

TREINAMENTO E CERTIFICAÇÃO DE OPERADORES NO SISTEMA SAGE EMPREGANDO O SIMULADOR EPRI/OTS

João José Rodrigues de Oliveira * (CEPEL)
Luiz Corrêa Lima (CEPEL)
Luiz Antônio Cordeiro Pereira (CEPEL)
Raul Balbi Sollero (CEPEL)

Carlos Roberto Rodrigues Leite (CHESF)
Robert Belfort Muniz (CHESF)
Carlos Augusto Bezerra Costa (CHESF)
Maria do Socorro Cavalcante (CHESF)
Ubiratan Alves do Carmo (CHESF)
Antonio Sérgio de Araujo (CHESF)
Lúcio Correa Meireles (CHESF)

Abstract -- This paper describes the operator training system been installed at CHESF (Companhia Hidro Elétrica do São Francisco). This system consists of two tools integrated together. They are an EMS (Energy Management System) for supervision and control of power systems (here named SAGE – Sistema Aberto para Gerenciamento de Energia) and a digital real time simulator of electrical power systems (here named OTS – Operator Training Simulator). The integration was carried out employing modern database techniques suitable for information exchange between EMS tools. The integration was performed focusing two main objectives. The first one, aiming at internalizing technology related to the “Common Information Model” (CIM) and interfacing the SAGE EMS to this technology. The second one, focusing on the development of a structure of training instructors for this environment. The integration task is very complex employing new technologies and for that reason subject to uncertainties related to the process. To better deal with that, the integration was undertaken applying the “release” strategy what proved to be very well suited for this task. At the end of the paper, it is presented general aspects about CEPEL and CHESF experience on the

installation of this new tool and its use for training and recycling system operators.

Resumo -- O presente artigo descreve o sistema para treinamento de operadores, ora em processo de implantação na CHESF (Companhia Hidro Elétrica do São Francisco). Este sistema consiste na integração de uma ferramenta EMS (Energy Management System) de supervisão e controle de sistemas de potência (aqui denominada SAGE – Sistema Aberto para Gerenciamento de Energia) a um simulador digital em tempo-real de sistemas elétricos de potência (aqui denominado OTS – Operator Training Simulator). A integração foi realizada empregando-se modernas técnicas de base de dados voltadas para troca de informações entre aplicativos EMS. A integração foi realizada tendo como base dois focos principais. O primeiro, visando a internalização de tecnologia CIM de modelo padrão de base de dados e capacitação do SAGE EMS para esta tecnologia. O segundo, prevendo o desenvolvimento de uma infra-estrutura de treinamento de instrutores para este ambiente. O trabalho de integração é bastante complexo, empregando novas tecnologias, portanto sujeito a imprevistos inerentes ao

* Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL
Av. 1 s/n Cidade Universitária – CEP 21941-590 – Rio de Janeiro
RJ - Brasil -- Tel: 55+21+2598-6184 email: jjr@cepel.br

processo. Para melhor lidar com estas incertezas decidiu-se empregar a estratégia de desenvolvimento iterativo, o que se demonstrou bastante adequada. Finalizando o artigo, são apresentados aspectos gerais sobre a experiência do CEPEL e CHESF no processo de implantação desta nova ferramenta e seu emprego para o treinamento e reciclagem de operadores.

Palavras-Chave

Supervisão, Controle, Simulador Digital, Operadores, Despachantes, EMS, Treinamento.

1. INTRODUÇÃO

O sistema elétrico de potência é supervisionado por diversos centros de controle os quais atuam sobre diferentes regiões deste sistema, possuindo níveis diferentes de hierarquia e complexidade. O desenvolvimento deste sistema, sua progressiva interligação e automatização dos centros de controle, elevou o trabalho de seus operadores a um grau de complexidade e responsabilidade consideravelmente maior do que o vigente há alguns anos atrás. Conseqüentemente a operação do sistema elétrico de potência atual requer crescentes e complexas tomadas de decisões visando encontrar o compromisso certo entre segurança e economia. Com o sistema sendo operado perto de seus limites físicos, seu funcionamento está cada vez mais sujeito a fenômenos tais como: perda de sincronismo; queda de frequência; colapso de tensão; corte de geradores e cargas; etc. Os operadores devem estar sempre prontos para responder rápida e corretamente sob estas condições [1].

Usualmente o treinamento de um novo operador para o sistema elétrico é feito com aulas teóricas e a prática é obtida operando o sistema real. Este processo é incompleto visto que um operador pode ter anos de trabalho sem nunca antes ter se deparado com uma situação grave de emergência. A experiência mostra que um eficiente treinamento só pode ser alcançado, de forma adequada e em curto prazo, empregando-se simuladores para treinamento de operadores [2] [3] [4].

Assim, objetivando uma melhor qualificação de seus operadores é importante para uma companhia a implantação de simuladores para treinamento e reciclagem periódica de seus operadores. O treinamento de novos operadores empregando simuladores é muito importante para permitir a rápida assimilação de conceitos e procedimentos de operação, bem como permitir o acúmulo de experiências em um curto prazo de tempo. Para operadores experientes, o simulador é empregado para reciclagem dos mesmos, permitindo a revitalização de procedimentos menos freqüentes (contingências críticas, blackouts, recomposição, etc). Outra importante atividade de capacitação é o treinamento de novos procedimentos operativos devido a alterações no sistema elétrico. Desta forma, esta ferramenta se torna bastante útil na empresa, inclusive

permitindo estabelecer-se um processo bastante eficiente para a certificação de Operadores de Sistema.

2. ESTRUTURA DO SIMULADOR

Este sistema é composto fundamentalmente de duas ferramentas: um simulador digital, em tempo-real, de sistemas elétricos; e um sistema de Supervisão e Controle de Sistemas Elétricos. Tal ambiente de simulação, denominado aqui de SIMULOP, pode ser empregado em diferentes atividades, onde as principais são:

- Educação primária do operador (assimilação de conceitos e procedimentos de operação);
- Adaptação ao ambiente da sala de controle;
- Treinamento complementar – confronto com situações extraordinárias;
- Reciclagem de operadores;
- Treinamento de qualificação para um nível superior;
- Treinamento preparatório para alterações futuras nos procedimentos e configurações da rede;
- Aumento de conhecimento sobre o sistema.

Além destes objetivos, o SIMULOP pode ser empregado em outras aplicações, tais como: certificação de operadores e despachantes, teste de novas instalações EMS/DMS, treinamento de trabalho em equipe, teste de novas aplicações, reconstituição de eventos para análise de ocorrências, verificação da aplicação de Instruções de Operação, etc.

A *Figura 1* apresenta o diagrama da estrutura de um centro de treinamento típico. Nele os operadores estão envolvidos pelo mesmo ambiente de um centro de controle real, sendo que todas as suas atividades são acompanhadas por um Instrutor.

3. ESTRATÉGIAS DE INTEGRAÇÃO

O Simulador foi desenvolvido baseando-se em duas ferramentas importantes para o sistema elétrico: o Simulador Digital de Redes Elétricas, e o Sistema de Gerenciamento de Energia

Os Simuladores Digitais de Redes Elétricas são programas de computador que simulam uma rede elétrica em tempo real. Isto é, a cada segundo transcorrido nos processos simulados pelo programa, corresponde um segundo transcorrido na situação real. Atualmente já existem alguns destes programas no mercado mundial, desenvolvidos para esta aplicação específica, e que continuam em evolução acompanhando o desenvolvimento do poder de processamento dos computadores.

O processo de integração entre um sistema EMS e um Simulador Digital em tempo real é bastante complexo e

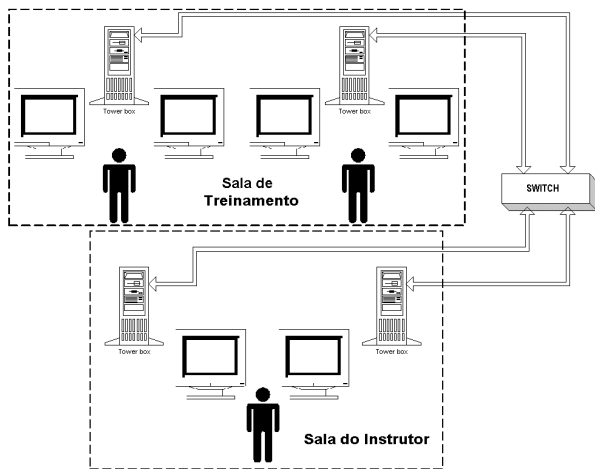


Figura 1 – Centro de Treinamento.

demanda meses de trabalho intenso. Esta integração pode ser feita de duas formas diferentes. A primeira forma é através de um sistema de troca de mensagens proprietárias entre os dois programas, como na Figura 2. Esta tarefa resultaria em uma interface particular, que só serviria para um simulador específico. No caso de se pretender integrar outro simulador (talvez com melhor desempenho ou melhor preço), todo o trabalho teria de ser refeito. Em vista disto é conveniente buscar uma alternativa mais flexível e econômica.

Buscando esta flexibilidade através da padronização, não somente para simuladores de treinamento, mas para qualquer aplicativo EMS, o EPRI iniciou o projeto CCAPI ("Control Center API"), o qual gerou a especificação de um modelo padrão de bases de dados EMS, denominado CIM ("Common Information Model") e de uma API padrão para acesso a esses dados [5]. Dando continuidade a IEC (International Electrotechnical Commission), padronizou essas definições a nível internacional (IEC, TC 57: IEC 61970-301, 61970-302, 61970-501).

Assim, a estratégia escolhida para se integrar um simulador ao aplicativo EMS em questão, foi torná-lo aderente à base de dados CIM (

Figura 3). O trabalho de integração só será realizado uma vez (economia nos custos) permitindo acesso futuro do aplicativo a diferentes simuladores (flexibilidade na seleção do simulador mais adequado).

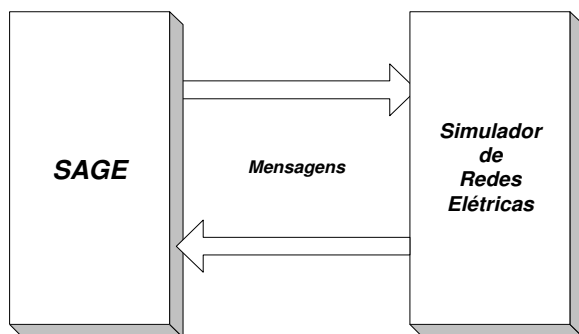


Figura 2 – Integração via Troca de Mensagens

Atualmente, o único simulador de redes elétricas em tempo real aderente à base CIM é o EPRI/OTS [6]. Este foi, portanto, um fator fundamental para a seleção deste simulador para o desenvolvimento deste trabalho.

4. METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO

No desenvolvimento do sistema considerou-se como requisito importante a identificação das classes de recursos e métodos ligados às Tecnologias de Informação como suporte às atividades de gerenciamento e desenvolvimento de software. As metodologias mais modernas de desenvolvimento de software têm focado em identificar um conjunto de "melhores práticas" no que se distanciam do enfoque tradicional de Engenharia de Software. Dentre essas, foi empregado o "Desenvolvimento Iterativo" por suas características especialmente adequadas ao projeto.

No Desenvolvimento Iterativo, cada iteração corresponde a um ciclo completo de desenvolvimento do qual resulta uma versão do produto final. Cada versão corresponde a um subconjunto das funcionalidades previstas, que deve crescer incrementalmente para se tornar, após um certo número de iterações, no produto completo. Este é o tipo de abordagem empregado pela metodologia da Rational Software Corporation, denominada "Rational Unified Process" (RUP) [7].

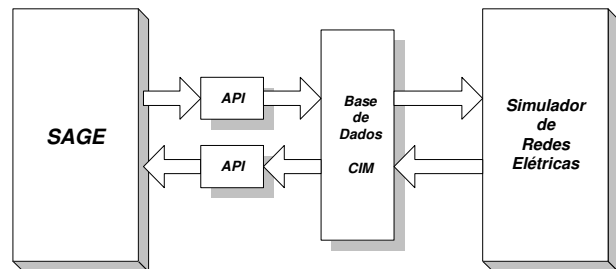


Figura 3 – Integração via base de dados padrão

Cada versão promove um incremento de:

- Transferência de Tecnologia – de maneira a controlar o risco envolvido com as novas tecnologias e tecnologias não completamente maduras.
- Dimensão da rede modelada – partindo-se de um sistema de pequeno porte de demonstração, para um de médio porte e chegando-se eventualmente até à rede completa do sistema elétrico brasileiro.
- Complexidade do modelo de dados – estendendo cada vez mais o modelo pré-existente do sistema SAGE.
- Projeto e Implementação dos softwares de interface entre o SAGE e o OTS (Filtros) – com melhoria de funcionalidade e desempenho.

- Capacidade de simulação (tipos de estudos) – pelo aumento do domínio da tecnologia de simulação.

Esta estratégia se mostrou bastante adequada ao projeto, e sua adoção resultou em quatro principais versões, onde a cada nova versão acrescentava-se um grau a mais na integração e/ou na complexidade da rede modelada: Versão 1 – SIMULOP operando com a rede de demonstração do OTS; Versão 2 – Rede de demonstração do SAGE importada para base CIM e sendo representada no OTS; Versão 3 – SIMULOP operando rede da CHESF simplificada; Versão 4: Implantação dos dispositivos de proteção com rede completa da CHESF.

5. ARQUITETURA DO SIMULADOR

O processo de interligação entre o sistema SAGE e o Simulador demandou o desenvolvimento de uma série de ferramentas, tais como: filtros estáticos, filtros dinâmicos, desenvolvimento de protocolos de comunicação, telas especiais, etc.

A *Figura 4* apresenta a arquitetura geral do sistema. Nesta figura, observam-se os principais componentes da arquitetura na solução proposta para o sistema:

- **Base SAGE** – base de dados operacional distribuída do sistema em tempo-real.
- **EPRI-API** – biblioteca de rotinas com interface padronizada para acesso a uma base de dados com modelo CIM.
- **Simulador OTS** – Simulador para Treinamento de Operadores.
- **Filtros** – Aplicativos de integração entre o SAGE e a EPRI-API.

6. COMPONENTES DA INTEGRAÇÃO

No processo de integração do sistema EMS ao simulador, dois aplicativos principais foram desenvolvidos: o filtro estático e o filtro dinâmico.

O filtro estático faz a transferência dos dados cadastrais da base do sistema EMS para a base de dados CIM do Simulador. Ele permite compatibilizar a base de dados do SAGE à do EPRI/OTS.

O filtro dinâmico faz a conexão, em tempo-real, dos pontos de comando e supervisão do sistema EMS ao sistema elétrico representado no Simulador.

Para a concepção dos Filtros e demais componentes da arquitetura de solução, os seguintes requisitos serviram como base:

- Utilização de tecnologias maduras de mercado;
- Aderência a padrões (formais ou “de fato”);
- Maximizar a reutilização de recursos disponíveis;
- Reduzir de antemão as necessidades de manutenções futuras;
- Criar um ambiente de treinamento similar ao ambiente de operação, do ponto de vista de usuário final;
- Manter o quanto possível uma configuração única de base de dados para operação e para simulação;
- Fácil transferência do cenário de tempo real para o simulador;
- Flexibilidade para a realização de treinamento à distância. Isto é, o ambiente do instrutor poderá estar separado geograficamente do ambiente dos treinandos.

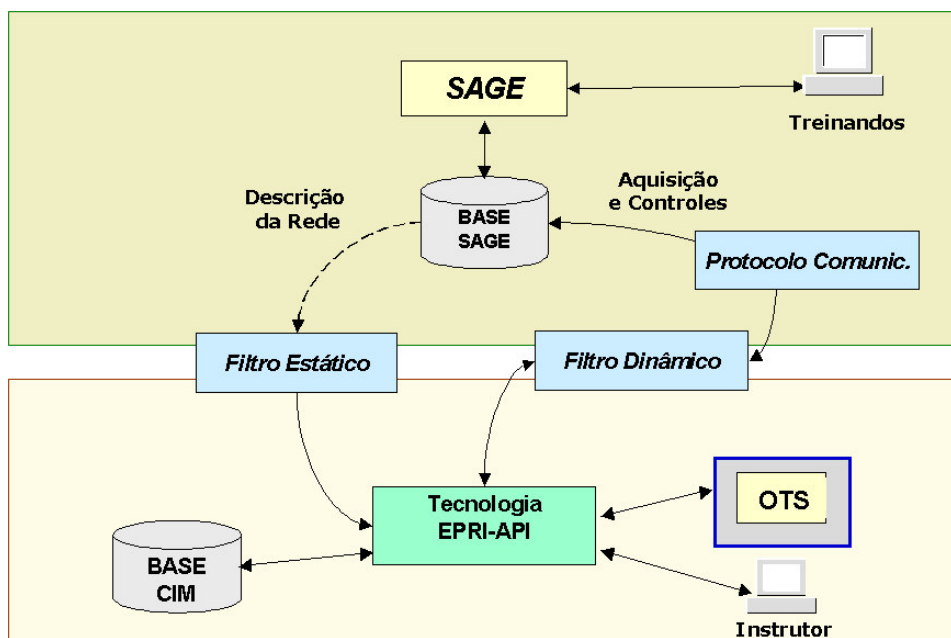


Figura 4 – Arquitetura Geral do Sistema

O filtro estático é executado sempre que se deseja fazer a manutenção da base de dados CIM para estar em consonância com a base de dados do SAGE.

7. CONSOLIDAÇÃO DO SIMULADOR

As atividades correntes até aqui descritas, as quais visam a internalização de tecnologia CIM e OTS, integração dessas tecnologias com o sistema SAGE e disponibilização de um sistema de treinamento, necessitam de ações complementares que permitam tornar plenamente operacional e utilizável o sistema. Algumas propostas de continuação dos trabalhos encontram-se em fase de detalhamento e execução, podendo-se destacar como principais atividades:

- Definição da rede elétrica a ser representada no OTS - de forma a que os resultados das simulações reflitam, com a fidelidade requerida para os tipos de treinamento a serem empregados, o comportamento real do sistema.
- Detalhamento adicional dos modelos de elementos da rede elétrica;
- Estruturação de um ambiente de treinamento de operadores para atendimento às necessidades da empresa;
- Treinamento de uma equipe de instrutores da empresa em estratégias de treinamento com o uso do simulador.

8. DETALHES DO CENTRO DE TREINAMENTO

Os dois principais focos de um centro de treinamento de operadores são: o eficiente treinamento de seus novos operadores; e a reciclagem dos operadores já existentes. O treinamento dos novos operadores tem como principais objetivos:

- Instrução e demonstração de conceitos sobre o sistema elétrico;
- Adaptação ao ambiente da Sala de Controle;
- Treinamento nos procedimentos operativos do sistema;
- Proporcionar um rápido acúmulo de experiências;

A reciclagem dos operadores já existentes tem como principais objetivos:

- Fixação de procedimentos operativos para situações de emergência;
- Treinamentos em novos procedimentos devido a alterações no sistema elétrico;

Para se alcançar os objetivos listados acima é de fundamental importância o planejamento correto do centro de treinamento, o qual está baseado em dois pontos importantes. O primeiro é a confiabilidade do simulador do sistema elétrico de potência em tempo-real (precisão da simulação), o segundo é a fidelidade na

representação da sala de operação (interfaces de operação e demais recursos existentes numa sala de operação).

O simulador do sistema elétrico pode ser empregado basicamente de duas formas. A primeira para representar uma rede fictícia e a segunda para representar o sistema elétrico real da concessionária de energia com o qual o operador irá trabalhar. No caso de se ter o simulador representando somente uma rede fictícia, suas aplicações ficam limitadas à instrução e demonstração de conceitos sobre o sistema elétrico.

Para um eficiente emprego do Simulador, é importante a representação fiel do sistema elétrico real com o qual o operador irá trabalhar. Isto implica na necessidade de existir um eficiente e rápido meio para importação dos dados cadastrais do sistema elétrico da concessionária para a base do simulador, permitindo assim que sua base de dados esteja sempre atualizada de acordo com o sistema real. Isto é muito importante, visto que os operadores tendem a ser bastante críticos quanto a fidelidade da simulação, e só passam a acreditar na ferramenta a medida em que a mesma retrate fielmente o comportamento do sistema elétrico em questão.

A representação fiel do ambiente no qual os operadores trabalham é outro aspecto de fundamental importância na criação dos cenários de treinamento. Numa sala de controle, as atividades do operador englobam: operar o sistema; atender telefonemas; executar programas de suporte a tomada de decisões; ligar para outros centros de operação; consultar manuais de instruções e/ou procedimentos, etc. Para tanto se faz necessário que todos estes recursos estejam também disponíveis no ambiente de treinamento.

Por fim, outro aspecto de fundamental importância para o sucesso de um sistema para treinamento de operadores, é a estruturação e formação de uma equipe mínima de instrutores dentro da empresa, com o perfil adequado para ministrar treinamentos. Isto permite que estes instrutores possam frequentemente estar trocando experiências, como por exemplo na geração de cenários para treinamentos ou para análise de ocorrências. Vale ressaltar que, dependendo de sua complexidade, um cenário pode demandar muitos recursos. Podem existir ocasiões em que para se treinar um operador em um determinado cenário são necessários três ou mais instrutores operando em paralelo. Entretanto, todo este esforço é necessário para se manter a confiança do operador na ferramenta e se extrair ao máximo todo o potencial que é propiciado por um Simulador de Treinamento que esteja integrado à um Sistema de Controle e Supervisão de Tempo Real.

9. CONCLUSÃO

Considerando-se todos os aspectos levantados anteriormente, na implantação do centro de treinamento

de operadores da CHESF está sendo dedicada especial atenção aos seguintes pontos:

- Fidelidade na representação da rede elétrica através da consolidação da base EMS do Sistema Elétrico, modelagem de todo sistema físico da CHESF, e melhoria da observabilidade do sistema através do aumento dos pontos telemedidos e telesupervisionados;
- Fidelidade na representação do ambiente da sala de controle, nos Centros de Treinamento implantados em Recife e Paulo Afonso;
- Diferentes áreas dentro da empresa estão sendo envolvidas neste projeto, através da formação de uma equipe multidisciplinar (Estudos Elétrico, Sistemas de Controle, Proteção de Sistemas, Normativo da Operação e Centros de Operação), tanto na fase de implantação como na fase de manutenção do Simulador;
- Para que todos possam usufruir os benefícios desta ferramenta, tem-se incentivado o uso múltiplo do simulador, não só como ferramenta para Treinamento de Operadores, mas também como uma ferramenta para a realização de Estudos Elétricos, Análise de Ocorrências, Aferição de Instruções e Procedimentos Operacionais, além de outras aplicações de interesse da empresa;
- No caso específico da Operação de Sistema, buscando sistematizar a prática do uso do Simulador, está sendo implantado um Normativo da Operação que define a grade mínima de treinamento para os operadores de sistema, a qual deverá ser cumprida anualmente, garantindo assim a manutenção de um alto nível de qualificação destes profissionais;
- Formação de uma equipe mínima de instrutores distribuídos pelos 6 Centros de Operação da Empresa, de forma a permitir que estes instrutores estejam frequentemente trocando informações e as experiências vividas em cada Centro de Operação, permitindo assim a formação de um Grupo Permanente de Usuários do Simulador;

Visando minimizar as dificuldades que as empresas têm para permitir que os operadores ausentem por um longo período do seu posto de trabalho para participar de treinamento ou reciclagens em outras localidades, será possível a realização de treinamento remoto, tendo em vista que os treinandos e instrutores poderão estar em diferentes localidades. Esta facilidade introduzida no sistema, permitirá também o treinamento de trabalho em equipes envolvendo dois ou mais centros de operação.

Finalizando, na *Figura 5* é apresentada uma foto do Centro de Treinamento SAGE/OTS já instalado em Recife, Pernambuco, Brasil.



Figura 5 – Centro de Treinamento de Recife

10. REFERÊNCIAS

- [1] Lutterodt,S.; Logeay,Y.; Knoepfel,R.; Skiold,R.: “Improving Human Performance in the Control Center”; on behalf of CIGRE WG 39.03; ELECTRA No.174, October 1997, pp.90-105
- [2] Krost,G.; Allamby,S.; Lehtonen,P.: “Organization and Justification of Power System Operators Training” on behalf of WG 39.03; CIGRE SC 39 Colloquium, Curitiba/Brazil, nov. 1999
- [3] Krost,G. et al. on behalf of CIGRE WG 39.03: “Impacts of Operators’ Selection and Training on Power System Performance”, CIGRE SC 39 Session, Paris, 1998
- [4] Cukalevski,N.; Johansson,A.: “Requirement set on Control Room Personnel”; CIGRE SC 39 Colloquium, Sydney, Australia, Sept. 1993
- [5] Lima L., Oliveira A., Pereira, L, Azevedo G., Ghelman, Cardoso A., Azevedo P., - "Information Sharing in Power System Control Centers" - The First EPRI Latin American Conference and Exhibition, November 28-30, 2001, Rio de Janeiro, Brazil
- [6] M. Prais, G. Zhang, Y. Chen, A. Bose, and D. Curtice, “Operator Training Simulator: Algorithms and Test Results”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 4, No. 3, August 1989, pp. 1154-1159
- [7] Rational, "Rational Unified Process - Best Practices for Software Development Teams" White Paper TP-026a Revision 11/98, disponível na World-Wide-Web no site www.rational.com, 1998.