

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE PARA UM PROCESSO PRODUTIVO UTILIZANDO LINGUAGENS DE TERCEIRA E QUARTA GERAÇÕES¹

*Alexandre de Souza Teixeira²
Francisco Javier Ramirez Fernandez³*

Resumo

Este trabalho descreve o desenvolvimento e implementação de um sistema de comando e supervisão para o Recozimento 2 da COSIPA. O sistema inclui o comando centralizado dos dispositivos de controle dos fornos, a visualização de todas as bases, o registro das temperaturas durante as fases de aquecimento e resfriamento do material, bem como o registro dos eventos e alarmes por meio de um protocolo dedicado de comunicação entre a máquina hospedeira e os dispositivos de controle e indicação da planta. O sistema contempla uma base de dados relacional para otimizar o gerenciamento das informações e uma interface homem-máquina que habilita o ajuste dos parâmetros dos controladores com maior flexibilidade. O sistema foi desenvolvido internamente com o uso de linguagens convencionais de terceira e quarta gerações, ao invés de supervisórios dedicados. O texto justifica essa opção com base no pleno domínio da aplicação e na economia de despesas com licenciamento, uma vez que o sistema deverá ser estendido a plantas similares. Por fim, os resultados obtidos são relatados e são apresentadas propostas para trabalhos futuros.

Palavras-chave: Recozimento em caixa; Sistemas supervisórios; Linguagens de programação.

DEVELOPMENT OF A CONTROL AND SUPERVISION SYSTEM FOR A PRODUCTIVE PROCESS USING THIRD AND FOURTH GENERATION LANGUAGES

Abstract

This work describes the development and implementation of a command and supervision system for a box-type annealing line in a steel plant. The system includes the centralized command for the controlling devices of the furnaces, the visualization of all work bases, the recording of the temperatures during the heating and the cooling phases of the process, as well as the recording of the warning and alarm events, by means of a tailored communication protocol between the host computer and the plant control and indicating devices. The system comprises a relational database in order to optimize information management (statistics, reports, and so on), and a man-machine interface that allows for faster and more efficient operator intervention in parameter adjusting. The system was internally developed using conventional third and fourth-generation programming languages, instead of dedicated supervisory packages. The text justifies this choice on the basis of a full application domain and of savings on licensing costs, as the system is to be extended to similar plants. Finally, the text relates the results obtained from the application of the system and gives directions for further work.

Keywords: Box-type Annealing; Supervisory Systems; Programming Languages

¹ *Contribuição técnica ao XI Seminário de Automação de Processos, 3 a 5 de outubro, Porto Alegre-RS*

² *Assistente Industrial de Automação da Companhia Siderúrgica Paulista (COSIPA) – Engenheiro Eletrônico pela Universidade Santa Cecília (2003) – asouza_teixeira@yahoo.com.br.*

³ *Professor Titular da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos – Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo.*

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Boaretto, Kivaleski e Scandelari,⁽¹⁾ a automação industrial busca, essencialmente, a eliminação ou minimização da intervenção humana em um processo produtivo, quer seja na operação de máquinas como no controle de processos que envolvam variáveis mensuráveis, a partir das quais uma eventual atuação seja necessária para obtenção do produto ou resultado final. Para um melhor entendimento da automação nos processos produtivos foram desenvolvidos alguns modelos representativos, tais como, a pirâmide de automação com os níveis hierárquicos. A Figura 1 ilustra essa pirâmide.



Fonte: Adaptado de Moraes e Castrucci⁽²⁾

Figura 1 – Pirâmide da Automação e Seus Diversos Níveis

Os níveis de automação e seus respectivos componentes são:

- Nível 1: Sensores, atuadores, Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD). Interagem diretamente no processo controlado;
- Nível 2: Sistemas de supervisão e controle (SCADA) e modelos matemáticos de otimização de processo;
- Nível 3: Sistemas de controle da produção responsáveis por fornecerem informações dos produtos a serem produzidos e recebimento das informações produzidas;
- Nível 4: Sistemas de otimização do processo em um nível mais elevado, como MRP (Material Requirement Planning), PIMS (Process Information Management Systems) e MES (Manufacturing Execution System). Requisitos como histórico de produção, programação de paradas e prazos de entrega são levados em conta para cálculo da viabilidade de produção do material pedido;
- Nível 5: Este nível representa o topo da hierarquia, ou seja, é o nível de gerenciamento, responsável pela determinação da estratégia e política global da operação produtiva. Engloba todos os setores da empresa (logística, matérias-primas, energia, recursos humanos etc.).

O contexto do trabalho refere-se ao Nível 2 da pirâmide da Figura 1. Neste nível são encontrados sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition* – Sistema de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados), que permitem a monitoração e o rastreamento de informações do processo produtivo. Esses sistemas são pacotes pré-programados de fábrica para atender a maioria das aplicações industriais. Segundo autores como Kjaer⁽³⁾ e Werner e Vetter,⁽⁴⁾ a integração do chão de fábrica com níveis corporativos é uma necessidade. Contudo, devido à existência de sistemas legados no ambiente produtivo, nem sempre é possível a integração direta entre tais sistemas e os pacotes SCADA, gerando-se dessa forma custos adicionais com aplicativos ‘intermediários’ para integração. Boyle⁽⁵⁾ descreve que um sistema SCADA aberto, ao contrário de um pacote de software, pode ser moldado para atender requisitos específicos e pode ser desenvolvido para integrar-se aos sistemas pré-existentes nas empresas.

2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

De acordo com Wang e Liao,⁽⁶⁾ há muito tempo os aplicativos de supervisão vêm sendo utilizados como suporte à operação de processos industriais. No início, os aplicativos de produção operavam de forma isolada, sem integração com os níveis superiores. Segundo Benaissa, Benabdelhafid e Baccouche⁽⁷⁾ e Werner e Vetter,⁽⁴⁾ devido aos requisitos de qualidade cada vez mais estritos, tal integração tornou-se uma necessidade, de forma a permitir que informações provenientes do chão de fábrica fluam até os níveis de tomada das decisões corporativas. A contínua evolução da tecnologia da informação tem possibilitado atender a essa exigência.

Dentro de uma hierarquia de níveis de sistemas podemos encontrar uma grande variedade de softwares, com diferentes características. De acordo com Blanco, Poli e Barreto,⁽⁸⁾ no nível de chão de fábrica (Nível 1), o aplicativo SCADA deve possuir um driver de comunicação fornecido pelo fabricante do dispositivo de controle (CLP, DCS etc.) ou driver OPC (*OLE for Process Control*), que permita a troca de informações com o nível corporativo.

Devido à multiplicidade de aplicativos e tecnologias, existe uma dificuldade de integrar os sistemas SCADA convencionais aos sistemas legados das empresas. Isso cria, por vezes, a necessidade de se desenvolverem soluções particularizadas, e é nesse ponto que a utilização de linguagens de terceira e quarta geração encontra o seu nicho segundo Misra e Jalics,⁽⁹⁾ Berman,⁽¹⁰⁾ Harkness, Crook e Povey.⁽¹¹⁾

As gerações de linguagens de programação acompanham o desenvolvimento da Tecnologia da Informação. A primeira geração compreende as chamadas linguagens de máquina, que não possuem qualquer relação com o estilo da comunicação humana. A segunda geração é caracterizada pelo uso de mnemônicos (linguagem *assembly*), que são abreviaturas de verbos que descrevem os comandos que se deseja que a máquina execute. A terceira geração inclui as linguagens consideradas de “alto nível”, que possuem comandos expressos em vocabulário humano corrente; por fim, as linguagens de quarta geração são aquelas voltadas à solução de problemas específicos (*problem-oriented*). Nesse trabalho utiliza-se a linguagem C++ (terceira geração) e banco de dados (quarta geração) SQL-based (*Structured Query Language*).

A necessidade de atualização da planta estudada, cuja instalação data da década de 1970, decorre da inexistência de dispositivos de controle automático do processo, provocando:

- Atrasos operacionais: perda de produtividade da instalação e aumento do consumo das utilidades (gás natural, nitrogênio, energia elétrica, NH₃, água);
- Descontrole do ciclo de recozimento: temperatura ou tempo de processo fora da faixa especificada na norma interna de fabricação do produto;
- Demora em tomada de ação, em casos de anormalidade no processo (desarme, temperatura anormal, etc).

A problemática de operação é acentuada pelo grande número de equipamentos a serem controlados por um único operador. Todas essas particularidades apontavam claramente para a necessidade de dotar a planta de um sistema de supervisão centralizado e automatizado, dotado de funcionalidades para o registro histórico dos dados da planta.

As opções naturais para a solução do problema eram a utilização de um pacote SCADA de mercado e o desenvolvimento de uma solução proprietária. Os sistemas SCADA comerciais normalmente utilizam chaves de software ou de hardware (*soft/hard keys*), que são licenças de utilização para o desenvolvimento do aplicativo e sua posterior execução. Os custos dessas chaves são de elevada ordem e permitem somente um aplicativo para cada chave de execução. O desenvolvimento de um sistema próprio de supervisão usando linguagens de terceira e quarta geração propicia menor custo, pois somente a licença do software de desenvolvimento é necessária (salvo se houver utilização de drivers OPC, que também exigem licenciamento). Uma vantagem adicional do desenvolvimento interno é a propriedade sobre o código-fonte da aplicação e, o que é mais importante, o pleno conhecimento sobre ele.

Nota-se inclusive uma tendência de utilização, por parte das próprias empresas integradoras, de linguagens convencionais ao invés de supervisórios de mercado. Tal tendência é confirmada segundo Barros e Silva,⁽¹²⁾ Boff et al.,⁽¹³⁾ Bueno Filho et al.⁽¹⁴⁾ e Fan, Cheded e Toker⁽¹⁵⁾ e pode ser vista em alguns sistemas instalados na Cosipa (Laminação a Frio e Aciaria 2).

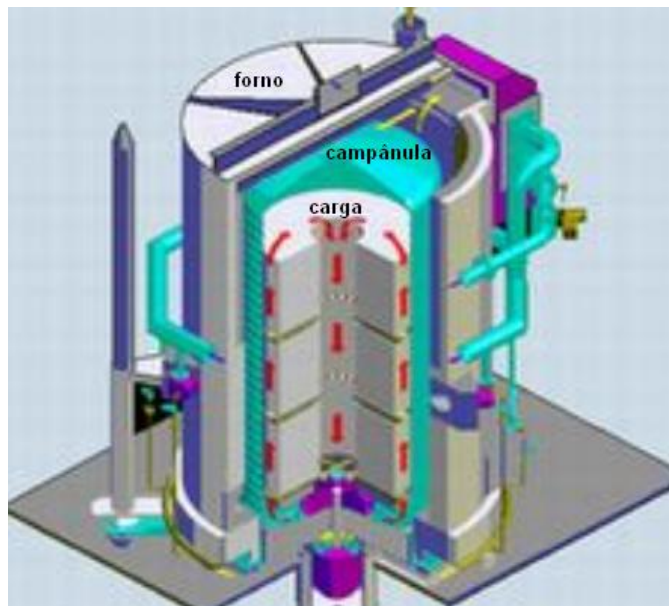
3 METODOLOGIA

O desenvolvimento do sistema foi dividido nas seguintes etapas:

- Estudo do processo;
- Estudo e desenvolvimento do protocolo de comunicação com os dispositivos existentes (protocolo proprietário CENCAL);
- Criação das tabelas de dados para dar suporte ao sistema;
- Desenvolvimento da arquitetura do sistema.

3.1 Processo de Recozimento em Caixa de Bobinas a Frio

O processo de recozimento, segundo Gorni et al.,⁽¹⁶⁾ inicia-se com o empilhamento das bobinas sobre uma base fixa, dotada de uma ventoinha central responsável por recircular a atmosfera protetora que previne a oxidação promovida pelas altas temperaturas que caracterizam o tratamento térmico de recozimento. Um abafador (campânula de proteção) é colocado sobre as bobinas para evitar o contato com os gases gerados pela combustão. A seguir um fluxo gasoso é injetado para promover a transferência de calor por convecção entre o abafador e as bobinas. A seguir um forno é posicionado sobre o abafador. A composição final da estrutura fica de acordo com a Figura 2.

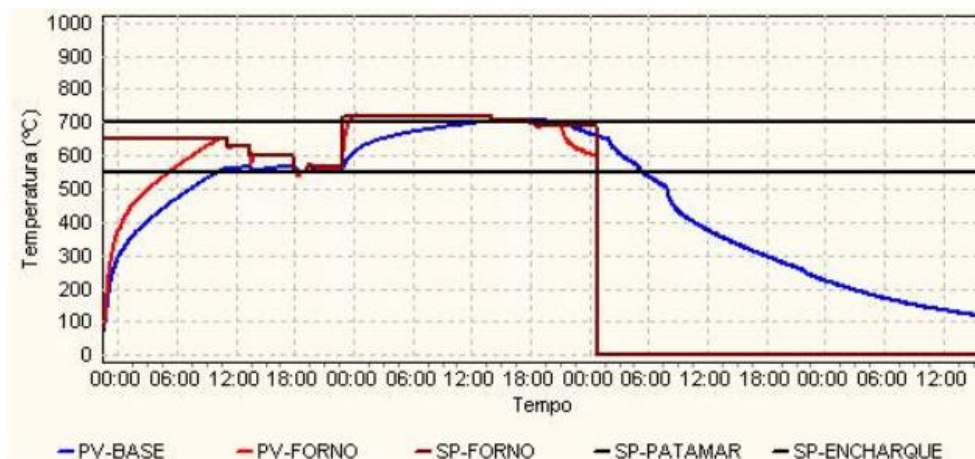


Fonte: Adaptada de Gorni et al⁽¹⁶⁾

Figura 2 - Diagrama Esquemático de um Forno de Aquecimento

O aquecimento da carga se dá até uma temperatura mínima de 550 °C e uma temperatura máxima de 700 °C, e, dependendo do tipo de produto, o aquecimento pode ser dividido em duas etapas. A temperatura é monitorada através de termopares localizados no forno e na base. Atingida a temperatura objetivada de recozimento, a carga é mantida nessa condição pelo período programado.

Após a fase de encharque, os queimadores são desligados e o forno retirado da base, iniciando-se o resfriamento da carga dividido em por etapas (ventilação forçada, utilização de água e resfriamento natural). Um resfriador dotado de ventiladores tangenciais é colocado sobre a base para aceleração do resfriamento da carga. Um gráfico típico de temperatura de uma determinada carga é mostrado na Figura 3.



Fonte: Relatório do sistema desenvolvido

Figura 3 - Gráfico da temperatura do processo de uma carga

Para a carga específica representada no gráfico, nota-se a presença de dois patamares para a temperatura de aquecimento, o primeiro de 550 °C e o segundo de 700 °C. No caso ilustrado na figura, o tempo total de processo foi de 84 horas, sendo 25 horas de aquecimento e 59 horas de resfriamento.

A linha de produção do Recozimento 2 da Cosipa é formada por 88 bases e 39 fornos, os quais dispõem de 39 controladores GEFRAN 3400 e 11 indicadores GEFRAN 2308 com 8 canais de entrada analógica termopar (temperatura). Podem estar em operação simultânea 37 bases em processo de aquecimento e 51 bases em processo de resfriamento. Os controladores possuem controle local e remoto, sendo que somente o comando local (frontal do painel) era utilizado para modificar os parâmetros de processo, ativação do início de aquecimento e mudança de controle entre manual ou automático.

3.2 Protocolo de Comunicação com os Dispositivos

Os dispositivos de controle e indicação possuem um canal de comunicação RS-485 que permite a conexão de até 31 dispositivos em uma rede do tipo barramento. O protocolo de comunicação é proprietário (CENCAL). Como o número de dispositivos era elevado (50 controladores e indicadores) e o padrão RS-485 é limitado a 32 pontos, foi necessário dividir a rede de comunicação em segmentos. Com o objetivo de separar controladores e indicadores em redes distintas, foram definidos quatro segmentos, implementados por meio de uma placa multi-serial com 4 portas.

Para comunicação com o controlador GEFRAN 3400 é necessária a contínua leitura dos canais de SP (setpoint) e PV (process value) e, eventualmente, do canal de saída analógica (0 a 100%). A mudança do setpoint do controlador é feita mediante a requisição do operador através da IHM, de acordo com a etapa corrente do processo. A comunicação com o indicador GEFRAN 2308 é feita pela leitura dos 8 canais disponíveis de entrada termopar (limites de temperatura de 0 a 800°C). A Figura 4 representa a interligação dos computadores utilizados e as respectivas funções.



Fonte: Manual do sistema desenvolvido

Figura 4 - Diagrama esquemático da arquitetura do sistema

3.3 Criação das Tabelas de Dados

O sistema foi complementado com tabelas de dados para suporte à operação contínua do processo. As tabelas e seus respectivos conteúdos são:

- Histórico de produção das cargas: Informações sobre as cargas produzidas, os alarmes e os eventos de processo;
- Configuração do sistema: Informações sobre a configuração dos indicadores e controladores;
- Parâmetros operacionais: Informações sobre as características dos fornos de aquecimento, valores limite de operação, etc.;

- Situação das bases: Informações sobre as bases em produção e tempos de processo;
- Cargas programadas: Informações sobre programas e receitas de produção.

3.4 Desenvolvimento da Arquitetura do Sistema

O primeiro ponto a ser observado para o desenvolvimento foi o conhecimento dos processos envolvidos na produção e o que poderia ser feito para melhorar o controle. A primeira grande necessidade era a centralização remota dos comandos dos controladores, ou seja, possibilitar que de um único lugar o operador modifique os parâmetros de qualquer controlador, a qualquer momento. O segundo ponto é a necessidade de intercâmbio de dados com o sistema corporativo (Nível 3) que permite a visualização e programação das cargas e consultas gerenciais. Desse modo, a integração entre tal sistema e o supervisor aqui descrito era indispensável.

Tendo como premissa básica a situação da linha de produção, foi idealizada uma arquitetura envolvendo três programas, desenvolvidos com o uso da ferramenta C++ Builder (versão 5), da Borland. Os três programas são:

- Driver de comunicação: realiza a comunicação com os dispositivos e controla as etapas de processo das cargas. Conforme mostrado na Figura 3, o sistema acompanha as temperaturas pré-programadas e de acordo com a etapa de aquecimento e resfriamento, os alarmes/eventos são registrados e mostrados ao operador;
- Comunicação com sistema corporativo: realiza a troca de informações com o sistema corporativo através de tabelas de dados. Recebe a o programa de produção informa o que efetivamente foi produzido e em qual momento;
- Interface homem-máquina: habilita o operador a realizar os processos de requisição de carga para o sistema corporativo, o início de processo de aquecimento, a finalização forçada de processo, a visualização dos alarmes e eventos, a visualização de todas as bases e seus respectivos estados das bases de produção (aquecimento, resfriamento, liberado).

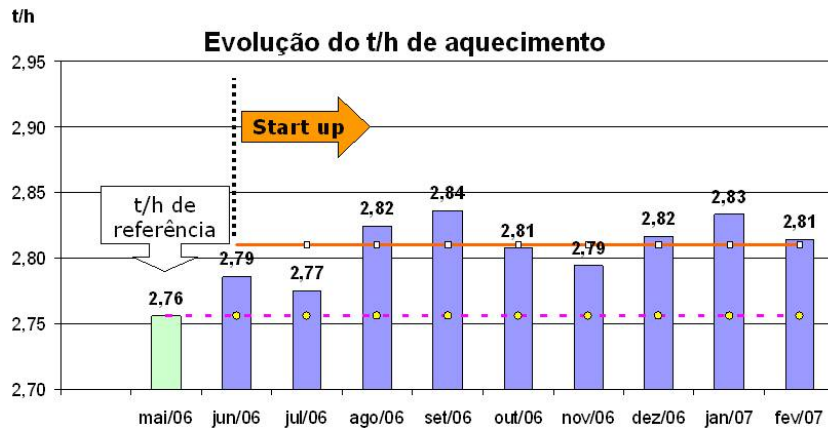
Os três programas interagem através da troca de mensagens via tecnologia Socket TCP/IP (Transfer Control Protocol / Internet Protocol), que permite o envio de pacotes customizados de dados. Conforme mencionado anteriormente, para que o sistema funcionasse plenamente, deveria interagir com o sistema corporativo existente. Foi definido que a interação fosse realizada através de tabela de dados que realizam a interface de comunicação e por meio dessas tabelas, as informações de PDI (primary data input) e PDO (primary data output) são gravadas. A ferramenta C++ Builder possui conectividade com diferentes bancos de dados.

4 RESULTADOS

Os resultados obtidos com a implantação do sistema foram:

- Redução dos atrasos operacionais em 353 horas/mês (aproximadamente 25 minutos por carga), com aumento de tonelagem horária da ordem de 2%;
- Redução do consumo de utilidades, com geração de valor da ordem de R\$ 160 mil/ano;
- Facilidade de consulta e armazenamento da carta de temperatura do ciclo de recozimento, definida em norma de qualidade interna da empresa;

- Melhoria das condições de trabalho dos operadores: redução à exposição ao ruído, calor, componentes elétricos e melhor ergonomia. Conforme visto anteriormente, os ganhos são quantitativos e qualitativos. A Figura 5 mostra a significativa evolução do índice t/h (tonelagem horária) nos meses seguintes à implantação.



Fonte: Relatório mensal de produtividade do equipamento

Figura 5 - Evolução na tonelagem horária após a implantação do sistema

5 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

No decorrer do desenvolvimento da solução, as seguintes questões foram levantadas:

- A viabilidade técnico-econômica da utilização de linguagens convencionais no desenvolvimento de pacotes SCADA foi comprovada.
- O desenvolvimento interno permite pleno domínio da aplicação e permite implantá-la em outras linhas de produção, sem a necessidade de despesas com licenciamento.

É importante ressaltar a necessidade de um estudo de viabilidade técnico-econômica para embasar a decisão entre o desenvolvimento interno e a aquisição de uma solução de mercado. Embora se tenha mostrado a solução mais adequada para o problema aqui abordado, nem sempre o desenvolvimento interno é o ideal, dependendo de fatores como o tempo disponível e a capacitação da equipe para o desenvolvimento do projeto. Por outro lado, a aquisição de software externo proporciona vantagens, entre as quais a atualização tecnológica dos profissionais da empresa adquirente, através da participação no treinamento em novas tecnologias e pelo próprio contato com profissionais das empresas fornecedoras e/ou integradoras.

Já existe a solicitação para o desenvolvimento de um sistema análogo para a Linha de Recozimento N° 1, projeto atualmente em fase de análise. Outra sugestão de trabalho futuro é a adaptação do sistema desenvolvido com a tecnologia OPC, de modo a obter independência em relação aos protocolos de comunicação dos dispositivos de controle.

REFERÊNCIAS

- 1 BOARETTO, N.; KIVALESKI, J.L.; SCANDELARI, L. Coleta de dados e monitoramento de chão de fábrica na manufatura discreta – integração com as ferramentas de gestão. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 11, 2004, Bauru, Brasil. Anais...

- 2 MORAES, C.C.; CASTRUCCI, P. L. Engenharia de Automação Industrial. São Paulo: Ed. LTC, 2001. 295 p.
- 3 KJAER, A. P. The Integration Of Business And Production Processes: How Control Systems Thinking Affects All Aspects Of An Organization. IEEE Control Systems Magazine, v.23, n.6, dez. 2003, p. 50-58.
- 4 WERNER, T.; VETTER, C. From Order To Production: A Distinct View On Integration Of Plant Floor And Business Systems. In: IEEE CONFERENCE ON EMERGING TECHNOLOGIES AND FACTORY AUTOMATION, 2003, Lisboa, Portugal. Proceedings... v.1, p.276-281.
- 5 BOYLE, D. Open SCADA Using Standard Software Components. In: IEE SEMINAR ON DEVELOPMENTS IN CONTROL IN THE WATER INDUSTRY, 2004, Warwick, United Kingdom. Proceedings...
- 6 WANG, L; LIAO, S.; Distributed Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) Software: Issues And State Of The Art. In: IEEE SYSTEMS READINESS TECHNOLOGY CONFERENCE, 2004, San Antonio, USA. Proceedings...p. 332-337.
- 7 BENAÏSSA, M.; BENABDELHAFID, A.; BACCOUCHE, M. Integration Of Manufacturing Production And Planning Based In SOAP System. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL TECHNOLOGY, 2004, Hammameth, Tunisia, Proceedings...
- 8 BLANCO, P.M.P.A.; POLI, M.A.; BARRETO, M.R.P. OPC And CORBA In Manufacturing Execution Systems: A Review. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON EMERGING TECHNOLOGIES AND FACTORY AUTOMATION, 9, 2003, Lisboa, Portugal, Proceedings...p. 50-57.
- 9 MISRA, S.; JALICS, P. Third-Generation Versus Fourth-Generation Software Development. IEEE Software, July 1988, p. 8-14.
- 10 BERMAN, R.T. Using C++ to Write Automation Controller Software. Journal of the Association for Laboratory Automation, v. 12, n. 1, feb. 2007, p. 12-16.
- 11 HARKNESS, R.; CROOK, M.; POVEY, D. Programming Review Of Visual Basic.NET For The Laboratory Automation Industry. Journal of the Association for Laboratory Automation, v. 12, n. 1, fev. 2007, p. 25-32.
- 12 BARROS, R.V.S.; SILVA, M.J.A. Reforma do Sistema de Automação da Planta de Desgaseificação a Vácuo da Usiminas. In: SEMINÁRIO DE AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS, 9, 2005, Curitiba, Brasil, Anais... ABM, 5 a 7 de outubro de 2005.
- 13 BOFF, S.G. ET AL. Aplicação de um SCADA a Uma Unidade Experimental de Coluna de Destilação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS, 3, 2005, Salvador, Brasil, Anais... Instituto Brasileiro de Petróleo.
- 14 BUENO Fº ET AL. SSDA - Sistema Supervisório Para Linhas de Decapagem Ácida. In: SEMINÁRIO DE AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS, 9, 2005, Curitiba, Brasil, Anais... ABM, 5 a 7 de outubro de 2005.
- 15 FAN, R.; CHEDED L.; TOKER, O. Designing A SCADA System Powered By JAVA And XML. IEEE Computing & Control Engineering, v. 16, n. 5, nov. 2005, p. 31-39.
- 16 GORNI, A.A ET AL. Balanço Térmico de Fornos para Recozimento em Caixa de Bobinas Laminadas a Frio. In: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS, 58, 2003, Rio de Janeiro, Brasil, Anais... ABM 21 a 24 de julho de 2003.