

SAGE- Um Sistema Aberto para a Evolução

Luiz A.C.Pereira, Luiz C.Lima, Antônio J.R.S.Silva, Paulo A.Machado, Maria F.P.Amorim, Ayru L.O.Filho, Gilberto P.Azevedo, Nivaldo Lambert, Pedro D.Zarur, Vladimir V.Tavares, Juli L.C.Huang, Marcelo R. Costa, Carla G.Vidal, Carlos E.Iencarelli

RESUMO

O Sistema Aberto para Gerenciamento de Energia - SAGE - contempla uma integração de pesquisa e desenvolvimento, que agrupa um leque de tecnologias computacionais avançadas, constituindo-se em um salto significativo na concepção de sistemas para centros de controle de energia elétrica.

Este produto, desenvolvido pelo Centro Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL, resolve os problemas comuns aos sistemas atuais, implantados em várias empresas brasileiras, que sofrem pela dificuldade de incorporação de avanços tecnológicos e pelos custos de manutenção e expansão, principalmente devido à sua grande dependência em relação aos fornecedores originais dos sistemas.

1 - INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o cenário do desenvolvimento de sistemas para centros de controle se alterou radicalmente a partir da consolidação do uso de microcomputadores pessoais (PC's) em rede, o advento de microprocessadores de maior capacidade de processamento e o surgimento de novas plataformas de hardware (*workstations*), adicionado do esforço mundial de clientes e fornecedores na definição de padrões.

Os centros de controle existentes nas empresas do setor elétrico brasileiro empregam tecnologia datada de duas décadas, com soluções centralizadas e proprietárias. A funcionalidade típica de um centro de controle tende a uma evolução constante, tendo passado de simples sistemas de aquisição de dados (SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition) para sistemas com grande número de aplicações computacionais avançadas (EMS- Energy Management System). As novas funcionalidades respondem às necessidades de melhoria da qualidade da informação, de interligação com outros centros de controle e ainda para atender à demanda de outras áreas da empresa. Para muitos sistemas atuais, esta expansão exige a troca completa do software e hardware do sistema. Por outro lado, a simples manutenção do sistema tende a se tornar proibitiva em termos de custo, principalmente devido à rápida obsolescência do hardware.

A solução do problema aponta para o uso de sistemas distribuídos com arquitetura aberta. Idealmente, esta arquitetura deve suportar plataformas heterogêneas de hardware que variam desde PC's até grandes computadores, passando por estações de trabalho e máquinas de aplicação específica (e.g. processador paralelo).

Os programas computacionais que compõem um EMS podem ser relacionados em dois grupos principais:

Software de suporte - o qual compõe o ambiente onde são processadas as funções presentes no EMS. Engloba as funções de Gerência de Banco de Dados (GBD), Interface Homem-máquina (IHM) e Funções de Suporte Computacional (e.g. comunicação entre processos);

Software aplicativo - o qual implementa as funções de gerenciamento de energia. As funções de Análise de Redes são um exemplo de software aplicativo.

O software de suporte caracteriza-se por uma forte interação com o sistema operacional, o que torna a portabilidade uma questão de mais difícil solução. Por outro lado, as interfaces do software aplicativo com os sistemas GBD e IHM são realizadas em um nível mais abstrato, facilitando a integração deste tipo de software em diferentes sistemas de supervisão. Para, tanto basta que se conheçam as interfaces com os sistemas GBD e IHM e que os programas aplicativos sejam desenvolvidos com uso de linguagens padronizadas de alto nível.

Outro aspecto de interesse na evolução dos centros de controle é a possibilidade de melhoramento da qualidade da informação a ser colocada à disposição do operador. Os programas usuais de Análise de Redes (Estimador de Estado, Fluxo de Potência, Análise de Contingências), presentes na geração dos anos 70, tem por objetivo monitorar o estado corrente e a segurança estática do sistema elétrico. Este tipo de aplicativo possibilita a obtenção de um diagnóstico do estado do sistema, mas não permite a obtenção de aconselhamento.

A nova geração destes aplicativos supre esta deficiência. Além disto, o processamento simbólico pode ser usado como uma valiosa ferramenta de auxílio na análise e depuração de informações em diversas situações presentes em um centro de controle (eg.: no pré-processamento da grande quantidade de indicações apresentadas em situações de emergência, produzindo somente as informações relevantes).

A disponibilização da informação presente no centro para outros órgãos da empresa tem-se tornado um requisito cada vez mais frequente na especificação dos novos sistemas de supervisão. Esta integração tende a crescer em importância tendo em vista a mudança no papel das empresas de energia elétrica no contexto atual. Esta integração, no entanto, tem que ser feita criteriosamente para não comprometer os níveis de desempenho e segurança do ambiente do centro de controle.

Este artigo descreve as características do sistema SAGE, um EMS desenvolvido pelo CEPEL [1,2], que atende integralmente os requisitos de sistemas abertos e distribuídos.

2 - O SISTEMA SAGE

Com a experiência obtida no desenvolvimento, implantação e operação de sistemas proprietários e de suas limitações, e com a evolução das tecnologias computacionais e tendência para a padronização, observou-se a possibilidade e a necessidade de se estabelecerem novas diretrizes para o desenvolvimento de sistemas para centros de controle, empregando-se o conceito de Sistemas Abertos [3,4].

Na realidade o termo “sistema aberto”, como aplicado em EMS’s, não tem somente o significado de uma especificação pública, mas, acima de tudo, define uma arquitetura que contempla as seguintes características:

Portabilidade: habilidade de implementar a mesma funcionalidade em diferentes plataformas de hardware;

Expansibilidade: capacidade de expansão tanto em hardware (e.g. aumento de capacidade computacional ou de armazenamento) como em software (e.g. melhoramentos e implantação de novas funções de gerenciamento de energia). Também considera a habilidade de processamento em arquiteturas de diferentes capacidades.

Modularidade: diferentes funções são implementadas por módulos de software com interfaces bem definidas, permitindo adição e remoção sem interferir em outros módulos.

Interconectividade: habilidade de conectar diferentes plataformas de hardware através de uma rede padrão.

O sistema SAGE implementa as funções de gerenciamento de energia em centros de controle, suportado por uma arquitetura que contempla em toda a sua plenitude as características de sistemas abertos. Sua funcionalidade pode ser configurada para diversas aplicações no processo de automação das empresas, desde aplicações locais em usinas e subestações, com arquiteturas de baixo custo (Pcs), até aplicações em centros de operação de grande porte suportadas por redes locais heterogêneas e hardware (*workstations*) de diferentes fabricantes. O software de aplicação pode diferir de acordo com o ambiente de aplicação, porém o suporte computacional permanece o mesmo.

A escalabilidade do SAGE fica bem demonstrada por estar sendo instalado como sistema de supervisão local na ESCELSA e na CHESF, e com instalação prevista, como EMS, no Centro Nacional de Supervisão dos Sistemas, da Eletrobrás.

Assim, o sistema SAGE se configura como uma solução unificada para todos os níveis de supervisão, com conseqüente redução dos custos de implantação e manutenção. Isto se torna de grande relevância devido ao fato que o custo total de um sistema de supervisão e controle não depende somente do investimento inicial de aquisição. Tipicamente, 70% do custo total deste tipo de sistema advém do processo evolutivo ao longo da vida útil do mesmo.

Sob o aspecto da facilidade de integração do sistema de supervisão com a rede de informação da empresa, o sistema SAGE habilita o centro de operação de uma empresa a se tornar um centro estratégico de aquisição e tratamento de informação, vital para o salto qualitativo na prestação de serviços de suprimento de energia elétrica.

O CEPEL inaugurou recentemente o Laboratório Avançado de Supervisão e Controle (LASC), que tem como principal missão fornecer suporte adequado de hardware e software para o projeto SAGE. No LASC foi montado ainda um ambiente de centro de controle com duas consoles de operação e dois painéis mímicos do tipo telão de vídeo por retroprojeção, representando o estado da arte em ambientes de centros de controle. O LASC possui ainda canais de comunicação com a Eletrobrás-Rio através do qual o SAGE é alimentado com dados do CNOS, para fins de teste e demonstração do sistema.

São descritos a seguir os principais módulos de software do sistema SAGE.

2.1 - GERÊNCIA DE DADOS

No SAGE as atividades de gerência de dados utilizam uma estruturação baseada no conceito de Modelo de Dados. Um Modelo de Dados é uma forma específica de organização de conjuntos de dados de acordo com a sua utilização. Foram conceituados dois modelos básicos: **Modelo de Dados Fonte** e **Modelo de Dados de Aplicação**.

O Modelo de Dados Fonte é orientado para as necessidades do usuário e descreve o sistema elétrico e seus componentes. É implementado pela **Base Fonte**, a qual apresenta como características: organização relacional, residente em disco em ambiente off-line; preenchida a partir de dados fornecidos pelo usuário e acessada por meio de uma interface SQL padrão.

O Modelo de Dados de Aplicação é orientado para as necessidades dos programas de aplicação, de modo a permitir o processamento eficiente destas aplicações e acesso rápido à informação em tempo-real. É implementado pelas bases de dados **Referência** e **On-Line**.

A Base Referência define o Modelo de Dados de Aplicação em ambiente off-line e é residente em disco. Existe uma única cópia na rede, armazenada em formato padrão (XDR - "External Data Representation") independente da representação binária particular dos números inteiros e reais dos diferentes nós da rede (potencialmente heterogênea). Esta base é preenchida a partir da Base Fonte com o uso de uma "Lógica de Carregamento" específica definida pelo usuário.

A Base On-Line define o Modelo de Dados de Aplicação no ambiente de tempo-real, e possui as seguintes características: é residente em memória; é distribuída pela rede; cada cópia utiliza a representação binária do nó da rede a que pertence. Esta base é preenchida a partir da Base Referência pela conversão da representação padrão para o formato binário usado pelo respectivo nó.

As bases Fonte e Referência possuem catálogos, implementados por sua vez como bases relacionais com interface padrão SQL. Não se utilizam assim os catálogos internos dos gerenciadores comerciais, devido à falta de padronização neste aspecto.

Atendendo ao requisito de expansibilidade do projeto, o Sistema de Gerência de Dados pode ser implementado em plataformas UNIX, Microsoft Windows-95 e Windows-NT. O único requisito é que se disponha de um gerenciador de bases de dados relacionais com interface SQL padrão.

A Base On-Line é implementada segundo o conceito de **Memória Compartilhada Distribuída (MCD)**. Cada MCD corresponde a um repositório de objetos (dados e métodos) que são mantidos coerentes e podem ser replicados ou não nos diversos sítios da rede. Para cumprir os requisitos de alta disponibilidade (tolerância a falhas) e tempo de acesso limitado, as MCD's podem ser distribuídas e replicadas seletivamente ao longo dos diversos sítios do sistema. Métodos específicos do usuário podem ser adicionados às MCDs.

Arquivos de Inicialização permitem manter uma versão inicial (“fria”) da base de dados on-line, armazenada em formato padronizado XDR. Em tempo-real um programa de aplicação pode salvar o conteúdo de uma MCD em arquivo em disco ou recuperar dados salvos previamente.

O acesso à base de dados on-line é feito através de uma interface fornecida por um módulo responsável pela gerência de acesso às MCDs. Os dados em uma MCD são acessados com o uso de vistas onde se define o mapeamento entre dados de uma MCD e variáveis das aplicações.

É interessante observar que os métodos que efetuam somente leitura de dados, atuam sobre a cópia local da MCD com alto desempenho por não envolver tráfego em rede. As atualizações sobre a base, no entanto, são difundidas e atingem todas as cópias das respectivas MCDs nos sítios envolvidos.

A referência [6] apresenta uma discussão mais detalhada sobre gerência de dados em ambientes distribuídos de tempo-real.

2.2 - GERÊNCIA DO CONTROLE DISTRIBUÍDO

No SAGE algumas funções do suporte são implementadas de maneira a suprir a falta de um padrão amplamente aceito para sistemas operacionais distribuídos. Um módulo especial foi construído para prover funções como sinalização, escalonamento e ativação de processos locais e remotos. O subsistema de suporte também é responsável pelo *boot* e *shutdown* do sistema e pelo controle da tolerância a falhas.

A tolerância a falhas é administrada a nível de processo. Cada processo estará ativo em um sítio e será replicado em outros como reserva quente. Se um sítio falha, todos os demais em execução serão informados. O subsistema de suporte em cada sítio verificará se deve iniciar a execução de algum processo que estava ativo no sítio sob falha.

2.3 - INTERFACE HOMEM-MÁQUINA

O Subsistema de Interface Homem-Máquina (IHM) proporciona um ambiente gráfico portátil e obediente à filosofia do projeto através do uso intenso de padrões em um sistema heterogêneo e distribuído. Foi adotada uma arquitetura baseada em *full-graphics* e no modelo Cliente-Servidor.

Terminais *full-graphics* permitem ao usuário interagir com o sistema de forma mais intuitiva que os terminais semi-gráficos convencionais. A utilização de ícones, janelas, menus e outros recursos de manipulação direta da informação, juntamente com a grande variedade de opções de apresentação de dados, tornam a interface mais confortável, rica e natural [5]. Ênfase especial foi colocada nos aspectos de interação com o usuário, de maneira a se obter uma interface flexível. Outro aspecto foi a redução substancial no número total de telas a serem mantidas, que em um sistema de grande porte pode ser da ordem de milhares.

Em IHM o modelo Cliente-Servidor é uma forma de implementação de uma arquitetura distribuída, onde o processamento da aplicação (cliente) é separado da sua apresentação (controlada pelo servidor). Assim, um terminal de vídeo pode apresentar dados e fornecer entradas para diversas aplicações simultaneamente, mesmo que situadas em outros nós da rede. Analogamente, uma aplicação pode controlar, ao mesmo tempo, diversas janelas locais ou remotas.

Uma Interface Gráfica para Usuário (*Graphical User Interface* - GUI) usa um sistema de janelas para controlar os objetos gráficos. O sistema de janelas gerencia janelas retangulares, possivelmente sobrepostas, tal que as aplicações podem executar sem preocupação com a visibilidade da janela.

Além do sistema de janelas, uma GUI padroniza a forma como as diferentes aplicações se comportam ao interagir com o usuário. O chamado "*look and feel*" da interface depende do conjunto de objetos gráficos usado (*toolkit*). Em geral, cada *toolkit* é equipado com um conjunto de objetos gráficos pré-definidos (*widjets*) que realizam funções úteis para uma grande variedade de aplicações. Para o programador, o emprego de um *toolkit* simplifica substancialmente a criação e manipulação de objetos; para o usuário, é garantia de um "*look and feel*" coerente.

A tendência verificada há alguns anos de diversificação nos sistemas de janelas entre diferentes fabricantes levou à formação do comitê de padronização IEEE P1201, que selecionou o Sistema X Window como o sistema de janelas padrão [7]. Este sistema é especialmente adequado para operação em redes com completa transparência, pois a comunicação baseia-se no modelo Cliente-Servidor, implementado através do protocolo X. Em relação ao *toolkit* o OSF/Motif se tornou o padrão de fato para ambientes UNIX. A padronização pelo IEEE e as características de operação em rede levaram à escolha do X Window como o sistema de janelas para o SAGE. Como GUI foi selecionada OSF/Motif em razão de sua disponibilidade generalizada.

Uma biblioteca de objetos gráficos especialmente desenvolvida encapsula os principais conceitos do X Window, adiciona um novo conjunto de objetos projetado para suportar as necessidades específicas da IHM em Centros de Controle. Os programas da IHM são escritos sobre a biblioteca de objetos e não fazem referência direta ao X Window.

A linguagem C++ foi escolhida para a construção desta biblioteca por ser altamente eficiente e compatível com a linguagem C - a linguagem em que X Window e Motif foram desenvolvidos. Para assegurar a portabilidade do produto, decidiu-se evitar o uso de todas as extensões da linguagem não contempladas pelo padrão atual [8].

Além da Interface de Usuário, utilizada em tempo-real, foi desenvolvido um programa Editor, que permite a composição do layout das telas e sua manutenção. O Editor foi desenvolvido em convênio com o TecGraf (Grupo de Tecnologia em Interfaces Gráficas) da PUC-RJ. É um programa com características gráficas e de interação similares aos melhores programas de desenho atuais, e pode ser processado tanto em ambiente UNIX como em Microsoft Windows e Windows-NT. A figura 1 apresenta um aspecto da janela principal do Editor de Telas.

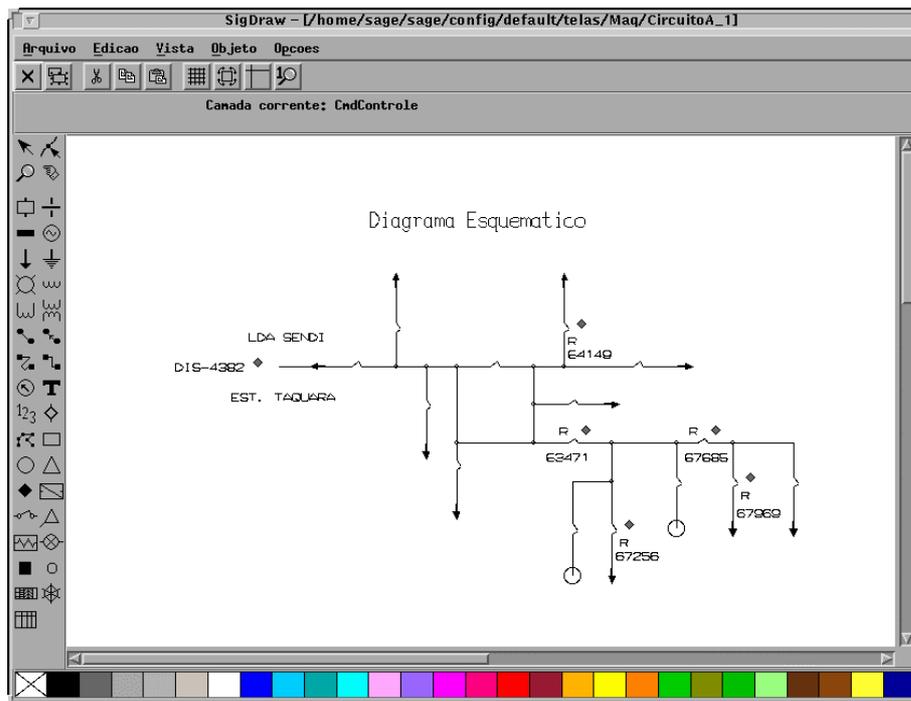


fig. 1 - Janela principal do Editor de Telas

2.4 - PROCESSAMENTO SIMBÓLICO

O uso das técnicas de Inteligência Artificial (IA) nos centros de controle é considerado atualmente a única alternativa para tratar eficientemente a sempre crescente quantidade de dados resultante da contínua introdução de novas funcionalidades. A IA pode tanto liberar o operador de tarefas rotineiras como atuar como suporte para decisões em emergências.

Uma linguagem de programação simbólica permite a construção de programas de forma descritiva, em oposição às declarações imperativas das linguagens de programação convencionais. A formulação descritiva de um problema permite a adição incremental de novas informações sem a necessidade de revisar algoritmos ou alterar o "código" do programa. Uma forma comum de expressar sentenças em uma linguagem simbólica é através de regras.

No SAGE está sendo desenvolvido um Processador de Alarmes Inteligente [9], a ser incorporado ao produto, para funcionar como filtro das mensagens de alarme que chegam ao centro de controle. O objetivo é reduzir o número de mensagens nas listas de alarme sem perda de informação.

Foi definida uma meta-linguagem composta por um conjunto de primitivas pré-codificadas armazenadas em uma Biblioteca de Primitivas. A lógica do processamento de alarmes é traduzida em regras pelo usuário. As regras são construídas pelo usuário como combinações das Primitivas da biblioteca, de forma que este não precisa conhecer a codificação interna das Primitivas, mas somente combiná-las de forma a expressar a atuação da regra quando ocorre um alarme ou outra situação. O usuário não precisa portanto ser um programador para manter a base de regras.

Esta abordagem resulta em um produto portátil e flexível, facilmente adaptável a alterações de requisitos e capaz de acompanhar a evolução do ambiente do centro de controle.

2.5 - FUNÇÕES DE ANÁLISE DE REDES

A nova geração de aplicações de Análise de Redes introduz melhoramentos de funcionalidade em relação às funções tradicionais no sentido de melhorar a qualidade da informação disponibilizada para o operador. Apresenta ainda melhoramentos nos algoritmos de algumas funções.

Os novos programas computacionais implementados, e que permitem sugerir ações corretivas ao operador, são:

Controle Corretivo de Emergência - determina ações de controle que levem o estado do sistema elétrico de uma condição de emergência para uma condição normal. Utiliza o método de Pontos Interiores. [10].

Reprogramação Corretiva com Restrições de Segurança - determina, a partir do estado corrente do sistema, ações de controle que eliminem violações operativas sob situações de contingência, de forma a levar o sistema elétrico de um estado operativo inseguro para uma condição de segurança.

Como melhoramento nos métodos utilizados implementou-se o algoritmo de estimação de estado com restrições de igualdade proposto em [11]. O comportamento dinâmico do sistema elétrico será considerado em uma segunda versão do pacote de tempo-real. No momento este assunto é objeto de um projeto de pesquisa no CEPTEL.

2.6 - COMUNICAÇÃO DE DADOS

No SAGE, o Subsistema de Comunicação de Dados (SCD) implementa as funções de pré-processamento dos dados de tempo-real (alarmes, eventos e cálculos) e de comunicação de dados com outros centros de controle, unidades terminais remotas, controladores lógicos programáveis e outros equipamentos de processo, utilizando protocolos padronizados (TCP/IP, X-25, X-75, TC-57, etc) ou proprietários (CONITEL, ALTUS, etc).

O SCD está estruturado segundo o modelo OSI sendo acrescentadas as adaptações necessárias ao atendimento dos protocolos de comunicação proprietários presentes na maioria dos equipamentos e centros de controle existentes. São implementados conversores de protocolo que, por meio de ligações virtuais de dados, permitem um tratamento equalizado dos serviços de aquisição de dados, controle supervisorio e distribuição de dados/eventos, independente do equipamento ou centro de controle com o qual a comunicação é estabelecida.

Além das funções acima descritas o SCD provê ainda um Gerenciador de Arquivos Históricos e de Tendência e um Servidor para acesso remoto aos dados de tempo-real em ambiente Microsoft Windows.

Toda a funcionalidade acima descrita pode ser distribuída pelos nós da rede de tempo-real, o que confere um alto grau de tolerância a falhas à comunicação de dados.

3 - CONCLUSÃO

O sistema SAGE constitui-se em uma solução unificadora para os diversos níveis hierárquicos em que se organiza a operação em tempo-real de sistemas elétricos (sistemas de supervisão de usinas e subestações, sistemas regionais e centrais, etc) permitindo tornar uniforme o processo de expansão da automação e de manutenção dos sistemas existentes.

Por suas características o SAGE habilita ainda o centro de operação de uma empresa a se tornar um centro estratégico de aquisição e tratamento de informação, vital para o salto qualitativo na prestação de serviços de suprimento de energia elétrica.

Como suporte ao desenvolvimento do SAGE o CEPEL criou o Laboratório Avançado de Supervisão e Controle (LASC), no qual foi montado um ambiente que representa o estado da arte em instalações para centros de controle e que se encontra disponível para demonstração.

Finalmente cabe ressaltar que o sistema SAGE encontra-se em fase de instalação na ESCELSA e na CHESF e no Centro Nacional de Operação dos Sistemas (CNOS) da ELETROBRÁS, além de outras instalações previstas para 1996.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem de forma especial à ELETROBRÁS pelo suporte financeiro ao projeto.

BIBLIOGRAFIA

- [1] - CEPEL, "Desenvolvimento de uma Nova Geração de Centros de Controle", Especificação Funcional, Maio de 1992.
- [2] - Lima,L.C., Machado,P.A., Leal,A., Pereira,L.A.C., Azevedo,G.P., "Design and Development of an Open EMS"- IEEE Athens Power Tech Conference, Athens, Greece, sep/1993.
- [3] - Green, T.A., Bose,A., "Open systems benefits energy control centers", IEEE Computer Applications in Power, July 1992.
- [4] - Ockwell,G., Kreger,R., "The impact of hardware on open architecture design", IEEE/PES Winter Meeting, paper 159-4 PWRS, Jan. 1992.
- [5] - Azevedo,G.P., Souza,C.S., Feijó,B, "Enhancing the Human-Computer Interface of Power System Applications", 1995 Power Industry Computer Applications Conference, Salt Lake City, may 1995.
- [6] - Oliveira Fo,A.L.; Pereira,L.A.C., Lima,L.C., Silva,A.J.R.S., Roméro,S.P., "Gerência de dados em ambientes distribuídos tempo-real", XII SNPTEE, Recife, outubro/1993
- [7] - Mehta,S., "User interfaces and the IEEE P1201 committee", Unix Review, Vol. 8, No. 1,Jan. 1990.
- [8] - Eckel,B., "C++ into the future", Unix Review, Vol. 10, No. 5, pp 27-34, May 1992.
- [9] - Lima,L., "Sistemas Especialistas aplicados ao Processamento de Alarmes em Centros de Controle", Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Fevereiro de 1988.
- [10] - Granville,S., "Optimal reactive dispatch through interior point methods", IEEE/PES Winter Meeting, paper No. 288-6 PWRS, January 1993.
- [11] - Machado,P.A., Azevedo,G.P., Monticelli,A., "A mixed pivoting approach to the factorization of indefinite matrices in power system state estimation", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 6, No. 2, pp 676-682, May 1991.