



INSTITUTO DE ENGENHARIA NUCLEAR

RT-IEN- 05/2008

**Avaliação de Ferramentas Computacionais Utilizadas na
Simulação do Processo de Retirada dos Trabalhadores, em
Situação de Emergência**

por

Isaac José Antonio Luquetti dos Santos
Rachel Cardoso Chicralla
Cláudio Henrique dos Santos Grecco

Dezembro/2008

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.



Título: Avaliação de Ferramentas Computacionais Utilizadas na Simulação do Processo de Retirada dos Trabalhadores, em Situação de Emergência				
Autor(es): Isaac José Antonio Luquetti dos Santos, Rachel Cardoso Chicralla, Cláudio Henrique dos Santos Grecco				e-mail: luquetti@ien.gov.br
Identificação: RT-IEN-05/2008	Nº de páginas: 13	Tipo de Divulgação: Irrestrita (x) Restrita ()	Divulgar para: IEN	Localização:
Publicação externa associada (congresso/periódico):				
Palavras chave: Confiabilidade humana; Ergonomia; Processo de retirada emergência; Simulação.				
Resumo: Uma instalação industrial apresenta vários riscos em decorrência do tipo de processo a ser controlado, químico, termodinâmico, nuclear, e dos perigos associados a esses processos, fogo, explosão, vazamento radioativo e de gás. O plano de emergência constitui um conjunto de regras e procedimentos destinados a evitar ou minimizar os efeitos de acidentes, catástrofes em determinadas áreas, possibilitando o gerenciamento de forma otimizada dos recursos disponíveis. A identificação das melhores rotas de fugas e a estimativa do tempo necessário para a retirada dos trabalhadores do local de risco são itens importantes que devem ser considerados na confecção de um bom plano de retirada de emergência. Este relatório tem como objetivo apresentar a metodologia e os resultados do processo de avaliação de três ferramentas computacionais de simulação, utilizadas na determinação do tempo necessário para retirada dos trabalhadores do local de trabalho, em situações de emergência.				
Abstract: An industrial installation presents some risks due to the process to be controlled, such as chemical, thermodynamic, nuclear, and the danger associates to these processes, fire, explosion, radiation and gas escape. The emergency plan is a set of rules and procedures to prevent or to minimize the effect of accidents, catastrophes in determined areas, making possible the optimized management of the available resources. The identification of the best routes of escapes and the quantification of the necessary time for the evacuation of the workers of the risk place are important item that they must be considered in the confection of a good plan of emergency evacuation. The objective of this paper is to present the methodology and the results of the evaluation process of three simulation computational tools, used in the definition of the time for the workers evacuation of the workplace, in emergency situations.				
Emissão Data: 01/12/2008		Nome	Rubrica	Data
	Elaboração:	Isaac José Antonio Luquetti dos Santos, Cláudio Henrique dos Santos Grecco		01 / 12 / 2008
Divisão: DICH	Revisão:	Isaac José Antonio Luquetti dos Santos		01 / 12 / 2008
Serviço: SEESC	Aprovação :	Mauro Vitor de Oliveira		01 / 12 / 2008
Instituto de Engenharia Nuclear: Via 5 s/n, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, CEP 21945-970, CP 68.550, Rio de Janeiro – RJ - Brasil . Tel.: 00 55 21 2209-8080 Internet: www.ien.gov.br				

1. INTRODUÇÃO

O conceito de erro humano não deve ter conotação de culpa e punição, devendo ser tratado como uma consequência natural, que emerge devido a não continuidade entre a capacidade humana e a demanda do sistema. Mais que procurar culpar ou punir um trabalhador quando um acidente ocorre, os gerentes devem procurar as causas primordiais na situação de trabalho. A maioria dos erros humanos é uma consequência da situação de trabalho e não da falta de responsabilidade do trabalhador. Envolvendo diretamente os trabalhadores nestes esforços é a melhor maneira de obter melhorias no seu desempenho, com implicações significativas na melhoria da segurança, qualidade e produtividade em todas as indústrias de processo. A antecipação e o controle de impactos potencialmente adversos de ações humanas ou interações entre o ser humano e o sistema são partes integrais da segurança do processo, onde os fatores que influenciam no desempenho humano devem ser reconhecidos e administrados.

As indústrias de processo contínuo, tais como, petróleo, química, nuclear, demonstram em suas principais estratégias grande preocupação com o aumento da confiabilidade dos processos de forma a otimizar a prevenção e controle de acidentes. Na área nuclear, a partir do acidente de TMI (Three Mile Island), optou-se pela inclusão de uma série de requisitos relacionados aos aspectos de fatores humanos no projeto, operação e nos sistemas de gerenciamento de riscos das usinas nucleares, que só levavam em consideração as falhas dos sistemas técnicos. Posteriormente, verificou-se a necessidade de estudos de métodos para análise da confiabilidade humana, denominados de primeira geração, que procurasse determinar o impacto do erro humano e sua possível recuperação na operação do sistema. Alguns métodos de análise de confiabilidade humana são fortemente influenciados pelo enfoque de análise probabilística de segurança (APS) e dependem de dados quantitativos para a avaliação das ações humanas. Geralmente são quatro as fontes de onde são obtidos esses dados: estimados de especialistas, de simuladores, experimentos e experiência operacional (Luquetti et al., 2005).

Reason (1990) mostra que a ligação contexto do trabalho versus acidente é complexa e observa que muitos acidentes ocorreram em situações pouco comuns, ou seja, em

circunstâncias especiais que não representariam mais do que 25% do tempo de trabalho. Essas circunstâncias se produziriam em consequência de incidentes operatórios, respostas não previstas do sistema ou alterações nas configurações de entrada de dados (Embrey et al., 1984). A importância dos estudos da ergonomia na avaliação do desempenho humano e na tomada de decisões durante situações de emergência foi reconhecida através de diversas publicações (Bellamy, 1994). Entretanto, poucas iniciativas foram realizadas para analisar, avaliar e integrar os fatores que afetam o desempenho humano, em situações de emergência, no gerenciamento de risco dessas instalações.

Este relatório tem como objetivo apresentar a metodologia e os resultados do processo de avaliação de três ferramentas computacionais de simulação utilizadas na determinação do tempo de retirada das pessoas do local de trabalho, em situações de emergência

2. PROCESSO DE RETIRADA DOS TRABALHADORES DO LOCAL DE TRABALHO, EM SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA

Acidente é um evento não desejado que pode resultar em danos físicos, lesões, mortes, impactos ao meio ambiente, prejuízos materiais e comprometimento da operação de um sistema e resultar em consequências que o caracterize como crítico ou catastrófico. Considera-se como emergência, toda situação anormal que implique em uma situação de perturbação parcial ou total, a um determinado sistema. Emergências envolvem três conjuntos de ações, separadas pelo instante de tempo e denominadas: prevenção, tratamento das emergências e análise. A prevenção constitui o conjunto de medidas executadas com o objetivo de evitar ou reduzir os efeitos de uma emergência. O tratamento de um emergência constitui o conjunto de medidas tomadas para minimizar as consequências da emergência, no momento imediatamente posterior a sua ocorrência. A análise está relacionada ao trabalho realizado para determinar as causas de uma emergência.

O plano de emergência constitui um conjunto de regras e procedimentos destinados a evitar ou minimizar os efeitos de acidentes, catástrofes em determinadas áreas,

possibilitando o gerenciamento de forma otimizada dos recursos disponíveis. O plano deve contemplar os seguintes aspectos: descrição das instalações envolvidas; cenários de acidentes considerados; área de abrangência e limitações do plano; estrutura organizacional, contemplando as atribuições e responsabilidades dos envolvidos; ações de resposta às situações de emergência compatíveis com os cenários acidentais considerados, levando em consideração o processo de retirada de emergência; recursos humanos e materiais; cronogramas de exercícios teóricos e práticos; plantas de localização da instalação, incluindo a vizinhança sob risco; listas de acionamento (internas e externas); sistemas de comunicação e alternativas de energia elétrica.

Um dos itens principais de um plano de emergência é o plano de retirada (evacuação), que envolve a retirada total ou parcial dos trabalhadores do local de trabalho. O plano é constituído das seguintes etapas:

- identificação das saídas;
- definição das possíveis rotas de fugas;
- planejamento da retirada: ordem de saída, escolha do responsável pela retirada dos trabalhadores de um determinado setor de trabalho;
- identificação dos pontos críticos das possíveis rotas de fugas;
- seleção do local de concentração

Durante uma situação de emergência, um dos focos da tomada de decisão está na maximização do tempo disponível para a notificação de uma emergência. Os responsáveis tendem a protelar a decisão de evacuação para o último momento, devido ao receio de provocar o pânico generalizado, de gerar um falso alarme e desencadear uma evacuação não necessária. Nesta situação, as decisões são realizadas em condições de pressão temporal e estresse, sendo fundamental uma decisão correta para a preservação da vida das pessoas e minimizar os efeitos da emergência. Neste contexto, as seguintes decisões devem ser consideradas: nada a fazer, ficar no local de trabalho ou iniciar o processo de retirada. As decisões são baseadas no conhecimento pessoal prévio, no conhecimento formal prévio e no conhecimento do contexto atual. No conhecimento pessoal prévio prevalece o

conhecimento acumulado ao longo dos anos, através das experiências anteriores e dos treinamentos. No conhecimento formal prévio prevalece o conhecimento contido em documentos e planos de emergência. O conhecimento do contexto atual se caracteriza pelo conhecimento adquirido durante o tratamento da emergência, pelo dinamismo da situação, ou seja, pela própria evolução da emergência (Hollnagel, 1998).

Uma instalação industrial apresenta vários riscos em decorrência do tipo de processo a ser controlado, químico, termodinâmico, nuclear, e dos perigos associados a esses processos, fogo, explosão, vazamento radioativo e de gás. A identificação das melhores rotas de fugas e a estimativa do tempo necessário para a retirada dos trabalhadores do local de risco são itens importantes que devem ser considerados na confecção de um bom plano de retirada de emergência. O alarme para início do processo de retirada de emergência indica que os trabalhadores devem paralisar o trabalho; colocar o processo em condições de segurança; manter o local de trabalho seguro, sem obstruções; se deslocar para o refúgio seguro temporário; registrar seus nomes e permanecer no refúgio temporário. A severidade do evento iniciador de uma emergência e os fatores que afetam o desempenho humano influenciam o sucesso do processo de retirada dos trabalhadores. Portanto, para que a retirada de emergência dos trabalhadores alcance o seu objetivo principal, ou seja, preservar a vida dos trabalhadores, os seguintes itens devem ser considerados: antecipação da necessidade de iniciar o processo de retirada, avaliação correta da melhor rota de fuga, fácil acesso a rota de fuga, deslocamento eficiente até o refúgio temporário. Os aspectos principais que influenciam o sucesso de um plano de retirada de emergência são a severidade do evento iniciador, os tipos de erros humanos, rápido reconhecimento do perigo, avaliação precisa das melhores rotas de fugas, rápido acesso as rotas de fugas, acesso seguro ao refúgio temporário. O tempo total de retirada de emergência (T_{re}) está associado com o tempo necessário para o responsável pelo processo de evacuação ter consciência da situação (T_{cs}), tempo de avaliação das possíveis rotas de fugas (T_{ar}), tempo acesso a rota de fuga (T_{af}), tempo acesso refúgio temporário (T_{rt}). A equação 1 determina o tempo total de retirada de emergência (T_{re}).

$$T_{re} = T_{cs} + T_{ar} + T_{af} + T_{rt} \quad (1)$$

As etapas correspondentes aos tempos Tcs, Tar e Taf são as fases em que os trabalhadores têm alta exposição aos efeitos do evento iniciador (fogo, fumaça, radiação) e alto nível de estresse psicológico. A figura 1 apresenta a representação gráfica das diversas fases do processo de retirada de emergência.

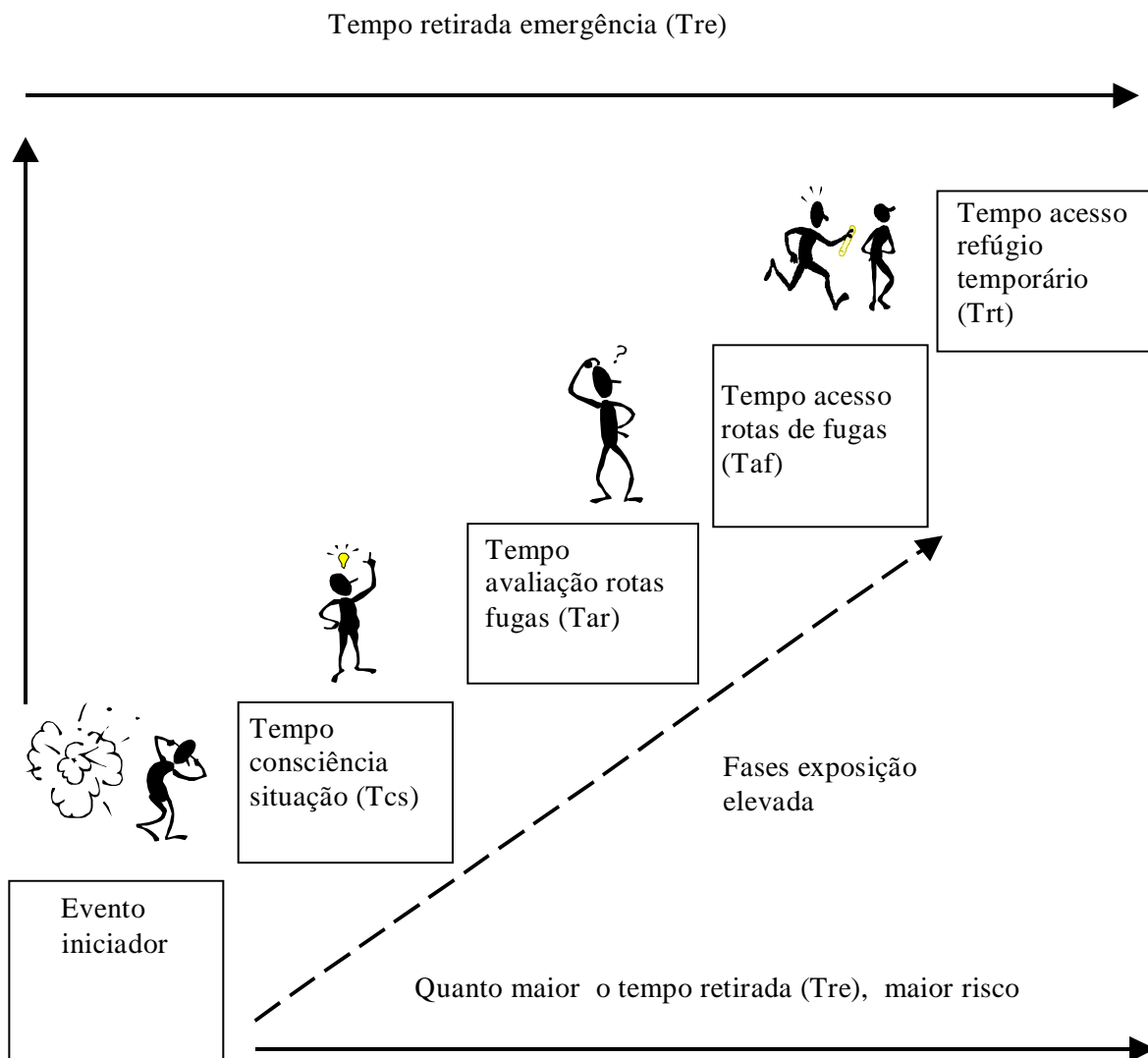


Figura 1: Representação gráfica das fases do processo de retirada de emergência.

3. FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS UTILIZADAS NA SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE RETIRADA DE EMERGÊNCIA

3.1 O Software Fire Risk Management

Este software avalia a segurança relacionada com o projeto de um edifício industrial, comercial ou residencial, considerando o fator incêndio e o risco associado as perdas de vida humana (RPV). O RPV, definido como sendo o número esperado de mortes por ano, é uma medida quantitativa associada ao risco para o ser humano em função da probabilidade de ocorrência de incêndios em um edifício. O software utiliza dados estatísticos para quantificar a probabilidade de ocorrência de cenários de incêndios e modelos matemáticos para prever a propagação do incêndio e a retirada das pessoas do edifício.

O risco associado as perdas de vida humana em um determinado cenário está relacionado com a velocidade de propagação do fogo e o tempo de retirada dos trabalhadores do local de trabalho. O dano causado a vida humana em um determinado cenário multiplicado pela probabilidade de ocorrência daquele cenário é igual ao risco associado as perdas da vida humana. O risco total esperado é a soma de todos os riscos em função dos prováveis cenários de ocorrência de incêndios em um determinado prédio. O risco total esperado é função do tipo de fogo, propagação do fogo, deslocamento da fumaça, comportamento humano e da existência de equipamentos de detecção e combate ao fogo. A probabilidade de uma pessoa perceber um determinado incêndio e iniciar o processo de retirada depende do processo humano de percepção, interpretação e ação.

A equação (2) mostra que:

$$P[\text{Resp}]_i = P[\text{Per}]_i * P[\text{Int}]_i * P[\text{Ini}]_i \quad (2)$$

Onde:

$P[\text{Resp}]_i$ = probabilidade de uma pessoa responder e iniciar o processo de retirada em um determinado estado i do incêndio,

$P[\text{Per}]_i$ = Probabilidade de uma pessoa perceber o fogo em determinado estado i do incêndio,

$P[\text{Int}]_i$ = Probabilidade de uma pessoa interpretar este sinal como sendo um incêndio em um determinado instante i do incêndio,

$P[\text{Ini}]_i$ = Probabilidade de uma pessoa iniciar o processo de retirada incêndio em um determinado instante i do incêndio,

O processo humano de percepção e interpretação é facilitado através das características sensoriais humana (olfato, etc), avisos e alertas oriundos da brigada de incêndio e de outros ocupantes do edifício, detetores de fumaça e sistema de alarmes. O software *Fire Risk Management* realiza simulações do tempo para retirada de pessoas, modelando as dimensões da construção, número de andares, número de portas de emergências e algumas características da população, tais como, sexo e faixa etária.

3.2 O Software Emergency Evacuation Net

O software *Emergency Evacuation Net* modela o processo de retirada das pessoas em um prédio, auditório, escolas, desde que a estrutura do local possa ser construída através de redes formada por nós e arcos. Os nós representam componentes da construção, tais como, escadas, salas e quartos. Os arcos definem os corredores, acessos, ou seja, passagem entre os componentes da construção. O software não inclui aspectos do comportamento humano e requer informações relacionadas com o número e a posição inicial dos ocupantes do edifício. O software fornece os seguintes resultados: número de pessoas retiradas em determinado período de tempo, número de pessoas não retiradas em um determinado período de tempo e o tempo necessário para a retirada das pessoas em segurança.

3.3 O Software Pathfinder

Este software simula o processo de retirada das pessoas, utilizando uma interface gráfica e uma ferramenta de visualização 3D para execução e análise dos resultados. Os ocupantes, com o respectivo deslocamento, são modelados independentemente e vários parâmetros podem ser considerados durante a simulação, tais como: dimensão e velocidade dos ocupantes, direção da saída, colisão, etc. O software também possibilita a modelagem física do prédio, do número de andares, salas, portas, escadas e a inclusão de obstruções nas rotas de saída. O software fornece os seguintes resultados: número de pessoas retiradas e o tempo necessário para a retirada das pessoas em segurança.

4. METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO UTILIZADAS NO PROCESSO DE RETIRADA DOS TRABALHADORES DO LOCAL DE TRABALHO

A seguinte metodologia foi utilizada:

Fase 1: Estudo do software *Fire Risk Management*;

Fase 2: estudo do software *Emergency Evacuatio Net*;

Fase 3: estudo do software *Pathfinder*;

Fase 4: modelagem das dependências da DICH/SEESC (Divisão de Instrumentação e Confiabilidade Humana/Serviço de Engenharia de Salas de Controle) utilizando o software *Fire Risk Management*;

Fase 5: modelagem das dependências da DICH/SEESC utilizando o software *Emergency Evacuation Net*;

Fase 6: modelagem das dependências da DICH/SEESC utilizando o software *Pathfinder*;

Fase 7: simulação do processo de retirada de emergência dos trabalhadores da DICH/SEESC e análise dos dados utilizando o software *Fire Risk Management*;

Fase 8: simulação do processo de retirada de emergência dos trabalhadores da DICH/SEESC e análise dos dados utilizando o software *Emergency Evacuation Net*;

Fase 9: simulação do processo de retirada de emergência dos trabalhadores da DICH/SEESC e análise dos dados utilizando o software *Pathfinder*;

Fase 10: treinamento da retirada de emergência dos trabalhadores da DICH/SEESC;

Fase 11: comparação dos resultados.

As seguintes informações foram utilizadas nas simulações e no treinamento da retirada de emergência:

- **Número de pessoas na SEESC (Serviço de Engenharia de Salas de Controle):** 6
- **Procedimento:** parar o trabalho e deslocar até o refúgio temporário (ponto de encontro ao lado prédio DICH)
- **Trajetória:** sala da SEESC (segundo andar da DICH), corredor, escadas, saída porta principal DICH, ponto de encontro (ao lado do prédio da DICH)
- **Software *Fire Risk Management*:** cenário com fumaça no segundo andar e fogo a partir primeiro andar
- **Software *Emergency Evacuation Net*:** cenários sem fogo e sem fumaça, sem obstruções nas rotas de saída
- **Software *Pathfinder*:** cenários sem fogo e sem fumaça, sem obstruções nas rotas de saída

5. RESULTADOS E CONCLUSÕES

A tabela 1 apresenta os resultados obtidos utilizando a metodologia apresentada no item 4.

Tabela 1. Resultados

<i>SOFTWARE</i>	<i>LOCAL</i>	<i>TEMPO RETIRADA(SEG.)</i>
<i>Fire risk management</i>	SEESC	200
<i>Emergency evacuation net</i>	SEESC	70
<i>Pathfinder</i>	SEESC	65
<i>Treinamento simulado</i>	SEESC	77

O plano de retirada de emergência é constituído das seguintes etapas: identificação das saídas; definição das possíveis rotas de fugas; planejamento da retirada (ordem de saída, escolha do responsável pela retirada dos trabalhadores); identificação dos pontos críticos das possíveis rotas de fugas e seleção do local de concentração. A severidade do evento iniciador de uma emergência e os fatores que afetam o desempenho humano influenciam o sucesso do processo de retirada dos trabalhadores. Para preservar a vida dos trabalhadores, os seguintes itens devem ser considerados: antecipação da necessidade de iniciar o processo de retirada, avaliação correta da melhor rota de fuga, fácil acesso a rota de fuga, estimativa do tempo necessário para a retirada dos trabalhadores e deslocamento eficiente até o refúgio temporário. Os dados obtidos possibilitam concluir que os softwares são ferramentas de simulação eficientes para obtenção do tempo necessário para a retirada de emergência dos trabalhadores. O software *fire risk management* comprovou que cenários

de emergência com fogo localizado e fumaça influenciam o desempenho humano durante o processo de retirada de emergência. Esses fatores devem ser considerados no treinamento simulado de emergência. Os softwares forneceram uma base de dados importante a ser utilizada na melhoria do treinamento simulado, na obtenção da probabilidade de ocorrência de erros humanos, na identificação dos fatores que podem afetar o desempenho humano e aumentar o risco de perda de vidas humanas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bellamy, L. J. The Influence of Human Factors Science on Safety in the Offshore Industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 7(4), 370-375, 1994.

Embrey, D. E., Humphreys, P. C., Rosa, E. A., Kirwan, B., e Rea, K. *SLIM-MAUD: an Approach to Assessing Human Error Probabilities Using Structured Expert Judgment*. NY, 1984.

Hollnagel, E. *Cognitive Reliability and Error Analysis Method- CREAM*. Oxford, 1998

Luquetti, I. J. A, Carvalho, P. V. R e Grecco, C. H. Human Reliability Analysis of Control Room Operators. In: *Proceedings of the Rio Pipeline International Conference*, Rio Janeiro, Brazil, 2005

Reason, J. *Human Error*, Cambridge University, 1990.