

A ERGONOMIA NO LICENCIAMENTO DE INSTALAÇÕES NUCLEARES

Isaac José Antonio Luquetti Santos – D.Sc.

luquetti@ien.gov.br

Paulo Victor R. de Carvalho – D.Sc.

paulov@ien.gov.br

Comissão Nacional de Energia Nuclear, Instituto de Engenharia Nuclear – CNEN/IN
Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Resumo: O principal objetivo deste artigo é mostrar como a análise da atividade dos operadores de sala de controle pode ser usada para a melhoria do processo de licenciamento de aspectos de fatores humanos de uma instalação nuclear. O estudo apresenta uma metodologia para avaliação de salas de controle de reatores nucleares, incluindo a análise da atividade de uma situação real ou de referência, ainda não inserida na prática usual de licenciamento no setor nuclear. A partir da análise da atividade dos operadores emergem informações vitais para a segurança do sistema, que não são inteiramente cobertas pelas normas e guidelines de fatores humanos atualmente utilizadas. Estas informações são relacionadas a aspectos de monitoração, resolução de problemas, estratégias de operação, carga de trabalho, enfim, identificando problemas que afetam a segurança da operação e o desempenho dos operadores. O objetivo da metodologia é fornecer subsídios para o setor de licenciamento nuclear, contribuindo para a melhoria da segurança de operação, possibilitando a adequação das salas de controle às exigências do órgão responsável pelo licenciamento e fiscalização nuclear.

Palavras-chaves: Ergonomia, Normalização, Certificação, Avaliação de Produtos

Abstract: *The objective of the study presented in this paper is to propose the operator activity analysis as a support tool to the nuclear licensing. This study presents a methodology to evaluate nuclear power plants control rooms, that includes a series of factors not contemplated by usual licensing practice. The activity analysis approach considers the operation strategies, the interaction operator system, the communication practices, the interaction between operators and support groups. The activity analysis shows vital safety information, not present in human factors standards and guidelines, which operators use to make monitoring more effective, identifying operation strategies, understanding how operators handle with the workload, identifying problems related with the safety and operators performance. This methodology will get essential information, making possible the adequacy of control rooms features to the legal requirements of the regulating agency, assisting the licensing process.*

Key-words: Ergonomics, Standardization, Certification, Product Evaluation

1 Introdução

Este trabalho propõe uma metodologia para avaliação de salas de controle de reatores nucleares, que contempla a análise da atividade dos operadores, que é exemplificada mediante um estudo de caso realizado numa usina nuclear de água leve pressurizada, PWR. O objetivo é mostrar que a análise da atividade dos operadores no ambiente real de trabalho e em cenários de acidentes postulados em simulador, associada com as normas e guias nucleares de fatores humanos, devem ser usadas de forma complementar no processo de licenciamento de uma instalação nuclear. A análise da atividade dos operadores fornece uma série de informações a respeito de processos como monitoração, resolução de problemas, comunicação, tomadas de decisão, que não são acessadas pelas avaliações tradicionais de fatores humanos (MUMAW, R. ET AL., 2001, CARVALHO E VIDAL, 2003, SANTOS E VIDAL, 2003).

Uma instalação nuclear é um local onde o material nuclear (relacionado ao combustível de reatores nucleares) é produzido, processado, reprocessado, utilizado, manuseado ou estocado em quantidades relevantes. Está compreendido nesta definição um reator nuclear de pesquisa, uma usina nuclear que utiliza combustível nuclear para produzir energia elétrica, usina de reprocessamento de combustível nuclear, depósito de materiais nucleares (CNEN-NE 1.04). É importante ressaltar a diferença existente entre as instalações nucleares descritas acima, que envolvem materiais usados no núcleo de reatores nucleares, das instalações radioativas que são as demais instalações que operam com fontes radioativas como hospitais, serviços de medicina nuclear, etc.

Uma sala de controle contém os controles e as instruções necessárias ao controle das condições operacionais do reator e dos sistemas auxiliares, de modo a assegurar o seu funcionamento e desligamento confiável e seguro, em situações normais, anormais e de acidentes (CNEN-NE 1.01). As salas de controle de reatores nucleares contêm sistemas que são monitorados por operadores, controlando um processo nuclear e termodinâmico usado para produzir energia elétrica. Os operadores interagem com a sala de controle através de interfaces e várias estações de monitoração. Essas

interfaces apresentam implicações significativas para a segurança da planta nuclear, pois influenciam na atividade dos operadores, afetam o modo como os operadores recebem informações relacionadas com o status dos principais sistemas e determinam os requisitos necessários para que os operadores entendam e supervisionem os principais parâmetros. As ações realizadas pelos operadores são apoiadas por procedimentos operacionais (situação normal, mudança de estado, emergência), sistemas de alarmes, sistemas de comunicação, sistemas de controle, sistemas de segurança e diagnósticos de falhas. Os operadores também interagem entre si e com a estrutura de apoio, ou seja, com a manutenção, testes, planejamento e com os instrumentistas.

As usinas nucleares são projetadas segundo a filosofia da defesa em profundidade (REASON, 1997) que se baseia na introdução de diversos tipos de barreiras - físicas, funcionais, simbólicas, imateriais (HOLLNAGEL, 2004) que visam prevenir acidentes e minimizar sua ampliação ou consequências, sendo o principal objetivo do projeto evitar a liberação de material radioativo para o meio ambiente. Em sua construção são utilizados materiais e equipamentos de alta qualidade e sua operação deve seguir rigorosamente as especificações técnicas estabelecidas no projeto durante todo o ciclo de vida da planta (a não observância dessas especificações pode levar punições que vão até o desligamento da mesma), fato que é realçado pelo programa de treinamento para os operadores e para os demais grupos de apoio à operação (manutenção, instrumentação, química, engenharia, etc). A verificação correta da aplicação de todos estes requisitos de segurança em todas as etapas do ciclo de vida de uma usina nuclear é feita através do processo de licenciamento nuclear.

O acidente na usina nuclear de Three Miles Island em 1979 chamou atenção a respeito da necessidade da inclusão de aspectos de ergonomia e fatores no licenciamento e na modernização de usinas nucleares, principalmente em relação às interfaces H/M das salas de controle, o que resultou numa série de novos guias e normas emitidos por diversos órgãos reguladores (NUREG 711, NUREG 700). Entretanto, estas normas não incluem a análise da atividade dos operadores, por exemplo, não é considerada a abordagem da atividade futura provável

(DANIELLOU e GARRIGOU, 1988), formulada no âmbito da análise ergonômica do trabalho.

Na próxima seção apresentaremos resumidamente as etapas que devem ser seguidas no processo de licenciamento de instalações nucleares no Brasil

2 O processo de licenciamento de instalações nucleares

A constituição federal de 1988 definiu a distribuição de responsabilidades entre a união, os estados e os municípios, com respeito à proteção da população e as condições ambientais, incluindo o controle das instalações nucleares e dos materiais radioativos. A união é a responsável pelas atividades nucleares relacionadas com a geração nuclear, incluindo o licenciamento nuclear e a segurança nuclear. A Comissão Nacional de Energia Nuclear, CNEN, foi criada em 1956 e é a autarquia do governo federal que regulamenta, licencia, autoriza e fiscaliza o uso da energia nuclear para fins pacíficos no país. A responsabilidade da CNEN inclui o controle da segurança nuclear, proteção radiológica, gerenciamento dos resíduos radioativos, controle dos materiais nucleares, licenciamento das instalações nucleares, inspeções nos reatores nucleares, implementação de acordos e tratados internacionais relacionados com as atividades de segurança nuclear e preparação dos planos de emergência nuclear. O processo de licenciamento de uma instalação nuclear engloba duas etapas: o licenciamento nuclear e o licenciamento ambiental.

2.1 O licenciamento nuclear

O licenciamento nuclear é um processo através do qual o órgão regulador, CNEN, por meio de avaliações e verificações das condições de segurança de uma instalação nuclear, concede, modifica, limita, prorroga, suspende ou revoga uma licença ou autorização de construção ou operação da instalação (CNEN-NE-1.04). O processo de licenciamento tem como objetivo principal garantir a segurança de uma instalação nuclear durante todo seu ciclo de vida (projeto, operação, descomissionamento), visando resguardar a saúde do trabalhador e da população, bem como proteger o meio ambiente da liberação de materiais

radioativos. O licenciamento do projeto de uma instalação nuclear passa por uma revisão dos relatórios de análise e segurança submetidos pela empresa operadora da usina nuclear à Comissão Nacional de Energia Nuclear. Além desses relatórios, a CNEN pode solicitar qualquer outra informação julgada relevante para a análise de segurança. A análise de segurança compreende a revisão do projeto e dos princípios básicos de segurança adotados e o estudo e exame do comportamento previsto do reator em situações normais e de acidentes postulados, durante toda a vida da instalação. As etapas do processo de licenciamento nuclear abrangem basicamente os pontos citados a seguir:

Aprovação do local de construção. Na aceitação do local de construção devem ser levados em consideração as dimensões do local; características físicas locais, tais como, condições meteorológicas, hidrologia e sismologia; densidade populacional da população circunvizinha; vias de acesso rodoviário, ferroviário; distância dos grandes centros populacionais; características turísticas, industriais, residenciais, agricultura. A escolha do local para instalação exige um trabalho preliminar de avaliação, que deve ser apresentado à CNEN para aprovação e que pode ser considerada como a primeira atividade relacionada com a instalação da usina nuclear e seu licenciamento nuclear.

Licença de construção. Antes de ser iniciada a construção no local aprovado, é necessária a obtenção da licença de construção. O requerimento para essa licença deve ser acompanhado do Relatório Preliminar de Análise de Segurança (RPAS), que é o documento básico para avaliação da segurança do projeto. Este relatório apresenta os critérios de projeto, informações preliminares disponíveis sobre o reator proposto, dados sobre o local da construção, situações hipotéticas de acidente e as características de segurança previstas, com a finalidade de impedir a ocorrência de acidentes ou diminuir seus efeitos sobre os operadores, o público e o meio ambiente. Antes de emitir a licença de construção, o órgão licenciador deve confirmar se a empresa requerente cumpriu as disposições legais, as normas pertinentes e se ela é técnica e financeiramente qualificada para executar a construção. A equipe técnica da CNEN realiza uma revisão detalhada do relatório preliminar de análise de

segurança e elabora um outro relatório, no qual se baseia a comissão deliberativa da CNEN para emissão da licença de construção. Durante a construção, com a finalidade de verificar se os trabalhos estão sendo realizados de acordo com os requisitos de segurança, qualidade e dentro das condições da licença concedida, é executado um programa de fiscalização por meio de inspeções, auditorias e análise de relatórios. Esse programa é posteriormente estendido durante a vida útil da instalação.

Autorização para operação inicial. Quando a construção da instalação tiver progredido até o ponto onde estejam disponíveis informações sobre o plano de operação, a empresa requerente deverá apresentar um requerimento para autorização inicial de operação, acompanhado do Relatório Final de Análise de Segurança (RFAS). Este relatório apresenta as informações sobre o projeto, análise de segurança, procedimentos de operação, planos de emergência e de proteção física, projeto detalhado da contenção, projeto do núcleo do reator, elementos combustíveis, sistemas do primário, sistemas do secundário, rejeitos radioativos. Este relatório será revisto, avaliado e, caso aprovado, será concedido uma autorização inicial para operação. Nesta fase, a CNEN licencia os operadores do reator, de acordo com a norma CNEN-NE 1.06. Os testes de partida do reator e a subida de potência são acompanhados pelos inspetores da CNEN.

Autorização para operação permanente. A autorização para operação permanente é concedida após a aprovação dos resultados dos ensaios e verificações finais do funcionamento do reator. Essa autorização para a operação permanente, só pode ser concedida após serem concluídas satisfatoriamente todas as inspeções relativas à proteção radiológica e a segurança nuclear. Essa autorização é limitada para no máximo quarenta anos, estabelece limites e condições para operação, lista os programas que devem ser mantidos durante a operação, tais como, programa de proteção radiológica, programa de proteção física, programa de garantia de qualidade, programa de proteção contra incêndios, programa de monitoração ambiental, programa de treinamento e qualificação, programa de manutenção preventiva, programa de re-treinamento. Estes requisitos estão estabelecidos na norma CNEN-NE 1.14.

Cancelamento da autorização para operação. No final da vida útil da usina nuclear ou quando a empresa proprietária não cumprir com as exigências legais ou quando a análise de segurança comprovar que a operação não é segura, é emitido pelo órgão licenciador o cancelamento da autorização para operação.

No licenciamento nuclear são identificadas duas etapas principais: avaliação da segurança e a fiscalização. A avaliação da segurança tem como objetivo verificar se as propostas da empresa geradora de energia elétrica estão em conformidade com os requisitos de segurança, contidos em normas, documentos nacionais e internacionais, aceitos pelo órgão regulador brasileiro, viabilizando decisões com relação à emissão da licença de construção, autorização para operação inicial e autorização para operação permanente. Este item engloba a análise dos relatórios apresentados pela empresa geradora de energia elétrica, quais sejam, o relatório inicial de análise de segurança e o relatório final de análise de segurança. A norma CNEN-NE 1.26 determina que a partir da emissão da autorização para operação permanente, a operadora deverá conduzir a cada dez anos uma reavaliação da segurança da usina nuclear, investigando as conseqüências da evolução das normas e padrões de segurança, das práticas operacionais, do envelhecimento dos sistemas, componentes, das modificações do projeto, da experiência operacional e do desenvolvimento tecnológico. A reavaliação da segurança deve abranger várias áreas, tais como: qualificação dos equipamentos, incorporação da experiência operacional internacional, procedimentos, planejamento de emergência, impacto ambiental e fatores humanos. Os relatórios de reavaliação da segurança são submetidos ao órgão licenciador, fornecendo subsídios para a ratificação, retificação ou cancelamento da autorização para operação permanente.

A fiscalização complementa a avaliação da segurança. Os principais objetivos da fiscalização são assegurar que o licenciado possui competência adequada para as funções que lhes foram atribuídas; fornecer subsídios para a emissão ou recusa de uma licença ou autorização de operação; verificar se os materiais, os componentes, os sistemas, a operação, os processos, os procedimentos e o desempenho dos operadores estão em conformidade com os requisitos estabelecidos pelo órgão

licenciador ou especificados nas autorizações, licenças ou nas normas; verificar o cumprimento das normas, resoluções e condições de licença aprovadas; verificar se as deficiências e condições anormais, incidentes e acidentes foram relatados, investigados e corrigidos pelo licenciado em tempo hábil; verificar se as medidas de proteção radiológica estão sendo efetivas no controle e proteção dos trabalhadores, do público e do meio ambiente. As responsabilidades do órgão licenciador com relação à fiscalização englobam a verificação da implementação das condições estipuladas na licença e na documentação aceita pelo órgão regulador; a identificação de não conformidades com os requisitos estipulados pelo órgão regulador; a emissão de relatórios; a determinação de ações imediatas para assegurar a conformidade com as normas e regulamentos; a verificação das ações corretivas tomadas pelo licenciado, corrigindo as não conformidades.

2.2 O licenciamento ambiental

O licenciamento ambiental de uma instalação nuclear compreende o atendimento às exigências de órgãos de licenciamento ambiental, como do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), na esfera federal, da Fundação Estadual de Engenharia e Meio ambiente (FEEMA), na esfera estadual e de entidades municipais. O IBAMA procede ao licenciamento ambiental com base no Estudo do Impacto Ambiental (EIA) e no respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), preparado por empresas de consultoria especializadas, contratadas pelo interessado na obtenção da licença. O EIA é uma avaliação de todos os efeitos ambientais relevantes que resultam ou podem vir a resultar da implantação de empreendimentos de grande porte como, por exemplo, uma barragem, uma refinaria ou uma usina nuclear. O RIMA é o documento que reflete as conclusões do estudo do impacto ambiental, traduzindo as informações técnicas para uma linguagem acessível ao público, de forma que se possa entender claramente as vantagens e as desvantagens do projeto e as conseqüências ambientais de sua implantação.

2.3 O capítulo 18 do Relatório Final de Análise de Segurança

O Relatório Final de Análise de Segurança (RFAS), segundo as normas e procedimentos estabelecidos pelo órgão regulador brasileiro, tem seu formato, estrutura e conteúdo referenciado às normas e documentos utilizados e desenvolvidos pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA). Este relatório compreende dezoito capítulos, onde os diversos sistemas da usina são descritos, com ênfase nos aspectos de segurança. O capítulo 1, por exemplo, apresenta uma introdução e descrição geral da instalação, o capítulo 2 apresenta as características gerais da instalação, o capítulo 6 descreve os sistemas de segurança, o capítulo 12 trata da proteção radiológica e o capítulo 18 (o último a ser escrito) é dedicado a engenharia de fatores humanos.

A avaliação do relatório final de análise de segurança é uma atividade multidisciplinar, que engloba as seguintes atividades:

Comparação com uma usina nuclear de referência. A padronização de usinas nucleares facilita o licenciamento nuclear, simplificando o processo. A adoção de uma usina nuclear de referência implica que ela esteja localizada no país do principal fornecedor, esteja licenciada no país de origem e tenha entrado em operação com antecipação suficiente de modo a aproveitar a experiência nos testes pré-operacionais, de partida e de elevação de potência.

Atendimento às normas e regulamentos aplicáveis. O órgão licenciador deve estabelecer e expedir normas, baseadas em regulamentos aplicáveis e em uso em países com larga experiência na operação de usinas nucleares. As normas têm como referência as normas utilizadas pela Agência Internacional de Energia Atômica. Essas normas são elaboradas através de comissões de estudos formadas por representantes de entidades nacionais com interesse na área nuclear e são aplicáveis em todo o território brasileiro. Caso torne-se necessário, o órgão licenciador pode autorizar provisoriamente o uso da correspondente norma internacional.

Utilização de métodos de cálculos e revisão independente. É indispensável o uso de métodos de cálculos e revisão independentes, que possibilitam através de simulações computacionais a análise das condições

normais de operação e das situações de acidentes.

Observação da experiência mundial. Deve-se manter os profissionais do órgão licenciador atualizados com o desenvolvimento da área nuclear, manter uma dinâmica troca de informações com organismos reguladores internacionais. Dessa maneira, os eventos anormais ocorridos em usinas nucleares são estudados e se pertinentes, são adicionadas novas exigências aos requisitos de segurança. Incorpora-se então, no projeto e na operação de usinas nucleares a experiência operacional acumulada em outros países.

O objetivo do capítulo 18 – Engenharia de Fatores Humanos – do Relatório Final de Análise de Segurança é assegurar que a sala de controle principal da instalação nuclear seja projetada e avaliada segundo os tópicos descritos pela norma NUREG 711, documento da comissão reguladora da área nuclear dos Estados Unidos da América (USNRC), utilizado como referência pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) para aspectos ligados aos fatores humanos.

Segundo a NUREG 711, os fatores humanos correspondem a um grupo de informações relacionadas com as habilidades, limitações e outras características humanas que são relevantes para o projeto de um sistema. A engenharia de fatores humanos busca através de experimentos em laboratórios, técnicas de simulação, obter dados sobre as características humanas com o objetivo de inserir esses dados no projeto de ferramentas, máquinas, sistemas, interfaces, equipamentos e salas de controle, para uso efetivo pelo ser humano em condições confortáveis e seguras. A norma NUREG 711 estabelece critérios para implementar um programa de engenharia de fatores humanos em salas de controle, isto é, indica as técnicas relacionadas com fatores humanos que devem ser utilizadas nas diversas fases do ciclo de vida de salas de controle de reatores nucleares. A NUREG 711 define os seguintes tópicos para implementação de um programa de engenharia de fatores humanos no projeto e operação de salas de controle:

Planejamento do programa de engenharia de fatores humanos. Tem como objetivo garantir que a empresa geradora de energia elétrica possui uma equipe externa ou interna, capaz de gerenciar um programa de engenharia de fatores humanos. Este programa deve

integrar a engenharia de fatores humanos no projeto e na avaliação de instalações nucleares, garantindo o aprimoramento dos princípios dos fatores humanos.

Revisão da experiência operacional. Procedimentos devem ser elaborados para avaliar a experiência no desenvolvimento e operação de usinas nucleares, garantindo a incorporação da experiência operacional adquirida em usinas similares. Isto inclui o exame de documentos, tais como, relatórios de eventos operacionais, relatórios de paradas e partidas programadas, relatórios de acidentes, modificações de especificações técnicas.

Análise funcional e alocação das funções. A análise funcional tem como objetivo determinar os requisitos funcionais, definir as funções que devem ser executadas para atender aos objetivos e ao desempenho desejado, definir os processos responsáveis pela realização das principais funções, identificar as funções que devem ser atendidas para satisfazer os objetivos de segurança, evitando que os acidentes postulados possam causar danos à instalação, pessoal ou ao meio ambiente. A alocação de funções não pode estar baseada somente nas inovações tecnológicas, nem simplesmente atribuir aos operadores as funções que não podem ser automatizadas. Deve-se evitar ultrapassar os limites sensoriais e motores do operador, levar em consideração seus aspectos cognitivos, mantendo o estado de vigilância e consciência dos operadores e considerar os limites para a carga de trabalho. A alocação de funções está relacionada com a distribuição das funções entre operadores (controle manual), sistemas (controle automático), combinação entre os operadores e sistemas (controle compartilhado, mas com intervenção humana).

Análise das tarefas. A análise das tarefas tem como objetivo identificar os principais requisitos relacionados com as tarefas, possibilitando que as funções alocadas sejam executadas com segurança. Esta análise é utilizada para definir o programa de treinamento, o desenvolvimento dos procedimentos e das interfaces operador sistema.

Qualificação e quantificação dos operadores. O objetivo é garantir que a empresa geradora de energia elétrica analisou os requisitos necessários para a definição do número de operadores, da qualificação técnica e os aspectos reguladores aplicáveis.

Análise da confiabilidade humana. O objetivo deste tópico é garantir que a empresa geradora de energia elétrica analisou as conseqüências dos possíveis erros humanos na segurança da instalação nuclear, prevendo mecanismos para evitá-los. É necessário utilizar uma base de dados de erros humanos.

Projeto das interfaces operador/ sistema. O projeto das interfaces operadora sistema deve levar em consideração os requisitos das tarefas e conseqüentemente as funções alocadas, considerando também as normas e documentos aceitos internacionalmente. Neste tópico devem ser incluídas as condições do ambiente de trabalho, o layout da área de trabalho, o projeto dos consoles e painéis de controle, dispositivos de informação e sistemas de alarme.

Desenvolvimento dos procedimentos. A empresa geradora de energia elétrica deve desenvolver procedimentos, que auxiliem os operadores em todos os modos de operação, considerando as características de projeto das interfaces operador sistema. Os procedimentos devem estar relacionados com a partida, desligamento, operação em potência nominal, emergência, testes de inspeção, testes pré-operacionais, respostas aos alarmes.

Programa de treinamento. A empresa geradora de energia elétrica deve elaborar um programa de treinamento baseado na análise dos requisitos das tarefas, que devem ser realizadas pelos operadores. O programa de treinamento deve possibilitar uma avaliação efetiva dos conhecimentos e habilidades dos operadores.

Verificação e validação de fatores humanos. O objetivo é comprovar que todos os requisitos relacionados com a engenharia de fatores humanos tenham sido incorporados durante o desenvolvimento das salas de controle de reatores nucleares, segundo os princípios e normas aceitos pelo órgão regulador. A funcionalidade da sala de controle deve ser avaliada de forma integrada.

3 Ergonomia e fatores humanos no ciclo de vida de salas de controle de reatores nucleares

O enfoque dado pela NUREG 711 estabelece a implantação de um programa de engenharia de fatores humanos em salas de controle de reatores nucleares,

segundo os dez itens citados no capítulo 2.3. A abordagem utilizada pela NUREG 711 enfatiza aspectos relacionados com a alocação das funções, análise das tarefas, projeto das interfaces operador sistema e confiabilidade humana. Entretanto, não considera a abordagem situada da ergonomia, ou seja, a realidade da atividade dos operadores, não permitindo a identificação dos processos de regulação usados pelos operadores ao lidar com as restrições do sistema sócio-técnico, fundamentais para que o desempenho e a segurança do sistema como um todo sejam avaliados. Assim sendo é importante estabelecer um processo de licenciamento de salas de controle que incorpore os princípios relacionados com a moderna ergonomia aos demais requisitos de fatores humanos contidos na NUREG 711, em todos os estágios do ciclo de vida do sistema. O ciclo de vida de um sistema, mais especificamente de uma sala de controle, é uma seqüência de estágios ou fases na vida desse sistema. Essas fases são lógicas e seqüenciais, sendo criticamente revisadas durante todo o ciclo de vida. A duração de cada fase pode variar dependendo da natureza, complexidade e do objetivo a ser alcançado. Neste trabalho o ciclo de vida de uma sala de controle de reatores nucleares é definido com as fases mostradas na figura 1.

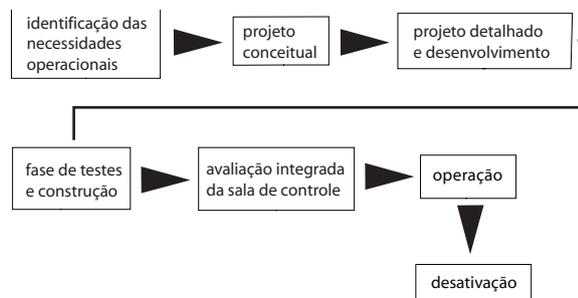


Figura 1: Fases do ciclo de vida de uma sala de controle de reatores nucleares.

A seguir sugerimos uma proposta de processo de licenciamento de salas de controle que procura integrar os tópicos de fatores humanos descritos na NUREG 711 aos aportes da ergonomia.

3.1 A ergonomia no processo de licenciamento de salas de controle de usinas nucleares

Análise da atividade dos operadores. Segundo GARRIGOU (1992), a análise da atividade futura de trabalho tem como objetivo avaliar as margens de manobras, que os operadores realizam para atender as exigências da possível variabilidade industrial. As principais etapas utilizadas pela ergonomia para análise de uma determinada atividade futura de trabalho são a análise da situação de referência, a construção da situação de ação característica, a identificação dos elementos da situação de trabalho relevantes, a reconstituição da atividade futura e a avaliação do resultado da análise da situação de referência. A ergonomia utiliza a análise da situação de referência com o objetivo de fornecer elementos da situação real de trabalho. Estes elementos estão relacionados com as ações realizadas na execução das tarefas susceptíveis de serem reencontradas na situação futura de trabalho. O objetivo é analisar as ações nas situações existentes e construir situações experimentais, que se aproximem da situação futura de trabalho (GARRIGOU, 1992). Segundo DANIELLOU (1992), as situações de ações características constituem um conjunto de determinantes da situação de trabalho, que fazem parte da estrutura da atividade dos operadores. A construção das situações de ações características consiste na identificação das ações típicas da atividade dos operadores e dos elementos que serão importantes na situação futura de trabalho. O objetivo principal da análise de salas de controle similares é obter informações sobre o número mínimo de operadores necessários, informações sobre o tipo de conhecimento necessário para operar a sala de controle, informações sobre o treinamento exigido, informações sobre acidentes, erros humanos, incidentes ocorridos na sala de controle similar, identificação dos fatores ambientais que afetam os operadores e identificação dos problemas relacionados com a operação. Segundo PAVARD (1999), a análise da atividade dos operadores permite que os observadores identifiquem as ações relacionadas com o trabalho prescrito e as atividades paralelas, explícitas ou implícitas. As atividades paralelas explícitas não são formuladas dentro da estrutura da descrição da tarefa. As atividades paralelas implícitas são realizadas de maneira

inconsciente pelos operadores. Segundo DANIELLOU E GARRIGOU (1993), a análise da atividade visa o entendimento sobre o comportamento do operador, das estratégias de operação e das interações com outros operadores em uma determinada situação. Isto implica em longas observações no local de trabalho, com o objetivo de entender as estratégias de operação. A análise da atividade deve ser realizada com operadores experientes e o registro das informações pode ser realizada por vídeo tape, anotações escritas e fitas magnéticas.

Análise da Comunicação. A análise da comunicação busca definir e verificar quais são as etapas dos procedimentos de emergência, parada e partida do reator nuclear, que requerem comunicação entre os operadores. Ela verifica também como é realizada a troca de informações entre os operadores, entre os operadores e os operadores de campo e entre os operadores e o grupo de apoio. Para realizar suas tarefas, os operadores necessitam entender as características básicas e o status do processo que estão controlando. Este entendimento é baseado na representação funcional compartilhada entre os membros do grupo de operação. Essa representação compartilhada constitui a base do trabalho coletivo eficiente. LEPLAT (1991) destaca que essa representação compartilhada é criada e mantida pelas práticas da comunicação eficiente. Segundo ROGALKI (1996), a cooperação permite que os operadores compartilhem das mesmas informações básicas para coordenação lógica e temporal de suas ações. Comunicação e cooperação contribuem positivamente na otimização da confiabilidade operacional e para o bom desempenho dos operadores em situações de tomadas de decisão. Os problemas mais comuns relacionados com a comunicação incluem falhas na transferência de informações, mensagens incompletas, entendimento equivocado das responsabilidades. Segundo BILLINGS e REYNARD (1981), os operadores não se comunicam freqüentemente porque assumem que entendem o que está acontecendo, quando realmente isto não acontece.

A análise da comunicação também é utilizada para identificar a quantidade, o tipo e a localização dos sistemas de comunicação necessários em uma sala de controle de reatores nucleares. Segundo WOODSON e TILLMAN (1981), no projeto de um sistema de comunicação é

necessário considerar o modo de comunicação, ou seja, visual ou sonoro; restrições relacionadas com o sistema de comunicação, ou seja, ruído, privacidade, segurança, interferências; quantidade de informações a ser transmitida em um determinado intervalo de tempo; confiabilidade, ou seja, se é possível a perda ou repetição das informações sem degradar o desempenho; utilização do sistema de comunicação por vários operadores; tipo de idioma utilizado na transmissão das informações; frequência utilizada para transmissão das informações; uso de equipamentos auxiliares, como por exemplo, tipos de microfones, fones de ouvido.

Análise da carga de trabalho dos operadores. A análise da carga de trabalho tem como objetivo verificar se as demandas das tarefas de operação estão de acordo com a capacidade cognitiva dos operadores, envolvendo aspectos como o papel dos operadores, o nível de automação, procedimentos operacionais e de emergência, formas de cooperação, auxílio na resolução de problemas etc. Uma carga de trabalho adequada é aquela que permite o controle do sistema sem que haja perda de motivação por parte dos operadores. Esta análise é iniciada durante a fase de testes, comprovando a adequação das decisões tomadas com relação à alocação das funções (homem/máquina). As técnicas utilizadas na análise da carga de trabalho são definidas como fisiológicas, objetivas e subjetivas. As fisiológicas são técnicas que examinam a reação física dos operadores devido à carga de trabalho, através da mudança ou variação de certos atributos físicos, como por exemplo, uso do eletroencefalograma para detectar estímulos externos no cérebro; dilatação da pupila; frequência cardíaca; análise da voz; tremor nos dedos; tensões nos músculos.

Segundo MEISTER (1985), existem dois tipos de técnicas objetivas. A primeira é a medida da carga de trabalho utilizando tarefas primárias, ou seja, a medida da carga de trabalho pode ser determinada através de uma carga de trabalho adicional, que pode ser imposta ao operador antes do desempenho da tarefa tornar-se inaceitável. A segunda é a medida da carga de trabalho utilizando tarefas secundárias, ou seja, ao invés de examinar o impacto do aumento nas demandas de tarefas existentes, examina o aumento da carga de trabalho devido à inclusão de outra tarefa.

As técnicas subjetivas consistem na verificação da opinião dos operadores sobre o nível da carga de trabalho. Estas informações são obtidas através de entrevistas estruturadas, questionários ou solicitando aos operadores que classifiquem a carga de trabalho de uma tarefa. O NASA TLX é um procedimento de taxa multidimensional que provê uma pontuação global da Carga de Trabalho baseada na média ponderada de avaliações de 6 sub escalas: exigência (demanda) mental, exigência (demanda) física, exigência (demanda) temporal, o desempenho próprio, esforço e frustração.

Análise do desempenho dos operadores. O desempenho humano em condições dinâmicas de operação pode ser analisado, avaliando o resultado das ações do operador. Segundo HAZAN et al. (1989), a escolha do melhor indicador de desempenho depende principalmente das propriedades da sala de controle que está sendo estudada. Um dos principais indicadores de desempenho corresponde ao tempo decorrido desde o anúncio de um evento até o momento em que uma ação do operador tenha sido realizada. Este indicador é denominado tempo de reação.

A taxa de erro, ou seja, o número de erros cometidos dividido pelo número de oportunidades dadas é considerado um outro indicador de desempenho. O desempenho humano é influenciado pelo efeito combinado de vários fatores, que podem aumentar ou degradar, facilitar ou interferir com o desempenho. A identificação e a definição dos efeitos desses fatores é um dos principais aspectos relacionados com a análise do desempenho dos operadores. KANTOWITZ e SORKIN (1983) apresentaram os principais fatores que modelam o desempenho humano, organizados em cinco categorias, apresentadas a seguir:

1. Fatores operacionais: tempo de operação.
2. Projeto da sala de controle: layout dos painéis, layout do console de controle.
3. Fatores relacionados com as tarefas: complexidade, atividades múltiplas e simultâneas, duração da tarefa, supervisão, alta carga de trabalho, regulações.
4. Fatores pessoais: treinamento, experiência individual ou do grupo, motivação, capacitação, fadiga, nível de instrução, atitude moral, medo, ansiedade, perda sensorial, sexo, idade, peso, altura, estresse.

5. Fatores ambientais: temperatura, iluminação, limitação espaço físico, vibração, nível de ruído, turbulência, visibilidade, velocidade do vento, umidade, pressão atmosférica.

Análise do projeto do local de trabalho. Engloba a análise do layout da sala de controle, dos respectivos painéis, além das condições ambientais do local de trabalho. O projeto dos consoles de controle e dos respectivos painéis deve ser realizado considerando os dados antropométricos dos operadores e as demandas das tarefas. O objetivo é assegurar que os operadores possam alcançar os controles, visualizar as telas dos computadores, medidores e ter acesso às principais áreas dos painéis, garantindo uma operação segura. Um projeto adequado deve ser orientado por diversos princípios, como por exemplo: agrupamento funcional, seqüência de uso, princípio da importância, freqüência de uso. A análise das condições ambientais identifica os fatores ambientais que podem contribuir para a degradação do desempenho dos operadores. Fatores como o ruído, iluminação e temperatura são importantes.

Análise do projeto das interfaces operador sistema. O projeto das interfaces operador sistema utiliza informações oriundas da análise das funções, da análise das tarefas e da análise da atividade dos operadores. O objetivo principal é desenvolver uma interface que apresente uma relação amigável entre os controles, medidores e as telas dos computadores; pouca diferença entre a quantidade de informação apresentada e a necessária para uma ação de controle; pouco processamento de dados intermediário antes que uma ação de controle seja realizada e pouca transferência crítica de informação, que não possa ser completada em um tempo determinado. O projeto das interfaces inicia com a descrição do seu funcionamento e com um modelo inicial de sua operação. O projeto das interfaces deve incluir o projeto dos sistemas de alarme convencional e computadorizado, sistema de diagnóstico de falhas, sistemas de auxílio para tomadas de decisão e sistemas para monitoração das funções críticas de segurança. Segundo FOLEY et al. (1998), a interação efetiva entre o operador e o sistema é realizada através de uma estrutura de diálogo que se assemelhe ao modelo de conversação cooperativo realizado pelos operadores. Para otimizar a interação operador, é necessário que a

quantidade de informação apresentada seja compatível com a capacidade do processamento humano; a quantidade de informações a ser armazenada na memória de curto prazo deve ser minimizada e a estrutura das interfaces deve permitir uma representação conceitual do processo.

As técnicas citadas anteriormente estabelecem diretrizes para a integração da engenharia de fatores humanos e da ergonomia no ciclo de vida de salas de controle de reatores nucleares. A figura 2 apresenta a integração dos fatores humanos e da ergonomia no ciclo de vida de salas de controle de reatores nucleares.

Ident. Nec. Oper	Projeto Conceitual	Proj. Detalh. e Desenv.	Testes e Const.	Avaliação Integrada	Operação
Análise Atividade Futura: Anál. Salas Cont. Simil. e Análise Atividade	Análise das Funções		Análise Desempenho Operadores		
	Alocação Funções / Revisão			Análise inter. Oper / Interf.	
	Análise das Tarefas / Revisão			Análise Procedimentos	
	Desenvol. Procedimentos			Anál. local trabalho	
	Proj. Local Trabalho			Análise interfaces	
	Projeto das Interfaces			Anál. Comun.	
	Comunicações			Análise Treinamento	
	Programa Treinamento			Análise Confiabilidade Humana	
				Análise carga de trabalho	

Figura 2 : Integração da engenharia de fatores humanos e da ergonomia no ciclo de vida de salas de controle de reatores nucleares

4 Metodologia para avaliação de salas de controle de reatores nucleares

A avaliação de salas de controle de reatores nucleares tem como objetivo comprovar que todos os requisitos relacionados com a ergonomia e com os fatores humanos foram incluídos no ciclo de vida das salas de controle. A avaliação comprova se as funções e tarefas alocadas para os operadores podem ser executadas com segurança (O'HARA et al., 1996). Segundo ROLLENHAGEN et al. (1989), a avaliação de uma sala de controle visa satisfazer as exigências legais do órgão regulador, avaliar o desempenho dos sistemas, avaliar o desempenho dos operadores, localizar áreas potenciais de erros, identificar situações que podem gerar uma sobrecarga de trabalho, avaliar o programa de treinamento. Segundo HOLLNAGEL (1995), as técnicas para avaliação de salas de controle

de reatores nucleares podem ser definidas da seguinte maneira:

Avaliação conceitual: avaliação realizada por especialistas, avaliação utilizando relatórios, documentos do projeto, normas e guias de fatores humanos;

Avaliação estática: questionário, listas de verificação;

Avaliação dinâmica: simulação básica, simulação parcial da tarefa, simulação full scope.

A estrutura metodológica utilizada para avaliação da sala de controle principal de um reator nuclear é apresentada na figura 3.

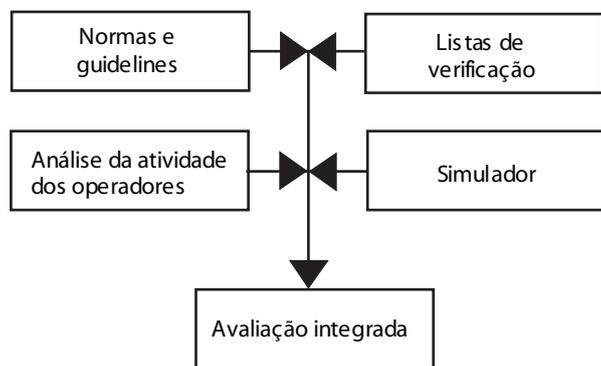


Figura 3: Estrutura Metodológica para Avaliação de uma Sala de Controle

São utilizados documentos da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), normas, guidelines de fatores humanos, listas de verificação adotadas por órgãos licenciadores internacionais, a análise da atividade dos operadores no ambiente real de trabalho, durante a parada e partida programada do reator nuclear e a análise da atividade dos operadores em um cenário de acidente postulado, utilizando um simulador full scope de um reator de água leve pressurizada, PWR. Os seguintes documentos, relatórios técnicos, normas e guidelines de fatores humanos foram utilizados na avaliação: IAEA-TECDOC 565, IAEA-TECDOC 812, IEC 964, IEC 1772, NUREG 700, NUREG/CR-5908, NUREG/CR-6105 e NUREG/CR-6684.

4.1 Trabalho de campo: a usina nuclear PWR

O funcionamento da usina nuclear PWR é semelhante ao de uma usina térmica convencional, onde o calor

gerado pela combustão do carvão ou óleo vaporiza a água da caldeira e o vapor gerado aciona uma turbina, que está acoplada a um gerador produzindo energia elétrica. A sala de controle principal avaliada é de um reator de água leve pressurizada, PWR (Pressurized Water Reactor).

Apesar desta planta iniciar sua operação em 2000, a maior parte dos equipamentos de I/C da usina foi adquirida há cerca de 15 anos, em função da demora na conclusão da usina por falta de verbas. Deste modo, a sala de controle e o sistema de instrumentação/controle e automação usa uma tecnologia de controle de processos desenvolvida nos anos 70 na Alemanha (de onde esta planta foi adquirida) para plantas industriais, com preocupações adicionais de confiabilidade e segurança (para o uso na indústria nuclear). O arranjo funcional da sala de controle é formado pelas seguintes áreas: área de controle principal, área de controle auxiliar, área de comunicação, área de obtenção de dados através do computador de processo, área da documentação, área de facilidades e pela área de isolamento.



Figura 4: Sala de controle da usina nuclear

A figura 4 apresenta uma foto desta sala de controle onde podem ser vistos os painéis e consoles de controle. Existem 2 postos de trabalhos idênticos, 1 para o operador de reator e 1 para o operador de circuito secundário, impressoras, uma mesa de comunicação e armários onde são guardados os procedimentos operacionais. Há também mesas de trabalho para o encarregado e o supervisor de turno, o qual por sua vez, possui uma pequena sala, contígua à sala de controle. Os painéis de controle são construídos como mosaicos, nos quais os indicadores, registrados e controles são montados

de acordo com os diagramas funcionais dos vários sistemas da planta. Os alarmes são apresentados em janelas de alarmes distribuídas pelos painéis e consoles dos operadores. Há ainda 5 vídeos localizados no painel que fica em frente ao console dos operadores: 2 vídeos com as variáveis de planta selecionadas (máximo de 8) apresentadas na forma de bargraph e com indicação digital, outros 2 vídeos apresentam mensagens de alarme textuais ordenadas cronologicamente, e o último, situado ao centro do painel, apresenta o estado do sistema de automação. Os dois operadores possuem ainda um computador para o preenchimento de documentos de operação e para o Safety Parameter Display System – SPDS, um sistema que apresenta graficamente a evolução das principais variáveis relacionada à segurança da planta, que foi desenvolvido posteriormente pois não fazia parte do escopo do projeto original.

Escolhemos períodos de observação onde a carga de trabalho é maior como a partida e parada programadas da usina. A partida programada corresponde a partida do estado subcrítico, sem pressão, frio, após os trabalhos de manutenção e troca dos elementos combustíveis, que implicaram na abertura do sistema de refrigeração do reator. O tempo estimado para a partida programada do reator corresponde a 30 horas. A parada programada do reator é considerada a partir da operação em potência para o estado subcrítico, frio sem pressão. No estado subcrítico todas as barras de controle estão inseridas. A parada programada é feita nos casos de paradas longas, reparos que exijam a abertura do sistema de refrigeração do reator e troca de elementos combustíveis. O tempo estimado para a parada programada do reator é de quinze horas. As funções desempenhadas na sala de controle principal da usina nuclear PWR permitem a monitoração e controle da planta nuclear, reconhecimento de distúrbios que afetam a segurança, início de medidas para manter o reator nuclear em condição de segurança, detecção de acidentes e adoção de medidas para desligamento do reator. Os operadores obtêm informações do processo através de medidores, mostradores, monitores de computadores e ajustam o processo através de controles. A estrutura metodológica utilizada possibilitou a avaliação do sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis, da interação operador sistema

computadorizado de apresentação da tendência das variáveis, da interação operador painéis e console de controle, dos dispositivos para entrada de dados e controle do processo, sistema integrado de computador de processo, do sistema de comunicação, do local de trabalho e do sistema de alarme.

Para analisar a atividade dos operadores da sala de controle principal foram realizadas observações sistemáticas durante a parada e partida programada do reator nuclear. A análise da atividade dos operadores na situação real de trabalho possibilitou a obtenção do registro da atividade dos operadores ao longo de turnos. Esses registros foram obtidos através de vídeos, fotografias, gravações e anotações. A análise da atividade dos operadores mostrou a troca de informações na situação real de trabalho entre os vários setores dentro da sala de controle. Essas informações são trocadas oralmente, por telefones, por documentos escritos ou mediante os deslocamentos dos operadores. O conteúdo dessas informações constituiu uma fonte esclarecedora da aprendizagem no trabalho, da importância e contribuição do conhecimento diferenciado de cada operador na resolução de incidentes, além de possibilitar a identificação dos interlocutores privilegiados, revelando aspectos importantes do coletivo do trabalho. Foram também registrados os diálogos entre os operadores e acompanhadas as trocas de turno. As observações privilegiaram os períodos de maior trabalho e os eventos considerados de maior importância. Foram analisados a exploração visual, os deslocamentos dos operadores e os protocolos verbais, resultantes da comunicação entre os operadores e dos operadores com os diversos grupos de apoio. Durante quatro meses foram realizadas visitas, acompanhados os treinamentos, trocas de turnos, realizadas observações do trabalho dos operadores da sala de controle, operadores do campo, grupo de planejamento, instrumentistas, manutenção. O tempo total de filmagem e gravações, durante todas estas etapas, ultrapassa 40 horas. Foram obtidas mais de 200 fotografias e realizadas diversas anotações durante todas as fases citadas anteriormente.

Durante quatro dias foram obtidos os dados relacionados com a atividade dos operadores em um cenário de acidente simulado, rompimento de um tubo

do gerador de vapor. Esta simulação foi realizada em um simulador full-scope de um reator nuclear PWR.

5 Conclusões

Neste artigo foi apresentada uma metodologia para avaliação de salas de controle de reatores nucleares, que engloba a utilização de normas e guias de fatores humanos, documentos da Agência Internacional de Energia Atômica, listas de verificação, a análise da atividade dos operadores no ambiente real de trabalho e a análise da atividade dos operadores em um cenário de acidente postulado. Utilizando esta metodologia foi realizada a avaliação da sala de controle principal de uma usina nuclear PWR mostrando, por meio dos dados obtidos, que a análise da atividade dos operadores no ambiente real de trabalho e em cenários de acidentes postulados, constitui uma importante ferramenta de auxílio no licenciamento nuclear. A abordagem utilizada no capítulo 2 vem ao encontro das recomendações do órgão regulador brasileiro, de que os requisitos de fatores humanos e a ergonomia precisam ser efetivamente incorporados no projeto de novas salas de controle e na modernização das existentes, como forma de garantir a operação segura de uma instalação nuclear, resguardar a saúde dos trabalhadores e da população, bem como proteger o meio ambiente.

Os resultados obtidos podem fornecer subsídios para o setor de licenciamento nuclear e para a própria operadora da usina, possibilitando melhorias no ambiente de trabalho, modernização e projeto de novos sistemas, modificação de algumas práticas de trabalho, redução da carga de trabalho e melhoria no desempenho dos operadores. Os resultados mostraram a importância de controlar o acesso dos trabalhadores de outros setores da empresa na sala de controle principal e a necessidade de incorporar ao grupo de operação, durante as paradas e partidas programadas do reator nuclear, um funcionário administrativo que ficaria responsável pela execução de tarefas administrativas e por receber telefonemas externos. Esta medida evitaria que interrupções externas interferissem na atividade de monitoração, permitindo que os operadores, principalmente o supervisor e o encarregado, se concentrassem no comando, supervisão e coordenação das atividades realizadas na

sala de controle. A análise da atividade dos operadores durante um cenário de acidente simulado mostrou a necessidade de disponibilizar para o grupo de operadores procedimentos de emergência em português e comprovou a importância do treinamento em simuladores para verificação e validação desses procedimentos. Os dados apresentados mostraram que a análise da atividade dos operadores complementa a avaliação realizada através de listas de verificação, normas e guias de fatores humanos, contribuindo com informações para a melhoria do layout da sala de controle principal, do projeto dos consoles de controle e do sistema de comunicação. Finalmente, a realidade da atividade dos operadores confirmou que os operadores utilizam uma série de recursos, que facilitam a monitoração e auxiliam na resolução de problemas e tomadas de decisão. Os operadores utilizaram cartões de segurança, precaução e de aviso para alertar sobre o estado de determinados equipamentos, sobre restrições na operação de determinados sistemas e ordens de trabalho que foram abertas. Os operadores colocaram lembretes, anotações em determinadas posições do console de controle para posterior consulta, utilizando essas fonte de informações como uma memória auxiliar. Os operadores também tiveram necessidade de apoio externo de consultores alemães, engenheiro de turno e instrumentistas. Os operadores utilizaram procedimentos, diagramas esquemáticos, fluxogramas, comunicaram com os operadores de campo, leram os registros dos alarmes para tentar diagnosticar eventos e manter o reator nuclear em condições de segurança.

Em síntese, o trabalho apresenta uma proposta para inclusão da ergonomia e fatores humanos no ciclo de vida de salas de controle de reatores nucleares e uma estrutura metodológica para avaliação de salas de controles, incorporando a análise da atividade dos operadores. No estudo de caso foi realizada a avaliação da sala de controle principal de uma usina nuclear PWR, avaliação esta que teve como objetivo principal comprovar que a análise da atividade dos operadores em uma situação real de trabalho e em um cenário de acidente simulado são fundamentais para que o processo de licenciamento de instalações incorpore efetivamente a engenharia de fatores humanos.

6 Referências bibliográficas

BILLINGS, B. E REYNARD, C. ,1981, Dimensions of the Information Problem, Moffet Field, NASA Ames Research Center.

CARVALHO, P. V. R. E VIDAL, M. C. R., 2003. A ergonomia e a Gestão de risco em Organizações que Lidam com Tecnologias Perigosas: Tomada de Decisão de Operadores de Usinas Nucleares. Tese de Dsc., COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, CNEN-NE-1.01, Licenciamento de Operadores de Reatores Nucleares.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, CNEN-NE-1.04, Licenciamento de Instalações Nucleares.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, CNEN-NE-1.06, Requisitos de Saúde para Operadores de Reatores Nucleares.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, CNEN-NE-1.14, Relatórios de Operação de Usinas Nucleoelétricas.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, CNEN-NE-1.26, Segurança na Operação de Usinas Nucleoelétrica.

CUSHMAN, W. H. AND ROSENBERG, D. J. , 1991, Human Factors in Product Design, Amsterdam, Elsevier.

DANIELLOU, F. , 1992, Le Status de la Pratique et des Connaissances Dans l'Intervention Ergonomique de Conception., Document de Synthèse Présenté en Vue d'Obtenir l'Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Toulouse, Le Mirail.

DANIELLOU, F. E GARRIGOU, A. , 1993, L'Ergonome, l' Activité, et la Parole des Travailleurs, Representations Pour l'Action, Toulouse, Octarès, pp. 73-92.

FOLEY, J. D, WALLACE, V. L. E CHAN, P., 1998, Human Computer Interaction, Prentice Hill.

GARRIGOU, A., 1992, Les Apports des Confrontations d'Orientations Socio-Cognitives au Sein de Processus de Conception Participatifs: le Rôle de l'Ergonomie. Tese de Doutorado, Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris.

HAZAN, J. , NEUBAUER, R. M. E SALES, M. , 1989, "Deriving Performance Measures for Team Tasks:

Evaluating a Methodology", Proceedings of the Human Factors Society, v.33, pp. 1273-1277, USA.

HOLLNAGEL, E. , 1995, A Survey of Man-Machine System Evaluation Methods, OECD , Halden Reactor Project, Norway.

HOLLNAGEL, E. , 2004, Accidents and Causes 9. (To be published), OECD , Halden Reactor Project, Norway.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA-TECDOC 565, 1990, Control Rooms and Man-Machine Interface in Nuclear Power Plants.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA-TECDOC 812, 1995, Control Room Systems Design for Nuclear Power Plants.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, IEC 964, 1989, Design of Control Rooms for Nuclear Power Plants.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, IEC 1772, 1995, Nuclear Power Plants-Main Control Room-Application of Visual Display Units.

KANTOWITZ, B. H. E SORKIN, R. D. , 1983, Human factors: Understanding People System Relationships, New York.

LEPLAT, 1991, Organization of Activity in Collective Task, Distributed Decision Making: Cognitive Models for Cooperative Work, Chichester, John Wiley.

MEISTER, D. , 1985, Behavioral Analysis and Measurement Methods, John Wiley and Sons, USA.

MUMAW, R., SWATZLER, D., E ROTH, E., 2001. Cognitive Skill Training for Nuclear Power Plant Operational Decision Making. NUREG/CR-6126, Washington Dc., USA.

O'HARA, J. , STUBLER, W. AND WACHTEL, J. , 1996, Methodological Issues in The Validation of Complex Human-Machine Systems, Philadelphia, PA, USA.*

PAVARD, B. , 1999, "Ingénierie Cognitive et Technologies Avancées", Journées Européennes des Techniques Avancées de l'Informatique, v.5, pp. 1-11.

REASON, J., 1997, Managing the risks of Organizational Accidents. London, UK, Ashgate.

ROGALKI, J. , 1996, "Co-Operation Processes in Dynamics Environment Management", Acta Psychologica, v.91, pp. 273-295.

ROLLENHAGEN, C. , JACOBSSON, L. E VATTENFALL, A., 1989, Control Rooms Systems Evaluation

of Outage, International Atomic Energy Agency.

SANTOS, I. J. A E VIDAL, M. C. R., 2003. A Ergonomia no Licenciamento e Avaliação de Salas de Controle de Reatores Nucleares. Tese de Dsc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, NUREG 700 (Revision 2), 2002, Human System Interface Design Review Guideline, Office of Nuclear Regulatory Research Washington, DC 20555-0001.

U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, NUREG 711 (Revision 1), 2002, Human Factors Engineering Program Review Model, Office of Nuclear Regulatory Research Washington, DC 20555-0001.

U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, NUREG 1021, Power Reactors Operators Licensing Examiner Standards Revision 7, Office of Nuclear Regulatory Research Washington, DC 20555-0001.

U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, NUREG/CR-5908, 1994, Advanced Human-System Interface Design Review Guideline: Volume 1 and Volume 2, Office of Nuclear Regulatory Research Washington, DC 20555-0001.

U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, NUREG/CR-6105, 1994, Human Factors Engineering Guidance for the Review of Advanced Alarms Systems, Office of Nuclear Regulatory Research Washington, DC 20555-0001.

U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, NUREG/CR-6684, 1996, Advanced Alarm System – Revision of Guidance and Its Technical Basis, Office of Nuclear Regulatory Research Washington, DC 20555-0001.

WOODSON, W. E. E TILLMAN, E. , 1981, Human Factors Design Handbook: Information and Guidelines for the Design of Systems, Facilities, Equipments and Products for Human Use, McGraw Hill, New York.

