NILSON MAGALHÃES BUENO

**AUTOMAÇÃO NO CONTROLE DO TEMPO DE COQUEIFICAÇÃO EM
BATERIAS DE COQUE - SIDERURGIA**

**São Paulo
2012**

NILSON MAGALHÃES BUENO

**AUTOMAÇÃO NO CONTROLE DO TEMPO DE COQUEIFICAÇÃO EM
BATERIAS DE COQUE - SIDERURGIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

**São Paulo
2012**

NILSON MAGALHÃES BUENO

**AUTOMAÇÃO NO CONTROLE DO TEMPO DE COQUEIFICAÇÃO EM
BATERIAS DE COQUE - SIDERURGIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Sistemas de Potência

Orientador: Professor Doutor Eduardo Mario Dias

**São Paulo
2012**

FICHA CATALOGRÁFICA

Bueno, Nilson Magalhães

**Automação no controle do tempo de coqueificação em baterias de coque - siderurgia / N.M. Bueno. -- São Paulo, 2012.
80 p.**

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

**1.Automação industrial 2.Coque (Produção; Processos; Controle)
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas II.t.**

BUENO, N. M. Automação no Controle do Tempo de Coqueificação em Baterias de Coque - Siderurgia. Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Aprovado em: ____ / ____ / 2012

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado à minha esposa Rose e meu filho Kaio.

À Rose, o meu reconhecimento e gratidão pela compreensão e incentivo na busca de meus ideais.

Ao Kaio, meu agradecimento por fazer parte de nossa vida e exemplo de perseverança no alcançar de seus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Ditam as normas acadêmicas que uma dissertação é uma obra de autoria individual, de modo que, o único nome aparece sob a rubrica é do “autor”. No entanto, tal tarefa dificilmente poderia ser levada a cabo sem o concurso de vários indivíduos e instituições que, em maior ou menor grau, se tornam coautores efetivos da obra. Em meu caso, reconhecendo em primeiro lugar a possível imperfeição dessa retrospectiva, e desde já me penitenciando por eventuais omissões, gostaria de consignar a minha especial gratidão:

- A Deus, que proveu as forças físicas, mentais e espirituais indispensáveis para a realização deste trabalho.
- Ao meu orientador junto ao USP/PEA - Prof. Dr. Eduardo Mario Dias.
- Aos meus pais, que ao longo de sua vida profissional pelo incentivo e apoio às minhas realizações acadêmicas e pelo amor eterno.
- Ao meu pai, Niuton Bueno, que ao longo de toda sua vida profissional, compartilho o orgulho do amor e dedicação ao trabalho no ambiente siderúrgico da COSIPA / USIMINAS.
- Aos meus familiares, por sempre acreditarem em meu esforço.
- Aos meus amigos da indústria siderúrgica, que facilmente se identificam nestas palavras, em especial ao Engº Luis Claudio Costa.
- Aos meus amigos da docência, inspiradores de novas metas e desafios, em especial ao Dr. Marcelo Nogueira.
- Por fim, mas não menos importante, à minha esposa Rose e meu filho Kaio, que, apesar de terem sido privados do meu convívio durante a elaboração deste trabalho, não me privaram do suporte emocional indispensável para a sua conclusão

RESUMO

BUENO, N. M. **Automação no Controle do Tempo de Coqueificação em Baterias de Coque - Siderurgia**. 2012. 80p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2012.

Este trabalho apresenta a arquitetura de hardware, software e os resultados da implantação de um sistema automação industrial em ambiente siderúrgico, especificamente nas Baterias de Coque do grupo Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S/A – Usiminas, precisamente na Usina de Cubatão, localizada no município de Cubatão, estado de São Paulo - Brasil. O sistema de automação monitora em tempo real o processo de coqueificação através da obtenção da temperatura na exaustão dos gases do processo de aquecimento do carvão mineral. O objetivo é estabelecer a relação da temperatura dos gases de exaustão, proveniente do aquecimento do carvão mineral versus a determinação do tempo ideal para o respectivo desenformamento. O ganho de produção gerado pela implantação deste sistema é apresentado ao final deste trabalho.

Palavras Chave: Automação, Baterias de Coque, Carvão Mineral, Coqueificação, Siderurgia.

ABSTRACT

BUENO, N. M. **Automation of Control in Coking Time in Coke Oven – Steel Industry**. 2012. 80p. Thesis (Masters) - Polytechnic School, University of São Paulo, 2012.

This work presents the architecture of hardware, software and the results of implantation of a steel industrial automation environment, specifically in the group of Coke Drums Steel Units of Minas Gerais S/A - Usiminas, precisely in Cubatão Plant, located in Cubatão, state of Sao Paulo - Brazil. The automation system monitors the real time coking process by raising the temperature in the exhaust gases of the heating process the coal. The aim is to establish the relationship between the temperatures of the exhaust gases, from the heating coal versus determining the optimal time for the respective furnace charging. The gain in output generated by the deployment of this system is provided at the end of this work.

Keywords: Automation, Batteries of Coke, Coal, Coke, Steel Industry.

Lista de Ilustrações

Figura 1 - Fluxo de produção do aço - Fonte: Intranet Usiminas	6
Figura 2 - Vista noturna Alto Forno - Fonte: Intranet Usiminas	8
Figura 3 - Fluxo produção Alto Forno.....	9
Figura 4 – Fluxo de produção da sinterização.....	10
Figura 5 - Fluxo de produção Baterias de Coque	10
Figura 6 - Grupo 1 e Grupo 2 - Baterias de Coque.....	11
Figura 7 - Produção do Gás de Coqueria - GCO	12
Figura 8 - Baterias de Coque Grupo 1	13
Figura 9 - Baterias de Coque Grupo 2	14
Figura 10 - Corte típico de bateria de coque – fornos e regeneradores de aquecimento	15
Figura 11 - Máquinas móveis Grupo 2. Fonte: Intranet Usiminas_UC.....	17
Figura 12 - Vista topo das baterias, carro apagador e máquina desenformadora.Fonte:	19
Figura 13 - Coque metalúrgico - Fonte: Intranet Usiminas	20
Figura 14 - Reações químicas - craqueamento e aromatização.....	21
Figura 15 - Variação de temperatura ao longo da carga do carvão enformado.	23
Figura 16 - Método visual do tempo de coqueificação	24
Figura 17 - Gráfico de tendência das temperaturas dos termopares	27
Figura 18 - Rota do gás produzido em forno de coque.	28
Figura 19 – Misturador GAF x GCO - Fonte: SCADA.....	30
Figura 20 - Controle fluxo térmico e exaustão gases de combustão	31
Figura 21 - Exaustão dos gases de coqueificação	31
Figura 22 - Arquitetura de rede de controladores e estações de supervisão.	32
Figura 23 - Malhas e instrumentos típicos em baterias de coque.....	33
Figura 24 - Local de inserção do termopar.....	34
Figura 25 - Rota de cabos de sinal fornos bateria 4	36
Figura 26 - Rota de cabos de sinal fornos bateria 5	36
Figura 27 - Corte típico inserção do termopar no tubo de ascensão	37
Figura 28 - Medição de temperatura - junta fria	38
Figura 29 – Família de Termopares – Relação: Tensão saída (mv) x Temp (°C)	39
Figura 30 - Desvio temperatura termopar tipo N	40
Figura 31 - Detalhe típico instalação termopar	40
Figura 32 - Estrutura básica do CLP	42
Figura 33 - Ciclo de processamento dos CLPs	43
Figura 34 - Diagrama das partes constantes em um CLP	44
Figura 35 - CLP da marca Rockwell	44

Figura 36 - Arquitetura de rede de dados	46
Figura 37 - Dimensões físicas do módulo AL-3632	47
Figura 38 - Dimensões físicas do módulo AL-3512	48
Figura 39 - Vista frontal do AL-2004	49
Figura 40 - Vista frontal do AL-3406	50
Figura 41 - Módulo PO5063 e base PO6500	51
Figura 42 - Módulo PO5063 base PO6500	52
Figura 43 - Chaves de configuração e fusível	53
Figura 44 - Módulo PO1112 base PO6001	53
Figura 45 - Conector AL-2602 e cabo AL-2303	56
Figura 46 - Conexões dos cabos módulos Profibus PO5063	56
Figura 47 - Conector Profibus interface AL-3406 mestre	56
Figura 48 - Termopar tipo N no módulo PO1112	57
Figura 49 - Vista frontal e lateral	58
Figura 50 - Software configuração MasterTools	59
Figura 51 - Configuração módulo Profibus	59
Figura 52 - Tela apresentação supervisorio	61
Figura 53 - Layout de telas	62
Figura 54 - Menu navegação	62
Figura 55 - Janela de eventos e alarmes do processo	62
Figura 56 - Telas do processo	63
Figura 57 - Software OPC Keepware Server	64
Figura 58 - Software COQR - Controle de Enfornamento/Desenformaneto	65
Figura 59 - Software COQR - Controle de Coqueificação	65
Figura 60 - Principais funções software de controle de coqueificação	66
Figura 61 - Análise do enfornamento	67
Figura 62 - Análise temperatura abaixo da média	67
Figura 63 - Análise da temperatura máxima	68
Figura 64 - Arquitetura WEB	70
Figura 65 - Browser intranet - WebRed	71
Figura 66 - Sumário de Telas Sinótica Web	72
Figura 67 - Termopares "online" na Web	72
Figura 68 - Controle do Tempo de Coqueificação Web	73
Figura 69 - Temperatura do gás x Tempo de Coqueificação	75

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Lista de módulos - (a) Módulos; (b) Descrição dos componente	62
Tabela 2 - Módulo AL-3512 - (a) Características técnicas; (b) Descrição	63
Tabela 3 - Módulo AL-2004 - (a) Características técnicas; (b) Descrição	64
Tabela 4 - Módulo AL-3406 - (a) Características técnicas; (b) Descrição	65
Tabela 5 - Módulo PO5063 - (a) Características técnicas; (b) Descrição	66
Tabela 6 - Módulo PO1112 - (a) Características técnicas; (b) Descrição	69
Tabela 7 - Características softwares - (a) Características técnicas; (b) Descrição	69
Tabela 8 - Lista de equipamentos - (a) Equipamentos; (b) Descrição técnica	70
Tabela 9 – Memorial de Cálculo - Consumo x Economia	91
Tabela 10 – Custo Implantação x Retorno Econômico	91

Lista de Abreviaturas e Siglas

GCO	Gás de Coqueria
BTX	Benzeno, tolueno e xenol
LD	Lado Desenformamento
LC	Lado do Coque
GAF	Gás de Alto Forno
PCI	Poder Calorífico Inferior
GM	Gás Misto
ME	Máquina Enfornadora
MD	Máquina Desenfornadora
CA	Carro Apagador
CTC	Carro de Transferência de oque
EPI	Equipamento de Proteção Individual
SCADA	Supervisory Control and Data Aquisition
CLP	Controlador Lógico Programável
CXJ	Caixa de Junção
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
E/S	Entrada / Saída
UCP	Unidade Central de Processamento
A/D	Analógico / Digital
D/A	Digital / Analógico
RAM	Random Access Memory
PROM	Programmable Read-Only Memory
EPROM	Erasable Programmable Read-Only Memory
EEPROM	Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory
HTML	HyperText Markup Language
TMAX	Tempo Máximo
TMED	Temperatura Média
OPC	OLE for Process Control
OLE	Object Linking and Embedding
LAN	Local Area Network
IP	Internet Protocol
TA	Tecnologia da Automação
TI	Tecnologia da Informação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos	2
1.2	Justificativa.....	2
1.3	Metodologia.....	3
1.4	Caracterização do problema	4
1.5	Organização da dissertação.....	5
2	PROCESSO INDUSTRIAL.....	6
2.1	Sumário do processo siderúrgico de obtenção de aço.	6
2.2	Alto Forno	7
2.2.1	Reações de redução para obtenção do gusa.....	9
2.3	Sinterização	9
2.4	Baterias de Coque	10
2.4.1	Processamento do gás de coqueria – GCO.....	12
2.5	Processo de Fabricação do Coque	13
2.5.1	A estrutura das baterias de coque	14
2.5.2	O sistema de aquecimento dos fornos.....	16
2.5.3	A operação dos fornos	16
2.6	Processo de coqueificação	19
2.6.1	Processo físico-químico da coqueificação	19
2.6.2	Dinâmica da transferência de calor no processo de coqueificação....	22
3	METODOLOGIA DO TEMPO LÍQUIDO DE COQUEIFICAÇÃO	24
3.1	Método visual do tempo de coqueificação	24
3.2	Método prático do tempo de coqueificação.....	26
3.2.1	Execução do experimento no forno industrial	26
4	IMPLANTAÇÃO DA AUTOMAÇÃO JUNTO AO PROCESSO	30
4.1	Requisitos do projeto	33
4.2	Projeto de Instrumentação	35
4.2.1	Determinação do termopar.....	37
4.2.2	Determinação do CLP	42
4.2.3	Rede Profibus	55
4.2.4	Software configuração CLP.....	58

4.3	Projeto de Automação.....	60
4.3.1	Software de Supervisão e Controle do Processo.....	60
4.3.2	Aplicativo de supervisão do processo	60
4.4	Geração de Relatórios e Aquisição de Dados.....	64
5	TECNOLOGIA WEB	69
5.1	Processo Coqueificação na Web	71
6	ANALISE DOS RESULTADOS	74
7	CONCLUSÕES	77
8	REFERÊNCIAS.....	78

1 INTRODUÇÃO

O controle do tempo de coqueificação é um item dos mais importantes na operação de uma coqueria. No intuito de se obter o efeito de tempo de supercoqueificação na qualidade do coque é necessário um perfeito julgamento do ponto final da coqueificação a fim de se manter o controle do tempo necessário para a homogeneização do coque em toda a carga do forno. É muito difícil a definição do final de coqueificação de um forno sendo um caminho teórico a determinação em função do gás produzido devido ao aumento no teor de H_2 , redução no teor de CH_4 e redução no poder calorífico. Na prática usa-se a inspeção visual, forno a forno. Desta forma o final de coqueificação é determinado pela coloração do gás que aparece quando é destampado o tubo de ascensão. No início da destilação de carvão, o gás apresenta cor amarelado escuro, sendo que ao final teremos branco azulado, semi-transparente. Devido as variações normais do método visual, os resultados são obtidos com uma margem considerável de erro, o que nos obriga trabalhar com um tempo adicional, além do tempo líquido de coqueificação.

O aquecimento dos fornos, onde se processa a coqueificação, é feito por gases oriundos do próprio processo siderúrgico, no caso, o gás de alto forno e o próprio gás de coqueria depois de limpo. O consumo desses gases representa 50% do custo de transformação do coque e no caso da Usina 2 da Usiminas, uma redução do consumo desses gases reduz a compra de gás natural.

Baseando-se na problemática apresentada, em agosto de 2010 foram iniciados testes em forno piloto, para a seguir realizar a implantação de 106 termopares nos fornos da bateria de coque do grupo 2 da Usiminas, unidade Cubatão/SP, e assim objetivar a obtenção de dados exatos do momento final de coqueificação do carvão enfiado através do relacionamento entre a temperatura do gás destilado e o tempo líquido de coqueificação.

Este trabalho apresenta uma metodologia de controle do tempo líquido de coqueificação através da temperatura dos gases gerados pelo processo. A arquitetura de hardware e software envolvendo todo projeto de instrumentação e automação é detalhada no capítulo 4, bem como os ganhos operacionais e demais impactos existente no processo, nos próximos capítulos.

1.1 Objetivos

O escopo deste trabalho é identificar o comportamento da variável temperatura do gás de coqueria (GCO) no processo de coqueificação das baterias de coque da Usiminas – Cubatão/SP permitindo ações de controle sobre o processo para modificar o seu efeito, com o objetivo de estabelecer o momento correto do evento de desenformamento. Realizar comparações entre o método tradicional e o novo método proposto. Levar o leitor a percepção de ganhos operacionais ao processo produtivo das baterias de coque, concluem os objetivos de trabalho.

1.2 Justificativa

Uma indústria siderúrgica consome grande quantidade de energia para a produção do aço (MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, 2005). Todos os esforços na redução dessa energia trazem redução de custo de impacto ambiental. A coqueria é um dos grandes responsáveis pelo consumo de energia na siderurgia e também um gerador de combustível. A busca por maior produtividade da planta, da melhoria da qualidade de seus produtos e da redução do consumo de combustível desencadeia reduções de energia nas plantas clientes da coqueria (COSTA; 2005). Por causa dessa característica da coqueria, o controle do processo de fabricação do coque é de importância estratégica para a indústria siderúrgica, tanto na redução de custos, quanto no controle ambiental (LARSSON; WANG; DAHL, 2006).

A busca pela exatidão do momento do desenformamento do coque é um das principais variáveis no processo de fabricação do coque. A qualidade do coque e a qualidade do gás de coqueria dependem de uma boa distribuição de calor ao longo das paredes dos fornos, para isso, o controle de aquecimento do processo de coqueificação aliado ao evento de desenformamento, acarreta em melhor desempenho no ritmo de produção do coque, aumento da vida útil para a bateria de fornos, reduzir a fuga de energia térmica (calor) quando da abertura de portas de fornos indevidamente, diminuir tarefas agressivas executadas pelo homem e respectivos impactos ambientais gerados pelo processo. Dessa forma, o conhecimento das variáveis que influenciam nesse processo é primordial para sua otimização.

1.3 Metodologia

A experimentação é uma das principais ferramentas para conhecer um processo industrial. As dificuldades de identificar e controlar as variáveis que influenciam no processo torna a experimentação uma tarefa bastante complexa, principalmente, na análise dos resultados (LOHMANN; BOCK; SHLODER, 1992). Muitas vezes, a quantidade de experimentos que se quer fazer torna o estudo econômica ou tecnicamente inviável. Para minimizar erros e reduzir custos e tempo de experimentação, é necessário um planejamento adequado e conhecimento prévio do processo a ser estudado (MONTGOMERY, 2005). Uma forma de experimentação é analisar um fator de cada vez, mantendo, dentro do possível, os demais fatores constantes. O projeto de experimentos é uma metodologia de experimentação que envolve todas as etapas do processo, desde o objetivo do estudo a escolha das variáveis, tanto os fatores que influenciam o processo em estudo como as suas respostas, até a análise dos erros inerentes a toda experimentação. Essa metodologia é uma abordagem científica para planejar, de forma eficiente, um experimento com resultados mais robustos (MONTGOMERY, 2005). O capítulo 3 apresenta maiores detalhes do projeto de experimentos.

A perturbação no ritmo de produção ocasionada por um teste industrial exige uma grande quantidade de material, alteração da seqüência operacional e dificuldades de monitoração dos fatores do processo de coqueificação como a temperatura das paredes de aquecimento e na medição de temperatura de exaustão dos gases provenientes do processo de coqueificação em uma grande quantidade de fornos. Um teste em forno piloto também tem suas limitações, mas a flexibilidade e a disponibilidade de realização de testes os levam mais viável para certos experimentos (LOISON; FOCH; BOYER, 1989). O forno piloto tem a largura de um forno industrial e as outras dimensões bem menores. A geometria do forno em comparação com o industrial, leva em conta que a transferência de calor ocorre principalmente da parede lateral para o centro do forno, diminuindo a influência da grande diferença de altura e do comprimento (LOISON; FOCH; BOYER, 1989; MAHONEY ET AL., 2005).

1.4 Caracterização do problema

O processo da coqueria é complexo pela sua particularidade no manuseio de carvão e gases combustíveis. Os riscos e danos ambientais e de explosão determinam a necessidade de controles robustos e de pessoal altamente qualificado (COSTA; 2005). As baterias de fornos de coque são equipamentos de vida útil longa, entre 35 e 50 anos e de investimentos de alto valor. Essas características explicam o grande número de baterias de coque com idade acima de 30 anos em operação em todo mundo (CHISTYAKOV; CHISTIAKOVA; BOIKOVA, 1998). Quando se quer implantar determinado automatismo no processo de coqueria, a complexidade de avaliar os parâmetros é diretamente ligada ao tipo construtivo das baterias, à variação das misturas de carvão utilizadas e até a cultura dos operadores da planta. Tais condições que caracterizam uma coqueria levam à necessidade de se analisar particularmente cada planta antes de implantar algum modelo de automação.

As baterias de coque na USIMINAS - Cubatão, estão divididas em dois grupos : Grupo 1 - baterias de coque nº 1, 2 e 3 com 64 fornos e Grupo 2 - baterias de coque nº 4 e 5 com 106 fornos. A aplicação do método para determinação da coqueificação do carvão através da temperatura do gás produzido aplica-se aos fornos do Grupo 2. No capítulo 2, podemos encontrar um maior detalhamento das instalações físicas dos equipamentos.

Um importante desafio para a implementação do sensoramento de temperatura nos 106 fornos do grupo 2 está baseado no fato de não dispor de uma parada operacional para implantação do projeto, acarretando cuidados redobrados para as equipes de implantação e controle operacional do processo.

Existem muitos modelos de automação no mercado para controle das plantas de fabricação de coque. Pode-se comprar um modelo ou desenvolver um próprio, mas ambos precisam de um bom domínio das variáveis do processo. Assim, a necessidade de se conhecer os parâmetros e seus graus de influência no processo de coqueificação, específicos da coqueria da Usiminas – Cubatão é essencial para a automação e mais ainda para a otimização do controle do processo.

1.5 Organização da dissertação

Para dar uma visão clara dos problemas e da abordagem das soluções tratadas, o capítulo 2 apresenta um sumário do processo siderúrgico para obtenção do aço, características básicas das unidades de produção de sinter e coque, que representam a matéria prima para obtenção do gusa, este ultimo, matéria prima para obtenção do aço. Ainda no capítulo 2 uma visão mais detalhada do processo de coqueificação e da transferência de calor dentro do forno com exemplos de controle de outras plantas pelo mundo. A descrição dos equipamentos que compõe as baterias de coque, conjuntos de máquinas móveis e seus periféricos, bem como o sistema de controle e automatismo existente, têm como objetivo situar o leitor sobre o problema e, mais especificamente, os fatores e respostas do processo estudado. O estudo físico-químico da carbonização do carvão mineral dentro de um forno vem contribuir com informações mais claras na compreensão do processo de coqueificação.

O capítulo 3 apresenta a metodologia de experimentação utilizada neste trabalho. Ele descreve os conceitos básicos do projeto de experimentos, de forma mais específica. O objetivo é mostrar a robustez dos resultados obtidos através do método empregado.

A descrição detalhada da execução de todo o projeto de implantação dos 106 termopares instalados em cada forno da bateria de coque do Grupo 2, bem como toda infraestrutura de instrumentação e automação é apresentada no capítulo 4 e 5. Gráficos e tabelas de dados obtidos são analisados e comparados aos métodos convencionais diante aos resultados do método aplicado.

Finalmente, no capítulo 6 e 7 são apresentadas as análise de resultados e conclusões do projeto, com a coleta dos dados obtidos e a viabilidade da implantação do experimento nos demais fornos de baterias de coque do grupo Usiminas. Também são relatadas considerações finais e ganhos operacionais ao processo das baterias de coque.

2 PROCESSO INDUSTRIAL

2.1 Sumário do processo siderúrgico de obtenção de aço.

Dos processos siderúrgicos de obtenção de aço – figura 01, os principais são os que partem do minério de ferro por redução em alto forno a ferro gusa e posteriormente conversão em aço, intitulado processo integrado, e os que, não realizando a etapa de redução, partem de sucatas ou gusa que são fundidas e convertidas em aço como no processo integrado. Destes, o mais utilizado em larga escala é o processo siderúrgico integrado, que além da produção de gusa de alto forno envolve etapas suplementares de produção de coque, agente redutor e tratamento do minério de ferro, normalmente por sinterização.

Neste trabalho, é abordado apenas o processo de redução, que consiste basicamente nas seguintes fábricas: Altos Fornos, Sinterizações e por fim a Coqueria, este último, objeto de estudo deste trabalho, onde é demonstrado a implantação da automação na supervisão e controle do processo.

Figura 1 - Fluxo de produção do aço - Fonte: Intranet Usiminas

2.2 Alto Forno

O Alto Forno é o coração do processo siderúrgico. Ele é carregado pela parte superior por correias transportadoras com minério de ferro sinterizado, coque e fundentes, que num sentido descendente vão sendo submetidos ao aquecimento e redução pelas correntes ascendentes de gases redutores, culminando com a descarga pelo fundo de gusa e escória fundidas e exaustão pela parte superior dos gases de alto forno – figura 02. Também por bicos injetores, ventaneiras, é soprado pelo fundo uma parte do oxigênio necessário para a geração do calor do processo e início da redução, pois o agente redutor é o monóxido de carbono formado pela reação exotérmica do coque com o ar.

O coque é o responsável pela geração de energia e formação do monóxido de carbono, que é o principal agente redutor. A formação do monóxido de carbono ocorre na parte inferior do alto forno a temperaturas superiores a 1.500°C , que devido à exotermia da reação podem atingir até 2.200°C . O coque descende por todo o alto forno como um material sólido e praticamente sem sofrer alteração, exceto a perda de umidade, devendo, para tal, ter propriedades como porosidade e resistência necessárias para que deixe ascender as correntes de gases redutores e permitam o fluxo descendente de gusa e escória fundidas, além de resistir à carga de toda a coluna de material do alto forno.

O minério de ferro, constituído em sua maior parte por óxidos de ferro, além de impurezas como a sílica e alumina, num fluxo descendente no alto forno encontra a corrente ascendente de monóxido de carbono e numa reação em fase sólida, denominada de reação de Boudouard, a temperatura inferior a 1.000°C , transforma-se em FeO (óxido de ferro II) e formando dióxido de carbono. Essa reação, também chamada de redução indireta, ocorre na parte superior e intermediária do alto forno, denominada chaminé.

Na parte mais larga ou rampa do alto forno, que tem uma geometria semelhante a um sino, numa região denominada zona coesiva, ocorre a fusão do óxido de ferro e da escória (impurezas do minério mais fundentes), e a sua reação com o carbono do coque a uma temperatura superior a 1.200°C , denominada redução direta, formando monóxido de carbono que se adiciona à corrente ascendente vinda do fundo do alto forno. O gusa e a escória escoam para a camada

inferior, composta de coque sólido, e descem para o coração do alto forno, onde ambos os materiais são retirados em batelada na linha de corrida fora do alto forno.

Figura 2 - Vista noturna Alto Forno - Fonte: Intranet Usiminas

Os fundentes adicionados à carga do alto forno têm a função de proporcionar a formação de uma escória fundida, numa estreita faixa de fácil escoamento na temperatura de fusão do gusa e que fique sobrenadando a este. A escória formada é um composto ternário formado por sílica, alumina e óxido de cálcio, cuja função principal é remover os componentes não voláteis da carga do alto forno. A seleção de material fundente é estabelecida em função da composição do minério utilizado e das cinzas presentes no coque após a carbonização do carvão. Normalmente utiliza-se óxido de cálcio, óxido de magnésio e alumina. A escória formada após ser separada do gusa é resfriada e pulverizada, sendo aproveitada pelas indústrias cimenteiras.

O gusa produzido nesta etapa é descarregado em carros torpedo, vagões tanque com este formato, que transferem-no para a etapa de conversão em aço carbono na aciaria, ou, quando necessário, para a comercialização deste como produto final.

2.2.1 Reações de redução para obtenção do gusa

O ferro na natureza se apresenta principalmente combinado com o oxigênio na forma de óxidos: hematita (Fe_2O_3), magnetita (Fe_3O_4), etc... O coque desempenha no Alto Forno – Figura 3, uma dupla função:

- pela sua queima, gera calor suficiente para que ocorram as reações metalúrgicas de redução dos componentes do minério;
- fornece o elemento redutor (carbono) para remoção do oxigênio combinado com o ferro.

Figura 3 - Fluxo produção Alto Forno - Fonte: Intranet Usiminas

2.3 Sinterização

A sinterização é o tratamento normalmente utilizado para uniformizar a geometria e conseqüentemente o processo de redução dos óxidos de ferro, constituído em sua maior parte por Fe_2O_3 e Fe_3O_4 (hematita e magnetita respectivamente), ao gusa, liga constituída de ferro e carbono. Na sinterização o minério – Figura 4, contendo 60-70% de óxidos de ferro e demais impurezas como a sílica e alumina, é moído e granulado com carvão finamente dividido. Os grânulos são aquecidos, ocorrendo a fusão e a aglomeração do material formando pequenas esferas rígidas e uniformes, que proporcionam um fácil escoamento e a rigidez necessária para a sua utilização no alto forno, além de maior porosidade da carga, melhorando o desempenho da redução.

Figura 4 – Fluxo de produção da sinterização - Fonte: Intranet Usiminas

2.4 Baterias de Coque

O coque é a fonte de material redutor e gerador de energia ao processo siderúrgico, além de apresentar a resistência e porosidade necessárias para a sua utilização no alto forno, o que quase impossibilita a sua substituição por outras fonte, como o carvão mineral. O coque é obtido por carbonização do carvão em fornos-fenda na ausência de oxigênio. Neste processo há a transformação do carvão num material poroso e resistente e a eliminação dos voláteis orgânicos contidos neste, aumentando a eficiência e produtividade da redução no alto forno. O complexo de unidades de produção: baterias de coque, unidades de tratamento de gás e usina de efluentes, fecha o ciclo de produção do coque, com a geração de combustível gasoso GCO e a venda de subprodutos a clientes externos – figura 5.

Figura 5 - Fluxo de produção Baterias de Coque - Fonte: Intranet Usiminas

Na coqueificação o carvão é carregado em baterias de coque (figura 6), compostas de fornos retangulares estreitos e profundos que permitem uma regularidade de aquecimento da carga, haja visto a transformação termoplástica de amolecimento e ressolidificação por que passa o carvão durante a coqueificação, dificultando a transferência de calor e massa neste processamento. Conforme a carga é aquecida é desprendida uma mistura de gases contendo amônia, monóxido e dióxido de carbono, hidrogênio e compostos de enxofre, além de compostos orgânicos sob a forma de vapores, principalmente aromáticos. O processo de coqueificação termina com o aquecimento da carga a aproximadamente 1.100°C , o que leva de 15 a 25 horas de processamento. Após o que, as portas do forno são abertas e o operador da desenfornadora posiciona-se empurrando o coque incandescente para fora do forno e para dentro do carro de extinção de coque. No carro de extinção o coque é transportado para o resfriamento, normalmente realizado com água, gerando grande quantidade de vapor d'água.

Figura 6 – Fotos do Grupo 1 e Grupo 2 - Baterias de Coque - Fonte: Intranet Usiminas

O coque assim obtido contém carbono, umidade e cinzas, materiais não voláteis e, em sua maior parte compostos inorgânicos. Quanto maior o teor de carbono mais eficiente o aproveitamento térmico e o processo de redução, a água presente leva à formação de pequenas quantidades de monóxido de carbono, agente redutor, e hidrogênio; já as cinzas normalmente interferem negativamente no processamento do alto forno, pois aumentam a quantidade de escória, removendo calor e, quando contém compostos de enxofre, interferindo na qualidade do aço.

Cada carga de forno-fenda, com 8 metros de altura, 15 metros de comprimento e 60 cm de largura, consiste de aproximadamente 20 ton de carvão, que geram em torno de 25% de voláteis. Composto por gases como CO, CO₂, H₂S₂, SO₂, NH₃ e H₂, os voláteis apresentam vapores orgânicos contidos no carvão ou de decomposição desta matéria orgânica, como benzeno, tolueno, naftaleno, antraceno e cresóis. Esta mistura de gases e vapores são removidos pelo topo das baterias e enviada para o processamento de sub-produtos, onde a amônia, os compostos de enxofre e os vapores orgânicos são removidos, restando o gás de coqueria (GCO), importante fonte de energia, devido ao seu alto poder calorífico, 4.200kcal/Nm³.

2.4.1 Processamento do gás de coqueria – GCO

O gás de coqueria sai das baterias a uma temperatura elevada (600 - 700°C), sugado por exaustores, sobe pelo tubo de ascensão, ao duto coletor principal, onde entra em contato com o licor amoniacal, quando condensa a maior parte do alcatrão, e é enviado para os resfriadores primários – figura 7. Nos resfriadores primários os gases são resfriados a temperatura pouco acima da ambiente, quando 95% do alcatrão já está condensado, assim como a água amoniacal removida. A pressurização do gás e passagem por precipitadores eletrostáticos retira o restante do alcatrão, sendo conduzido o gás para os resfriadores secundários onde são separadas as frações contendo naftaleno e os óleos leves, contento mistura de BTX. A amônia contida nos licores amoniacaais é recuperada, assim como o enxofre é removido antes do encaminhamento do gás de coqueria para utilização como fonte energética (combustão).

Figura 7 - Produção do Gás de Coqueria – GCO - Fonte: Intranet Usiminas

2.5 Processo de Fabricação do Coque

Como já ressaltai, a matéria-prima utilizada na produção do coque é o carvão mineral. No caso da USIMINAS – Cubatão/SP, o carvão mineral é totalmente importado de diversos países (EUA, Canadá, África do Sul, Polônia, etc.) e, após sofrer beneficiamento são ensilados e dosados de forma a atender aos requisitos de qualidade necessários para a produção de coque.

Essa mistura é enfiada nas baterias de fornos, onde se transforma em coque e subprodutos.

A seguir, o coque é extinto a úmido e beneficiado, de forma que a fração mais grossa vai para os Altos Fornos e a fina vai para a Sinterização. Os subprodutos da coqueria são BTX (exportado para a França e Alemanha), alcatrão vendido bruto ou como piche, após processamento na Usina de Alcatrão.

As Baterias de Coque na USIMINAS - Cubatão, estão divididas em Grupo 1 - figura 8 e Grupo 2 - figura 9.

Baterias de Fornos de Coque – Grupo 1

- Data de entrada em operação:
- Bateria 1 e 2 Dez./65
- Bateria 3 Fev./72

- Capacidade nominal coque bruto/dia :
- Baterias 1,2 1006 Ton
- Bateria 3 568 Ton

- Número de fornos de coqueificação :
- Bateria 1,2 2 x 31 fornos
- Bateria 3 33 fornos

Figura 8 – Fotos Baterias de Coque Grupo 1 - Fonte: Intranet Usiminas

Baterias de Fornos de Coque – Grupo 2

- Data de entrada em operação:
- Bateria 4 Jul./76
- Bateria 5 Ago./83

- Capacidade nominal coque bruto/dia :
- Baterias 4 e 5 3536 Toneladas

- Número de fornos de coqueificação :
- Bateria 4 e 5 2 x 53 fornos

Figura 9 – Foto Baterias de Coque Grupo 2- Fonte: Intranet Usiminas

2.5.1 A estrutura das baterias de coque

A Usiminas, unidade Cubatão/SP é uma siderúrgica integrada a coque, com produção anual (2010) de 4,3 milhões de toneladas de aço. A planta de fabricação do coque, a coqueria, produz anualmente 1,6 milhões de toneladas de coque, 620.000 dam^3 de gás de coqueria, 41.000 ton de alcatrão e 11.400 ton de óleos leves.

O Grupo I, dividido em três baterias de coque, 1,2 e 3, possui volume útil de 22,02 m^3 , 12,23 metros de comprimento, 4 metros de altura e largura entre 0,42 e 0,48 metros, pois existe uma conicidade ao longo do comprimento do forno de 0,06 metros para facilitar o desenformamento. Os fornos têm quatro bocas de carga no topo e um tubo de ascensão, por onde são coletados os gases gerados durante o processo de coqueificação. Esses gases são refrigerados de uma temperatura média de 600°C para 80°C na curva do tubo de ascensão e depois conduzidos por tubulação até a unidade de tratamento carboquímico.

O Grupo II, dividido em duas baterias de coque, 4 e 5, ressaltado como o foco do assunto deste trabalho, possui 6 metros de altura, 15 metros de comprimento e 0,43 de largura média com conicidade de 0,06 metros, obtendo um volume útil de 37,36 m^3 . O topo dos fornos destas baterias possui quatro bocas de carregamento e um tubo de ascensão. As paredes de aquecimento são compostas por 30 câmaras de combustão, numeradas de 1 a 30 do LD (lado do desenformamento) para o LC

(lado do coque). A torre de carvão dessas baterias tem capacidade para 2.000 ton de carvão sendo alimentada por correia transportadora dos silos do pátio de carvões. Existem duas torres de extinção que atendem a esse grupo de baterias. Cada bateria - 4 e 5 possui uma chaminé de 108 metros de altura e um canal de fumaça que circunda toda a bateria em forma de anel para exaustão dos gases provenientes das câmaras de combustão. Tanto do lado coque – LC, quanto o lado da desenfornadora – LD, existem caixas de entrada de ar. Essas caixas fazem a ligação entre os regeneradores e o canal de fumaça. A figura 10 vem ilustrar tipicamente a construção semelhante às baterias de coque do Grupo II, mostrando em corte e detalhes internos de uma bateria de fornos de coque.

Figura 10 - Corte típico de bateria de coque - Fonte: Intranet Usiminas

2.5.2 O sistema de aquecimento dos fornos

Os gases combustíveis utilizados no aquecimento dos fornos das baterias da Usiminas são: o gás de coqueria (GCO), gerado pela própria bateria e limpo na unidade carboquímica e o gás de alto forno (GAF), gerado pelos altos fornos. O GAF tem um poder calorífico inferior (PCI) em torno de 750 a 900 kcal/Nm³ e o GCO, entre 4.000 e 4.500 kcal/Nm³. As baterias utilizam normalmente um gás formado pela mistura desses dois gases com um PCI em torno de 1.000 a 1.250 kcal/Nm³, o gás misto (GM). Quando se queima GCO puro nas baterias, este não entra nos regeneradores, mas por um duto direto na base da câmara de combustão (baterias do tipo “*underjet*”). Isto é devido ao fato do gás de coqueria ter hidrocarbonetos (em torno de 30%) que podem craquear dentro dos regeneradores, deixando resíduos que obstruem os seus tijolos grelhas. Um sistema composto por cilindros hidráulicos, barramentos metálicos, válvula de gás, caixas de entrada de ar e gás e pistões dos canais de fumaça faz a reversão da queima entre as câmaras de combustão. A cada 20 minutos, metade das câmaras de cada parede recebe ar e gás, queimam e a fumaça resultante passa para as câmaras adjacentes por uma comunicação na parte superior das câmaras e esta vai para os canais de fumaça através dos orifícios abertos pelos pistões da caixa de fumaça e, finalmente, para a chaminé. Após os 20 minutos, o sistema de reversão inverte a situação e nas câmaras onde havia a circulação de fumaça, passa a entrar ar e gás e a queimar, conseqüentemente, as câmaras que estavam queimando começam a receber a fumaça. Entre as câmaras de combustão e as entradas de ar e gás e as saída de fumaça. Existem os regeneradores, cuja função é trocar o calor da fumaça com o ar e o gás. Quando a fumaça, a 1.200°C passa pelos regeneradores ocorre a transferência de calor e conseqüentemente aquecimento dos tijolos do regenerador, saindo essa fumaça na chaminé a 220°C, deixando estes aquecidos. E assim, sucessivamente a cada 20 minutos há a ocorrência da reversão.

2.5.3 A operação dos fornos

Cada grupo de baterias tem dois conjuntos de máquinas móveis que fazem a operação de: enformamento (ME), desenformamento (MD) e apagamento do coque (CA), a figura 11 vem ilustrar as máquinas móveis do Grupo II.

Figura 11 - Máquinas móveis Grupo 2 - Fonte: Intranet Usiminas

A máquina enforadora é composta de quatro conjuntos de silos, parafuso alimentador, moega de queda e sistema de abertura e fechamento das bocas de carregamento dos fornos. A capacidade dos silos é pouco maior do que a de um forno, de forma que, ao enforar, sobra uma quantidade mínima que faz a selagem entre a boca de carga e o silo da máquina, evitando retorno de gás pelas moegas. Cada silo tem balança que faz o controle da quantidade enforada. O ciclo operacional da máquina enforadora compreende o carregamento da máquina na torre de carvão, posicionamento sobre o forno a ser enforado, abertura das bocas de carga do forno com eletroímãs, encaixe das moegas dos silos sobre as bocas em sequencia de 1 a 4 e o giro dos parafusos provocando a queda do carvão no forno. Durante esse processo, o forno está com pressão negativa provocada por injeção de água amoniacal a alta pressão – 30kgf/cm², na curva do tubo de ascensão, com o objetivo de evitar o vazamento de gases produzidos no interior do forno. Quando o forno está com 80% de sua carga enforada, a máquina enforadora interrompe o carregamento para que a máquina enforadora introduza no sentido horizontal do topo do forno, através de portinhola existente na porta do forno, o nivelamento de carga na região do topo do forno. Após o nivelamento, a máquina enforadora volta a descarregar o restante de carvão (20%) no interior do forno. A máquina enfora

retira as moegas das bocas de carga recolocam suas tampas e retorna para a torre de carvão para novo procedimento de abastecimento. O volume de carvão enforcado fica em torno de 14hs e 24hs dentro do forno até completar o processo de coqueificação (COSTA, 2006).

Ao final do processo de coqueificação o forno é isolado do coletor de gás por uma válvula no tubo de ascensão e está pronto para ser desenforcado. A máquina desenforcadora se posiciona na frente do forno, abre a porta do LD, encosta o êmbolo empurrador no coque e aguarda o alinhamento das demais máquinas. O carro de transferência de coque (CTC) abre a porta do lado LC e posiciona a gaiola, que conduz o coque sobre a plataforma de serviço, até o vagão do carro apagador (CA), sob uma coifa que faz a sucção do pó e gases remanescentes durante o processo de desenformamento. O carro apagador posiciona-se sob a gaiola e a máquina desenforcadora começa a empurrar o coque. A translação da barra de cremalheira da máquina desenforcadora (MD) no interior do forno é automaticamente sincronizada com translação do carro apagador (CA) graças ao sensoreamento de encoders presente no motor da cremalheira que atua logicamente em inversor de frequência presente na locomotiva do carro apagador (CA). Com isso, obtém-se um descarregamento de coque incandescente e homogêneo ao longo do leito do carro apagador (CA). Após a queda de todo coque no vagão, o carro apagador se dirige a torre de extinção onde é realizado a extinção do coque com água fria. Depois de extinto, o coque é desviado para rampa de acesso a correia transportadora, que por sua vez destina todo o material para silos de carga diante aos Altos Fornos - figura 12.

A sequência de desenformamento é realizada em séries de fornos denominada 1 – 3 – 5 – 2 – 4 , ou seja, a série 1 compreende os fornos 1, 6, 11, 16, ..., seguida da série 3, com os fornos 3, 8, 13, 18, ... e assim sucessivamente até voltar para a série 1. O ciclo de um desenformamento de um forno até o próximo forno dura em média 8 minutos. Para se atingir o número diário de fornos objetivado pelo índice operacional, este é ajustado em razão dos tempos de um ciclo de coqueificação. O ciclo de coqueificação é o tempo decorrido entre o desenformamento de um forno e o próximo desenformamento deste mesmo forno. O tempo entre o enforcamento e o desenformamento de um mesmo forno é chamado de tempo bruto de coqueificação. O tempo líquido de coqueificação, ou seja, quando

toda a fase plástica do carvão se transformou em coque. O período restante para completar o tempo bruto de coqueificação, chamado de tempo de supercoqueificação ou *stay time* é aquele tempo extra para equalizar toda a massa de coque enforcada no presente forno.

Figura 12 – Fotos vista topo das baterias, carro apagador e máquina desenformadora - Fonte: Intranet Usiminas

2.6 Processo de coqueificação

2.6.1 Processo físico-químico da coqueificação

O carvão betuminoso, chamado comercialmente de carvão metalúrgico, tem características específicas no processo de pirólise que gera o coque, produto utilizado na fabricação do ferro gusa nos altos fornos. Essa característica de se transformar em coque é devido a alguns componentes do carvão chamados de macerais. A quantidade destes componentes associados a outros elementos constituintes do carvão dará maior ou menor capacidade do carvão de virar o coque com as propriedades adequadas para uso em altos fornos - figura 13.

Figura 13 – Foto Coque metalúrgico - Fonte: Intranet Usiminas

O processo da pirólise do carvão passa por várias etapas que podem ser divididas em três principais. A primeira etapa ocorre durante o aquecimento do carvão até 350°C. Nessa etapa há a vaporização da umidade e o início da desvolatilização. A segunda etapa, chamada de fase plástica, ocorre entre 350°C e 500°C. A decomposição do carvão em alcatrão e gases forma uma pasta que vai envolvendo as partes sólidas, muitas delas sendo diluídas pelo líquido formado. A terceira etapa ocorre acima de 500°C e vai até o final do processo quando a temperatura atinge 1000°C. Nessa fase a pasta perde mais material volátil e começa a endurecer e a trincar, formando o semicoque e finalmente o coque (JUNTGEN, 1984; KOCH ET AL., 1995).

Loison, Foch e Boyer (1989) dividem as reações que ocorrem durante a fase plástica, basicamente em dois tipos de reações principais. Um primeiro tipo são as reações de craqueamento com o rompimento das ligações C-C produzindo polímeros menores do que o do carvão e muitos deles em estado líquido nessas temperaturas. A saturação dos radicais formados pela ruptura das ligações C-C necessita de hidrogênio, que será suprido pelo segundo tipo de reações. Esse outro tipo de reações de aromatização e condensação, que consistem na formação de cadeias aromáticas mais longas com anéis saturados, a desidrogenização dos anéis saturados e a recombinação de grupos aromáticos com outros. Essas reações liberam hidrogênio e levam a formação de resíduo de carbono sólido. A figura 14 ilustra as reações descritas acima.

Figura 14 - Reações químicas - craqueamento e aromatização - Fonte: Loison

Ainda na segunda etapa, a descrição do fenômeno de fusão do carvão pode ser dividida em quatro fenômenos elementares:

- Fenômeno físico de amolecimento;
- Fenômeno da formação do alcatrão líquido resultante das reações de craqueamento;
- Fenômeno da volatilização de uma fração do alcatrão;
- Fenômeno da dissolução do carvão durante a carbonização por uma fração do alcatrão não volatilizado. (LOISON; FOCH; BOYER, 1989; FURLONG; BALDWIN; BAIN, 1982).

A terceira e última etapa do processo de coqueificação é a solidificação, que começa acima de 500°C. Nessa etapa ocorrem as volatilizações finais e a formação do semicoque. A composição dos gases gerados vai alterando através do aumento da geração de hidrogênio e a redução da geração de metano. A temperatura vai aumentando e o semicoque se transforma em coque a uma temperatura de 950°C a 1.000°C. Na etapa da fase plástica há uma expansão da massa, provocando pressão nas paredes e depois, na última etapa, há a contração da massa formada. O bolo de coque, no processo industrial, ainda fica dentro do forno por um tempo, após a formação do coque, para homogenizar a temperatura da massa como um todo e, com isso, equalizar as propriedades físicas e metalúrgicas do coque (KIDENA; MURATA; NOMURA, 1996; KOCH et al., 1996; AMAMOTO, 1997).

2.6.2 Dinâmica da transferência de calor no processo de coqueificação

O forno de coque tem o formato de um paralelepípedo nas dimensões descritas no item 3.1, que faz com que a transferência de calor ocorra das paredes para a carga da mistura de carvões, preferencialmente, no sentido da parede para o centro da largura do forno, podendo-se desprezar as demais direções de transferência. O processo de coqueificação ocorre de forma dinâmica dentro do forno industrial. Em primeiro lugar a temperatura da parede de aquecimento não é constante ao longo do tempo de coqueificação. Como o aquecimento destas paredes é feito com um fluxo constante de calor, ao enfiar uma massa fria dentro do forno, há uma queda de temperatura até chegar a um mínimo e está volta a aumentar com o final da coqueificação. Outro aspecto importante é a dinâmica de formação da zona plástica e o fluxo do material volátil, do vapor de água e do alcatrão ao longo do processo de coqueificação. Toda essa dinâmica modifica-se ao longo do tempo e da distância da parede do forno. As várias etapas da pirólise da mistura de carvão ocorrem ao mesmo tempo ao longo da largura do forno. A fase plástica forma um envelope que vai fechando com o passar do tempo. Do lado externo do envelope forma-se o semicoque e do lado interno ainda há carvão úmido. Parte dos gases que se forma, saem pelo lado quente, ou seja, o lado externo do envelope plástico e caminham junto a parede aquecida até o topo do forno. A outra parte caminha em direção ao centro do forno e ao encontrar as partículas frias do carvão há a condensação tanto do vapor de água quanto do alcatrão gerado. Ao final da coqueificação, o envelope se fecha no centro e toda a massa enfiada se transforma em coque. A condutividade da massa de carvão é diferente da condutividade do semicoque. Como há o deslocamento do envelope plástico, a espessura de cada camada varia com o tempo e assim há uma variação dinâmica da taxa de transferência de calor ao longo do tempo e da distância em relação ao centro do forno. As reações de pirólise são endotérmicas até em torno de 600°C e exotérmicas a partir desta temperatura (MERRICK, 1983; OSINSKI; BARR; BRIMACOMBE, 1993). Junto com esses fatores, a transferência de calor ocorre de diversas formas: por condução, convecção e radiação (LOISON; FOCH; BOYER, 1989).

A taxa de aquecimento do carvão é alta próxima a parede de aquecimento e cai rapidamente em direção ao centro do forno. A constância da temperatura em

100°C no centro do forno é devido à migração do vapor de água que condensa no meio do carvão ainda frio. A figura 15 ilustra um corte da massa de carvão em processo de coqueificação ilustrando as três principais fases deste processo. Ela mostra também as fissuras e poros por onde há a passagem de gases e também a transmissão de calor por radiação. A curva representa a temperatura ao longo da massa entre 1.000°C próximo a parede do forno e 100°C no centro do forno.

Figura 15 - Variação de temperatura ao longo da carga do carvão enforado - Fonte: Intranet Usiminas

3 METODOLOGIA DO TEMPO LÍQUIDO DE COQUEIFICAÇÃO

3.1 Método visual do tempo de coqueificação

O método de determinação do tempo líquido de coqueificação do carvão enforcado é muito difícil e sua definição é feita em função da coloração do gás destilado que se caracteriza pelo aumento do teor de hidrogênio, redução do metano e do poder calorífico. Dada a importância do controle do tempo líquido de coqueificação na estabilidade operacional da bateria e na uniformidade do coque, ideal seria se fosse possível a análise do gás destilado no final da coqueificação, de forno a forno. Porém, como a análise é impraticável e dispendiosa, utiliza-se o processo de inspeção visual - figura 16.

Figura 16 - Método visual do tempo de coqueificação - Fonte: Yamano

Neste método, o período final de coqueificação do carvão enforcado é determinado pela coloração e quantidade de gás liberado, sendo baseado exclusivamente na experiência da pessoa designada para a função. Treinamento sobre a definição do final da coqueificação fica sendo prioridade para obtenção do

tempo correto, criando um sistema padrão para inspeção da coqueificação. O treinamento visa (YAMANO; Recomendação XII, 1972):

- a) Treinar os operadores a fim de possibilitar uma decisão mais correta e consciente através da cor do gás;
- b) Realizar amostragem do gás no momento em que ficar definido o final de coqueificação. Comparar o resultado obtido na análise com os valores teóricos e mostrar ao operador, procurando fazê-lo aproximar-se dos valores teóricos.

Cuidados necessários neste julgamento:

- a) Se ocorrer má vedação na válvula hidráulica pode-se errar na decisão, devido ao retorno do gás;
- b) Havendo má distribuição de temperatura no forno, poderá ocorrer regiões má coqueificadas, o que pode resultar um erro, devido ao atraso da coqueificação nestas regiões próximas as portas dos fornos;
- c) A claridade ambiente pode provocar erro de decisão no tocante a coloração do gás, bem como inspeções noturnas;
- d) Prolongar excessivamente o tempo de supercoqueificação pode trazer dificuldades de desenformamento;
- e) Ao final da coqueificação a pressão no interior do forno tende a ficar negativa, portanto para evitar entrada de ar no forno ou retorno de gás do tubo coletor fecha-se a válvula hidráulica.

Depois de observado todos os itens acima e pode-se considerar que o carvão está coqueificado quando a quantidade de gás liberado seja mínima e tenha a coloração azul claro transparente. Após o forno atingir esta condição é necessário prolongar por um tempo adicional a permanência do coque no interior do forno, visando assegurar uma perfeita coqueificação do carvão, em consequência das variações decorrentes do próprio processo e entre os operadores. Como pode ser notado, o sistema de julgamento baseado na inspeção visual, baseia-se exclusivamente em critérios pessoais, havendo mudança de operador para operador nos respectivos turnos de revezamento e dificuldades de definições precisas entre o dia e a noite e principalmente em épocas chuvosas, devido a formação de vapores na região de inspeção. Vale lembrar que tais inspeções só acontecem com os

operadores treinados para a função e devidamente equipados com os equipamentos de proteção individual – EPI, devido ao fato da temperatura ambiente no topo do forno estar em torno 40°C a 60°C e a presença de gases tóxicos nocivos a saúde.

3.2 Método prático do tempo de coqueificação

A análise dos parâmetros de um processo industrial requer grande conhecimento e domínio deste processo. A metodologia do projeto de experimentos descrita neste capítulo visa atender requisitos no levantamento de dados através das descobertas experimentais.

3.2.1 Execução do experimento no forno industrial

O objetivo é estudar o experimento de um enforamento de carvão mineral em um forno industrial, realizado no grupo 2 das baterias de coque Usiminas. Na porta do forno foram realizados 6 furos em duas alturas. Uma a 1,5 metros e outra a 4 metros da soleira do forno. Em cada altura os furos ficaram alinhados de forma que ficasse próximo de uma parede de aquecimento do forno, o segundo, próximo a outra parede de aquecimento e o terceiro no centro do forno. Após o enforamento desse forno, foram introduzidos termopares nesses furos a uma profundidade de 2,5 metros em relação ao batente da porta do forno. Neste mesmo forno foi instalado um termopar na curva do tubo de ascensão para medir a temperatura dos gases e determinar o tempo em que a temperatura do gás atingir seu valor máximo no terço final do processo de coqueificação. Os dados coletados foram ‘plotados’ em gráfico como mostra a figura 17. Um dos termopares apresentou problemas e não foi possível a medição de temperatura neste ponto. A dificuldade de inserir os termopares na carga de carvão foi grande e não se conseguiu saber se cada termopar ficou na posição desejada, ou seja, um no centro do forno e os outros dois próximos as paredes. O gráfico da figura 17 mostra a tendência das temperaturas tanto na carga de carvão como a medição de temperatura nos gases gerados. A temperatura do gás gerado atingiu um ponto máximo de 634°C em 11 horas e 56 minutos após o enforamento. As temperaturas da carga medida pelos termopares inferiores começaram a ter a mesma taxa de elevação 3 horas e 32 minutos após a temperatura dos gases gerados terem atingido o seu valor máximo. A temperatura

medida pelos termopares superiores também começaram a possuir mesma taxa de elevação, próximo ao tempo dos termopares inferiores.

Figura 17 - Gráfico de tendência das temperaturas dos termopares

Em cada forno da coqueria, a coqueificação leva de 17 a 20 horas para terminar e produzir um coque com as características que atendem aos altos fornos. Esse tempo é dividido em tempo líquido de coqueificação e o tempo de supercoqueificação. O primeiro é o tempo gasto para o processo de coqueificação e o segundo é necessário para que toda a massa de coque formada tenha uma característica o mais homogênea possível e atinja os níveis exigidos pelos altos fornos. Como descrito no item 3.1, o tempo líquido de coqueificação é obtido pela inspeção individual dos fornos através da visualização dos gases gerados pelo processo. Se os gases estão esbranquiçados e com pouco volume, então o operador anota a hora que se atingiu essa situação do forno. Após cumprir o tempo de supercoqueificação estipulado, o forno é desenformado.

Como a visualização do final do processo de coqueificação é feito pela análise da coloração da fumaça pelo operador, esse tempo é influenciado pelo humor e experiência do observador. No caso de necessidade de produção, esse operador

começa a enxergar tempo líquido mais cedo e no caso de problemas na retirada do coque (agarramento dentro do forno) ele já enxerga um tempo líquido de coqueificação mais tardio. Assim a precisão do método é precária. Um indicador mais preciso do final da coqueificação é feito através de medição da temperatura da massa enfornada por termopares. Quando a temperatura do centro da carga atinge uma temperatura próxima da massa que está encostada na parede do forno é porque se chegou ao final da coqueificação.

Mas essa medição de temperatura não pode ser feita no processo industrial. Ela somente é feita em fornos pilotos. Precisa-se, então, de um método que possa medir o final de coqueificação. O gás produzido pelo processo de coqueificação sofre uma variação característica da sua temperatura momentos antes do tempo líquido de coqueificação (SATOMI; OKADA; FUJIMARA, 1980). Essa variação pode ser captada por termopares instalados nas partes curvas do tubo de ascensão dos fornos. A figura 18 ilustra um forno em corte com o tubo de ascensão e o coletor de gás por onde passa o gás gerado na coqueificação.

Figura 18 - Rota do gás produzido em forno de coque - Fonte: Intranet Usiminas

No caso dessa experiência, todos os termopares foram perdidos no momento de abrir o forno. Nesse mesmo forno foi colocado um termopar na parte curva do tubo coletor de gás bruto, o tubo de ascensão, de onde foram obtidos os dados da temperatura do gás do gráfico da figura 17. A determinação do tempo líquido de coqueificação é feita no ponto onde as curvas das temperaturas dos vários termopares da carga começam a ter uma mesma inclinação, ou seja, o processo de coqueificação, endotérmico, já terminou e a carga do forno começa a ter elevação de temperatura na mesma velocidade. Para transferir essa indicação para o gráfico da temperatura dos gases produzidos, é determinado o Δt , ou seja, o tempo entre o momento de temperatura máxima atingida pelos gases produzidos e o ponto de tempo líquido determinado pelos termopares da carga. Esse Δt é assumido como constante para todos os fornos e assim, através do ponto de temperatura máxima dos gases que podemos chamar de t_{max} , é possível determinar o tempo líquido de coqueificação.

Reafirmando o propósito deste trabalho no qual consiste em apresentar uma metodologia de controle do tempo líquido de coqueificação através da temperatura dos gases gerados pelo processo. Na continuidade deste trabalho, é descrito o projeto de instalação dos 106 termopares instalados nos fornos do grupo 2, a metodologia de controle empregada, a tecnologia de automação presente e os resultados iniciais do sistema instalado.

4 IMPLANTAÇÃO DA AUTOMAÇÃO JUNTO AO PROCESSO

As baterias recebem o gás de alto forno (GAF) a pressão de 500 mmCa e após válvula redutora de pressão, a pressão é controlada em 350 mmCa antes de misturar com o gás de coquerias (GCO). O gás de coqueria (GCO) é injetado a 600 mmCa nas baterias 1, 2 e 3 e a 900 mmCa nas baterias 4 e 5. O controle de injeção é feito através de válvula controladora de vazão do GCO a ser injetado cujo valor objetivado é função da vazão de gás de alto foro (GAF) consumida e do PCI dos gases envolvidos.

O controle de fluxo térmico das baterias - figura 19, calculado pela vazão de gás misto (GM) multiplicado pelo seu PCI é realizado indiretamente pelo controle de pressão de consumo da tubulação logo abaixo da válvula do sistema de reversão. Entre essa tubulação e as caixas de gás de entrada nos regeneradores, existem duas válvulas, uma de bloqueio, com escala de regulagem de abertura e outra de reversão, que é aberta e fechada conforme o ciclo de reversões. Para alterar o fluxo térmico objetivado, pode-se alterar a pressão da tubulação, o PCI do GM ou a abertura das válvulas de bloqueio. As duas primeiras opções são as ações de emergência realizada pelos operadores do turno e a terceira realizada quando da existência de grandes alterações ou regulagem do sistema de queima das baterias.

Figura 19 – Misturador GAF x GCO - Fonte: SCADA

O controle de combustão é realizado na válvula de tiragem da chaminé e pelo monitoramento do teor de oxigênio na fumaça. Além do controle dinâmico realizado na tiragem, há a rotina de regulagem individual das paredes de aquecimento através de válvulas manuais na interligação da caixa de fumaça com o canal de fumaça - figura 20. A regulagem é realizada com o auxílio de manômetro e analisador de gases, que analisa o teor de CO, CO₂ e O₂ da fumaça no interior das caixas de reversão.

Figura 20 - Controle fluxo térmico e exaustão gases de combustão - Fonte:SCADA

Para manter a pressão interna dos fornos sempre positiva o coletor de gás gerado pela bateria é controlado a pressão de 6 mmCa nas baterias de coque 1, 2 e 3 e 12 mmCa nas baterias de coque 4 e 5. Cada coletor tem uma válvula borboleta que faz essa função - figura 21.

Figura 21 - Exaustão dos gases de coqueificação - Fonte: SCADA

O sistema de controle de todas as baterias é centralizado em uma sala de controle fora das baterias de coque. Ele é constituído de 4 PLCs Hitachi que fazem o controle das baterias 1 e 2, bateria 3, bateria 4 e bateria 5. Alguns controles comuns estão alocados em ambos PLCs, mas o controle é realizado apenas a partir de um deles e uma chave pode fazer a comutação desse controle para outro PLC. Os PLCs estão em rede ethernet com 4 estações de trabalho, duas dedicadas aos PLCs das baterias de coque 1,2 e 3 e duas estações dedicadas aos PLCs das baterias 4 e 5 - figura 22. Estas estações possuem software supervisor WIZCON que realiza o papel de interface operacional e conectividade com estação servidora de dados.

Figura 22 - Arquitetura de rede de controladores e estações de supervisão - Fonte: Intranet Usiminas

A figura 23 tem por objetivo ilustrar esquematicamente as diversas malhas de controle existentes nas baterias de coque. Vale a pena destacar neste momento, a presença do operador no topo da bateria realizando observação visual no tubo de ascensão visando o controle do tempo líquido de coqueificação, detalhado nos capítulos anteriores e objeto deste trabalho.

Figura 23 - Malhas e instrumentos típicos em baterias de coque - Fonte: COSTA

4.1 Requisitos do projeto

A instalação de novos sistemas em equipamentos em operação, principalmente uma coqueria com mais de 30 anos de operação requer cuidados especiais tanto quanto para sua durabilidade e confiabilidade quanto para a facilidade de manutenção. Alguns critérios têm que ser levados em conta para atender a esses

princípios. Na figura 24 há uma ilustração do ponto de medição feita através de termopar. O local foi escolhido baseado nas premissas: que o ponto de medição não receba radiação das paredes do forno ou da massa enfornada; que esse ponto não receba respingo do chuveiro de resfriamento do gás também instalado na curva do tubo de ascensão; que ele não agregue muito resíduo ao longo do tempo.

Essas condições foram estudadas através de observação de vários fornos durante dois anos, onde foram inseridos alguns termopares em fornos aleatórios da coqueria. Assim determinou uma região mais adequada para a instalação do termopar. Outro critério levado em conta foi a facilidade de manutenção, pois, a agressividade da região exigirá constantes intervenções de troca de termopares, seja por contaminação, seja por queima de cabos devido a fogo de tubo de ascensão aberto ou por falta de água no sistema de selagem. E também a qualidade do termopar mais adequado para essa medição foi levado em conta, numa relação de custo e benefício.

Dentro de todos esses critérios, o principal objetivo foi buscar uma maior robustez dos dados adquiridos, pois, a confiabilidade desses dados é que irão realmente propiciar a correta utilização desse sistema para controle de tempo líquido pelos operadores da planta. Sobre esses operadores pesa a responsabilidade de liberar o desenformamento de cada forno dentro de uma qualidade adequada e erros nessa deliberação geram consequências graves no processo da própria planta ou do processo seguinte, no caso, os altos fornos. Há relatos de sistemas semelhantes a este implantado em outras usinas que foram deixados de lado exatamente pela falta de confiabilidade ou o sistema é apenas uma referência do controle que continua sendo visual pelo operador.

Figura 24 - Local de inserção do termopar - Fonte: Intranet Usiminas

4.2 Projeto de Instrumentação

Projetar no sentido amplo da palavra significa: idéia que se forma de executar ou realizar algo no futuro, apresentar soluções possíveis de serem implantada, resolução de problemas (MAGNO; 2006). Na área de instrumentação, buscamos sempre novas soluções tecnológicas para atender aos diversos segmentos industriais.

Todo projetista deve ter em mente que não existe uma solução única para o problema proposto; em função de sua experiência profissional, deverá fazer uma análise criteriosa dos seguintes casos: atendimento indispensável às normas técnicas, segurança das vidas humanas e instalações, operacionalidade, racionalidade, manutenibilidade e os aspectos econômicos envolvidos. No projeto de instrumentação para instalação de termopares nos 106 tubos de ascensão dos fornos das baterias de coque os desafios não diferentes citado acima.

Para a execução de um projeto é necessário consultar diversos tipos de normas relacionadas às áreas envolvidas pelo projeto. O estudo de qual melhor termopar a ser determinado para as condições de projeto tornaram-se um desafio diante as condições agressivas ao redor do principal sensor.

O projeto é uma antecipação detalhada de uma solução que será implantada para atingir um objetivo. O projetista deve sempre se preocupar com a sua viabilidade tanto do ponto de vista técnico como do ponto de vista econômico. Outro aspecto de fundamental importância é a qualidade da solução apresentada.

Um projeto de instrumentação é a representação escrita da instalação de uma planta industrial automatizada ou parte dela. O projeto de instrumentação consiste basicamente em desenhos e documentos que representem a maneira com que os equipamentos irão ser instalados e operados para obter o maior rendimento, padronização e qualidade dos produtos que estão sendo fabricados no processo industrial.

Não é objeto nessa dissertação relatar sobre toda documentação elaborada para a concepção do projeto de instrumentação e automação, mas sim ressaltar a importância do projeto bem elaborado para as fases de instalação e por fim, à manutenção futura do sistema.

No caso das baterias de coque 4 e 5 do Grupo II da unidade de produção de coque localizado na Usiminas – Cubatão/SP, o projeto de instrumentação começa

pela determinação do componente (sensor) de maior importância aos resultados objetivados, face a isto, no item 4.2.1 levo o leitor ao entendimento mais detalhado sobre a escolha e especificação do termopar utilizado. O projeto provê uma rota para o cabeamento dos sinais de cada forno, Figura 25 e 26, nas premissas de se criar um layout econômico, seguro a instalação e as intervenções de manutenção quando necessário.

Figura 25 - Rota de cabos de sinal fornos bateria 4 - Fonte: Arquivo Técnico Usiminas

Figura 26 - Rota de cabos de sinal fornos bateria 5 - Fonte: Arquivo Técnico Usiminas

A inserção de cada termopar no tubo de ascensão é uma tarefa árdua ao fato da dimensão (comprimento) de cada termopar quando inserido no poço, ser longo e as condições de temperatura ambiente - 35°C a 60°C, vide figura 27.

Figura 27 - Corte típico inserção do termopar no tubo de ascensão - Fonte: Arquivo Técnico Usiminas

Através de cabo de compensação de sinal, cada termopar possui conexão de campo com uma caixa de junção "CXJ" (vide figura 25 e 26) para interligação com multicabo de sinal. Quatro caixas de junção dispostas simetricamente ao longo da planta possibilitaram encaminhar quatro multicabos individuais, cada qual com $\frac{1}{4}$ do total de termopares existentes, até as borneiras de entrada do CLP – vide item 6.1.2 para maior detalhamento.

4.2.1 Determinação do termopar

Os termopares são dispositivos elétricos com larga aplicação para medição de temperatura. São baratos, podem medir uma vasta gama de temperaturas e podem ser substituídos sem introduzir erros relevantes. A sua maior limitação é a exatidão, uma vez que erros inferiores a 1°C são difíceis de obter. Para medição da

temperatura dos gases do tubo de ascensão no range de 100°C a 1000°C com uma precisão inferior a 1% no fundo de escala, resulta em valor superior a 1°C, viabilizando a medição.

O princípio de funcionamento de um termopar está baseado na junção de dois metais distintos gera uma tensão elétrica em função da temperatura (SEEBECK; 1822). Embora praticamente se possa construir um termopar com qualquer combinação de dois metais, com apenas algumas combinações normalizadas, isto porque possuem tensões de saída previsíveis e suportam grande gamas de temperatura.

Existem tabelas normalizadas que indicam a tensão produzida por cada tipo de termopar. Contudo, não basta ligar um voltímetro ao termopar e registrar o valor da tensão produzida, uma vez que ao ligarmos o voltímetro estamos a criar uma segunda (e indesejada) junção no termopar. Para se fazer medições exatas devemos compensar este efeito, o que é feito recorrendo a uma técnica conhecida por compensação por junção fria ou junta de referência – figura 28. Todas as tabelas normalizadas dão os valores da tensão de saída do termopar considerando que a segunda junção do termopar (a junção fria) é mantida exatamente zero graus Celsius. Tipicamente a temperatura da junção fria é medida por um termistor de precisão. A leitura desta segunda temperatura, em conjunto com a leitura do valor da tensão do próprio termopar é utilizada para o cálculo da temperatura verificada na extremidade do termopar.

Figura 28 - Medição de temperatura - junta fria

Quanto à linearização do sinal medido, o instrumento tem que possuir a capacidade de lidar com a compensação da junção fria, bem como o fato de a saída do termopar não ser linear.

Termopares disponíveis no mercado possuem os mais diversos formatos, desde os modelos com a junção a descoberto até os incorporados em sondas.

Quando se procede à escolha de um termopar deve-se ponderar qual o mais adequado para a aplicação desejada, segundo a característica de cada tipo de termopar, tais com gama de temperaturas suportadas, a exatidão e a confiabilidade das leituras, entre outras. Na figura 29 ilustra a família de termopares normalizados pelos fabricantes e a relação a tensão de saída (mV) versus temperatura (°C).

Figura 29 – Família de Termopares – Relação: Tensão saída (mv) x Temp (°C)

O termopar determinado para a medição de temperatura dos gases provenientes dos fornos no tubo de ascensão foi o do tipo **N** (Nicrosil / Nisil). Este novo tipo de termopar é um substituto do termopar tipo K, por possuir uma resistência à oxidação bem superior a este, e em muitos casos também é um substituto dos termopares a base de platina em função de sua temperatura máxima de utilização. É recomendado para atmosferas oxidantes, inertes ou pobres em oxigênio, uma vez que não sofre o efeito de "green-root". Não deve ser exposto a atmosferas sulfurosas.

Termopar tipo N (Nicrosil - Nisil)

Termoelemento positivo (NP): Ni 84,4% - Cr 14,2% - Si 1,4%

Termoelemento negativo (NN): Ni 95,45% - Si 4,40% - Mg 0,15%

Faixa de utilização: -270°C a 1300°C

f.e.m. produzida: -4,345 mV a 47,513 mV

O gráfico abaixo – figura 30, mostra o desvio em temperatura sofrido pelo termopar tipo N em comparação ao tipo K em uma atmosfera oxidante à temperatura de 1000°C.

Figura 30 - Desvio temperatura termopar tipo N

Algumas características inerentes do processo levaram o projetista a considerar a incidência de chama de fogo (labaredas) que ocorrerem diretamente sobre as instalações de rota de cabeamento dos termopares. A solução foi a adoção de proteção anti-chama aos cabos de compensação – figura 31.

Figura 31 - Detalhe típico instalação termopar

Especificações do conjunto – figura 31:

- ✓ Termopar: com isolamento mineral tipo N e bainha em microbel C, material do condutor em nicrosil (+) / nisil (-), faixa de temperatura de medição -270°C a 1300 °C, com tolerância de 2,2°C, tipo de montagem buçim ajustável ½"NPT em aço inox AISI 316L, com capa protetora em microbel C, isolamento mineral com junção quente isolada, diâmetro da bainha 6mm com comprimento variável, norma de fabricação ASTM E 230-3 e E608 / E608M, calibração conforme ITS-90, norma de isolamento E608 / E608M – 1000mΩ sob 500 Vcc.
- ✓ Cabo de Compensação: com isolamento mineral tipo "NX" termopar tipo N, material do condutor em nicrosil (+) / nisil (-), composto por dois condutores, faixa de temperatura de 0 ~200°C com tolerância de 2,2°C, contendo capa protetora externa em aço inox com diâmetro de 3mm, conforme Norma ASTM E 230-3, E608/ E608M, ITS-90, com uma extremidade conector fêmea compensado, na outra rabicho, plaqueta de identificação com inscrição de tag fixada em ambas extremidades, com certificados emitidos pelo fornecedor.
- ✓ Cabo de Extensão: multi cabo de extensão tipo "NX" para termopar tipo N, material do condutor nicrosil (+) / nisil (-), composto por 30 pares, veias torcidas por par, com passo de 50 mm para identificação por nºimpresso no par, com bitola de fio 1,0 mm², flexível, para trabalho em temperaturas de 0 a 200°C com tolerância de 2,2°C, cor do condutor positivo laranja, cor do condutor negativo vermelha (ASTM E 230-3), capa interna em pvc antichama 105 GC, com tensão de isolamento igual 300 volts, capa protetora externa em pvc antichama 105 GC na cor laranja, blindagem externa total, fita de poliéster separadora não hidróscopia em espiral 100% cobertura, fio de dreno de cobre estanhado mole com fita aluminizada em espiral 100% cobertura, conforme norma ASTM E 230.
- ✓ Conector: compensado macho para termopar tipo N em termoplástico para temperatura até 220 °C, contendo 2 numeros de polos no formato redondo, com fixação através de presilha.

4.2.2 Determinação do CLP

A General Motors, em 1968, tendo dificuldades em alterar a lógica dos painéis de comando a cada mudança na linha de montagem, fez uma solicitação à empresa Allen-Bradley para que fosse confeccionado um equipamento capaz de substituir os antigos relés e que aumentasse a agilidade às modificações nos processos produtivos. Partindo desta solicitação, a empresa, que já produzia equipamentos elétricos, desenvolveu o Controlador Lógico Programável (CLP) (GOEKING, 2010).

Segundo a NEMA (National Electrical Manufacturers Association), o CLP é um aparelho eletrônico digital que utiliza uma memória programável para armazenar internamente instruções e para programar funções específicas, tais como lógica, seqüenciamento, temporização, contagem e aritmética, controlando, por meio de módulos de entradas e saídas, vários tipos de máquinas ou processos (PRODENG – UERJ, 2007). A figura 32 apresenta a estrutura de um CLP dividida em três partes: entradas, processamento e saídas:

Figura 32 - Estrutura básica do CLP (PRODENG – UERJ, 2007).

✓ Princípio de funcionamento do CLP

Os sinais de E/S dos controladores lógicos programáveis podem ser analógicos ou digitais. Há diferentes tipos de módulos de E/S de dados que se adequam a cada tipo de operação a ser processada.

Os módulos de E/S são formados por grupos de bits, associados em conjuntos de 8 bits (1 byte) ou 16 bits, variando de acordo com o tipo da UCP. Os módulos de entradas analógicas são compostos por conversores A/D, que fazem a

conversão do sinal de entrada para um valor digital, normalmente de 12 bits (4096 combinações). As saídas analógicas são módulos conversores D/A, ou seja, um valor binário é convertido em um sinal analógico (PRODENGE – UERJ, 2007).

Os sinais oriundos dos sensores são aplicados às entradas do controlador. A cada ciclo (varredura) estes sinais são lidos e enviados para a unidade de memória interna denominada memória imagem de entrada. Após isso, são associados entre si e aos sinais internos. Ao final do ciclo de varredura, os sinais são transferidos à memória imagem de saída e então aplicados aos terminais de saída (PRODENGE – UERJ, et al., 2007). A figura 8 mostra este ciclo operacional dos CLPs:

Figura 33 - Ciclo de processamento dos CLPs (PRODENGE – UERJ, 2007).

✓ Estrutura interna do CLP

O CLP é um sistema microprocessado, ou seja, constitui-se de um microprocessador (ou microcontrolador), um Programa Monitor, uma Memória de Programa, uma Memória de Dados, uma ou mais interfaces de Entrada e Saída e Circuitos Auxiliares (ANTONELLI, 1998).

As figuras 34 e 35 demonstram todas as partes constantes de um CLP:

Figura 34 - Diagrama das partes constantes em um CLP (ANTONELLI, 1998).

Figura 35 - CLP da marca Rockwell (INTERENG, 2010).

A seguir são descritas as principais funções de cada bloco ilustrado no diagrama apresentado na figura 34:

- **Fonte de Alimentação:** converte e estabiliza a tensão da rede elétrica para a tensão de alimentação dos circuitos eletrônicos; mantém a carga da bateria nos sistemas que utilizam relógio em tempo real e memória do tipo RAM; e provê a alimentação das entradas e saídas (ANTONELLI, 1998).
- **Unidade de Processamento:** também conhecida como UCP, é responsável pelo funcionamento lógico e aritmético de todos os circuitos. Nos CLPs modulares, a UCP está em um *slot* separado dos demais,

podendo-se encontrar combinações de UCP e fonte de alimentação. Nos CLPs de menor porte, a UCP e os demais circuitos estão todos em um único módulo. Possuem microprocessadores ou microcontroladores de 8 ou 16 bits, endereçamento de memória de até 1MB, velocidades de Clock variando de 4 a 30MHz, e manipulação de dados decimais, octais e hexadecimais (ANTONELLI, 1998).

- Bateria: usadas para manter o circuito do Relógio em Tempo Real, reter parâmetros ou programas (em memórias do tipo RAM), mesmo em caso de corte de energia, guardar configurações de equipamentos, dentre outras. Normalmente são utilizadas baterias de Lítio recarregáveis ou não recarregáveis. Nestes casos, incorporam-se circuitos carregadores (ANTONELLI, 1998).
- Memória do Programa Monitor: responsável pelo funcionamento e gerenciamento de todas as atividades do CLP. Não pode ser alterado pelo usuário e fica armazenado em memórias do tipo PROM, EPROM ou EEPROM. É responsável em permitir a transferência de programas entre um computador ou Terminal de Programação e o CLP, gerenciar o estado da bateria do sistema, controlar os diversos opcionais, e outros (ANTONELLI, 1998).
- Memória do Usuário: local onde é armazenado o programa da aplicação desenvolvido pelo usuário. Pode ser alterada pelo usuário, já que uma das vantagens do uso dos CLPs é a flexibilidade de programação. Inicialmente era constituída de memórias do tipo EPROM, sendo hoje utilizadas memórias do tipo RAM (cujo programa é mantido pelo uso de baterias), EPROM e FLASH-EPROM, sendo também comum o uso de cartuchos de memória, o que permite a troca do programa com a troca do cartucho de memória (ANTONELLI, 1998).
- Memória de Dados: local da memória RAM do CLP destinado a armazenar os dados do programa do usuário. Estes dados são normalmente valores de temporizadores, valores de contadores, códigos de erro, senhas de acesso, dentre outros. Dados estes que serão consultados e/ou alterados durante a execução do programa do usuário (ANTONELLI, 1998).

- Memória Imagem das Entradas/Saídas: local da memória onde são armazenados os estados de cada uma das entradas ou saídas após cada ciclo de leitura das entradas ou modificações nas saídas executados pela UCP. Essa região da memória funciona como uma espécie de tabela, onde a UCP irá consultar sempre para obter informações das entradas ou saídas para tomar as decisões durante o processamento do programa do usuário (ANTONELLI, 1998).

✓ Arquitetura de rede e hardware do CLP

A figura 36 ilustra a arquitetura de rede de dados do sistema de medição e controle de temperatura incluindo a comunicação com estação de supervisão do processo. O CLP determinado para o sistema foi do fabricante ALTUS Sistemas de Informática S.A., constituído de cartões de comunicação Ethernet e Profibus.

Figura 36 - Arquitetura de rede de dados - Fonte: Intranet Usiminas

Todos os equipamentos de controle, *hardware* e *software*, são produtos da fabricante ALTUS Sistemas de Informática S.A.. A tabela 1 apresenta os módulos utilizados empreendimento:

Tabela 1 - Lista de módulos - (a) Módulos; (b) Descrição dos componentes (Fonte: ALTUS)

Módulos (a)	Descrição dos componentes (b)
Série AL-2000/3000	Um bastidor de módulos. Modelo: AL-3632
	Um módulo de alimentação. Modelo: AL-3512
	Uma unidade central de processamento. Modelo: AL-2004
	Um módulo de interface de rede (<i>Profibus-DP</i> Mestre). Modelo: AL-3406
Série Ponto	Três módulos de interface de rede (<i>Profibus-DP</i> Escravo). Modelo: PO5063
	Vinte e quatro módulos de entrada de sinal analógico. Modelo: PO1112

A seguir será apresentada uma descrição detalhada de cada módulo utilizado com base nas informações contidas nos manuais da ALTUS Sistemas de Informática S.A. que se encontram disponíveis na internet.

As informações presentes neste detalhamento são de caráter informativo. Para maiores informações ou para outras aplicações com estes equipamentos recomendamos recorrer aos manuais originais cujos códigos estão listados nas referências bibliográficas.

- **Módulo AL-3632**

O módulo AL-3632 é um tipo de gabinete que comporta o módulo fonte e o módulo mestre de interface de rede *Profibus-DP* da série AL-3000 e também a UCP da Série AL-2000 responsável pelo controle no teste. A figura 36 apresenta as dimensões frontais e laterais do gabinete:

Figura 37 - Dimensões físicas do módulo AL-3632 em mm (Fonte: ALTUS)

Os módulos são dispostos paralelamente no barramento e além da fonte de alimentação e da UCP, com locais predefinidos, o bastidor aceita até oito módulos adicionais como interfaces de rede e/ou módulos de E/S desta série sendo que estamos utilizando apenas um compartimento para a interface *Profibus*.

Este bastidor é projetado para ser fixado em painel por meio de trilhos de fixação, porém neste teste não utilizamos painel, pois estamos tratando de um teste em bancada sem intenção de controlar um processo industrial.

- **Módulo AL-3512**

O módulo AL-3512 é uma fonte de alimentação da Série AL-3000 de controladores programáveis. A figura 38 apresenta as dimensões frontais e laterais do módulo AL-3512:

Figura 38 - Dimensões físicas do módulo AL-3512 em mm (Fonte: ALTUS).

A Tabela 2 apresenta as principais características para o teste e utilização do módulo AL-3512:

Tabela 2 - Módulo AL-3512 - (a) Características técnicas; (b) Descrição (Fonte: ALTUS)

Características técnicas (a)	Descrição (b)
Descrição do módulo	Fonte Duplo-Euro 80W Entrada AC/DC
Tensão de alimentação	93 a 253 Vca (47 a 63 Hz)
Tensões de saída	+5 Vcc $\pm$ 5% +15 Vcc $\pm$ 15% -15 Vcc $\pm$ 15%
Correntes máximas de saída	+5 Vcc: 10,0 A +15 Vcc: 1,0 A -15 Vcc: 1,0 A
Potência máxima de saída	80 W
"Ripple" nas saídas	+5 Vcc: máximo 50 mVpp +15 Vcc: máximo 100 mVpp -15 Vcc: máximo 100 mVpp
Proteções	- Subtensão de entrada - Curto-circuito na saída (Desligamento da fonte com rearme automático na recuperação).
Temperatura máxima de operação	60°C

- **Módulo AL-2004**

O módulo AL-2004 é uma unidade central de processamento – UCP da Serie AL-2000 que compõe o controlador programável AL-2004 e quando acrescentado a outros elementos forma uma arquitetura de controle.

A UCP realiza o ciclo de leitura dos módulos de entrada de sinal, executa o programa aplicativo de controle e atualiza os módulos de saída de sinal, além de executar outras funções auxiliares.

Através do cabo de comunicação serial, modelo: AL-1342, utilizando o protocolo RS232 de comunicação, e um computador que preencha os requisitos mínimos (visto mais adiante), é possível utilizar o programa *MasterTool Programming MT4100 4.03* para transferir o programa aplicativo de controle para a UCP. A figura 39 apresenta uma visualização frontal do módulo AL-2004 e o significado das indicações e conexões:

Figura 39 - Vista frontal do AL-2004 (Fonte: ALTUS).

A tabela 3 apresenta as principais características para o teste e utilização do modulo AL-2004:

Tabela 3 - Módulo AL-2004 - (a) Características técnicas; (b) Descrição (Fonte: ALTUS)

Características técnicas (a)	Descrição (b)
Número máximo de módulos de E/S	142
Número de pontos de E/S digitais	2048
Número de pontos de E/S analógicos	Limitado pela capacidade de módulos do barramento e pela capacidade de processamento do programa aplicativo.
Interface de comunicação auxiliar -padrão -protocolo -baud-rate -LEDs de atividade	Serial RS-232C/ EIA485 ALNET I versão 2.0 Configurável de 300 a 9600 bauds Não
Memória para programa aplicativo	64K RAM 1024k Flash
Memória para operandos numéricos	48K RAM
Temperatura de operação	0 a 60°C
Proteção	IP30 – Contra acessos incidentais de objetos sólidos com tamanho maior que 2,5mm. Sem proteção contra água.

- **Módulo AL-3406**

O módulo AL-3406 é uma interface de rede que permite conectar a rede de campo *Profibus-DP* à UCP. Configurado como uma interface para barramento *Profibus* mestre é possível à comunicação aberta que segue o padrão *Profibus* permitindo o acesso da UCP a qualquer dispositivo de campo compatível com este protocolo, no caso do nosso teste os sistemas modulares de E/S da Serie Ponto.

No caso de utilização do sistema de configuração redundante, duas interfaces ficam viáveis a troca a quente deste módulo, ou seja, sem parar a operação do controlador.

A conexão entre este módulo e as interfaces de rede escravas da Serie Ponto é efetuada utilizando um conector terminador para rede *Profibus*, modelo: AL-2602, e um cabo para comunicação de dados na rede *Profibus*, modelo: AL-2303.

A figura 40 apresenta uma visualização frontal do módulo AL-3406 e o significado das indicações e conexões:

Figura 40 - Vista frontal do AL-3406 (Fonte: ALTUS).

Esta interface de rede é configurada como mestre na nossa topologia e estas configurações são feitas através dos *softwares ProfiTool* e *MasterTool*. O programa aplicativo carregado na UCP acessa a interface através de um módulo função F-3406.085 que é responsável pela transferência dos operandos (Endereços) e pelo acesso aos diagnósticos de rede.

A tabela 4 apresenta as principais características para o teste e utilização do modulo AL-3406:

Tabela 4 - Módulo AL-3406 - (a) Características técnicas; (b) Descrição (Fonte: ALTUS)

Características técnicas (a)	Descrição (b)
Velocidade de Comunicação	Até 12Mbaud
Autoteste	Embutido no módulo
Temperatura máxima de operação	60°C
Consumo	50mA @ 15Vcc 800mA @ 5Vcc
Comunicação	Através do protocolo <i>PROFIBUS-DP</i>
Número de <i>bytes</i> de entrada	3584
Número de <i>bytes</i> de saída	3584

- **Módulo PO5063**

O módulo PO5063 é uma interface de rede da Serie Ponto denominada de cabeça para redes *Profibus-DP* escrava. Neste teste esta cabeça *Profibus* serve para anexar módulos de E/S da Serie Ponto ao controlador da Serie AL-2000. Configurada como escrava através do *software ProfiTool* esta interface é compatível com qualquer equipamento mestre *Profibus-DP*.

São utilizadas três cabeças *Profibus* escravas na aplicação, cada uma delas está conectada a um módulo de E/S de sinal e estão interligadas entre si e com a interface mestre da Serie AL-3000 através de um barramento de campo. O módulo PO5063 é conectado sobre uma base PO6500 que possui bornes para conexão do barramento *Profibus* e alimentação do módulo e conector RJ45 Fêmea para conexão de IHMs ou microcomputadores. A figura 41 apresenta uma interface PO5063 instalada na base PO6500:

Figura 41 - Módulo PO5063 e base PO6500 (Fonte: ALTUS)

A conexão do módulo a base é permitida através das chaves mecânicas, A e B, que devem ser ajustadas nas posições 6 e 3 respectivamente para que apenas o módulo PO5063 seja admitido à base.

A tabela 5 apresenta as principais características para o teste e utilização do módulo PO5063 assim como a base PO6500 que o comporta:

Tabela 5 - Módulo PO5063 - (a) Características técnicas; (b) Descrição (Fonte: ALTUS)

Características técnicas (a)	Descrição (b)
Protocolo de comunicação	<i>PROFIBUS-DP</i>
Numero máx. de pontos de E/S digitais	640 @ 20 módulos (1)
Numero máx. de pontos de E/S analógicos	96 @ 12 módulos (1)
Número máximo de módulos	20
Capacidade de entradas	200 bytes
Capacidade de saídas	200 bytes
Baudrate	Detecção automática do baudrate de 9,6 a 12000 Kbps
Configuração dos bornes da base PO6500	1 borne de 3 entradas para alimentação (+ Vcc, 0 Vcc, GND) 1 borne de 3 entradas para entrada de rede <i>Profibus-DP</i> (+, -, GND) 1 borne de 3 entradas para saída de rede <i>Profibus-DP</i> (+, -, GND) 1 conector RJ45 para supervisão local

Indicação de diagnóstico	Led DG multifuncional com indicação de módulo OK, sem configuração, algum módulo com diagnóstico, forçamentos nos módulos de saída, ou erro no barramento interno.
Indicação de estado	Leds OL, LC e ER
Troca a quente	Sim para os módulos de E/S conectados a interface
Proteções	Fusível na alimentação da fonte disponível na base
Temperatura máxima de operação	60°C
Tensão de alimentação externa	18,5 a 30 Vcc incluindo ripple
Consumo	620mA @ 24Vcc com 12 módulos E/S
Potência dissipada	4,5W @ 24Vcc com quinze módulos E/S

(1) O número máximo depende do tipo de pontos utilizados, onde o número máximo de uma configuração mista é limitado pelo número de *bytes* recebidos ou transmitidos (200 *bytes*).

Na aplicação utilizamos três cabeças *Profibus* escravas.

A figura 42 apresenta as dimensões frontais e laterais do módulo PO5063 instalado na base PO6500:

Figura 42 - Módulo PO5063 base PO6500 mm (Fonte: ALTUS).

Além dos bornes e conexões a base PO6500 possui também as chaves de endereço (SW1) e de terminação (SW2 e SW3) da rede *Profibus*. A chave SW1 possui duas derivações, SW1-1 e SW1-2, que ativam a terminação *Profibus* e as chaves SW2 e SW3 são ajustes em hexadecimal que programam o endereçamento da interface na rede. A figura 43 apresenta a disposição real das chaves de endereço SW1, de terminação SW2 e SW3 e do fusível de proteção:

Figura 43 - Chaves de configuração e fusível (Fonte: ALTUS)

- **Módulo PO1112**

O módulo PO1112 é um módulo de entrada de sinal analógico da Serie Ponto constituído de 8 pontos de entradas analógicas isolados, aplicado ao controle ou supervisão de processos. Na aplicação utilizamos uma entrada de sinal para medir a temperatura de um sensor termopar do tipo N através de um transdutor de sinal.

O módulo é instalado em uma base de E/S analógica com bornes do tipo mola e duas chaves mecânicas, A e B, devem ser ajustadas nas posições 1 e 2 respectivamente para que apenas o módulo PO1112 seja admitido à base. A conexão lateral serve para interligar o módulo a interface *Profibus* escrava, no caso do teste em questão, permitindo a transmissão dos dados obtidos nas entradas.

Neste teste a parametrização deste módulo é feita através de *software* por meio da UCP AL-2004 e da cabeça de rede de campo *Profibus-DP* e permite estabelecer o modo de medição da temperatura, bem como o tempo de filtragem.

A figura 44 apresenta as dimensões frontais e laterais do módulo PO1112 instalado na base PO6001:

Figura 44 - Módulo PO1112 base PO6001 em mm (Fonte: ALTUS).

A tabela 6 apresenta as principais características para o teste e utilização do módulo PO1112 bem como do modo termopar:

Tabela 6 - Módulo PO1112 - (a) Características técnicas; (b) Descrição (Fonte: ALTUS)

Características técnicas (a)	Descrição (b)
Tipo de entrada	Tensão, corrente, termopar, RTD, resistência
Formato de dados	16 <i>bits</i> em complemento de 2, justificado a esquerda
Configuração de borne	1 borne alimentação 24Vcc de sensores 4-20mA (P) 1 borne de entrada de tensão (+) (V) 1 borne de entrada de tensão (-) (L) 1 borne para entrada de corrente (I) 1 borne para retorno de cada ponto (0Vcc), interligados (N) 1 borne para blindagem do cabo (G)
Indicação de diagnóstico	Dois LEDs multifuncionais com indicação de módulo Ok, fusível queimado, sinal fora de faixa e falta de parametrização.
Parâmetros configuráveis	Tipo das entradas para cada ponto Escala de medição para cada ponto Tipo de termopar, RTD para cada ponto Filtragem para cada ponto Unidades de temperatura (°F ou °C) para o módulo
Autoteste	Conversor A/D e toda a lógica de controle
Troca a quente	Sim
Proteções	Fusível de 3A no condutor de alimentação do sensor. Inversão da polaridade de alimentação.
Tensão de alimentação externa	19,2 a 30Vcc incluindo ripple
Consumo	100mA @ 24Vcc
Tempo de atualização	25 ou 100ms
Tempo de inicialização	1,8s
Consumo de corrente do barramento	60mA
Potência dissipada	2,5W
Temperatura máxima de operação	60°C
Modo Termopar	
Precisão	+/- 0,1% do fundo de escala @ 25°C
Impedância de entrada	10MΩ
Tensão máxima contínua sem dano	+/- 30Vcc
Filtragem	Constante de tempo configurável: 1.3ms, 100ms, 1s ou 10s
Tempo de atualização	100ms
Range de temperatura do termopar tipo K/Contagem no <i>MasterTool</i> /Resolução	-200 a 1250°C/ -2000 a 12500 0,1 °C
Folga de escala	+/- 5%

Para a configuração completa e utilização de todos estes módulos apresentados se faz necessário o uso dos *softwares MasterTool* e *ProfiTool*, cujas características estão listadas na tabela 7.

Tabela 7 - Características dos softwares - (a) Características técnicas; (b) Descrição (Fonte: ALTUS)

MasterTool Programming MT4100 4.03	
Características técnicas (a)	Descrição (b)
Definição	Ferramenta para configuração e programação simbólica (TAGs ou Nicknames) de equipamentos ALTUS aliada a múltiplos recursos para manipulação de dados e documentação de projetos.
Tipo da licença	Chave de <i>software</i> (Utilização de código)
Compatibilidade com S.O.	Windows NT/2000/XP
Equipamentos programáveis	CPs da Serie Quark, AL-2000 e módulos de rede e E/S da Serie AL-3000

ProfiTool 2.6.3.83	
Características técnicas (a)	Descrição (b)
Definição	Ferramenta universal para configuração de sistemas de barramentos “ <i>fieldbus</i> ” aliada a múltiplos recursos de diagnósticos e documentação de projetos.
Tipo de licença	Chave de <i>software</i> (Utilização de código)
Compatibilidade com S.O.	Windows NT/95/98/ME/2000/XP
Equipamentos programáveis	QK1405 e AL-3406 (Dispositivos mestres) PO5063 e QK1404 (Dispositivos escravos)
Protocolo de barramento	<i>PROFIBUS-DP</i> (Para equipamentos ALTUS)

As instalações destes *softwares* podem ser obtidas através do CD de instalação ou através do site da empresa (URL: **www.altus.com.br**), porém se faz necessário o uso da licença de *software* para disponibilidade total dos recursos das ferramentas, caso contrário é possível à utilização do modo demo com limitações de recursos.

Para a montagem é indispensável o uso dos equipamentos e ferramentas adicionais listados na tabela 8.

Tabela 8 - Lista de equipamentos - (a) Equipamentos; (b) Descrição técnica (Fonte: ALTUS)

Equipamentos	
Equipamentos (a)	Descrição técnica (b)
Um Computador	Requisitos mínimos necessários: Sistema Operacional Windows 98/2000/XP Processador Pentium/AMD 1GHz Memória de 512MB Espaço livre em disco de 1GB Um ponto de comunicação serial
Um módulo de alimentação	Tensão de entrada: 100-240Vca @ 60Hz Corrente de entrada: 1.9-0.95A Tensão de saída: 24Vcc Corrente de saída: 5A
Um conector <i>Profibus</i> da ALTUS	Modelo: AL-2602
Um cabo de rede <i>Profibus</i>	Modelo: AL-2303 (Comprimento = 12m)
Um cabo de comunicação serial	Modelo: AL-1342
Um cabo de comunicação serial/RJ45	Modelo: AL-1327

4.2.3 Rede Profibus

Com todos os módulos instalados e configurados interligamos os diferentes modelos de equipamentos utilizando o cabo *Profibus* AL-2303 e o conector terminador AL-2602. O cabo AL-2303 é o meio físico responsável por transmitir os dados da rede *Profibus-DP* e é composto por 2 condutores envolvidos em uma blindagem e deve ser conectado no conector AL-2602 conforme apresentado na figura 45:

Figura 45 - Conector AL-2602 e cabo AL-2303 (Fonte: Usiminas)

Neste projeto utilizamos seis módulos da Serie Ponto, sendo eles três interfaces *Profibus* escravas cada uma delas em um ponto diferente da rede e conectadas a um módulo de E/S. Cada interface *Profibus* deve receber alimentação (24Vcc) e conexão do cabo *Profibus* nos bornes da base PO6500 conforme apresentado na figura 46:

Figura 46 - Conexões dos cabos módulos Profibus PO5063 (Fonte: ALTUS)

A extremidade do cabo *Profibus* com o conector terminador deve ser conectada ao conector de rede *Profibus* (DB9) do módulo AL-3406 mestre conforme a figura 47:

Figura 47 - Conector Profibus interface AL-3406 mestre (Fonte: Usiminas)

Após estas configurações, o meio físico para transmissão de dados compõe uma pequena rede *Profibus* capaz de transmitir dados entre os módulos de E/S da Serie Ponto e a UCP AL2004. Porém, para haver dados na rede se faz necessária a instalação de atuadores e sensores nesses módulos de E/S que também precisam ser alimentados. Utilizamos a configuração de modo termopar do módulo PO1112 e conectamos um termopar do tipo N para monitorar o valor analógico de temperatura conforme apresentado na figura 48:

Figura 48 - Termopar tipo N no módulo PO1112 (Fonte: ALTUS)

(1) A medição de termopares deve ser feita pela conexão da polaridade positiva no borne V e a tensão negativa ao borne L. A compensação da temperatura ambiente – junta fria – é feita automaticamente por meio de sensores integrados dispostos na base, abaixo dos bornes.

(2) A Conexão elétrica é feita alimentando a base com uma tensão de 24Vcc nas extremidades dos bornes marcados (+) e (-). Esta conexão é obrigatoriamente necessária para fazer com que o módulo receba alimentação.

(3) O ponto comum da fonte de alimentação do módulo é fundamental quando se diz respeito à proteção contra curto circuito através de aterramento localizado próximo ao local onde o sistema estiver instalado.

(4) É de bom senso aterrar todas as blindagens dos cabos de sinais analógicos em um ponto de aterramento mais próximo. Desta forma prováveis ruídos elétricos induzidos não chegam até o módulo.

(5) O próximo módulo poderá ser alimentado através de extensões dos pontos (+) e (-). O número máximo de bases que podem ser conectados desta forma é de 10 e nenhum outro tipo de dispositivo pode ser ligado a estes bornes, porém estamos utilizando apenas um módulo anexado a cada interface *Profibus*.

Instalação física durante a montagem do todo conjunto conforme figura abaixo 49.

Figura 49 – Fotos vista frontal e lateral (Fonte: Usiminas)

4.2.4 Software configuração CLP

A instalação do software MasterTool reside na própria estação de supervisão que através do protocolo de comunicação ethernet (TCP/IP) é possível entrar no modulo de configuração do programa “ladder” e visualização dos endereçamentos de memória. Por questões estratégicas e, em função da presença das 3 cabeças profibus, a distribuição das variáveis do processo ocorre em 3 réguaas distintas:

- Régua Nº1 – Termopares dos fornos da bateria 4 com endereçamento de memória a partir %M0400;
- Régua Nº2 – Termopares dos fornos da bateria 5 com endereçamento de memória a partir %M0500;
- Régua Nº3 – Termopares das câmaras de combustão (expansão futura) com endereçamento de memória %M0600.

O objetivo da distribuição do endereçamento de memória é oferecer ergonomia física e lógica para identificação e manutenção dos 106 termopares existentes nas baterias de coque 4 e 5 – figura 50.

Operando	Valor	Operando	Valor
%M0400	06531	%M0500	06908
%M0401	06127	%M0501	12971
%M0402	04346	%M0502	06760
%M0403	03040	%M0503	06446
%M0404	05372	%M0504	02902
%M0405	06206	%M0505	06626
%M0406	05829	%M0506	05668
%M0407	02657	%M0507	03718
%M0408	06082	%M0508	06414
%M0409	05401	%M0509	03203
%M0410	06420	%M0510	05803
%M0411	06197	%M0511	05888
%M0412	03002	%M0512	06498
%M0413	06132	%M0513	06088
%M0414	05706	%M0514	04574
%M0415	06533	%M0515	06359
%M0416	06305	%M0516	06143
%M0417	02330	%M0517	05439
%M0418	00232	%M0518	05080
%M0419	05483	%M0519	04590
%M0420	06626	%M0520	12971
%M0421	01204	%M0521	12971
%M0422	09070	%M0522	01890
%M0423	00323	%M0523	06397
%M0424	05844	%M0524	04152
%M0425	06160	%M0525	06542
%M0426	06234	%M0526	06097
%M0427	02394	%M0527	01961
%M0428	06646	%M0528	10403
%M0429	03669	%M0529	04854

Figura 50 - Software configuração MasterTools (Fonte: Usiminas - Estação SCADA)

Neste mesmo software é possível a configuração de endereçamento das cabeças profibus, vide figura 51.

- Régua Nº 1 – Nó 3 com 8 variáveis com tamanho de 16 bits para atender os 8 cartões de entrada analógica dos termopares da Bateria 4;
- Régua Nº 2 – Nó 5 com 8 variáveis com tamanho de 16 bits para atender os 8 cartões de entrada analógica dos termopares da Bateria 5;
- Régua Nº 3 – Nó 8 com 8 variáveis com tamanho de 16 bits para atender os 8 cartões de entrada analógica dos termopares das camaras de combustão (futuro).

Nº	Tipo	End. Entrada	End. Saída	Tamanho	Operando no CP	Grupo
1	3	IW	0	16	%M0400 a %M0407	Default
2	3	IW	16	16	%M0408 a %M0415	Default
3	3	IW	32	16	%M0416 a %M0423	Default
4	3	IW	48	16	%M0424 a %M0431	Default
5	3	IW	64	16	%M0432 a %M0439	Default
6	3	IW	80	16	%M0440 a %M0447	Default
7	3	IW	96	16	%M0448 a %M0455	Default
8	3	IW	112	16	%M0456 a %M0463	Default
9	5	IW	128	16	%M0500 a %M0507	Default
10	5	IW	144	16	%M0508 a %M0515	Default
11	5	IW	160	16	%M0516 a %M0523	Default
12	5	IW	176	16	%M0524 a %M0531	Default
13	5	IW	192	16	%M0532 a %M0539	Default
14	5	IW	208	16	%M0540 a %M0547	Default
15	5	IW	224	16	%M0548 a %M0555	Default

PROFIBUS Mestre		Diagnóstico do Mestre		Tempo de Atualização	
Nº relâmpagos:	24	Mestre A	2M4000 a 2M4029		
Posição		Mestre B	2M4030 a 2M4059		
Redundância	☐	Redundante	2M4060 a 2M4075	2311.40	us

Figura 51 - Configuração módulo Profibus (Fonte: Software MasterTools)

4.3 Projeto de Automação

O **Wizcon for Windows e Internet** é um conjunto de produtos para aplicações industriais e prediais, que oferece informações em tempo real e histórico do chão de fábrica aos responsáveis pelo processo. Foi projetado para suprir todas as necessidades do sistema de supervisão com excelente flexibilidade de execução. Oferece acesso seguro e multinível a qualquer usuário através de *browsers* habilitados em Java.

4.3.1 Software de Supervisão e Controle do Processo

Ao utilizar o *Wizcon for Windows e Internet*®, pode-se criar aplicativos em diferentes modos:

- Aplicativos de sistemas supervisórios baseados em *Wizcon* sobre o sistema operacional Windows 2000®. Estes aplicativos podem ser visualizados através de estações de operação.
- Aplicativos de sistemas supervisórios do *Wizcon*® baseados em Web. Estes aplicativos baseados em Java podem ser visualizados através de qualquer *browser* sem a necessidade de um software de plataforma específica, instalações de software de cliente ou *plug-ins*.

Utilizando as ferramentas de desenvolvimento do *Wizcon*®, o usuário pode definir o Banco de Dados de Tempo Real para as aplicações. Este banco de dados consiste em *tags* e definições de alarme, assim como drivers de comunicação. Em seguida, podem-se criar telas, com imagens, gráficos e resumos de evento. O usuário pode executar estes aplicativos nas estações de trabalho em Windows 2000® ou publicá-los a partir do servidor Web utilizando utilitários de conversão automática do *Wizcon* para *applets* HTML e Java. Usuários autorizados podem então interagir com estes aplicativos a partir de qualquer *browser* padrão. Os aplicativos baseados em **Web** acessam dados em tempo real e histórico através do servidor *Wizcon*®.

4.3.2 Aplicativo de supervisão do processo

A filosofia para a construção da aplicação requer um profundo conhecimento do desenvolvedor da aplicação SCADA, que deve estar em total sintonia com a

Engenharia do Processo a ser automatizado. A interatividade com o grupo que irá no futuro operar a planta, maximizando todas as necessidades básicas de controle e segurança do processo, resultará em sistema produtivo e confiável.

Nos itens a seguir alguns detalhes sobre a concepção da criação da aplicação destinada ao controle e monitoramento da temperatura do gás nos fornos das Baterias de Coque do Grupo 2.

- Login - Logout

Após o *login* no Sistema Operacional (usuário e senha) o operador deve efetuar o *login* junto ao Sistema Supervisório na tela de apresentação conforme figura 52. Pelo regime de turno presente no processo industrial, cada operador possui sua respectiva senha de acesso, fato este registrado junto ao supervisório, possibilitando identificar todos os comandos (auto/manual, alterações de *set-points*, etc...) acionados pelo mesmo.

Figura 52 - Tela apresentação supervisório (Fonte: Usiminas - SCADA)

- Menu de navegação.

Principal tela para a operação, pois a existência de ícones facilita a navegação por todas as telas do processo.

A imagem no monitor é dividida em 3 áreas – figura 53, sendo que, apenas as Janelas do Processo é comutada automaticamente ou não, conforme decisão do operador :

Figura 53 - Layout de telas (Fonte: Usiminas - SCADA)

▪ Menu de Ícones:

Figura 54 - Menu navegação (Fonte: Usiminas - SCADA)

- ✓ **01** – Tela principal;
- ✓ **02** – Arquitetura Rede;
- ✓ **03** – Login / Logout (operadores e administrador).;
- ✓ **04** – MasterTools – software CLP;
- ✓ **05** – Tela processo;
- ✓ **06** - Fechar a aplicação;
- ✓ **07** – Ocorrências *online* dos eventos de “desenformamento e enformamento”;

▪ Alarmes Ativos:

Esta área é reservada para a visualização e reconhecimento dos alarmes decorrentes do processo – figura 55.

Figura 55 - Janela de eventos e alarmes do processo (Fonte: Usiminas - SCADA)

▪ Janelas do Processo:

O profissional da automação que desenvolve as telas operacionais da planta possui como principal objetivo retratar com a máxima fidelidade todo o processo industrial na tela do computador, devendo para isso possuir as seguintes habilidades:

- ✓ Interpretação de documentação técnica, como: Fluxogramas de Processo e P&I, Diagramas de Malhas e Esquemas Elétricos.
- ✓ Total domínio das ferramentas gráficas disponíveis no software supervisorio (treinamento no software SCADA);
- ✓ Ergonomia para o dimensionamento de equipamentos, respeitando as condições geográficas da planta;
- ✓ Noções de programação para a criação das animações gráficas, caracterizada pela mudança de *status* (eventos) e dinamismo de imagens;
- ✓ Criação de *layout* e menus para navegabilidade dos usuários pelo processo;
- ✓ Habilidades comportamentais, pois é de fundamental importância saber interpretar as necessidades verbalizadas pelos operadores (usuários) e atendê-los da forma mais simples, em face da tecnologia que está sendo empregada não impacta sobre o nível de conhecimento de informática por parte do operador.

Abaixo telas do processo – figura 56.

Figura 56 - Telas do processo (Fonte: Usiminas - SCADA)

4.4 Geração de Relatórios e Aquisição de Dados

*Em minha opinião, **dados**, matéria prima para criação de **informações**. **Informações**, matéria prima para as tomadas de **decisões**. Decisões corretas, matéria prima para o sucesso da Empresa.*

Como já citado anteriormente, a obtenção da temperatura máxima T_{máx} no decorrer do processo de coqueificação através da inserção de termopar na exaustão dos gases, levou o analista de automação o desafio da elaboração de uma aplicação para este fim. Aplicativos, escrito em C#, estão instalados na propria estação de supervisão. Sua conectividade com Servidor de Dados (Oracle) e utilizando-se da ferramenta de OPC–Keepware – figura 57 - é possível efetuar a leitura de endereços de memória do proprio CLP.

Figura 57 - Software OPC Keepware Server (Fonte: Usiminas)

O primeiro aplicativo, COQR – Controle de Enfornamento/Desenfornamento possui a função de capturar e gravar no banco de dados os eventos de enfornamento e desenfornamento, realizados pelas máquinas de desenfornamento MD3 ou MD4. A cada 8 minutos, em média, há um evento de enfornamento (carvão mineral) em um dos 106 fornos do grupo de baterias de coque, sendo gravado o numero do forno e respectiva data e hora. Após 18horas, em média, há o evento de

desenformamento, quando o carvão mineral tornou-se coque. Na figura 58, tela do aplicativo.

Figura 58 - Software COQR - Controle de Enformamento/Desenformamento (Fonte: Usiminas/Automação)

Após o enformamento do carvão mineral, um novo software entra em ação. Trata-se do COQR – Controle de Coqueificação que tem por objetivo identificar e registrar a data onde ocorreu a temperatura máxima (Tmax) dos gases da queima do carvão – tempo de coqueificação (vide item 2.6). Princípio lógico do funcionamento deste software é observar, a partir do evento de enformamento, a temperatura dos gases de exaustão do forno a cada 10 minutos, que após 11 horas, calcula a temperatura média = TM (°C), sendo está, parametro para a busca da temperatura máxima – Tmax (°C) no tempo que transcorre o processo de coqueificação.

Figura 59 - Software COQR - Controle de Coqueificação (Fonte: Usiminas/Automação)

O código fonte do aplicativo, conforme figuras abaixo vêm ilustrar as principais funções, dentre elas: análise do enformamento, análise da temperatura abaixo da média, análise da temperatura máxima, gera relatório txt e atualiza banco de dados.

Figura 60 - Principais funções software de controle de coqueificação (Fonte: Usiminas/Automação)

A função para “análise do enformamento”, busca a última data de enformamento em função das seguintes condições lógicas – figura 61:

- Condição 1 = onde ainda não tenha encontrado o Tmax;
- Condição 2 = a data atual seja após 11 horas após o enformamento (antes disto não interessa verificar, pois não será neste range de tempo que encontraremos a Tmax – conforme método de experimentos);
- Condição 3 = desconsidera também os enformamentos ocorridos a mais de 24 horas, pois não existe ciclo de enformamento maior que 24 horas, o que faria encontrar uma data de enformamento de um período muito distante, por alguma falha no termopar, não foi possível resgatar a Tmax daquele forno analisado.

Figura 61 - Análise do enforamento (Fonte: Usiminas/Automação)

A função responsável em analisar a primeira temperatura abaixo da média e começar a rastrear a temperatura máxima Tmax (°C), com apenas uma condição lógica – figura 62:

- Condição 1 = data de medição precisa ser MAIOR que 11 horas do momento de enforamento.

Figura 62 - Análise temperatura abaixo da média (Fonte: Usiminas/Automação)

Por fim a determinação da temperatura máxima Tmax (°C) e respectiva gravação no banco de dados – figura 63.

Figura 63 - Analise da temperatura máxima (Fonte: Usiminas/Automação)

Todo sistema de supervisão precisa possuir uma base de dados relacional, afinal, a rastreabilidade do processo torna-se uma ferramenta fundamental às diversas exigências de controle do processo e, principalmente, da qualidade do produto.

Os softwares de aquisição de dados, geração de relatórios e a política de *backup* de dados são de fundamental importância ao Suporte Técnico Operacional de todo processo.

5 TECNOLOGIA WEB

A utilização da Web para disponibilizar informações de equipamentos e processos é um dos princípios que norteiam o desenvolvimento dos sistemas de automação. Apresentam-se os principais requisitos e a metodologia utilizada para o desenvolvimento de aplicações voltadas a Web, a situação atual e os benefícios para a produção da empresa.

Conectividade é a palavra do momento. A troca de dados entre os diversos sistemas existentes no ambiente industrial é peça fundamental do jogo custo x lucro.

Todo processo industrial está sobre enorme pressão para se tornar mais lucrativo. Baixar custos é questão chave para o aumento da lucratividade. O tempo perdido na procura de informações poderia ser utilizado para propósitos que incrementassem as vendas, reduzissem tempo de parada e desperdícios, e assim por diante.

Verificamos que, as tão valiosas informações estão fragmentadas em diversos subsistemas instalados em uma mesma empresa. Esses sistemas vão desde o controle e supervisão do chão-de-fábrica (CLP/Scada, SoftLogic/Scada, DCS, etc.) até a tomada de decisões estratégicas. Pelo fato das informações estarem distribuídas, barreiras como diferentes gerações de tecnologias, diversos fabricantes, diferentes plataformas de hardware e software e interfaces proprietárias de dados dificultam, encarecem e até inviabilizam a obtenção das informações relevantes.

Na Usiminas cada área de produção está conectada a *LAN (Local Area Network)* - INTRANET - e possui redes locais para utilização exclusiva dos equipamentos da automação. É importante lembrar que estas redes são isoladas através de 'switchs' e roteadores que mantêm a estabilidade no tráfego das informações e a independência da rede corporativa em caso de falhas, paradas para manutenção e outros.

A partir desta estrutura de rede – figura 64, a arquitetura para suportar as aplicações Web é formada por cinco entidades:

- Servidores Web: Máquinas que disponibilizam as páginas que serão utilizadas para navegação e consulta;
- Servidores de dados locais: Máquinas responsáveis pela aquisição, tratamento e armazenamento dos dados;
- Servidores Web para software Scada: Máquinas que disponibilizam as telas do software Scada para Web;
- Computadores de processo: Máquinas que geram informações do processo, através de modelos matemáticos e dados fornecidos pela operação;
- Estação de rede: Máquinas diretamente conectadas à rede corporativa.

Figura 64 - Arquitetura WEB - Fonte: Intranet Usiminas

As estações de operação, localizadas nas salas de controle das áreas de produção, disponibilizam o acesso às telas de controle e gráficos do processo através do Servidor Web para Software Scada. É importante ressaltar que estas telas são disponibilizadas apenas para visualização, não permitindo nenhum tipo de intervenção remota no controle do processo por questões de segurança.

Quando se fala em WEB, a primeira preocupação que surge é a questão da "**segurança**". Com tantas invasões de sistemas, não é para menos que os responsáveis por sistemas de informações fiquem apreensivos em se conectar a rede mundial. A preocupação também se estende a Intranet.

Os produtos destinados à supervisão e controle via WEB utilizam todo o recurso do sistema operacional e do Web Server para a garantia das informações. A

segurança começa na validação do endereço IP da pessoa que está tentando acessar o *site*, até sua permissão para acessar os recursos do servidor. Além da segurança do sistema operacional e do *Web Server*, existe a segurança inerente aos produtos onde se permite ou não, a leitura ou escrita de dados. Para complementar, eles aceitam todos os recursos de proteção oferecidos pelo mercado: *Firewalls*, conexões *http* seguras (*https*) e troca de dados codificados entre clientes e servidores (criptografia).

5.1 Processo Coqueificação na Web

A construção da página inicial se faz necessária para o acesso às diversas fábricas pertencentes ao processo, como é o caso da Redução, onde as informações das fábricas (Altos Fornos, Sinterizações, Coqueria, etc), estão centralizadas nesta página de endereço: [http:// webred](http://webred) – figura 65.

A estação de monitoramento da temperatura dos termopares se faz presente na rede Intranet da empresa, tendo seus dados e informações disponíveis ao suporte técnico.

Figura 65 - Browser intranet - WebRed - Fonte: Intranet Usiminas

Clicando no botão “Processo” é possível abrir tela de menu contendo todas as áreas pertencentes ao Grupo 2 – Baterias de Coque 4 e 5 – onde podemos destacar o botão “Termopares e Tubo de Ascensão” – figura 66.

Figura 66 - Sumário de Telas Sinótica Web - Fonte: Intranet Usiminas

Ao envocar a tela dos termopares o usuário possui informações “online” das temperaturas de cada forno – figura 67. Ao clicar sobre a variável é possível abrir o “trend” da mesma.

MENU

TERMOPARES TUBO ASCENÇÃO

USIMINAS U

BATERIA 4

FORNO 001	649,30	°C
FORNO 002	620,40	°C
FORNO 003	414,10	°C
FORNO 004	281,00	°C
FORNO 005	536,10	°C
FORNO 006	621,00	°C
FORNO 007	586,00	°C
FORNO 008	247,10	°C
FORNO 009	610,40	°C
FORNO 010	508,40	°C
FORNO 011	632,70	°C
FORNO 012	625,00	°C
FORNO 013	272,90	°C
FORNO 014	610,80	°C
FORNO 015	568,00	°C
FORNO 016	645,10	°C
FORNO 017	632,70	°C
FORNO 018	207,40	°C
FORNO 019	25,00	°C
FORNO 020	515,50	°C
FORNO 021	654,50	°C
FORNO 022	113,30	°C
FORNO 023	883,50	°C
FORNO 024	32,70	°C
FORNO 025	572,60	°C
FORNO 026	615,40	°C
FORNO 027	624,00	°C

BATERIA 4

FORNO 028	213,60	°C
FORNO 029	664,40	°C
FORNO 030	325,80	°C
FORNO 031	656,70	°C
FORNO 032	629,70	°C
FORNO 033	291,20	°C
FORNO 034	632,30	°C
FORNO 035	585,30	°C
FORNO 036	639,70	°C
FORNO 037	631,70	°C
FORNO 038	184,70	°C
FORNO 039	641,20	°C
FORNO 040	1297,10	°C
FORNO 041	1049,90	°C
FORNO 042	617,30	°C
FORNO 043	234,10	°C
FORNO 044	657,60	°C
FORNO 045	593,10	°C
FORNO 046	617,30	°C
FORNO 047	234,10	°C
FORNO 048	657,60	°C
FORNO 049	593,10	°C
FORNO 050	617,30	°C
FORNO 051	234,10	°C
FORNO 052	657,60	°C
FORNO 053	593,10	°C

BATERIA 5

FORNO 054	690,10	°C
FORNO 055	1297,10	°C
FORNO 056	674,80	°C
FORNO 057	644,80	°C
FORNO 058	257,90	°C
FORNO 059	662,60	°C
FORNO 060	568,80	°C
FORNO 061	443,00	°C
FORNO 062	641,40	°C
FORNO 063	287,50	°C
FORNO 064	578,70	°C
FORNO 065	589,30	°C
FORNO 066	631,80	°C
FORNO 067	607,30	°C
FORNO 068	427,60	°C
FORNO 069	631,90	°C
FORNO 070	591,60	°C
FORNO 071	665,80	°C
FORNO 072	586,10	°C
FORNO 073	426,10	°C
FORNO 074	1297,10	°C
FORNO 075	1297,10	°C
FORNO 076	640,50	°C
FORNO 077	639,90	°C
FORNO 078	379,50	°C
FORNO 079	653,30	°C
FORNO 080	578,00	°C

BATERIA 5

FORNO 081	648,40	°C
FORNO 082	496,20	°C
FORNO 083	434,30	°C
FORNO 084	88,90	°C
FORNO 085	621,70	°C
FORNO 086	424,90	°C
FORNO 087	637,30	°C
FORNO 088	1297,10	°C
FORNO 089	663,00	°C
FORNO 090	607,80	°C
FORNO 091	253,60	°C
FORNO 092	650,40	°C
FORNO 093	353,50	°C
FORNO 094	667,40	°C
FORNO 095	620,60	°C
FORNO 096	302,80	°C
FORNO 097	646,80	°C
FORNO 098	448,10	°C
FORNO 099	659,50	°C
FORNO 100	353,20	°C
FORNO 101	657,00	°C
FORNO 102	1297,10	°C
FORNO 103	406,40	°C
FORNO 104	1297,10	°C
FORNO 105	32,20	°C
FORNO 106	258,80	°C

Figura 67 - Termopares "online" na Web - Fonte: Intranet Usiminas

Outro importante recurso de acompanhamento do tempo de coqueificação de cada forno, também se faz presente na Web, onde a operação pode visualizar a data de enformamento, data em que ocorreu a temperatura máxima T_{max} e

respectivo valor, este determinado por programa específico (conforme descrito no capítulo anterior), momento que ocorreu o tempo líquido e finalmente a real data de desenformamento – figura 62.

WEBRED - Microsoft Internet Explorer provided by XP

http://webred/

Arquivo Editar Exibir Favoritos Ferramentas Ajuda

WEBRED

USIMINAS **Controle do Tempo de Coqueificação**

EXCEL

Forno	Data Enformamento	Data TMax	TMax °C	Tempo Líquido	Data Desenformamento
26	11/7/2011 08:15:13	11/7/2011 19:40:01	616,1	11/7/2011 23:10:01	12/7/2011 02:38:45
31	11/7/2011 08:23:30	11/7/2011 19:25:01	659	11/7/2011 22:55:01	12/7/2011 02:47:25
36	11/7/2011 08:32:04	11/7/2011 20:05:01	659,4	11/7/2011 23:35:01	12/7/2011 02:55:08
41	11/7/2011 08:41:47	11/7/2011 19:45:02	1297,1	11/7/2011 23:15:02	12/7/2011 03:03:13
46	11/7/2011 08:48:42	11/7/2011 20:10:01	651,9	11/7/2011 23:40:01	12/7/2011 03:10:40
56	11/7/2011 09:21:54	11/7/2011 20:25:01	678,4	11/7/2011 23:55:01	12/7/2011 03:31:41
61	11/7/2011 09:29:40	11/7/2011 20:35:01	535,3	12/7/2011 00:05:01	12/7/2011 03:41:10
66	11/7/2011 09:36:04	11/7/2011 20:45:02	695,7	12/7/2011 00:15:02	12/7/2011 03:48:14
71	11/7/2011 09:42:09	11/7/2011 20:45:02	749,2	12/7/2011 00:15:02	12/7/2011 03:57:25
76	11/7/2011 09:48:43	11/7/2011 21:40:02	675,1	12/7/2011 01:10:02	13/7/2011 01:26:27
81	11/7/2011 09:55:21	11/7/2011 21:00:01	752	12/7/2011 00:30:01	12/7/2011 04:15:58
86	11/7/2011 10:05:19	11/7/2011 21:10:01	716,4	12/7/2011 00:40:01	13/7/2011 01:40:37
91	11/7/2011 10:16:46	11/7/2011 21:50:01	706,8	12/7/2011 01:20:01	12/7/2011 04:33:49
96	11/7/2011 10:24:51	11/7/2011 21:25:01	701,8	12/7/2011 00:55:01	12/7/2011 04:42:19
3	11/7/2011 11:34:00	11/7/2011 23:10:01	596,4	12/7/2011 02:40:01	12/7/2011 05:09:56
8	11/7/2011 11:41:48	11/7/2011 23:10:01	626,7	12/7/2011 02:40:01	12/7/2011 05:19:08
13	11/7/2011 11:49:10	11/7/2011 23:10:01	647,8	12/7/2011 02:40:01	12/7/2011 05:26:53
18	11/7/2011 11:58:02	11/7/2011 23:00:01	676,5	12/7/2011 02:30:01	12/7/2011 05:37:17

Ontem 1401 acessos

Usina
Redução
Alto Forno 1
Alto Forno 2
Laboratórios
PCI
Carvão
Carboquímicos
Sinterização 2
Sinterização 3
Pó do Minério
Meio Ambiente
Manuseio Coque
Coqueria
Grupo I
Grupo II
Relatórios
Ponto
Automação

315506
14/07/2011

Figura 68 - Controle do Tempo de Coqueificação Web - Fonte: Intranet Usiminas

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A determinação do tempo líquido de coqueificação depende da sequência de eventos. O ponto inicial do tratamento dos dados é a identificação da data de enforamento que é capturada pelo status de “forno nivelado”, operação realizada pelas Máquinas Desenforadoras. Após o evento de “forno nivelado”, o modelo matemático determina outro ponto importante: a temperatura média dos fornos, registrada entre 6 e 8 horas após o enforamento (período de estabilidade no processo, onde há pouca variação na temperatura do gás). A média é calculada para definir a data de ocorrência da primeira temperatura abaixo desta média e definir assim o ponto máximo de procura da Temperatura Máxima (TMax). A Temperatura Máxima (TMax) é então procurada no intervalo entre 11 horas após o enforamento e a data da primeira temperatura abaixo da média. Com TMax definido, calcula-se o tempo líquido de coqueificação. Esses pontos de eventos de tempo foram determinados para um tempo líquido previsto entre 16 e 20 horas. A utilização desses pontos é para facilitar a procura da temperatura máxima do gás durante a coqueificação. O método evita que variações anormais de medição ou mesmo do processo interfiram na determinação da temperatura máxima.

Segundo os dados obtidos por Lia (1987) em seu modelo matemático, o tempo líquido de coqueificação (Δt) depende também da umidade da mistura de carvões e da porosidade do meio e os valores obtidos por sua equação foram 12% menores, em média, em relação aos valores medidos nos experimentos em forno piloto. O valor da porosidade utilizada foi baseado em uma equação utilizada por Lia, a partir da densidade aparente. Não foi encontrado um motivo claro porque o fator umidade não afetou o tempo líquido de coqueificação. Uma hipótese é o fato de que, em um forno piloto, é possível manter a temperatura da parede constante, mantendo, assim, a velocidade da frente de coqueificação e consequentemente, o tempo líquido, consumindo-se mais energia. No processo industrial, o fluxo de calor é constante ao longo do processo de coqueificação e, nesse caso, uma variação da umidade pode afetar o tempo líquido de coqueificação (Δt).

Resolvido o problema da medição do tempo líquido de coqueificação para o forno industrial, resta equacionar a medição do consumo de calor. Teoricamente, todas as paredes de uma bateria recebem uma mesma quantidade de fluxo térmico,

mas devido às obstruções dos regeneradores e dutos, há sempre diferenças entre elas. Como a medida de fluxo é feita para a bateria toda, não é possível saber, com boa precisão, qual é o fluxo de calor que cada parede recebe.

Reafirmando, o objetivo de se conhecer os parâmetros do processo de coqueificação das baterias da Usiminas é de se buscar a automação do controle de aquecimento dos fornos. Com as equações obtidas através dos experimentos no forno industrial, será possível obter os parâmetros mais próximos da realidade do processo em escala industrial. Pelos dados apresentados nos experimentos industrial, é possível projetar um controle automático, que, utilizando-se a equação do consumo de calor, pode-se fazer o controle da temperatura da parede de aquecimento. E com a equação do tempo líquido de coqueificação (Δt) é possível obter o valor objetivado dessa temperatura para um determinado tempo de coqueificação.

Figura 69 - Temperatura do gás x Tempo de Coqueificação

Alem dos desafios já relatados acima, a própria obtenção de uma equação representativa que venha a compor o controle do processo de aquecimento, existem os desafios de influências não abordadas neste trabalho, como a falta de ritmo operacional de desenformamento, as variações comportamentais dos carvões utilizados, os erros de medição e até as interferências humanas no processo. Assim, a obtenção dos parâmetros do processo percorre um grande caminho no domínio da automação do processo, mas não deixa de ser o início da caminhada, que ainda terá muitas pedras para serem removidas.

Com resultado econômico, baseado na memorial de cálculo – “consumo x economia” (vide tabela 9) podemos relacionar “custo x retorno” (vide tabela 10):

Tabela 9 – Memorial de cálculo – Consumo x Economia (Fonte: Usiminas)

Consumo	Unidade
Carvão (Dezembro 2009)	98.945 ton
Carvão (Janeiro a Dezembro 2010)	1.165.000 ton
Gás PVP (2009)	770 Mcal / t
Economia	Unidade
Gás de aquecimento	15 Mcal / tcse
GCO 5 Mcal / tcse (preço GCO = R\$ 109,46/Gcal)	R\$ 0,5473 / tcse
GAF 10 Mcal / tcse (preço GAF = R\$ 95,03/Gcal)	R\$ 0,9503 / tcse
Total em gás de aquecimento	R\$ 1,4976 / tcse

Tabela 10 – Custo da implantação x retorno econômico (Fonte: Usiminas)

Custo da implantação	Reais (R\$)
Projeto – julho a outubro 2009	800.000,00
Retorno econômico	Reais (R\$)
Dezembro - 2009	148.180,00
Janeiro a Dezembro - 2010	1.774.704,00

Portanto, temos como retorno do investimento, aproximadamente 11 meses, após início da implantação do projeto.

7 CONCLUSÕES

O sistema utilizado na determinação do tempo líquido de coqueificação atendeu aos objetivos do projeto em estabelecer o momento da temperatura máxima do gás bruto (T_{max}) do tempo de coqueificação. O valor do tempo líquido será determinado pela comparação inicial dos tempos observados visualmente e o de T_{max} , obtendo-se uma constante. Com essa constante os novos valores de tempo líquido serão função de T_{max} .

As variações do processo numa planta industrial será o grande desafio para a implantação do sistema automático de controle de aquecimento. Os experimentos em forno piloto têm as facilidades do controle dos parâmetros. Na planta industrial, a variabilidade dos fatores e até a dificuldade dos pontos de medição representar adequadamente os parâmetros que se quer monitorar, serão obstáculos que exigirão cuidados especiais para o resgate de equações que reflitam, com boa fidelidade, o processo de coqueificação de uma bateria de fornos de coque.

Resultados obtidos através do sensoriamento de campo, processamento lógico, armazenamento de dados e a visualização e relatórios obtidos através de interfaces gráficas, somente é possível através da combinação das Tecnologias de Automação (TA) versus as Tecnologias de Informação (TI). A tecnologia da automação que abrange desde a concepção do projeto de instrumentação, passa pelo controle lógico de um CLP que se relaciona em tempo real com software SCADA já satisfaz as condições do domínio do processo operacional da planta. A tecnologia da informação se faz presente quando os dados do processo tornam informações relevantes aos operadores como ferramenta de apoio ao processo de decisão.

Na competitividade no mundo da tecnologia, presente nas grandes corporações industriais, eficaz é aquele que toma a decisão correta, no menor tempo e com maior precisão em seus respectivos processos industriais.

8 REFERÊNCIAS

ALTUS - Sistemas de Informática S.A. Evolução da Automação. Documentação Técnica em <http://www.altus.com.br>.

ALVAREZ, R.; BARRIOCANAL, C.; DIEZ, A. G.; PIS, J.J. Automatic Control of Heating at ENSIDESA. Technical Article, p. 22-26, 1900.

ANTONELLI, P. L. Introdução aos Controladores Lógicos Programáveis – CLPs em: http://ourique.files.wordpress.com/2009/08/introducao_ao_clp.pdf em: 18 de junho de 2010.

BURIAN, R.; YAMAGUCHI, M.Y. Redes de Automação Industrial. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia – Módulo V. São Paulo / SP, 2005.

CHISTYAKOV, A.N.; CHISTYAKOVA, T.B.; BOIKOVA, O.G. An integrated intellectual sytem for control of coking processes. **Coke and Chemistry**, v.8, p.30-37, 1998.

COSTA, L.C.; RAMIREZ-FERNADEZ, F. J. Parameters for the cokemaking process control. In: III International Meeting on Ironmaking, 2008, São Luiz – MA. Annals 3rd International Meeting on Iromaking. São Paulo: ABM.

COSTA, L. C. Parâmetros do Controle de Processo de Coqueificação das Baterias de Fornos da Cosipa. 2008. 89p. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos.

FONSECA, M. O. Comunicação OPC – Uma abordagem Técnica em <http://www.cpdee.ufmg.br/~seixas/paginasda/downloadfiles/opcmarcosfonseca.pdf> em setembro de 2010.

YAMANO, S.; UCHIAMA, A.; MONTEIRO, M. R. F. Treinamento sobre a definição do final da coqueificação. Recomendação XII, p. 541-543, Ipatinga / MG, 1972.

JUNTGEN, H. Review of the kinetics of pyrolysis and hydrolysis in relation to the chemical constitution of coal. **Fuel**, v.63, n.6, p.731-737, 1984.

KIDENA, K.; MURATA, S.; NOMURA, M. Studies on the chemical structural change during carbonization process. **Energy & Fuels**, n.10p. 672-678, 1996.

LARSON, M.; WANG, C.; DAHL, J. Development of a method for analyzing energy, environmental and economic efficiency for an integrated steel plant. **Applied Thermal Engineering**, n.26, p. 1353-1361, 2006.

LIA, L. R. B. Modelo matemático unidimensional do processo de coqueificação. 1987. 173p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Ciências dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 1987.

LOISON, R.; FOCH, G.; BOYER, A. Coke: quality and production. 2. Ed. London: Butterworths, 1989.

LOHMANN, T.; BOCK, G.; SHLODER, J. P. Numerical methods for parameter estimation and optimal experiment design in chemical reaction systems. **Ind. Eng. Chem. Res**, v.31 p. 54-57, 1992.

LUGLI, A. B.; SANTOS, M. M. D. Sistemas Fieldbus para Automação Industrial: DeviceNet, CANopen, SDS e Ethernet. 1 ed. São Paulo / SP: Érica, p.156, 2009.

MERRICK, D. Mathematical models of thermal decomposition of coal. **Fuel**, v. 62, p. 534-561, 1983.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Balanço energético nacional: BEN 2005. Brasília, 2005.

MONTGOMERY, D.C. Design and analysis of experiments. 6.ed. Hoboken, NJ., John Wiley & Sons, 2005.

ROCIO, H.; RAMOS, I.C.; ASSENIR, J. B.; KOBAYASHI, M.; MELO, M.A. Determinação da Coqueificação do Carvão Enfornado através da Temperatura do Gás Produzido. Seminário de Matérias Primas Metalúrgicas e Operação de A.F. ABM - Vitória/ES, p. 87-98, 1980.

SADAKI, J.; TANKA, K.; NAGANUMA, Y. Automatic coking control system. In: IEEE CONFERENCE ON CONTROL APPLICATIONS, 2., Vancouver, 1993. **Proceedings**. Vancouver: IEEE, 1993. V2, p. 531-538.

SATOMI, K; OKADA, Y.; FUJIMURA, T.; OSHIMA, Y.; SHIBATA, Y.; SATO, Y. Computer Control of Ohgishima's Coke Oven Operation, **NIIPPON KOKAN TECHNICAL REPORT**, overseas nº28, p. 4-10, 1980.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações. 6. Ed. São Paulo: Érica, 2009.