis de acontecer, com um diagnóstico preciso para cada situação.

CAPÍTULO 7 - BIBLIOGRAFIA

- [01] ALTUS Sistema de Informática Ltda., "Manual de Utilização do Controlador Programável AL-2002", Ref. 6207-010.0, Rev. A 02/93.
- [02] ALTUS Sistema de Informática Ltda., "Manual de Utilização do Software programador AL-3830", Ref. 6203-006.0, Rev. 3.00C 03/94.
- [03] BASE Tecnologia S.A. "PC-CASE - Manual do Usuário - Instalação e configuração". Rio de Janeiro, RJ., 1990.
- [04] B.B.C. Brown Boveri. "Turbina e Gerador para Termoelétrica P-304: Manual de Operação, Comissionamento e Manutenção da Planta". Volume 1, São Paulo, SP, 1980.
- [05] CALÔBA, Luiz P. "Redes Neurais". In.: 9º Congresso Brasileiro de Automática (minicurso), Centro Tecnológico - UFES, Vitória, ES., Setembro/1992.
- [06] C.B.C. Indústrias Pesadas S.A. Manual de Instruções do Gerador de Vapor VU-50B. Volume 3, São Paulo, SP, Janeiro/1985.
- [07] FERREIRA, Francisco A.; NUNES, Francisco X. e TEIXEIRA, Marcos H. "Perspectiva de automação na área de caldeiras, sopradores e termoelétrica da Usiminas". In: 11º Simpósio Técnico do Departamento de Energia e Transportes da Usiminas - IPN, Ipatinga, MG., 1993. Anais.
- [08] GANE, Cris and SARSON, Trish. "Análise Estruturada de Sistemas". LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, RJ., 1983.
- [09] IBM. "OS/2 2.0: Instalation Guide". International Business Machines Corporation, Part Number: 14G0498, Printed in Denmark by Scanprint a.s, Viby J., March/1992.
- [10] IBM. "OS/2 2.0: Using the Operating System". International Business Machines Corporation, Part Number: 15G8037, Printed in Denmark by Scanprint a.s, Viby J., March/1992.
- [11] KLIR, George J. & FOLGER, Tina A. "Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information". Prentice-Hall, USA, 1988.
- [12] KOSKO, Bart. "Neural networks and fuzzy systems: a dinamical systems approach to machine intelligence". Prentice-Hall, USA, 1992.

- [13] LEVINE, Robert I.; DRANG, Diane E. and EDELSON, Barry. "Inteligência artificial e sistemas especialistas". McGraw-Hill, São Paulo, SP., 1988.
- [14] MARTIN, James and McCLURE, Carma, "Técnicas Estruturadas e CASE". Makron books, São Paulo, SP., 1991.
- [15] M.DEDINI S.A. Metalúrgica. "Manual de Operação e Manutenção das Caldeiras de Processo". Volume 1, Piracicaba, SP., Julho de 1978.
- [16] MITSUBISHI Heavy Industries LTD. "Operating and Maintenance Instructions for Boiler & Blower for nº 3 Blast Furnance". Volume 2, Tokyo, Japan, Dec./1974.
- [17] OMAR, Nizan. "Sistemas Especialistas". In.: 9º Congresso Brasileiro de Automática (minicurso), Centro Tecnológico - UFES, Vitória, ES., Setembro/1992.
- [18] PENA, Ronaldo T. "Sintonização do sistema de controle de temperatura do vapor na central térmica de uma usina siderúrgica real". In: 42º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metais - ABM, Salvador, BA., 1987. Anais.
- [19] SCHILDT, Herbert. "Inteligência artificial utilizando linguagem C". McGraw-Hill, São Paulo, SP., 1989.
- [20] SILVA, Abraão M. "Melhoria do controle de combustão das caldeiras 130 t/h". In: 7º Simpósio Técnico do Departamento de Energia da Usiminas - UDN, Ipatinga, MG., 1988. Anais.
- [21] STARLING, Ronan A. S. "Método de Estruturação do Conhecimento Baseado nas Variáveis do Problema". Unidade de Automação da Usiminas, Ipatinga, MG., 1990.
- [22] TANGERINO, Carlos A. P. e NASCIMENTO, Manoel A. M. "Sistemas Especialistas Aplicados na Automação Industrial". Sistema Automação Industrial S.A., São Paulo, SP., 1993.
- [23] TANSCHUIT, Ricardo. "Controle Nebuloso". In.: 9º Congresso Brasileiro de Automática (minicurso), Centro Tecnológico - UFES, Vitória, ES., Setembro/1992.
- [24] 3COM. "TCP with Demand Protocol Architecture Administrator's Guide". Version 1.2, Manual Part No. 09-0316-000, 3Com Corporation, Santa Clara, California, Printed in the USA, December/1990.
- [25] 3COM. "TCP with Demand Protocol Architecture User's Guide". Version 1.2, Manual Part No. 09-0317-000, 3Com Corporation, Santa Clara, California, Printed in the USA, December/1990.

- [26] 3COM. "TCP with Demand Protocol Architecture Programmer's Reference Guide". Version 2.1, Manual Part No. 09-0281-001, 3Com Corporation, Santa Clara, California, Printed in the USA, March/1993.
- [27] USDATA. "Factory Link IV - User Manual". Versão 4.3, United States Data Corporation, Richardson, Texas, USA, 1994.
- [28] USIMINAS. "Aplicação de Técnicas de Inteligência Artificial na Siderurgia". Unidade de Desenvolvimento de Sistemas de Automação, Ipatinga, MG., Fevereiro/1992.
- [29] USIMINAS. "Inteligência Artificial". Unidade de Desenvolvimento de Sistemas de Automação, Ipatinga, MG., Setembro/1993.
- [30] USIMINAS. "Sistema de Proteção Baseado em Regras: Análise Estruturada". Divisão de Automação, Ipatinga, MG., 1994.
- [31] USIMINAS. "Sistema de Proteção Baseado em Regras: Manual de Programação". Divisão de Automação (IHA), Ipatinga, MG., 1994.
- [32] USIMINAS. "Sistema de Proteção Baseado em Regras: Relatório diário de acompanhamento". Divisão de Automação (IHA), Ipatinga, MG., 1994.
- [33] USIMINAS. "Relatórios Mensal de Produção e Comercialização". Página 26, Dezembro/1994.
- [34] VELASCO, F. R. D. "Manual da Linguagem OPS5 para Microcomputadores". Relatório DPI-INPE.
- [35] WARD, Paul T. & MELLOR, Stephen J. "Structured Development for Real-Time Systems". 3 volumes, Prentice-Hall, USA, 1985.
- [36] WEISS, Sholom M. & KULIKOWSKI, Casimir A. "Guia prático para projetar sistemas especialistas". LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, RJ., 1988.

APÊNDICE A - APLICAÇÕES DE SISTEMAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA SIDERURGIA

A.1 - ÁREA DE REDUÇÃO E MATÉRIAS PRIMAS

APLICAÇÃO: Sistema Especialista para controle de finos de retorno da Máquina de Sinterização 3.

EMPRESA: NSC (Fukuyama).

TIPO: Sistema Especialista e Lógica Nebulosa.

DESCRIÇÃO: Sistema estabiliza a quantidade de finos de retorno do sinter produzido controlando a sua geração e consumo.

BENEFÍCIOS: Redução de cerca de 2% na geração de finos de retorno.

APLICAÇÃO: Desenvolvimento de um sistema de controle integrado para transporte de minério.

EMPRESA: NSC (Nagoya).

TIPO: Lógica Nebulosa.

DESCRIÇÃO: Este sistema possui uma função de suprimento de matéria-prima com um modelo híbrido (modelo matemático com raciocínio nebuloso) para manter o nível de estocagem de silos.

BENEFÍCIOS: Racionalização de mão-de-obra no processo de transporte de matérias-primas para Altos Fornos.

APLICAÇÃO: Sistema Especialista para avaliação das condições térmicas de Altos Fornos.

EMPRESA: Usiminas.

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Avalia as condições térmicas e operacionais através de variáveis tais como análise e temperatura de gusa. Faz previsão de distúrbios que possam vir a ocorrer e sugere ações que permitam impedir a ocorrência ou amenizar seus efeitos.

BENEFÍCIOS: Impede ou ameniza distúrbios na planta.

APLICAÇÃO: Sistema Especialista para avaliação das condições térmicas de Altos Fornos.

EMPRESA: NSC (Fukuyama).

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Semelhante ao da Usiminas.

BENEFÍCIOS: Impede ou ameniza distúrbios na planta.

APLICAÇÃO: Sistema Especialista para diagnose de carregamento de Alto Forno.

EMPRESA: Usiminas.

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Este sistema detecta e sugere correções em distúrbios de carregamento de Altos Fornos tais como, agarramento de materiais nas balanças.

BENEFÍCIOS: Padronização do carregamento de Altos Fornos.

APLICAÇÃO: Sistema Especialista para apoio a manutenção elétrica.

EMPRESA: Usiminas.

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: O sistema funciona a partir de informações coletadas de CP's e da análise destes dados a partir de conhecimento especialista, visando a detectar a causa das possíveis falhas elétricas e recomendar ações para corrigi-las.

BENEFÍCIOS: Reduzir custos de manutenção e aumento de produtividade.

APLICAÇÃO: Sistema Especialista para controle da distribuição de carga de um Alto Forno.

EMPRESA: NKK.

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Sistema para controlar a distribuição de carga dentro de um Alto Forno, estabilizando a distribuição radial do fluxo de gás no seu interior.

BENEFÍCIOS: Esta distribuição leva um longo tempo para que se possa verificar benefícios, porém sua aplicação contribui para a estabilização das condições operacionais do forno.

APLICAÇÃO: Sistema Especialista de apoio à operação dos pátios de carvão.

EMPRESA: Nippon Stell Corporation.

TIPO: Sistema Especialista

DESCRIÇÃO: Sistema responsável pela programação e seleção de rotas de correias, área para estocagem de carvão e pilhas a serem consumidas.

BENEFÍCIOS: Aumento da produtividade, melhoria na qualidade da mistura e racionalização dos estoques de carvão.

APLICAÇÃO: Planejamento de empilhamento de matérias primas.

EMPRESA: NSC (Yawata).

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Planeja o empilhamento de materiais, de forma a manter estável e uniforme por longo tempo as características físicas e químicas do sinter.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

APLICAÇÃO: Planejamento do recebimento e despacho de matérias primas.

EMPRESA: NSC (Yawata).

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Planeja recepção e despacho de matérias primas mantendo o estoque que atenda às necessidades de produção e abastecimento externo, observando ainda os limites de espaço para estocagem.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

APLICAÇÃO: Planejamento global de utilização (consumo) de matérias primas e plano de distribuição (carregamento) destes materiais.

EMPRESA: NSC (Yawata - escritório Tokyo - chefia).

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Planeja o fornecimento de matérias primas para as áreas de redução de cada usina de forma a satisfazer aos planos de produção da empresa.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

APLICAÇÃO: Planejamento do uso de mão-de-obra para descarregamento de matérias primas.

EMPRESA: NSC (Yawata).

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Planeja as tarefas e as necessidades de mão-de-obra na sua totalidade.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

APLICAÇÃO: Sistema Especialista para Coqueria e Pátio de Carvão.

EMPRESA: NSC (Yawata).

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Não identificada.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

APLICAÇÃO: Apoio à operação de Altos Fornos.

EMPRESA: NSC / Kawasaki Stell / Sumitomo.

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Em uso desde 1988.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

APLICAÇÃO: Monitoração de Temperatura de Alto Forno e Diagnóstico das Condições Anormais.

EMPRESA: NKK.

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Em uso desde 1988.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

APLICAÇÃO: Diagnóstico das Condições do Alto Forno.

EMPRESA: Kobe Stell.

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Em uso desde 1988.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

APLICAÇÃO: Sistema Especialista para Apoio à Operação de Altos Fornos.

EMPRESA: NSC (Kimitsu).

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO:

BENEFÍCIOS: Indicações

AF-3 corretas = 98,3% e incorretas = 1,7%;

AF-4 corretas = 96,6% e incorretas = 2,5%;

APLICAÇÃO: Sistema Especialista para Apoio à Operação do Alto Forno 3 - Módulo: Controle Térmico.

EMPRESA: Usiminas.

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Em uso desde meados de 1991.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

A.2 - ÁREA DE ACIARIA

APLICAÇÃO: Planejamento da operação automática da ponte rolante da área de placas.

EMPRESA: NSC (Kimitsu).

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Planeja a movimentação da ponte, baseado no plano de movimentação de material.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

APLICAÇÃO: Programação do lingotamento.

EMPRESA: NSC (Hirohata).

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Planeja a operação do lingotamento baseado na qualidade e dimensões do material, de forma a atender limitações dos convertedores e HSM ("Hot Strip Mill").

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

APLICAÇÃO: Planejamento do lingotamento contínuo.

EMPRESA: NSC (Yawata).

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Em função da sequência de lingotamento, estabelece-se os valores adequados de velocidade e temperatura, determinando o tempo de lingotamento. O planejamento é feito em função das variações nas condições do lingotamento.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

APLICAÇÃO: Controle integrado de matérias-primas da aciaria.

EMPRESA: NSC (Yawata).

TIPO: Sistema Especialista baseado em Lógica Nebulosa.

DESCRIÇÃO: Planeja o transporte de matérias-primas do pátio para a Aciaria.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

APLICAÇÃO: Controle integrado de matérias-primas da Aciaria.

EMPRESA: NSC (Nagoya).

TIPO: Sistema Especialista baseado em Lógica Nebulosa.

DESCRIÇÃO: Planeja o transporte de matérias-primas do pátio para a Aciaria.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

APLICAÇÃO: Programação cooperativa da produção da aciaria e lingotamento contínuo.

EMPRESA: NKK (Keihin).

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO E BENEFÍCIOS: Sistema baseado em regras, em que procedimentos, regras e usuário cooperam na execução do planejamento. Este sistema visa à busca de um planejamento diário, em que se leva em consideração as restrições dos equipamentos e as características de cada processo.

BENEFÍCIOS: O tempo de planejamento foi reduzido de 3 h para 30 minutos. Tempo de espera de cada carregamento reduzido de 16 minutos para 8 minutos, resultando em redução dos custos de produção em US\$ 1 milhão/ano.

APLICAÇÃO: Previsão de "Breakout" no lingotamento contínuo

EMPRESA: NSC (Yawata).

TIPO: Rede Neuronal.

DESCRIÇÃO: Sistema baseado no princípio de que a detecção de "Breakout" repousa no reconhecimento do padrão de temperatura do molde, detectado durante um "Breakout". O sistema prevê "Breakout" com uma precisão de quase 100%, evitando assim, sua ocorrência a partir de medidas operacionais.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

APLICAÇÃO: Aplicação de lógica nebulosa nos cálculos do controle estático.

EMPRESA: Aciaria BOS (Cracóvia - Polônia).

TIPO: Lógica Nebulosa.

DESCRIÇÃO: Determinação do tempo de sopro principal.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

APLICAÇÃO: Sistema Especialista para Programação de Lingotamento Contínuo.

EMPRESA: NSC.

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Em uso desde 1988.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

A.3 - ÁREA DE LAMINAÇÃO A QUENTE

APLICAÇÃO: Projeto de Qualidade de Placas (proposta).

EMPRESA: Usiminas.

TIPO: Redes Neurais.

DESCRIÇÃO: Sistema para a previsão de propriedades metalúrgicas (Limite de Resistência e Limite de Escoamento) a partir de composição química e temperatura reais de fim de sopro e condições de laminação.

BENEFÍCIOS: Melhor acerto na fabricação de chapas e tiras a quente. Melhoria de rendimento e qualidade.

APLICAÇÃO: Sistema de apoio a manutenção elétrica.

EMPRESA: NSC.

TIPO: Sistema Especialista e Multimídia.

DESCRIÇÃO: Permite a correção da maior parte dos problemas elétricos nas linhas de laminação pela operação. Após o diagnóstico, o sistema auxilia através de mensagens e imagens, a correção do problema.

BENEFÍCIOS: Melhor índice de funcionamento das linhas. Redução de pessoal na NSC, através da eliminação da equipe de turno para manutenção elétrica.

APLICAÇÃO: Avaliação da qualidade na linha de tiras a quente.

EMPRESA: NSC (Yawata).

TIPO: Sistema Especialista

DESCRIÇÃO: O sistema para cada bobina laminada, faz uma avaliação da qualidade da mesma. As principais variáveis analisadas são: Temperatura de Acabamento, Temperatura de Bobinamento, Perfil de resfriamento, Espessura, Largura, Coroamento e Previsão de ocorrência de "High Spot". Estes dados são processados através de técnicas de Inteligência Artificial e, em caso de anormalidade, o sistema indica providências a serem tomadas.

BENEFÍCIOS: Melhoria da qualidade.

APLICAÇÃO: Diagnose de equipamentos.

EMPRESA: NSC (Kimitsu e Oita).

TIPO: Sistema Especialista

DESCRIÇÃO: Sistema para apoiar à manutenção no diagnóstico de falhas. Quando ocorre uma falha, o sistema instrui o operador/eletricista sobre quais ações devem ser tomadas para localizar as falhas e remover as causas.

BENEFÍCIOS: Racionalização de mão-de-obra e aumento de produtividade.

APLICAÇÃO: Proposta para "Set-Up" do "Work Roll Bender".

EMPRESA: Usiminas.

TIPO: Redes Neurais.

DESCRIÇÃO: A forma do material processado no laminador de tiras a quente depende de um correto "set-up" do "Work Roll Bender" (WRB). Atualmente, este "set-up" é feito manualmente e depende da experiência do operador. O correto "set-up" do WRB depende de um grande número de variáveis (temperatura, largura, coroamento, etc.), tornando complexo o modelamento deste processo. Visando a solucionar este problema, sugere-se o uso de redes neurais, cuja principal característica é mapear funções complexas. Para tanto, devem ser coletados dados reais do processo e montado um arquivo que será usado para treinamento da referida rede.

BENEFÍCIOS: Melhoria na forma do material, padronização da operação e estabilidade do material no laminador.

APLICAÇÃO: Planejamento do Laminador a Quente.

EMPRESA: NSC (Hirohata).

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Planeja operação do laminador, considerando as mudanças nas condições operacionais.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

APLICAÇÃO: Planejamento do Laminador.

EMPRESA: NSC (Sakai).

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Planeja, detalhadamente, a operação do laminador a cada 10/30 dias, baseado nos dados fornecidos pelo Sistema de Controle da Produção.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

APLICAÇÃO: Planejamento da Operação Automática da Ponte Rolante da Área de Placas.

EMPRESA: NSC (Kimitsu).

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Planeja a movimentação da ponte, baseado no plano de movimentação de material.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

APLICAÇÃO: Sistema de Programação de Despacho de Chapas.

EMPRESA: Kawasaki Stell.

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Em uso desde 1988.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

APLICAÇÃO: Sistema Especialista para Avaliação de Qualidade de Linha de Tiras a Quente.

EMPRESA: NSC (Yawata).

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Com 340 regras.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

A.4 - ÁREA DE TIRAS A FRIO

APLICAÇÃO: Identificação e controle da forma de tiras em um laminador Sendzimir.

EMPRESA: Hitachi.

TIPO: Sistema híbrido incorporando técnicas de redes neuronais e controle nebuloso.

DESCRIÇÃO: Basicamente, utiliza-se uma rede neuronal para reconhecimento da forma, registrada digitalmente, e controle nebuloso para corrigir as irregularidades da forma, identificadas pela rede neuronal.

BENEFÍCIOS: Padronização operacional com conseqüente melhora da qualidade do material laminado.

APLICAÇÃO: Planejamento da Linha de Recozimento Contínuo.

EMPRESA: NSC (Kimitsu).

TIPO: Sistema Especialista

DESCRIÇÃO: Planeja a seqüência de produção, visando a manter a continuidade operacional da linha.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

APLICAÇÃO: Diagnóstico de qualidade em Linha de Galvanização Eletrolítica.

EMPRESA: NSC.

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Em uso desde 1988.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

A.5 - ÁREA DE ENERGIA

APLICAÇÃO: Controle Integrado de Distribuição de Energia.

EMPRESA: NSC (Kimitsu).

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Faz controle dinâmico a cada instante da produção, consumo e necessidades de cada tipo de energia, de forma a balancear demanda/consumo e permitir fornecimento estável de energia.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

APLICAÇÃO: Reconhecimento de mecanismo de falha em caldeira.

EMPRESA: Ontário Hydro Research, Toronto, Ontário.

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: O "COREXYS" é um sistema desenvolvido para diagnose de mecanismos de falhas em caldeiras. A base de conhecimento para o "COREXYS" é fundamentada no Manual do "Electric Power Research Institute" ("Manual for Investigation and Correction of Boiler Tube Failures"). O "COREXYS" requisita informação do local da falha na caldeira, tipo de combustível usado e características da falha determinada através de observação visual. Esta entrada é usada pelo "COREXYS" para determinar o mecanismo de falha na caldeira.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

APLICAÇÃO: Um sistema especialista para determinar mecanismos de falha em caldeira e realizar análise preliminar de causa principal.

EMPRESA: Não identificada.

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Foi desenvolvido um sistema para auxiliar "Power Plant Staff" na determinação de mecanismo de falha em caldeira. Este sistema também pode prover um guia inteligente para conduzir à análise de causa principal e a tomar ações corretivas em tempo hábil. Além disso, ele disponibiliza uma ferramenta para criar uma base de dados e para treinar as pessoas envolvidas na condução de investigações de falhas em tubulações.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

APLICAÇÃO: Um sistema para controle de resfriamento de água.

EMPRESA: Não identificada.

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Sistema para monitorar e controlar a qualidade de água resfriada melhorando a turbidez, atividades microbiológicas, etc.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

APLICAÇÃO :Proposta para utilização de técnicas de I.A. no projeto de um sistema de proteção para área de caldeiras, sopradores e termoelétrica da Usiminas.

EMPRESA: Usiminas.

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Este sistema objetiva principalmente manter o binômio produção/consumo de vapor constante e igual quando ocorrerem situações de anormalidades. Através de um diagnóstico preciso da ocorrência, é possível aconselhar o operador e/ou atuar no processo de modo a preservar o funcionamento do turbosoprador para o Alto Forno 3, quando acontecer diminuição na produção de vapor, e evitar atuação de válvula de segurança de caldeira, quando ocorrer grande rejeição de vapor.

BENEFÍCIOS: O aproveitamento energético e o retorno financeiro, estimados para projeto, é bastante considerável para Usiminas.

APLICAÇÃO :Sistema para monitoração e controle de subestações.

EMPRESA: NSC (Nagoya).

TIPO: Sistema Especialista

DESCRIÇÃO: Este sistema é utilizado para realizar diagnóstico de falha e orientar a operação na tomada de decisão em caso de anormalidades nas subestações da referida usina siderúrgica.

BENEFÍCIOS: Obtém-se, entre outras coisas, uma maior rapidez no restabelecimento do sistema e uma maior precisão na diagnose da ocorrência.

APLICAÇÃO: Sistema para operação remota de Fábricas de Oxigênio.

EMPRESA: NSC (Yawata).

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Este sistema opera, automaticamente, as Fábricas de Oxigênio 7, 8 e 10 da referida usina siderúrgica. Apresenta como funções: ajustes operacionais, alteração de produção e dessulfuração de GCO.

BENEFÍCIOS: Os resultados operacionais foram medidos na fábrica 8, através de média mensal, a partir de fevereiro/89.

Alteração de produção = 136 com intervenção manual = 0;

Ajuste operacional = 134 com intervenção manual = 9.

A.6 - ÁREA DE MANUTENÇÃO

APLICAÇÃO: Sistema de apoio à manutenção de sistemas de automação. (Obs.: este tipo de sistema pode ser aplicado a outras áreas da manutenção).

EMPRESA: IBM (Sumaré - São Paulo - SP.) - manutenção de automóveis e impressoras.

TIPO: Raciocínio baseado em casos.

DESCRIÇÃO: A partir das descrições das ocorrências de manutenção, que são previamente definidas no computador, o sistema torna-se capaz de, interagindo com o usuário, determinar caso semelhante e recomendar ações que permitem resolver o problema.

BENEFÍCIOS: Retenção da experiência e do conhecimento crítico especializado, democratização do conhecimento, maior disponibilidade do conhecimento especializado, redução da carga de trabalho do especialista, maior autonomia para resolver o problema, evita erros anteriores, fácil aquisição do conhecimento e rápida resposta em situações semelhantes.

A.7 - OUTRAS ÁREAS

APLICAÇÃO: Planejamento do Embarque de Placas.

EMPRESA: NSC (Oita).

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Após a aprovação do embarque, determina a ordem que deverá ser reservada pelos veículos de transporte de placa para o navio.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

APLICAÇÃO: Planejamento de Movimentação de Veículos de Transporte de Produtos Acabados e Semi-Acabados.

EMPRESA: NSC (Muroran, Nagoya e Oita).

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Planeja os serviços dos veículos de transporte.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

APLICAÇÃO: Controle de Movimentação de Trens e Gerenciamento do Sistema Ferroviário.

EMPRESA: NSC (Kimitsu).

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Programa a apropriação das locomotivas baseado no plano geral de movimentação de trens e situação dos mesmos. Modifica em tempo real qualquer apropriação de locomotiva em função dos resultados reais de movimentação dos trens.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

APLICAÇÃO: Sistema de Avaliação de Causas dos Problemas com Equipamentos Hidráulicos.

EMPRESA: NSC.

TIPO: Sistema Especialista.

DESCRIÇÃO: Não identificada.

BENEFÍCIOS: Não quantificado.

APÊNDICE B - LISTA DE ENTRADAS E SAÍDAS DOS CONTROLADORES PROGRAMÁVEIS DAS CALDEIRAS DE 130 t/h

B.1 - ENTRADAS DIGITAIS

E0000.0 - MFT da Caldeira 130.1 - LIGADO.

E0000.1 - Queimador 1A de GAF da Caldeira 130.1 - LIGADO

E0000.2 - Queimador 1B de GAF da Caldeira 130.1 - LIGADO

E0000.3 - Queimador 1C de GAF da Caldeira 130.1 - LIGADO

E0000.4 - Queimador 1D de GAF da Caldeira 130.1 - LIGADO

E0000.5 - Queimador 3A de GAF da Caldeira 130.1 - LIGADO

E0000.6 - Queimador 3B de GAF da Caldeira 130.1 - LIGADO

E0000.7 - Queimador 3C de GAF da Caldeira 130.1 - LIGADO

E0001.0 - Queimador 3D de GAF da Caldeira 130.1 - LIGADO

E0001.1 - Válvula "shut-off" de Alcatrão da Caldeira 130.1 - ABERTA

E0001.2 - Válvula "shut-off" de Alcatrão da Caldeira 130.1 - FECHADA

E0001.3 - Válvula "shut-off" de GAF da Caldeira 130.1 - ABERTA

E0001.4 - Válvula "shut-off" de GAF da Caldeira 130.1 - FECHADA

E0001.5 - Válvula "shut-off" de GCO da Caldeira 130.1 - ABERTA

E0001.6 - Válvula "shut-off" de CG da Caldeira 130.1 - FECHADA

E0001.7 - MFT da Caldeira 130.2 - LIGADO.

E0002.0 - Queimador 1A de GAF da Caldeira 130.2 - LIGADO

E0002.1 - Queimador 1B de GAF da Caldeira 130.2 - LIGADO

E0002.2 - Queimador 1C de GAF da Caldeira 130.2 - LIGADO

E0002.3 - Queimador 1D de GAF da Caldeira 130.2 - LIGADO

E0002.4 - Queimador 3A de GAF da Caldeira 130.2 - LIGADO

E0002.5 - Queimador 3B de GAF da Caldeira 130.2 - LIGADO

E0002.6 - Queimador 3C de GAF da Caldeira 130.2 - LIGADO

E0002.7 - Queimador 3D de GAF da Caldeira 130.2 - LIGADO

E0003.0 - Válvula "shut-off" de Alcatrão da Caldeira 130.2 - ABERTA

E0003.1 - Válvula "shut-off" de Alcatrão da Caldeira 130.2 - FECHADA

E0003.2 - Válvula "shut-off" de GAF da Caldeira 130.2 - ABERTA

E0003.3 - Válvula "shut-off" de GAF da Caldeira 130.2 - FECHADA

E0003.4 - Válvula "shut-off" de GCO da Caldeira 130.2 - ABERTA

E0003.5 - Válvula "shut-off" de GCO da Caldeira 130.2 - FECHADA

E0003.6 - MFT da Caldeira 130.3 - LIGADO.

E0003.7 - Queimador A1 de GAF da Caldeira 130.3 - LIGADO

- E0004.0 - Queimador B1 de GAF da Caldeira 130.3 - LIGADO
E0004.1 - Queimador C1 de GAF da Caldeira 130.3 - LIGADO
E0004.2 - Queimador D1 de GAF da Caldeira 130.3 - LIGADO
E0004.3 - Queimador A2 de GAF da Caldeira 130.3 - LIGADO
E0004.4 - Queimador B2 de GAF da Caldeira 130.3 - LIGADO
E0004.5 - Queimador C2 de GAF da Caldeira 130.3 - LIGADO
E0004.6 - Queimador D2 de GAF da Caldeira 130.3 - LIGADO
E0004.7 - Válvula shut-off de Alcatrão da Caldeira 130.3 - ABERTA
- E0005.0 - Válvula "shut-off" de Alcatrão da Caldeira 130.3 - FECHADA
E0005.1 - Válvula "shut-off" de GAF da Caldeira 130.3 - ABERTA
E0005.2 - Válvula "shut-off" de GAF da Caldeira 130.3 - FECHADA
E0005.3 - Válvula "shut-off" de GCO da Caldeira 130.3 - ABERTA
E0005.4 - Válvula "shut-off" de GCO da Caldeira 130.3 - FECHADA
E0005.5 - Válvula "shut-off" de Vapor para Processo Nº 3 - ABERTA
E0005.6 - Válvula "shut-off" de Vapor para Processo Nº 3 - FECHADA
E0005.7 - Válvula "shut-off" de Interligação dos Coletores - ABERTA
- E0006.0 - Válvula "shut-off" de Interligação dos Coletores - FECHADA
E0006.1 - Válvula "shut-off" de Interligação do Condensado - ABERTA
E0006.2 - Válvula "shut-off" de Interligação do Condensado - FECHADA
E0006.3 - Válvula da Linha de Água de Alimentação da Caldeira 130.1 - ABERTA
E0006.4 - Válvula da Linha de Água de Alimentação da Caldeira 130.1 - FECHADA
E0006.5 - Válvula da Linha de Água de Alimentação da Caldeira 130.2 - ABERTA
E0006.6 - Válvula da Linha de Água de Alimentação da Caldeira 130.2 - FECHADA
E0006.7 - Válvula de Vapor Principal para Turbina TS4 - ABERTA
- E0007.0 - Válvula de Vapor Principal para Turbina TS4 - FECHADA
E0007.1 - Válvula de Vapor Principal para Turbina TS5 - ABERTA
E0007.2 - Válvula de Vapor Principal para Turbina TS5 - FECHADA
E0007.3 - Válvula de Vapor Principal para Turbina TG1 - ABERTA
E0007.4 - Válvula de Vapor Principal para Turbina TG1 - FECHADA
E0007.5 - Válvula de Vapor Principal para Turbina TG2 - ABERTA
E0007.6 - Válvula de Vapor Principal para Turbina TG2 - FECHADA
E0007.7 - Válvula de saída do turbosoprador 4 - ABERTA
- E0008.0 - Válvula de saída do turbosoprador 4 - FECHADA
E0008.1 - Válvula de saída do turbosoprador 5 - ABERTA
E0008.2 - Válvula de saída do turbosoprador 5 - FECHADA
E0008.3 - Bomba de alimentação 1 da caldeira 130 - 3 - LIGADA
E0008.4 - Bomba de alimentação 2 da caldeira 130 - 3 - LIGADA
E0008.5 - Bomba de alimentação 3 da caldeira 130 - 3 - LIGADA
E0008.6 - Disjuntor 13 B 012 - LIGADO
E0008.7 - Disjuntor 13 B 013 - LIGADO

E0009.0 - Disjuntor 13 C 001 - LIGADO

E0009.1 - Disjuntor T - 341 - LIGADO

E0009.2 - Disjuntor T - 342 - LIGADO

E0009.3 - Disjuntor T - 343 - LIGADO

E0009.4 - Disjuntor T - 371 - LIGADO

E0009.5 - Disjuntor T - 372 - LIGADO

E0009.6 - Disjuntor T - 373 - LIGADO

E0009.7 - Disjuntor T - 381 - LIGADO

E0010.0 - Disjuntor T - 382 - LIGADO

E0010.1 - Relé de Subtensão (27) barramento 3,45 KV da Térmica - ATUADO

E0010.2 - Válvula de Vapor para Processo Nº 1 - ABERTA

E0010.3 - Válvula de Vapor para Processo Nº 1 - FECHADA

E0010.4 - Válvula de Vapor para Processo Nº 2 - ABERTA

E0010.5 - Válvula de Vapor para Processo Nº 2 - FECHADA

E0010.6 - Pressão muito baixa do Coletor Nº 1

E0010.7 - Pressão muito baixa do Coletor Nº 2

E0011.0 - Reserva instalado

E0011.1 - Estado da Estação Supervisória parada ou funcionando

E0011.2 - Reserva instalado

E0011.3 - Reserva instalado

E0011.4 - Reserva instalado

E0011.5 - Reserva instalado

E0011.6 - Reserva instalado

E0011.7 - Reserva instalado

E0012.0 - Reserva instalado

E0012.1 - Reserva instalado

E0012.2 - Reserva instalado

E0012.3 - Reserva instalado

E0012.4 - Reserva instalado

E0012.5 - Reserva instalado

E0012.6 - Reserva instalado

E0012.7 - Reserva instalado

E0013.0 - Reserva instalado

E0013.1 - Reserva instalado

E0013.2 - Reserva instalado

E0013.3 - Reserva instalado

E0013.4 - Reserva instalado

E0013.5 - Reserva instalado

E0013.6 - Reserva instalado

E0013.7 - Reserva instalado

E0014.0 - Sinal do CP1 ativo

E0014.1 - Reserva instalado

E0014.2 - Reserva instalado

E0014.3 - Reserva instalado

E0014.4 - Reserva instalado

E0014.5 - Reserva instalado

E0014.6 - Reserva instalado

E0014.7 - Reserva instalado

B.2 - ENTRADAS ANALÓGICAS

R0040.0 - Vazão de Vapor Produzido na Caldeira 130.1

R0040.1 - Vazão de Vapor Produzido na Caldeira 130.2

R0040.2 - Vazão de Vapor Produzido na Caldeira 130.3

R0040.3 - Vazão de Vapor para TS4

R0040.4 - Vazão de Vapor para TS5

R0040.5 - Vazão de Vapor para TG1

R0040.6 - Vazão de Vapor para TG2

R0040.7 - Vazão de Vapor para Processo

R0042.0 - Pressão do Coletor Nº 1

R0042.1 - Pressão do Coletor Nº 2

R0042.2 - Pressão da rede de água de alimentação da caldeira 130.3

R0042.3 - Vazão da água de alimentação da caldeira 130.1

R0042.4 - Vazão da água de alimentação da caldeira 130.2

R0042.5 - Vazão da água de alimentação da caldeira 130.3

R0042.6 - Vazão da água de refrigeração da caldeira 130.1

R0042.7 - Vazão da água de refrigeração da caldeira 130.2

R0044.0 - Vazão da água de refrigeração da caldeira 130.3

R0044.1 - Vazão da Bomba de Alimentação A da Caldeira 130.1/2

R0044.2 - Vazão da Bomba de Alimentação B da Caldeira 130.1/2

R0044.3 - Vazão da Bomba de Alimentação C da Caldeira 130.1/2

R0044.4 - Vazão de GAF da caldeira 130.1

R0044.5 - Vazão de GAF da caldeira 130.2

R0044.6 - Vazão de GAF da caldeira 130.3

R0044.7 - Potência ativa do TG1

R0046.0 - Potência ativa do TG2

R0046.1 - Reserva instalado

R0046.2 - Reserva instalado

R0046.3 - Reserva instalado

R0046.4 - Reserva instalado

R0046.5 - Reserva instalado

R0046.6 - Reserva instalado

R0046.7 - Reserva instalado

R0048.0 - Reserva instalado

R0048.1 - Reserva instalado

R0048.2 - Reserva instalado

R0048.3 - Reserva instalado

R0048.4 - Reserva instalado

R0048.5 - Reserva instalado

R0048.6 - Reserva instalado

R0048.7 - Reserva instalado

B.3 - SAÍDAS DIGITAIS

Sinalizações no painel de operação das caldeiras de 130 t/h (via CP)

- S0016.0 - Válvula motora de água de alimentação da caldeira 130.1 - ABERTA
- S0016.1 - Válvula motora de água de alimentação da caldeira 130.2 - ABERTA
- S0016.2 - Válvula de vapor de processo nº 1 - ABERTA.
- S0016.3 - Válvula de vapor de processo nº 2 - ABERTA.
- S0016.4 - Válvula "shut-off" de vapor de processo nº 3 - ABERTA.
- S0016.5 - Alívio de coletor 1.
- S0016.6 - Alívio de coletor 2.
- S0016.7 - Parada de uma bomba de alimentação.

- S0017.0 - Redução de GAF da caldeira 130.1.
- S0017.1 - Redução de GAF da caldeira 130.2.
- S0017.2 - Redução de GAF da caldeira 130.3.
- S0017.3 - Aumentar combustível da caldeira 130.1.
- S0017.4 - Aumentar combustível da caldeira 130.2.
- S0017.5 - Reduzir combustível da caldeira 45 t/h.
- S0017.6 - Válvula "shut-off" de interligação de condensado - FECHADA.
- S0017.7 - Válvula "shut-off" de interligação de coletores - FECHADA.

- S0018.0 - Desligamento do disjuntor 13 B 012.
- S0018.1 - Parada do turbo gerador fixo para a S/E Alto Forno.
- S0018.2 - Parada do turbo gerador em flutuação.
- S0018.3 - Aumentar carga do turbo gerador em flutuação.
- S0018.4 - Reduzir carga do gerador em flutuação para 13 MW.
- S0018.5 - Alta pressão na rede de água de alimentação da caldeira 130.3
- S0018.6 - Baixa pressão água make-up manifold 1
- S0018.7 - Baixa pressão água make-up manifold 2

- S0019.0 - Usado para indicar modalidade operacional
- S0019.1 - Usado para indicar modalidade operacional
- S0019.2 - Usado para indicar modalidade operacional
- S0019.3 - Usado para indicar modalidade operacional
- S0019.4 - Usado para indicar confirmação de modalidade operacional
- S0019.5 - Usado para indicar confirmação de modalidade operacional
- S0019.6 - Usado para indicar confirmação de modalidade operacional
- S0019.7 - Usado para indicar confirmação de modalidade operacional

Sinalizações no painel de operação dos turbogeradores (via CP)

S0020.0 - Aumentar carga do turbo gerador em flutuação.
S0020.1 - Reduzir carga do gerador em flutuação para 13 MW.
S0020.2 - Parada da caldeira 130.1.
S0020.3 - Parada da caldeira 130.2.
S0020.4 - Parada da caldeira 130.3.
S0020.5 - Válvula "shut-off" de interligação de condensado - FECHADA.
S0020.6 - Válvula "shut-off" de interligação de coletores - FECHADA.
S0020.7 - Pressão muito baixa coletor 1.

S0021.0 - Pressão muito baixa coletor 2.
S0021.1 - Transformador nº 1 da Aciaria - DESLIGADO.
S0021.2 - Reserva instalado
S0021.3 - Reserva instalado
S0021.4 - Reserva instalado
S0021.5 - Reserva instalado
S0021.6 - Reserva instalado
S0021.7 - Reserva instalado

S0022.0 - Sincronismo para o outro CP - Indica que ele está ativo
S0022.1 - Reserva instalado
S0022.2 - Reserva instalado
S0022.3 - Reserva instalado
S0022.4 - Reserva instalado
S0022.5 - Reserva instalado
S0022.6 - Reserva instalado
S0022.7 - Reserva instalado

S0023.0 - Sincronismo para o outro CP - Indica que ele está ativo
S0023.1 - Reserva instalado
S0023.2 - Reserva instalado
S0023.3 - Reserva instalado
S0023.4 - Reserva instalado
S0023.5 - Reserva instalado
S0023.6 - Reserva instalado
S0023.7 - Desliga fonte de 24 VCC do CP que estiver como secundário

Sinais para atuações

- S0024.0 - Válvula "shut-off" de Vapor para Processo Nº 3 - Comando de Fechamento
S0024.1 - Válvula "shut-off" de Interligação dos Coletores - Comando de Fechamento
S0024.2 - Válvula "shut-off" de Interligação do Condensado - Comando de Fechamento
S0024.3 - Válvula da Rede de Água de Alim. Cald. 130.1 - Comando de abertura
S0024.4 - Válvula da Rede de Água de Alim. Cald. 130.2 - Comando de abertura
S0024.5 - Bomba de Alimentação 1 da Caldeira 130.3 - Comando desliga
S0024.6 - Bomba de Alimentação 2 da Caldeira 130.3 - Comando desliga
S0024.7 - Bomba de Alimentação 3 da Caldeira 130.3 - Comando desliga
- S0025.0 - Válvula do Queimador de GAF 1A da Caldeira 130.1 - Comando de Fechamento
S0025.1 - Válvula do Queimador de GAF 1B da Caldeira 130.1 - Comando de Fechamento
S0025.2 - Válvula do Queimador de GAF 1C da Caldeira 130.1 - Comando de Fechamento
S0025.3 - Válvula do Queimador de GAF 1D da Caldeira 130.1 - Comando de Fechamento
S0025.4 - Válvula do Queimador de GAF 3A da Caldeira 130.1 - Comando de Fechamento
S0025.5 - Válvula do Queimador de GAF 3B da Caldeira 130.1 - Comando de Fechamento
S0025.6 - Válvula do Queimador de GAF 3C da Caldeira 130.1 - Comando de Fechamento
S0025.7 - Válvula do Queimador de GAF 3D da Caldeira 130.1 - Comando de Fechamento
- S0026.0 - Válvula do Queimador de GAF 1A da Caldeira 130.2 - Comando de Fechamento
S0026.1 - Válvula do Queimador de GAF 1B da Caldeira 130.2 - Comando de Fechamento
S0026.2 - Válvula do Queimador de GAF 1C da Caldeira 130.2 - Comando de Fechamento
S0026.3 - Válvula do Queimador de GAF 1D da Caldeira 130.2 - Comando de Fechamento
S0026.4 - Válvula do Queimador de GAF 3A da Caldeira 130.2 - Comando de Fechamento
S0026.5 - Válvula do Queimador de GAF 3B da Caldeira 130.2 - Comando de Fechamento
S0026.6 - Válvula do Queimador de GAF 3C da Caldeira 130.2 - Comando de Fechamento
S0026.7 - Válvula do Queimador de GAF 3D da Caldeira 130.2 - Comando de Fechamento

S0027.0 - Válvula do Queimador de GAF A1 da Caldeira 130.3 - Comando de Fechamento
S0027.1 - Válvula do Queimador de GAF B1 da Caldeira 130.3 - Comando de Fechamento
S0027.2 - Válvula do Queimador de GAF C1 da Caldeira 130.3 - Comando de Fechamento
S0027.3 - Válvula do Queimador de GAF D1 da Caldeira 130.3 - Comando de Fechamento
S0027.4 - Válvula do Queimador de GAF A2 da Caldeira 130.3 - Comando de Fechamento
S0027.5 - Válvula do Queimador de GAF B2 da Caldeira 130.3 - Comando de Fechamento
S0027.6 - Válvula do Queimador de GAF C2 da Caldeira 130.3 - Comando de Fechamento
S0027.7 - Válvula do Queimador de GAF D2 da Caldeira 130.3 - Comando de Fechamento

S0028.0 - Disjuntor da S/E da Aciaria 13B012 - Comando Desliga
S0028.1 - Bloqueio de comando do disjuntor 13 B 012
S0028.2 - Comando Desliga Disjuntor T - 341 - Comando Desliga
S0028.3 - Comando Desliga Disjuntor T - 342 - Comando Desliga
S0028.4 - Bloqueio de comando do disjuntor T - 343
S0028.5 - Bloqueio de comando do disjuntor T - 371
S0028.6 - Bloqueio de comando do disjuntor T - 372
S0028.7 - Bloqueio de comando do disjuntor T - 381

S0029.0 - Bloqueio de comando do disjuntor T - 382
S0029.1 - Válvula de vapor para processo 1 - Abre/Fecha
S0029.2 - Válvula de vapor para processo 2 - Abre/Fecha
S0029.3 - Pressão baixa coletor 1
S0029.4 - Pressão baixa coletor 2
S0029.5 - Pressão alta água alimentação
S0029.6 - Reserva instalado
S0029.7 - Reserva instalado

S0030.0 - Comando válvula interligação manifold 1 e 2 - abre/fecha
S0030.1 - Reserva instalado
S0030.2 - Reserva instalado
S0030.3 - Reserva instalado
S0030.4 - Reserva instalado
S0030.5 - Reserva instalado
S0030.6 - Reserva instalado
S0030.7 - Reserva instalado

S0031.0 - Reserva instalado
S0031.1 - Reserva instalado
S0031.2 - Reserva instalado
S0031.3 - Reserva instalado
S0031.4 - Reserva instalado
S0031.5 - Reserva instalado
S0031.6 - Reserva instalado
S0031.7 - Reserva instalado

APÊNDICE C - LISTA DE ENTRADAS E SAÍDAS DOS CONTROLADORES PROGRAMÁVEIS DAS CALDEIRAS DE 45 t/h

C.1 - ENTRADAS DIGITAIS

E0000.0 - C45.1 - Pressão baixa do óleo estabilizador	- Pressão normal
E0000.1 - C45.1 - Parada da caldeira 1	- Caldeira funcionando
E0000.2 - C45.1 - Nível de água do tambor superior baixíssimo	- Nível normal
E0000.3 - C45.1 - V.T.I. parado	- V.T.I. funcionando
E0000.4 - C45.1 - V.T.F. parado	- V.T.F. funcionando
E0000.5 - C45.1 - Pressão baixa de GAF	- Pressão normal
E0000.6 - C45.1 - Pressão baixa de GAC	- Pressão normal
E0000.7 - C45.1 - Pressão baixa do óleo combustível/creosoto	- Pressão normal
E0001.0 - C45.1 - Pressão de alcatrão baixa	- Pressão normal
E0001.1 - C45.1 - Pedido de purga da caldeira 1 acionado	- Start-up acionado
E0001.2 - C45.1 - CH2 não acionada	- CH2 acionada
E0001.3 - C45.1 - Falta de chama I.V.Q.I.	- Com chama I.V.Q.I.
E0001.4 - C45.1 - Falta de chama I.V.Q.S.	- Com chama I.V.Q.S.
E0001.5 - C45.1 - Falta de chama U.V.Q.I.	- Com chama U.V.Q.I.
E0001.6 - Reserva instalado	
E0001.7 - C45.1 - Válv. bloqueio de GAF não liberada	- Válvula liberada
E0002.0 - C45.1 - Válv. bloqueio de GAC não liberada	- Válvula liberada
E0002.1 - C45.1 - Válv. bloqueio de óleo creosoto não liberada	- Válvula liberada
E0002.2 - C45.1 - Válv. bloqueio de alcatrão não liberada	- Válvula liberada
E0002.3 - C45.1 - Válv. bloq. QE óleo e vapor atom. não liber.	- Válvula liberada
E0002.4 - Reserva instalado	
E0002.5 - Reserva instalado	
E0002.6 - C45.1 - Comando para abrir dreno de selo de GAF	- A definir
E0002.7 - C45.1 - Nível de água do selo de GAF normal	- A definir
E0003.0 - C45.2 - Pressão baixa do óleo estabilizador	- Pressão normal
E0003.1 - C45.2 - Parada da caldeira 2	- Caldeira funcionando
E0003.2 - C45.2 - Nível de água do tambor superior baixíssimo	- Nível normal
E0003.3 - C45.2 - V.T.I. parado	- V.T.I. funcionando
E0003.4 - C45.2 - V.T.F. parado	- V.T.F. funcionando
E0003.5 - C45.2 - Pressão baixa de GAF	- Pressão normal
E0003.6 - C45.2 - Pressão baixa de GAC	- Pressão normal
E0003.7 - C45.2 - Pressão baixa do óleo combustível/creosoto	- Pressão normal

E0004.0 - C45.2 - Pressão de alcatrão baixa	- Pressão normal
E0004.1 - C45.2 - Pedido de purga da caldeira 2 acionado	- Star-up acionado
E0004.2 - C45.2 - CH2 não acionada	- CH2 acionada
E0004.3 - C45.2 - Falta de chama I.V.Q.I.	- Com chama I.V.Q.I.
E0004.4 - C45.2 - Falta de chama I.V.Q.S.	- Com chama I.V.Q.S.
E0004.5 - C45.2 - Falta de chama U.V.Q.I.	- Com chama U.V.Q.I.
E0004.6 - C45.2 - Falta de chama U.V.Q.S.	- Com chama U.V.Q.S.
E0004.7 - C45.2 - Válv. de bloqueio de GAF não liberada	- Válvula liberada
E0005.0 - C45.2 - Válv. bloqueio de GAC não liberada	- Válvula liberada
E0005.1 - C45.2 - Válv. bloqueio de óleo creosoto não liber.	-Válvula liberada
E0005.2 - C45.2 - Válv. bloqueio de alcatrão não liberada	- Válvula liberada
E0005.3 - C45.2 - Válv. bloqueio QE óleo e vapor atom. não lib.	-Válvula liberada
E0005.4 - C45.2 - Comando para abrir dreno de selo de GAC	- A definir
E0005.5 - C45.2 - Nível de água do selo de GAC normal	- A definir
E0005.6 - C45.2 - Comando para abrir dreno de selo de GAF	- A definir
E0005.7 - C45.2 - Nível de água do selo de GAF normal	- A definir
E0006.0 - COMUM - Pressão baixa da água de alimentação	- Pressão normal
E0006.1 - COMUM - Bomba 1 da água de alimentação desligada	-Bomba ligada
E0006.2 - COMUM - Bomba 2 da água de alimentação desligada	-Bomba ligada
E0006.3 - COMUM - Bomba 3 da água de alimentação desligada	-Bomba ligada
E0006.4 - COMUM - Nível de água do tambor desaerador baixo	-Nível normal
E0006.5 - COMUM - Bomba 1 da água de aliment. não preparada	-Bomba preparada
E0006.6 - COMUM - Bomba 2 da água de aliment. não preparada	-Bomba preparada
E0006.7 - COMUM - Bomba 3 da água de aliment. não preparada	-Bomba preparada
E0007.0 - COMUM - Pressão normal de ar dos instrumentos	-Pressão normal
E0007.1 - COMUM - Pressão alta da água de alimentação	- Pressão normal
E0007.2 - COMUM - Nível baixo do tanque desmineralizador	- Nível normal
E0007.3 - COMUM - Bomba 1 de alcatrão desligada	- Bomba ligada
E0007.4 - COMUM - Bomba 2 de alcatrão desligada	- Bomba ligada
E0007.5 - COMUM - Bomba 3 de alcatrão desligada	- Bomba ligada
E0007.6 - COMUM - Bomba 1 de alcatrão não preparada	- Bomba preparada
E0007.7 - COMUM - Bomba 2 de alcatrão não preparada	- Bomba preparada
E0008.0 - COMUM - Bomba 3 de alcatrão não preparada	- Bomba preparada
E0008.1 - COMUM -Pressão baixa na saída das bombas de alcatrão	-Pressão normal
E0008.2 - COMUM - Pressão alta da água desmineralizada	- Pressão normal
E0008.3 - COMUM - Partida sem chama não permitida	- Partida permitida
E0008.4 - COMUM - Pressão baixa da água desmineralizada	- Pressão normal
E0008.5 - COMUM - Bomba 1 de água pura preparada	- Bomba preparada
E0008.6 - COMUM - Bomba 2 de água pura preparada	- Bomba preparada
E0008.7 - COMUM - CP1 funcionando	- CP1 funcionando

E0009.0 - COMUM - A Bomba 1 de água pura ligada	- Bomba ligada
E0009.1 - COMUM - A Bomba 2 de água pura ligada	- Bomba ligada
E0009.2 - COMUM - Reserva instalado	
E0009.3 - COMUM - Reserva instalado	
E0009.4 - COMUM - Reserva instalado	
E0009.5 - COMUM - Reserva instalado	
E0009.6 - COMUM - Reserva instalado	
E0009.7 - COMUM - Reserva instalado	

C.2 - ENTRADAS ANALÓGICAS

R0040.0 - C45.1 - Vazão de GAF

R0040.1 - C45.2 - Vazão de GAF

R0040.2 - C45.1 - Vazão de Alcatrão

R0040.3 - C45.2 - Vazão de Alcatrão

R0040.4 - C45.1 - Vazão de Vapor

R0040.5 - C45.2 - Vazão de Vapor

R0040.6 - COMUM - Pressão no coletor de Vapor

R0040.7 - COMUM - Vazão de água de alimentação das caldeira de 45 e 130 t/h

C.3 - SAÍDAS DIGITAIS

S0016.0 - C45.1 - Válv. de bloqueio de GAC	- Válvula bloqueada
S0016.1 - C45.1 - Válv. bloqueio de creosoto	- Válvula bloqueada
S0016.2 - C45.1 - Válv. bloqueio de alcatrão	- Válvula bloqueada
S0016.3 - C45.1 - Válv. bloqueio de óleo estabilizador	- Válvula bloqueada
S0016.4 - C45.1 - Válv. bloqueio de GAF	- Válvula bloqueada
S0016.5 - C45.1 - Válv. bloqueio de vapor de atomização	- Válvula bloqueada
S0016.6 - C45.1 - Permissão ignição QI ou QS	- Ignição bloqueada
S0016.7 - C45.1 - Permissão para liberar válvulas GLP	- GLP bloqueado
S0017.0 - C45.2 - Válv. bloqueio de GAC	- Válvula bloqueada
S0017.1 - C45.2 - Válv. bloqueio de creosoto	- Válvula bloqueada
S0017.2 - C45.2 - Válv. bloqueio de alcatrão	- Válvula bloqueada
S0017.3 - C45.2 - Válv. bloqueio de óleo estabilizador	- Válvula bloqueada
S0017.4 - C45.2 - Válv. bloqueio de GAF	- Válvula bloqueada
S0017.5 - C45.2 - Válv. bloqueio de vapor de atomização	- Válvula bloqueada
S0017.6 - C45.2 - Permissão ignição QI ou QS	- Ignição bloqueada
S0017.7 - C45.2 - Permissão para liberar válvulas de GLP	- GLP bloqueado
S0018.0 - COMUM - CP1 em funcionamento	- Em funcionamento
S0018.1 - COMUM - Alarme: nível baixo do tanque de água desmi.	- Alarme atuado
S0018.2 - C45.1 - Período de purga	- Fazendo purga
S0018.3 - COMUM - Alarme: Pressão baixa água de alimentação	- Alarme acionado
S0018.4 - C45.1 - Alarme: CH2 ligada	- Alarme atuado
S0018.5 - C45.1 - Bloqueio geral das válvulas bloqueio	- Válvulas desbloqueada
S0018.6 - C45.1 - Parada geral	- Parada geral
S0018.7 - C45.1 - Parada da caldeira	- Caldeira funcionando
S0019.0 - C45.2 - Período de purga	- Fazendo purga
S0019.1 - Reserva instalado	
S0019.2 - Reserva instalado	
S0019.3 - Reserva instalado	
S0019.4 - C45.2 - Alarme: CH2 ligada	- Alarme atuado
S0019.5 - C45.2 - Bloqueio geral das válvulas de bloqueio	- Válvulas desbloqueada
S0019.6 - C45.2 - Parada geral	- Alarme acionado
S0019.7 - C45.2 - Parada da caldeira	- Caldeira funcionando
S0020.0 - C45.1 - Fechar válvula selagem GAC	- Válvula fechada
S0020.1 - C45.1 - Abrir válvula dreno GAC	- Válvula aberta
S0020.2 - C45.1 - Fechar válvula selagem GAF	- Válvula fechada
S0020.3 - C45.1 - Abrir válvula dreno GAF	- Válvula aberta
S0020.4 - C45.2 - Fechar válvula selagem GAC	- Válvula fechada
S0020.5 - C45.2 - Abrir válvula dreno GAC	- Válvula aberta
S0020.6 - C45.2 - Fechar válvula selagem GAF	- Válvula fechada
S0020.7 - C45.2 - Abrir válvula dreno GAF	- Válvula aberta

S0021.0 - Reserva instalado

S0021.1 - COMUM - Ligar bomba de água de alimentação 1 - Bomba ligada

S0021.2 - COMUM - Ligar bomba de água de alimentação 2 - Bomba ligada

S0021.3 - COMUM - Ligar bomba de água de alimentação 3 - Bomba ligada

S0021.4 - COMUM - Desligar bomba de água de alimentação 1-Bomba desligada

S0021.5 - COMUM - Desligar bomba de água de alimentação 2-Bomba desligada

S0021.6 - COMUM - Desligar bomba de água de alimentação 3-Bomba desligada

S0021.7 - COMUM - Alarme: Nenhuma bomba água aliment. prep.-Alarme acionado

S0022.0 - COMUM - Ligar bomba de alcatrão 1

- Bomba ligada

S0022.1 - COMUM - Ligar bomba de alcatrão 2

- Bomba ligada

S0022.2 - COMUM - Ligar bomba de alcatrão 3

- Bomba ligada

S0022.3 - COMUM - Alarme: liguei bomba de alcatrão

- Liguei bomba

S0022.4 - COMUM - Ligar bomba de água pura 1

- Bomba ligada

S0022.5 - COMUM - Ligar bomba de água pura 2

- Bomba ligada

S0022.6 - COMUM - Desligar bomba de água pura 1

- Bomba desligada

S0022.7 - COMUM - Desligar bomba de água pura 2

- Bomba desligada