



CONSTRUÇÃO DE INTERFACES PARA SALAS DE CONTROLE AVANÇADAS DE PLANTAS INDUSTRIAIS

Mauro V. de Oliveira¹
Daniel M. Moreira²
Paulo Victor R. de Carvalho

¹ Instituto de Engenharia Nuclear (IEN / CNEN - RJ)
Caixa Postal 68550
21945-970 Rio de Janeiro, RJ
mvitor@ien.gov.br

² Escola de Belas Artes (EBA / UFRJ- RJ)
Av. Brigadeiro Trompowski, s/n.^o - Cidade Universitária
21941-590 Rio de Janeiro, RJ
danielmartinsmoreira@gmail.com

Resumo

As interfaces homem-sistema (IHSs) são as partes importantes de uma planta industrial na qual as pessoas interagem para realizar suas funções e tarefas. As IHSs incluem alarmes, mostradores de informação e controles. Uma das linhas de pesquisa do Laboratório de Interfaces Homem-Sistema (LABIHS) é o desenvolvimento e avaliação de interfaces para salas de controle de plantas industriais. Este artigo apresenta de maneira sucinta o estado da arte das interfaces homem-sistema, com ênfase para a descrição das três principais filosofias de construção de interfaces de operação: interfaces orientadas a tarefa, interfaces ecológicas e interfaces orientadas a função. O artigo também apresenta uma descrição dos principais componentes de hardware e software do LABIHS, com ênfase para as ferramentas de desenvolvimento e avaliação de interfaces deste laboratório. Ao final do artigo é apresentada, como exemplo, uma nova tela de visão geral da planta simulada que foi construída com base na filosofia orientada a tarefa. A nova tela de visão geral da planta foi avaliada no simulador nuclear do LABIHS usando o procedimento E-0, que faz parte dos procedimentos de operação em emergência (POEs) da planta nuclear. Os resultados obtidos mostraram que a nova tela de visão geral da planta apresenta um aumento substancial na quantidade de informação sobre o estado geral da planta para os operadores quando comparada com a tela de visão geral anterior.

Palavras-chave

Interface, planta industrial, fatores humanos.

1. Introdução

As interfaces homem-sistema (IHSs) são as partes importantes de uma planta industrial na qual as pessoas interagem para realizar suas funções e tarefas. As IHSs incluem alarmes, mostradores de informação e controles. Baseado na literatura, entrevistas e visitas à plantas industriais, O'HARA *et al.* (1997) identificaram desafios na tecnologia das interfaces homem/sistema e seus efeitos potenciais na performance das pessoas. Os tópicos foram avaliados levando em conta seus impactos na segurança das plantas (STUBLER *et al.*, 1996).

Com relação às interfaces homem-sistema das plantas industriais verificou-se que com o rápido desenvolvimento da tecnologia da computação mais e mais sistemas de interface homem-computador têm sido introduzidos nos sistemas homem-máquina convencionais. Atualmente, por exemplo, alguns computadores podem representar uma sala de controle grande com numerosos medidores, botoeiras e atuadores de uma planta nuclear de potência ou um sistema de auxílio ao piloto de uma aeronave. Gradualmente, os sistemas de interface homem-máquina convencionais com medidores e atuadores conectados por fios e com numerosos painéis estão sendo substituídos por sistemas de interface homem-computador com poucas telas de controle, operação e atuação. Isto significa que atualmente as interfaces homem-máquina podem ser consideradas como sendo interfaces homem-computador ou interfaces digitais.

Além disso, devido ao aumento da escala dos processos industriais, mais energia, mais quantidades de produtos produzidos, integração de centros de controle etc., os respectivos sistemas de controle estão se tornando mais complexos e, conseqüentemente, as interfaces de operação desses sistemas também estão se tornando mais complexas, o que faz com que o projeto dessas interfaces não seja uma tarefa fácil. Quando um sistema de uma planta torna-se mais complexo, sua dinâmica também se torna mais complexa. O aumento da complexidade da dinâmica da planta pode levar a dificuldades para monitoração/controle desse sistema, que introduzem necessidades extras no projeto da interface.

Assim, como no projeto de qualquer sistema complexo, é altamente desejável se usar uma teoria/metodologia para projeto das interfaces. A metodologia a ser utilizada no projeto de uma interface deve levar em consideração pelo menos as seguintes questões: a) O que deve ser apresentado?; b) Como deve ser apresentado?; e c) Quando deve ser apresentado?. Para tentar responder estas perguntas foram desenvolvidas nos últimos anos algumas metodologias/filosofias de construção de interfaces, dentre as quais podemos citar: interfaces orientadas à tarefa (BALBO *et al.*, 2005); interfaces ecológicas (VICENTE e RASMUSSEN, 1992); e interfaces orientadas a função (LIN, 2000).

O desenvolvimento e avaliação de IHSs para salas de controle de plantas industriais é uma das linhas de pesquisa do Laboratório de Interfaces Homem-Sistema (LABIHS) do Instituto de Engenharia Nuclear. O principal objetivo desta linha de pesquisa é o desenvolvimento e avaliação de projetos de interfaces homem-sistema para plantas industriais usando diferentes metodologias de construção. Basicamente, as metodologias para o projeto de interfaces devem incluir, além da filosofia do projeto (como exemplificado acima), guias e recomendações para o *design* das telas bem como os requisitos de ergonomia e engenharia de fatores humanos.

Neste trabalho, uma nova tela de visão geral (Overview) baseada na filosofia orientada a função foi desenvolvida para o simulador de um reator nuclear de potência existente no LABIHS, levando em consideração normas e recomendações de ergonomia e engenharia de fatores humanos. Esta nova tela foi avaliada, dinamicamente, por meio de uma simulação de cenário, onde os operadores do reator (simulador) usaram o procedimento de emergência E-0, que visa a identificação do tipo de acidente que está ocorrendo.

2. Filosofias de projeto de interfaces

Durante as duas últimas décadas foram desenvolvidas várias filosofias de construção de interfaces digitais para salas de controle de plantas industriais. A seguir são descritas as três principais filosofias para projeto de IHSs digitais.

2.1. Interfaces orientadas à tarefa

As interfaces orientadas a tarefa são telas projetadas especificamente para dar suporte ao operador no gerenciamento de uma ocorrência operacional antecipada ou de um acidente. Por exemplo, são telas para realizar a verificação inicial e se obter uma visão geral do estado do processo em situações específicas de emergência, ou telas para realizar procedimentos de emergência.

2.2. Interfaces ecológicas

As interfaces ecológicas tem por objetivo fazer com que as relações restritivas e de complexidade do ambiente de trabalho sejam evidentes perceptualmente, por meio de, por exemplo, sinais visuais e auditivos, para o usuário. Em contrapartida, isto permite que mais recursos cognitivos sejam disponíveis para realização de tarefas de maior demanda cognitiva, tais como, resolução de problemas e tomada de decisão. Assim, o objetivo do projeto de uma interface ecológica é melhorar o desempenho do operador e a confiabilidade do sistema como um todo para eventos antecipados e não antecipados de um sistema complexo. Ela tenta utilizar o poder das capacidades humanas de percepção e ação e dar sustentação às tarefas intelectuais dos operadores em situações "além dos procedimentos". As informações a serem apresentadas nas telas são baseadas na Análise do Domínio do Trabalho do processo, permitindo que o mesmo seja visto em diferentes níveis de abstração e decomposição. Como consequência, o conteúdo da informação presente nas telas pode ser diferente do projeto tradicional de interfaces e algumas informações podem ser apresentadas em níveis de abstração alto, por exemplo, fluxos de energia ou massa. Existe uma clara tentativa de apresentar a informação de maneira que a situação global do processo seja mais facilmente entendida pelos operadores que assim poderiam agir de forma mais efetiva sobre o processo. Interfaces ecológicas têm sido desenvolvidas para uma variedade de aplicações, tais como, controle de processo (por exemplo, plantas nucleares de potência, plantas petroquímicas), aviação e medicina.

2.3. Interfaces orientadas à função

Para construção de uma interface orientada a função é feita uma análise das funções da

planta que é usada como estrutura para os requisitos de informação, apresentação da informação e organização das telas da interface homem-computador (interface homem-sistema). O estado das funções da planta é representado através de telas e a hierarquia funcional resultante da análise é usada para estruturar todos os elementos principais da IHS: telas de operação, telas de monitoração, procedimentos computadorizados e alarmes.

3. O laboratório de interfaces homem-sistema

O simulador do LABIHS é formado por um conjunto de equipamentos e programas de computadores que simulam os processos de uma usina nuclear com 930 MWe de potência, formando um simulador compacto de uma planta nuclear PWR (*Pressurized Water Reactor*) e constituindo uma sala de controle avançada com várias interfaces gráficas representando os vários sistemas que compõem o reator nuclear. A figura 1 apresenta os componentes básicos do LABIHS.

O grupo de operação da sala de controle do simulador é constituído por três operadores: o operador do reator - OR (ou do circuito primário), o operador da turbina - OT (ou do circuito secundário) e o supervisor de turno - ST. Cada operador controla e monitora os sistemas sob sua responsabilidade através de três telas coloridas de computador do tipo LCD, associadas com um teclado e um mouse. Em uma das paredes da sala de controle também está instalado um telão, que apresenta o funcionamento geral da planta nuclear e dos sistemas. Este telão tem como finalidade propiciar ao operador uma visão integrada do funcionamento do reator. A figura 1 apresenta uma visão da sala de controle avançada do LABIHS.



Figura 1. Sala de controle do simulador do LABIHS.

Em uma sala anexa à sala de operação atua o instrutor, que através de software específicos, implementados em uma workstation HP, programa os eventos que serão simulados para o grupo de operação. A figura 2 apresenta a tela principal de atuação do instrutor.

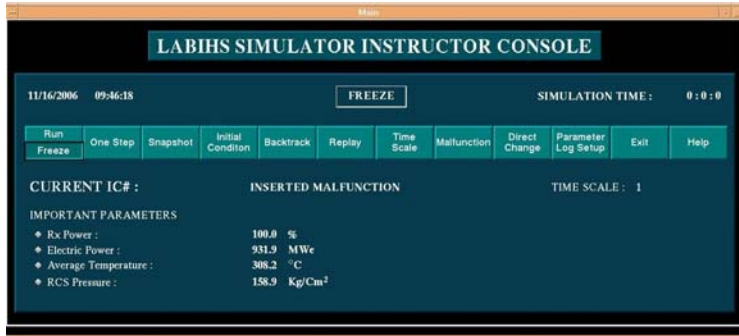


Figura 2. Tela principal de atuação do instrutor.

4. Desenvolvimento de interfaces homem-sistema no labihs

O projeto de interfaces de controle/operação no LABIHS é feito através do software HSI Builder (2002), que é uma ferramenta dedicada para construções telas de operação de plantas industriais. Neste software foram construídos diversos protótipos básicos de componentes utilizados em plantas industriais que servem como base para a construção de novas interfaces de operação. O software foi desenvolvido sobre o software ILOG (2000), para plataformas UNIX. A figura 3 apresenta a tela principal do HSI Builder para construção das telas de operação do simulador.

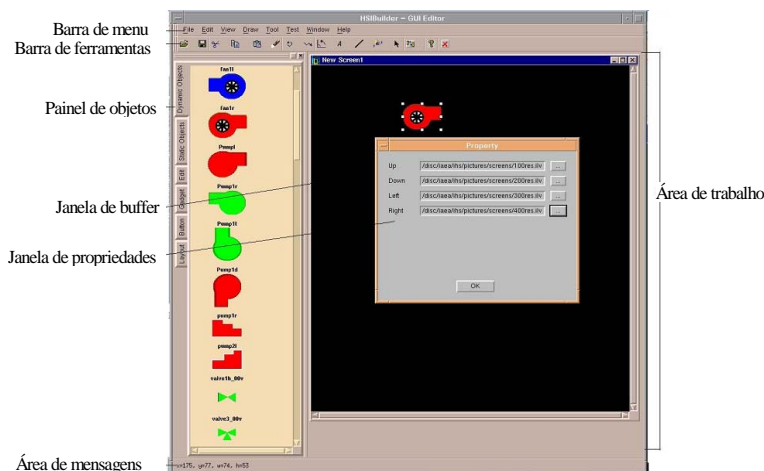


Figura 3. Tela principal do HSI Builder.

5. A nova tela de visão geral do simulador do labihs

A tela de visão geral de uma planta industrial tem como principais objetivos: apresentar ao operador os principais componentes da planta e minimizar os processos cognitivos necessários a integração da informação entre as diversas telas de operação pelos operadores (minimizando os problemas do efeito *keyhole*).

A tela original de visão geral da planta é apresentada na figura 4. A avaliação desta tela utilizando normas e recomendações dos guias de projeto de interface homem-sistema NUREG-0700 (2002) e de engenharia de fatores humanos NUREG-0800 (2004) e NUREG-0711 (2004), que definem o que e como deve ser apresentada a informação para os operadores de uma sala de controle, mostrou diversos problemas relacionados aos requisitos de ergonomia e engenharia de fatores humanos (CARVALHO et al., 2007).

Uma nova tela de visão geral da planta foi projetada com a mesma filosofia de construção usada na tela original: a abordagem orientada a função. A nova tela de visão geral desenvolvida é apresentada na figura 5. No projeto desta nova tela procurou-se atender alguns requisitos de projeto citados por estes guias bem como recomendações de especialistas da planta, dentre os quais podemos citar:

- Cor de *background* da tela (preta → cinza);
- Cores diferentes das pernas quentes e frias do primário (branca → vermelha e azul);
- Cores diferentes das pernas quentes e frias do secundário (branca → laranja e azul);
- Maior detalhamento dos circuitos primário e secundário;
- Representação do circuito terciário;
- Representação da contenção do reator e dos principais componentes de seu interior;
- Representação do balanço de entrada e saída água da contenção do reator;
- Representação dos principais sistemas da planta.

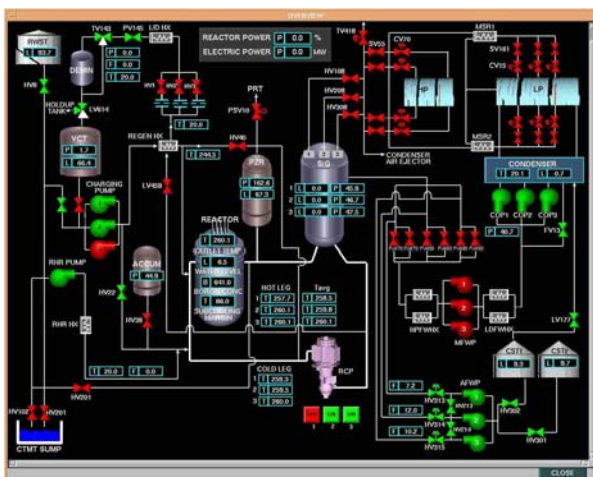


Figura 4. Tela original de visão geral da planta.

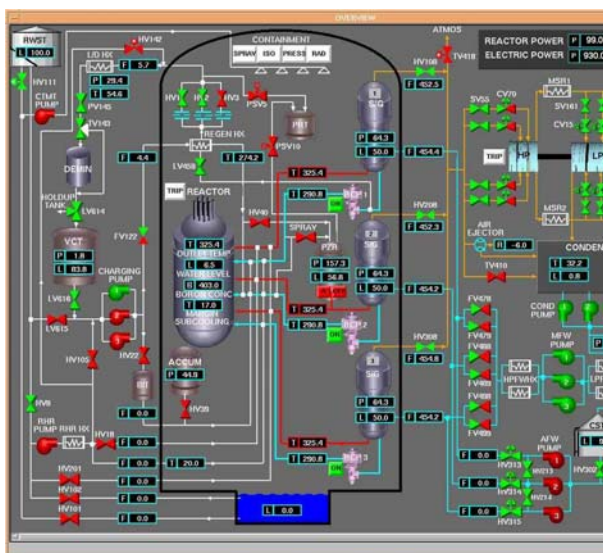


Figura 5. Nova tela de visão geral da planta.

6. Avaliação de interfaces homem-sistema

A avaliação de interfaces no simulador do LABIHS é feita, principalmente, através da análise de desempenho dos operadores do simulador para lidar com condições/situações de operação normal, de alarme(s) e em emergência. Na avaliação de novas telas de operação nós podemos usar, por exemplo, o desempenho do grupo de operação para lidar com um acidente simulado na planta. Para realizar a avaliação de telas de operação o laboratório possui sistema de gravação de vídeo e áudio para gravar as ações e comunicações dos operadores. Adicionalmente, as ações dos operadores nas telas de operação (clicks de mouse) são automaticamente gravados pelo

simulador em um arquivo de *log*. O arquivo de *log* registra as ações dos operadores para controlar a planta através das interfaces de operação e pode ser usado para quantificar o número de telas visitadas, o número de controles atuados e o tempo gasto para realizar estas operações. O objetivo desta fase é obter detalhes da interação homem/sistema, navegação, tarefas realizadas corretamente, tempo gasto em cada tarefa, erros cometidos e, além disso, verificar se os operadores receberam a resposta correta da interface de operação para cada ação realizada.

6.1. Resultados da avaliação da interface

Para controlar um sistema extremamente complexo como uma planta nuclear é necessário seguir os procedimentos de operação da planta. Em condições normais os operadores controlam a planta através dos procedimentos de operação dos sistemas (POs) e dos procedimentos de operação geral (POGs), a fim de levar a planta para a condição de operação desejada. Quando ocorre um alarme os operadores monitoram os sinais necessários e manipulam os dispositivos apropriados através dos procedimentos de recuperação de alarme (PRAs). Quando ocorrem múltiplos alarmes, os operadores atuam através dos procedimentos de operação anormal (POAs). Se o reator for desligado (*trip*) ou ocorrer a atuação do sistema de injeção de segurança (IS) devido a uma condição anormal, os operadores monitoram os sinais necessários e manipulam os dispositivos necessários de modo a levar a planta para uma condição segura, isto é, levar a planta para o modo de operação de espera a quente (EAQ), através dos procedimentos de operação em emergências (POEs). A figura 6 apresenta os modos de operação e os correspondentes procedimentos de operação para plantas nucleares de potência.

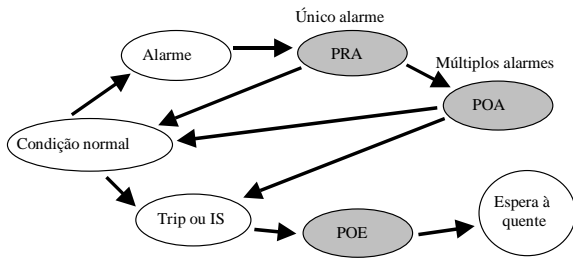


Figura 6. Procedimentos de operação de uma planta nuclear de potência em condições de alarme(s) e emergência.

Uma avaliação preliminar da nova tela de visão geral foi feita baseada na informação apresentada na tela para os operadores para realizar os passos do procedimento de emergência E-0. A avaliação da nova tela foi comparada com a da tela de referência (a tela anterior).

Os procedimentos de operação de emergência definem as ações dos operadores durante situações de emergência, tais como, acidente com perda de refrigerante (ACPR) ou ruptura em tubo de gerador de vapor (RTGV). Se o reator for desligado (trip) ou o sistema de injeção de segurança (IS) for atuado os operadores devem operar a planta de acordo com o procedimento E-0. O procedimento E-1 é usado para o ACPR e os procedimentos E-2 e E-3 são usados para o RTGV.

O POE consiste de expressões do tipo “*If-then-else*” e os tipos de expressão são classificados em quatro categorias. O primeiro tipo são expressões que requerem verificação de valores ou estado de dispositivos. O segundo tipo são expressões de controle que necessitam manipulação de dispositivos tais como válvulas. O terceiro tipo são expressões ambíguas que consistem de informações vagas e ambíguas tais como “aumentar”, “diminuir”, “manter”. O último tipo são expressões que necessitam de dados complementares. A tabela 1 apresenta os dois primeiros passos do procedimento E-0.

Tabela 1. Passos iniciais do procedimento E-0.

Passo	Ação/Resposta Esperada	Resposta não Obtida
Nota Passos 1 a 4 são passos de AÇÃO IMEDIATA		
1	Confirme o desarme do reator: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Luz de desarme do reator →ACESSA ▪ Indicadores de posição das 	Desarme o reator manualmente. Se o reator não desarmar, então, passe para o procedimento RESPOSTA A GERAÇÃO DE POTÊNCIA/ATWS.

	barras → em ZERO <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fluxo de nêutrons →DIMINUINDO 	
2	Confirme o desarme da turbina <ul style="list-style-type: none"> ▪ Todas as válvulas de desligamento da turbina →FECHADAS 	Desarme manualmente a turbina.
⋮	⋮	⋮

A tabela 2 apresenta as informações apresentadas na nova tela de visão geral e de referência (tela anterior) para realizar os passos do procedimento de emergência E-0. Tendo em vista que os operadores não podem realizar ações de controle diretamente nessas telas foi usada na avaliação somente a informação (resposta) do simulador apresentada na tela. Os resultados mostraram uma redução substancial na falta de informação para os operadores na nova tela de visão geral (falta de informação em 11 dos 36 passos) quando comparado com a tela de visão geral anterior (falta de informação em 21 dos 36 passos).

Apesar dos passos do procedimento de 31 a 33 serem passos de ações de controle eles foram considerados na avaliação, porque a tela de visão geral deve apresentar informação de realimentação de importantes ações realizadas pelos operadores. Esta informação irá contribuir para minimizar a integração de informação entre telas de operação pelos operadores (efeito *keyhole*), isto é, todo o grupo de operação irá ter uma realimentação sobre o estado atual da planta. Por outro lado, no projeto de uma tela devem ser tomados cuidados adicionais para evitar efeitos concentração demasiada da informação na tela.

Tabela 2. Informação das telas de visão geral para os passos do procedimento de emergência E-0.

Passo	Ação/Resposta esperada	Tela de visão geral	
		Anterior	Nova
1	Confirme o desligamento do reator	Não	Sim
2	Confirme o desarme da turbina	Sim	Sim
3	Confirme fornecimento de alimentação AC para os barramentos	Não	Não
4	Verifique se a IS está atuada	Não	Não
5	Confirme o isolamento da água de alimentação	Sim	Sim

Passo	Ação/Resposta esperada	Tela de visão geral	
		Anterior	Nova
6	Confirme o isolamento da contenção - fase A	Não	Sim
7	Confirme se as bombas de água de alimentação auxiliar estão operando	Sim	Sim
8	Confirme se as bombas de injeção de segurança estão operando	Sim	Sim
9	Confirme se as bombas de remoção de calor residual estão operando	Sim	Sim
10	Confirme se as bombas de água dos componentes estão operando	Não	Não
11	Confirme se as bombas de água de serviço estão operando	Não	Sim
12	Confirme se os ventiladores de refrigeração da contenção estão operando	Não	Não
13	Verifique se as linhas de alimentação de vapor principal devem ser isoladas	Sim	Sim
14	Confirme se o spray da contenção não é necessário	Não	Não
15	Confirme o fluxo de injeção de segurança	Não	Sim
16	Confirme o fluxo de água de alimentação total	Sim	Sim
17	Confirme o alinhamento da válvula de água de alimentação auxiliar	Sim	Sim
18	Confirme o alinhamento das válvulas de injeção de segurança	Sim	Sim
19	Verifique as temperaturas do sistema de refrigeração do reator	Sim	Sim
20	Verifique se as válvulas de alívio do pressurizador e de spray estão fechadas	Não	Não
21	Verifique se as bombas de refrigeração do reator devem ser paradas	Sim	Sim
22	Verifique se o geradores de vapor não estão falhos	Não	Sim
23	Verifique se os tubos dos geradores de vapor não estão rompidos	Não	Sim
24	Verifique se o sistema de refrigeração do reator está intacto	Não	Sim
25	Verifique se a injeção de segurança deve ser terminada	Sim	Sim
26	Inicie a monitoração das árvores de estado das funções críticas de segurança	Não	Não
27	Verifique os níveis dos geradores de vapor	Sim	Sim
28	Verifique a radiação no secundário	Não	Sim
29	Verifique a radiação no prédio da contenção	Não	Sim
30	Verifique a temperatura e pressão no tanque de alívio do pressurizador	Não	Não
31	Rearme o sinal de injeção de segurança	Não	Não
32	Rearme os sinais de isolamento da contenção – fase A e fase B	Não	Sim
33	Estabeleça o ar de instrumentos para a contenção	Não	Não
34	Verifique se as bombas de remoção de calor residual podem ser paradas	Sim	Sim

35	Verifique se o gerador diesel deve ser parado	Não	Não
36	Retorne ao passo 19 (temperatura do sistema de refrigeração do reator)	---	---

7. Conclusão

Uma nova tela de visão geral da planta nuclear de potência do simulador do LABIHS foi desenvolvida com filosofia orientada a função levando em consideração normas e recomendações de engenharia e de fatores humanos. Esta nova tela foi avaliada usando o POE E-0. Os resultados mostraram uma melhora substancial na nova tela quando comparada com a anterior.

A avaliação da tela de visão geral será estendida para a análise das atividades dos operadores em condições normais e anormais de operação da planta usando a infra-estrutura do laboratório.

Futuramente, serão desenvolvidas e avaliadas para o simulador do LABIHS telas de visão geral baseadas nas filosofia ecológica e orientada a tarefa.

8 Referências

- BALBO, S., DRAHEIM, D., e LUTTEROTH, C., 2005, "Appropriateness of User Interfaces to Tasks", *TAMODIA 2005*, pp. 26–27, Gdansk & Poland.
- CARVALHO, P. V. R., SANTOS, I., GOMES, J. e BORGES M. Human factors approach for evaluation and redesign of human–system interfaces of a nuclear power plant simulator. *Displays – Article in press*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.displa.2007.08.010>
- HSIL Simulator - Human System Interface Laboratory Simulator, 2002, *HSI Builder User's Manual*, Doc. ID: IEN-HSIL-DOC-06-APPENDIX 2, Instituto de Engenharia Nuclear, Rio de Janeiro & Brazil (2002).
- ILOG, 2000, *ILOG Views Studio 4.0 – User's Manual*.
- LIN, Y., 2000, "Experimental study based on eye gaze measurement for computer interface", Technical Report AEDL-2000-L7Z01, Advanced Engineering Design Laboratory, Department of Mechanical Engineering, University of Saskatchewan, Saskatchewan & Canada.
- NUREG-0700, *Human-System Interface Design Review Guidelines*, U.S. Nuclear Regulatory Commission Research, Washington & USA.

- NUREG-0711, 2004, *Human Factors Engineering Program Review Model*, U.S. Nuclear Regulatory Commission Research, Washington, Estados Unidos.
- NUREG-0800, 2004, *Standard Review Plan, Chapter 18 Human Factors Engineering*, U.S. Nuclear Regulatory Commission Research, Washington, Estados Unidos.
- O'HARA, J., STUBLER, W., e NASTA, K., 1997, "Human-system interfaces management: Effects on operator performance and issue identification", BNL Report W6546-1-1-7/97, Upton, Brookhaven National Laboratory, New York & USA.
- STUBLER, W., HIGGINS, J., e O'HARA, J., 1996, *Evaluation of the potential safety-significance of hybrid human-system interface topics*, BNL Report J6012-T2-6/96, Upton, Brookhaven National Laboratory, Nova York, Estados Unidos.
- VICENTE, K. J., e RASMUSSEN, J., 1992, "Ecological interface design: theoretical foundations", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 22 (4), pp. 589–606.