



INSTITUTO DE ENGENHARIA NUCLEAR

RT-IEN- 25/2002

**Projeto e implementação do laboratório de interfaces
homem/sistema do Instituto de Engenharia Nuclear**

por

***Paulo Victor R. de Carvalho
Isaac José Obadia***

Agosto/2002

**NOTA
ESTE RELATÓRIO É PARA USO EXCLUSIVO DO
INSTITUTO DE ENGENHARIA NUCLEAR**

O direito a utilização de informações relacionadas ao trabalho de pesquisa realizado no IEN é limitado aos servidores da CNEN e pessoal de organizações associadas, nos limites dos termos contratuais que regem os respectivos convênios. O conteúdo dos relatórios não pode ser separado ou copiado sem autorização escrita do IEN



INSTITUTO DE ENGENHARIA NUCLEAR

Título: projeto e implementação do laboratório de interfaces Homem/sistema do Instituto de Engenharia Nuclear				
Autor(es): Paulo Victor Rodrigues de Carvalho Isaac José Obadia			e-mail: paulov@ien.gov.br isaac@ien.gov.br	
Identificação: RT-IEN-25/02	Nº de páginas: pp pp	Tipo de Divulgação: Irrestrita (x) Restrita ()	Divulgar para: IEN	Localização: \\IEN_NT\PAULOV\RELTEC\RT-IEN-25-02
Publicação externa associada (congresso/periódico): International Nuclear Atlantic Conference/XIII Encontro Nacional de Física de Reatores				
Palavras chave: ergonomia, fatores humanos, operação de reatores nucleares, interface homem/sistema				
Resumo: Equipamentos analógicos estão sendo substituídos por digitais (computadorizados) nas novas plantas, por exemplo em ANGRA 3 e nos processos de modernização e aumento da vida útil das plantas como ocorre em ANGRA 1. Deste modo, há uma necessidade premente de desenvolver métodos que viabilizem a implementação, avaliação, verificação, validação e otimização de aspectos de ergonomia e fatores humanos no projeto das interfaces homem/sistema associadas às novas salas de controle - totalmente digitais - e às salas de controle híbridas, onde sistemas computadorizados convivem com os antigos sistemas analógicos. O uso de sistemas computadorizados para auxílio ao desempenho de operadores é também uma área que tem evoluído rapidamente. A implementação destes sistemas deve ser baseada na capacidade real dos operadores em utilizá-los e a possibilidade de sua avaliação em simuladores antes da instalação nas plantas precisa ser considerada. Para dar suporte às pesquisas nesta área está sendo implantado na Divisão de Instrumentação e Confiabilidade Humana - DICH, do Instituto de Engenharia Nuclear - IEN o Laboratório de Interfaces Homem/Sistema - LABIHS, no âmbito de um projeto de cooperação técnica com a Agência Internacional de Energia Atômica - AIEA.				
Abstract: Analog instrumentation is being increasingly replaced by digital technology in new nuclear power plants, such as ANGRA III, as well as in existing operating plants, such as ANGRA I and II, for modernization and life-extension projects. In this new technological environment human factors issues aims to minimize failures in nuclear power plants operation due to human error. It is well known that 30% to 50% of the detected unforeseen problems involve human errors. Presently, human factors issues must be considered during the development of advanced human-system interfaces for the plant. IAEA has considered the importance of those issues and has published TECDOC's and Safety Series Issues on the matter. Thus, there is a need to develop methods and criteria to asses, compare, optimize and validate the human-system interface associated with totally new or hybrid control rooms. Also, the use of computer based operator aids is en evolving area. In order to assist on the development of methods and criteria and to evaluate the effects of the new design concepts and computerized support systems on operator performance, research simulators with advanced control rooms technology, such the IEN`s Human System Interface Laboratory, will provide the necessary setting.				
Emissão		Nome	Rubrica	Data
19/08/2002	Elaboração:	Paulo Victor R. de Carvalho Isaac José Obadia		19/08/2002
Data 19/08/2002	Revisão:	Isaac José Obadia		19/08/2002
Divisão DICH	Aprovação :	Isaac José Obadia		19/08/2002
Instituto de Engenharia Nuclear: Av. Brigadeiro Trompowsky s/n, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, CEP 21945-970, CP 68.550, Rio de Janeiro – RJ – Brasil. Tel.: 00 55 21 2560-4113 Internet: www.ien.gov.br				

SUMÁRIO

1. Introdução	4
2. Descrição do LABIHS	5
3. Ambientes Funcionais	6
4. Configuração e equipamentos da Interface H/S	7
5. Plataforma integrada de <i>hardware/software</i>	8
6. Conclusões	9
7. Referências	9

1. Introdução

Uma planta geradora de energia elétrica, seja ela movida pela energia nuclear, combustíveis fósseis, ou mesmo uma central hidroelétrica, constitui-se de um sistema homem/máquina complexo que controla processos termodinâmicos visando à produção de energia elétrica através de uma combinação de agentes humanos e diversos tipos de equipamentos, componentes e sistemas. O lado máquina do sistema é um conjunto sofisticado de equipamentos, componentes e sistemas automáticos, constituídos por hardware e software, altamente confiáveis, redundantes e com um elevado grau de interligações. O lado humano do sistema é, na realidade, uma grande organização social que inclui aspectos de gerenciamento, engenharia, ergonomia, manutenção, operação e treinamento. Recai principalmente sobre o pessoal de operação a difícil tarefa de realizar o acoplamento entre estas duas partes deste sistema, mantendo a planta operando em condições aceitáveis de segurança e eficiência, por meio de uma grande variedade de controles, comandos, painéis e *displays* existentes na sala de controle principal, nos diversos pontos remotos de monitoração e nas demais estações de controle da planta.

A análise dos acidentes como os de *Three Mile Island* - TMI ou *Chernobil* revelou que diversos fatores, tanto na parte humana – procedimentos inadequados, falta de cultura de segurança, projeto deficiente das interfaces, quanto na parte máquina – falhas simples de equipamentos, contribuíram para a existência de um cenário onde as plantas operavam em condições limites de segurança e eficiência.

Ambiente propício, portanto, para que ocorresse o desacoplamento entre as partes humana e máquina do sistema, manifestado pela incompreensão por parte dos operadores do real estado dos processos termodinâmicos em curso, levando à perda do controle da instalação. Deste modo, a partir de TMI, verificou-se a necessidade da inclusão de aspectos de fatores humanos no projeto, operação, manutenção e até no gerenciamento das centrais nucleares, provocando reações em diversos países, que vão desde a elaboração de normas e regulamentos específicos, como por exemplo a revisão da norma NUREG 800, até a proliferação de laboratórios para estudos de ergonomia e fatores humanos em países como a França, Japão, Coreia do Sul, Canadá e, até mesmo, em países não nucleares, como Noruega e Dinamarca.

No Brasil, a Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, sintonizada ao contexto mundial e preocupada com a melhoria da segurança das centrais nucleares brasileiras, criou, no âmbito da Divisão de Instrumentação e Confiabilidade Humana do IEN, um programa de pesquisa na área de ergonomia e fatores humanos [1]. A motivação deste novo programa de pesquisas decorre da rápida implementação dos sistemas computadorizados na modernização das salas de controle de reatores nucleares no país (ANGRA I e II e reatores de pesquisa) e na introdução de novas plantas com salas de controle inteiramente computadorizadas (ANGRA III) e sua implicação na segurança da planta e no desempenho das equipes de operação.

A materialização deste programa se dará com a construção, implantação e desenvolvimento do LABIHS no IEN. Este laboratório se apresenta como a principal ferramenta do programa, tanto para realização de estudos ligados às funções dos operadores, quanto para dar suporte as análises teóricas relacionadas a este ambiente complexo, além de propiciar o desenvolvimento de métodos e critérios para projeto e avaliação das interfaces homem/sistema. O LABIHS será organizado em torno de uma sala de controle computadorizada onde serão simulados os processos da planta e apresentadas às equipes de operação as informações referentes a estes processos, por meio de uma interface homem/sistema computadorizada. Este ambiente deve ser concebido com a flexibilidade necessária visando a realização de diversos tipos de pesquisas e estudos nas áreas de ergonomia e fatores humanos, cujo resultado deverá contribuir efetivamente para a melhoria do desempenho das equipes de operação e, conseqüentemente, na segurança das centrais nucleares, permitindo ao LABIHS cumprir sua missão de: “Fornecer à indústria de processos, especialmente ao segmento eletro-nuclear e estendendo-se às situações tecnologicamente análogas nos setores aeroespacial, de transportes e vigilância, bases avançadas para projeto de sistemas de supervisão e controle, mediante os aportes contemporâneos da Ergonomia em seus critérios de segurança, eficiência, confiabilidade e usabilidade.”

Desta maneira, o projeto deste laboratório não se esgota na implementação de uma sala de controle computadorizada e instalações auxiliares, mas sim num conjunto de atividades que vão desde a concepção do projeto, passando pela formação de mão-de-obra especializada, implantação do laboratório, até a definição de um programa de trabalho que permita seu contínuo aprimoramento e a sintonia com o programa de pesquisa da CNEN em ergonomia e fatores humanos, tornando o LABIHS e, conseqüentemente, a CNEN e seus parceiros neste projeto, referências na área de pesquisa de ergonomia de sistemas complexos.

2. Descrição do LABIHS

O LABIHS pode ser definido como uma facilidade para experimentos em ergonomia e fatores humanos baseada na simulação dos processos termodinâmicos e no ambiente de trabalho dos operadores de uma central nuclear. Deste modo, ele é organizado em torno de uma sala de controle computadorizada cujas partes principais são a modelagem fiel dos processos da planta e a interface homem/sistema. Apesar da importância fundamental da sala de controle e seus equipamentos, a condução de experimentos em fatores humanos requer muito mais do que modelos da planta e a interface H/S. Equipamentos e sistemas para gerenciar a operação dos cenários simulados, para observação, aquisição, armazenamento e análise de dados dos experimentos são igualmente necessários.

Uma facilidade como o LABIHS, não poderá reproduzir todas as situações de trabalho de uma sala de controle real, mas poderá apresentar ao operador um ambiente que englobe alguns fatores chaves para seu desempenho, principalmente aqueles associados a condições não usuais de operação, cujo desenrolar tem maior probabilidade de gerar acidentes. A possibilidade de geração de cenários envolvendo estas condições de uma maneira controlada é uma das principais vantagens de uma facilidade de teste como o LABIHS. Esta função é garantida com uma modelagem eficiente e realista dos processos termodinâmicos da planta de referência. A partir desta modelagem, as informações sobre o estado da planta são apresentadas aos operadores na Sala de Controle Principal do LABIHS por meio de interfaces computadorizadas, que serão desenvolvidas a partir de diversas filosofias e critérios de projetos. O desempenho dos operadores em diferentes cenários operacionais é, então, observado e analisado por especialistas em ergonomia, processos e segurança nuclear. A observação e aquisição dos dados experimentais são feitos na Galeria de Experimentos. Além destes dois ambientes principais, diversos ambientes funcionais auxiliares compõem a instalação e deverão ser incluídos no projeto.

É importante que o projeto de concepção dos ambientes do LABIHS incorpore não só as necessidades imediatas como também tenha flexibilidade suficiente para acomodar algumas visões do futuro, de modo que limitações introduzidas nesta fase não impeçam que o LABIHS se torne um centro de excelência na pesquisa de ergonomia e fatores humanos nos próximos anos. A fig. 1 apresenta uma descrição funcional do LABIHS.

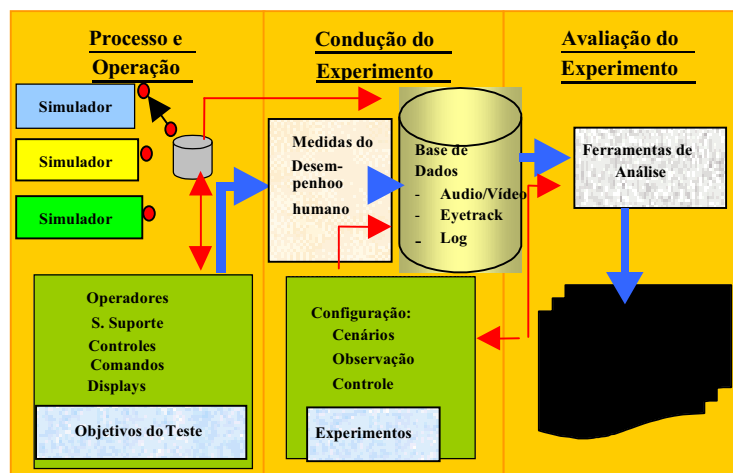


Figura 1. Diagrama Funcional.

3. Ambientes Funcionais

O LABIHS foi construído no IEN em área de cerca de 170 m² no segundo andar do prédio da Divisão de Instrumentação e Confiabilidade Humana – DICH do IEN.

A fig. 2 apresenta uma planta baixa do LABIHS com seus ambientes funcionais:

- Sala de Controle;
- Galeria de Experimentos;
- Sala de Reunião e Treinamento;
- Recepção e repouso.

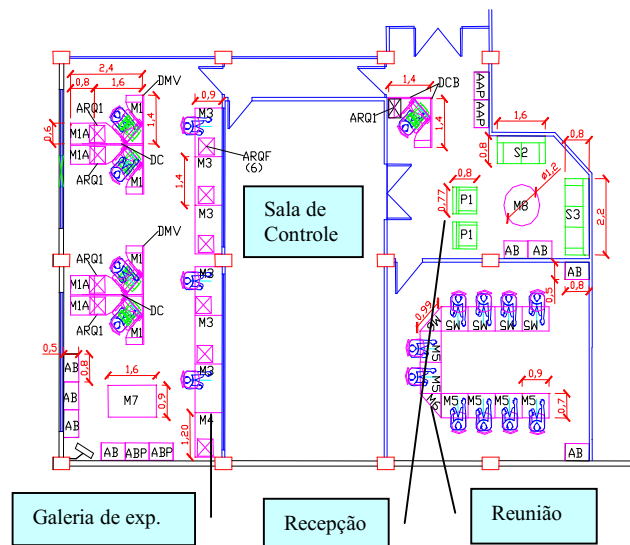


Figura 2. Planta Baixa do LABIHS.

Um requisito geral para todos os ambientes funcionais é que eles sejam concebidos e construídos de modo a permitir o fácil acesso do pessoal, operadores e visitantes, e também de modo a facilitar a instalação e remoção de equipamentos.

A Sala de Controle Principal do LABIHS deverá propiciar aos operadores de centrais nucleares uma percepção realista da situação de trabalho. Entretanto, salas de controle avançadas utilizando equipamentos computadorizados tendem a ser consideravelmente menores do que salas convencionais. Por exemplo, não é necessária a simulação dos enormes painéis mímicos ou janelas de alarme, na forma em que eles se apresentam nas centrais convencionais. Uma percepção realista da situação de trabalho significa, neste contexto, que o ambiente de trabalho da Sala de Controle seja representativo o bastante para permitir o exercício normal das atividades da equipe de operação. Assim, a interface H/S computadorizada deve possuir todas as informações necessárias à operação da planta, além dos comandos e controles correspondentes. O mobiliário deve ser ergonomicamente projetado e as distâncias entre consoles devem ser tais que permitam o deslocamento e a comunicação dos operadores como na situação real. O tempo de resposta do sistema simulado (modelo da planta e interface H/S) deve ser baixo o suficiente de modo a evitar que os atrasos no sistema computadorizado façam com que os operadores precisem aguardar pelo resultado de suas ações. No projeto e implementação da Sala de Controle, cuja foto é apresentada na fig. 3, procuramos incorporar ainda aspectos como iluminação variável e antireflexiva e forro especial para absorção de ruído.



Figura 3. Foto da Sala de Controle.

4. Configuração e equipamentos da interface H/S

Considerando as tendências atuais, salas de controle avançadas apresentam informações ao operador por meio de telas de vídeo. A atuação dos operadores se dá mediante equipamentos de comando e controle informatizados como teclados, mouse, trackerball, lightpen etc.

Na configuração inicial proposta para operação de uma central nuclear, com 2 operadores e 1 supervisor, os operadores do reator e turbina devem ter um determinado número de telas a seu encargo, número este que depende da filosofia de projeto da interface ou do experimento corrente. Está previsto o uso de até 4 monitores de tela plana e cristal líquido de pelo menos 17" por operador. Entretanto, considerando o crescente número de sistemas de suporte ao operador que são instalados para modernização de centrais nucleares, telas adicionais podem ser necessárias.

Vídeos de tela grande, tipo *overview*, tendem a ser cada vez mais comuns em salas de controle avançadas. Eles suprem uma importante deficiência deste ambiente computadorizado, que é falta da percepção geral do processo em função da concentração das informações em vídeos, conhecido como efeito buraco de fechadura [2]. No LABIHS é prevista a instalação de sistema de projeção direta, acoplado ao sistema computadorizado que projetará imagens numa tela grande de cerca de 3 m². A fig. 4 apresenta um diagrama esquemático da Sala de Controle.

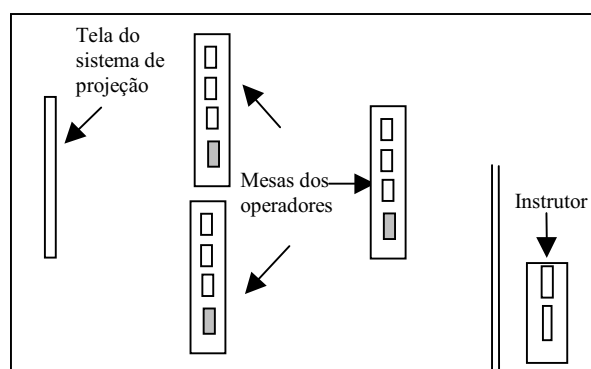


Figura 4. Configuração Básica da Sala de Controle.

5. Plataforma integrada de *hardware/software*

Uma complexa rede de computadores, com várias tarefas distintas é necessária à operação do LABIHS. A essa rede, apresentada esquematicamente na fig. 5, denominamos Plataforma Integradas de H/S. Esta plataforma contempla todos os serviços necessários para a execução dos processos do LABIHS.

De acordo com suas funções estes serviços são os seguintes:

- Modelagem dos sistemas de um reator nuclear (simulador);
- Interface Homem/Sistema;
- Armazenamento e análise de dados dos experimentos.

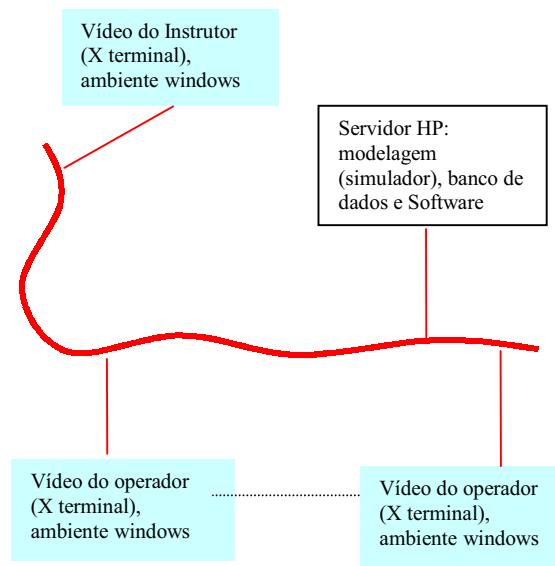


Figura 5. Plataforma de H/S.

A modelagem da planta é feita num servidor *HPUX* de alto desempenho, com sistema operacional *UNIX*. Uma simulação realista e com velocidade semelhante a dos processos reais é fundamental para que os operadores tenham uma percepção real do ambiente de trabalho. No caso da simulação de transientes, por exemplo, um ciclo de vida (tempo para atualização de todas as variáveis envolvidas no processo) de 100ms é necessário.

Para iniciarmos as pesquisas será instalado um simulador compacto para reatores PWR, conforme definição da Agência Internacional de Energia Atômica, contida no TECDOC 995, pg. 1,2: “Simuladores Compactos fornecem meios para treinamento em procedimentos operacionais numa forma simplificada. Uma mesa de controle é frequentemente fornecida para apresentar os parâmetros mais significativos. Embora o escopo e a fidelidade da modelagem sejam equivalentes as de um simulador *full-scope*, o escopo da simulação é tipicamente limitado e a sala de controle não é uma réplica da real.” [3]. Para o LABIHS está sendo desenvolvido um *Simulador Compacto Digital* sem a tradicional mesa de controle analógica.

A planta simulada será um reator PWR tipo Westinghouse. Esta escolha foi baseada na necessidade de modernização da usina de ANGRA I. Os objetivos principais deste simulador no âmbito do LABIHS são:

- Fornecer os modelos dos sistemas da planta para o desenvolvimento das telas da interface H/S;
- Fornecer meios para testes de Sistemas de Suporte ao Operador;
- Servir como base para um sala de controle digital;
- Permitir a compreensão dos sistemas de reatores nucleares e suas inter-relações operacionais;
- Simulação de falhas em sistemas e instrumentos.

O simulador deve cobrir todos os modos de operação ou estados da planta como partida, operação normal a plena carga, desligamento a frio e a quente, além dos estados intermediários. Transientes a partir da operação normal, que podem ser acidentes como LOCAs e ATWS e gerados por falhas em equipamentos e componentes também fazem parte do escopo da simulação. A estação do instrutor permite que os processos sejam controlados externamente, seja iniciando as falhas,

seja variando o passo da simulação: mais rápido ou mais lento que a operação real.

A Interface H/S tem por objetivo apresentar aos operadores as informações fornecidas pelo simulador. Ela será composta por computadores pessoais de alto desempenho, com monitores de tela plana de cristal líquido, usando o sistema operacional Windows 2000 pro. As telas dos operadores serão desenvolvidas tendo como base a ferramenta ILOG. As telas de operação poderão ser reconfiguradas para testar diversos tipos de interface que normalmente devem possuir as seguintes características:

- O arranjo básico das telas (campos de informação, diálogo, navegação etc.);
- Os diagramas mímicos da planta simulada;
- Parâmetros críticos e de segurança;
- Diagramas de tendência;
- Alarmes.

6. Conclusões

O programa de pesquisa em ergonomia e fatores se iniciou em 1998 no IEN. A partir deste ano 2 servidores da antiga Divisão de Instrumentação e Controle do IEN foram enviados a Noruega para treinamento, durante 1,5 anos cada um, na área de Interfaces Homem/Máquina do *Halden Reactor Project - HRP*. Outros 3 servidores iniciaram cursos de doutorado na COPPE/UFRJ, nos programas de Engenharia Nuclear, na área de engenharia de fatores humanos e de Produção, atuando na linha de pesquisa de ergonomia de sistemas complexos, mediante um acordo de cooperação celebrado entre o IEN e o Grupo de Ergonomia e Novas Tecnologias – GENTE/COPPE.

Surge então o interesse no desenvolvimento de um laboratório que pudesse materializar o resultado destes esforços, fornecendo meios para a realização das pesquisas avançadas em ergonomia e fatores humanos, nos moldes das pesquisas que se realizam nos países desenvolvidos.

O LABIHS é o resultado desse esforço, cujo desenvolvimento conta com o suporte técnico e financeiro da Agência Internacional de Energia Atômica - AIEA, mediante o projeto de cooperação técnica BRA/4/049, que se desenvolve no biênio 2001/2002. O ano de 2001 foi dedicado ao estabelecimento dos requisitos básicos para o projeto do laboratório, que foram definidos a partir de visitas científicas ao laboratório de fatores humanos do KAERI (Coréia do Sul) e de um workshop realizado no IEN, com a presença de diversos especialistas internacionais do HRP, VTT Energy (Finlândia) e KAERI (Coréia do Sul), além de representantes de instituições do setor nuclear brasileiro como Eletronuclear, CNEN, CDTN, IPEN e CTMSP. Ao final de 2001 o IEN emitiu uma especificação para o projeto do LABIHS [4] que serviu como base para uma licitação internacional, realizada pela AIEA para o fornecimento dos sistemas de software e hardware para o LABIHS. Ainda durante o ano de 2001 houve uma grande reforma nas instalações da DICH, que permitiram a criação dos ambientes funcionais do LABIHS, inclusive com a instalação de um sistema de ar condicionado central. De acordo com o cronograma de projeto, o término das principais instalações do LABIHS deve ocorrer em 12/2002, permitindo que a partir de 2003 sejam realizados os primeiros experimentos em ergonomia e fatores humanos.

7. Referências

- [1] CARVALHO, P. V. R. e VIDAL, M. C. R., **Programa de pesquisa em ergonomia e fatores humanos da Comissão Nacional de Energia Nuclear**; Anais do X Congresso Brasileiro de Ergonomia - CD, ABERGO, Rio de Janeiro, novembro de 2000.
- [2] WOODS, D. D., **The Alarm Problem and Direct Attention in Dynamic Fault Management** Ergonomics: 38(11) 2371-2393, 1995.
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, **Selection, specification, design and use of various nuclear power plant training simulator**, IAEA-TECDOC-995, IAEA, Viena, 1998.
- [4] CARVALHO, P. V. R. e OBADIA, I. J., **Human system interface laboratory technical specification**, RT-IEN-08/01, IEN, Rio de Janeiro, 2001.