

A ERGONOMIA NO LICENCIAMENTO E NA AVALIAÇÃO DE SALAS DE
CONTROLE DE REATORES NUCLEARES

Isaac José Antonio Luquetti dos Santos

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS
EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Aprovada por:

Prof. Mário Cesar Rodriguez Vidal, Dr. Ing.

Prof. Cláudio Márcio do Nascimento Abreu Pereira, D. Sc.

Dr. Celso Marcelo Franklin Lapa, D.Sc.

Dr. Antonio Carlos de Abreu Mól, D. Sc.

Prof^a. Eliza Helena de Oliveira Echternacht, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

MARÇO DE 2003

SANTOS, ISAAC JOSÉ ANTONIO
LUQUETTI DOS

A Ergonomia no Licenciamento e na
Avaliação de Salas de Controle de
Reatores Nucleares [Rio de Janeiro] 2003

XIII, 248p. 29,7cm (COPPE/UFRJ, D.Sc.,
Engenharia Produção, 2003)

Tese – Universidade Federal do Rio de
Janeiro, COPPE

1. Ergonomia
2. Licenciamento
3. Salas de Controle

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

À Carolina, minha esposa e companheira, agradecendo a paciência, o carinho e o amor.

A meu filho Luis Felipe, razão maior da minha vida.

À minha amada mãe Lenice, grande incentivadora.

À memória do meu pai Rubens, exemplo de dignidade e honestidade, que com seus ensinamentos contribuiu decisivamente para que eu pudesse alcançar esta vitória.

À minha irmã Fátima, amiga de todas as horas.

A meu irmão Rubens, amigo e companheiro.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador e amigo, Professor Mario César Rodriguez Vidal, grande incentivador e referência maior nos estudos da ergonomia, de quem recebi o apoio necessário para a conclusão de mais esta etapa da minha vida profissional.

Ao meu amigo e parceiro, Paulo Victor Rodrigues de Carvalho, que contribuiu decisivamente com seu incentivo e com sua competência profissional para a conclusão deste trabalho.

Aos amigos do grupo GENTE, pelo incentivo permanente e pelas valiosas contribuições.

Aos amigos e incansáveis incentivadores da Divisão de Instrumentação e Confiabilidade Humana do Instituto de Engenharia Nuclear.

Ao coordenador da Divisão de Instrumentação e Confiabilidade Humana, Isaac José Obadia, que compreendeu todos os meus esforços e disponibilizou todos os recursos necessários para o êxito desse trabalho.

À Comissão Nacional de Energia Nuclear, que através do Instituto de Engenharia Nuclear, proporcionou todo o apoio necessário para a conclusão dessa tese de doutorado.

Aos Professores Cláudio Márcio do Nascimento Abreu Pereira, Celso Marcelo Franklin Lapa, Antonio Carlos de Abreu Mól e à Professora Eliza Helena de Oliveira Echternacht por colaborarem de maneira preciosa para a avaliação do nosso trabalho com suas presenças na banca avaliadora.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários
para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

A ERGONOMIA NO LICENCIAMENTO E NA AVALIAÇÃO DE SALAS DE
CONTROLE DE REATORES NUCLEARES

Isaac José Antonio Luquetti dos Santos

Orientador: Mario César Rodriguez Vidal

Programa: Engenharia de Produção

Uma sala de controle de uma planta nuclear de potência é um sistema complexo, que controla um processo nuclear e termodinâmico usado para produzir energia elétrica. Os operadores interagem com a sala de controle através de *interfaces*, que apresentam implicações significativas para a segurança da planta nuclear e influenciam a atividade dos operadores. O licenciamento é um processo através do qual o órgão regulador, por meio de avaliações e verificações das condições de segurança de uma instalação nuclear, concede, modifica, limita, prorroga, suspende ou revoga uma licença de operação ou autorização.

O principal objetivo desse trabalho é propor a análise da atividade dos operadores como uma ferramenta de auxílio para o licenciamento nuclear e para a modernização de salas de controle de reatores nucleares. A realidade da atividade dos operadores em salas de controle exhibe uma série de mecanismos ausentes das normas e guias nucleares de fatores humanos, importante para o processo de modernização e avaliação das salas de controle. A abordagem ergonômica considera as estratégias de operação, a interação entre os operadores, a interação operador sistema, a interação entre os operadores e os grupos de apoio.

Através dessa abordagem obteremos informações essenciais, que possibilitarão a adequação das salas de controle às exigências legais do órgão regulador, auxiliando no licenciamento nuclear.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

ERGONOMICS IN THE LICENSING AND EVALUATION
OF NUCLEAR CONTROL ROOMS

Isaac José Antonio Luquetti dos Santos

March / 2003

Advisor: Mário César Rodriguez Vidal

Department: Product Engineering

A nuclear power plant control room is a complex system that controls a nuclear and thermodynamic process used to produce electrical energy. The operators interact with the control room through interfaces, that have significant implications to nuclear plant safety and influence the operator activity.

The licensing is a process through which the regulatory agency, by means of evaluations and verifications of the safety conditions in a nuclear installation, grant, modify, limit, prorogue, suspends or revokes a operation license or authorization.

The mean objective is propose the operator activity analysis as a support tool to the nuclear licensing and to update of existing nuclear control rooms. The operator activity presents complexity features and shows a series of mechanisms absents from the human factors standards and human factors guidelines, important to the evaluation and update of control rooms. The ergonomics approach considers the operation strategies, the interaction between the operators, the interaction operator system, the interaction operator and support groups.

This approach will get essential information, making possible the adequacy of control rooms features to the legal requirements of the regulating agency, assisting the nuclear licensing.

INTRODUÇÃO

O setor nuclear desde o surgimento das primeiras centrais de potência sempre levou em consideração apenas os aspectos antropométricos da ergonomia clássica no projeto de salas de controle. De fato, esses conhecimentos já tinham sido aplicados por diversas organizações em diversos países, muitos anos antes do acidente *de Three Mile Island* (TMI) nos Estados Unidos da América. Este acidente mostrou que apenas os aspectos antropométricos não eram suficientes para um projeto adequado de salas de controle. Estudos realizados mostraram que o acidente causado inicialmente pela não atuação correta da válvula de alívio do sistema primário, foi agravado pela não adequação do projeto da instrumentação, do projeto dos painéis de controle e pela falta de coordenação adequada das ações realizadas pelos operadores (MALONE, 1980).

As salas de controle de reatores nucleares contêm sistemas complexos que são monitorados por operadores e controlam 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 afetam o modo como os operadores interagem com a sala de controle, 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 através de procedimentos de partida e parada, procedimentos de emergência, sistemas de alarmes, sistemas de comunicação, sistemas de controle, sistemas de segurança e diagnósticos de falhas. Alguns desses sistemas são automatizados, constituindo um arranjo sofisticado de *hardware* e *software* com uma alta confiabilidade, redundância e com um alto grau de interconectividade. Os operadores da sala de controle principal também interagem entre si e com a estrutura de apoio, ou seja, com os operadores de campo, com a manutenção, testes, planejamento e com os instrumentistas.

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.

Segundo VIDAL (2000), ergonomia é o estudo da interação entre as pessoas com a tecnologia, a organização e o ambiente, objetivando intervenções e projetos que visem melhorar de forma integrada e não dissociada a segurança, o conforto, o bem estar e a eficácia das atividades humanas. A ergonomia visa modificar o processo de trabalho para adaptar a atividade de trabalho às características, habilidades e limitações dos operadores.

As definições de ergonomia e fatores humanos são complementares, fazendo referência às informações relacionadas com o ser humano, com a atividade de trabalho, adaptação da atividade de trabalho, melhoria do sistema de trabalho e das condições ambientais do sistema de trabalho. A complementaridade entre esses conceitos foi reconhecida em 1993, quando a Sociedade de Fatores Humanos, *Human Factors Society*, mudou seu nome para Sociedade de Fatores Humanos e Ergonomia, *Human Factors and Ergonomics Society*.

Após o acidente de TMI, os projetistas procuram adotar no projeto e na modernização de salas de controle de reatores nucleares, práticas que contemplam somente a inclusão de normas e guias nucleares de fatores humanos. Não é considerada a abordagem utilizada pela ergonomia, ou seja, a inclusão da análise da atividade dos operadores. Não é considerada a abordagem da atividade futura provável (DANIELLOU e GARRIGOU, 1988), formulada no âmbito da análise ergonômica do trabalho. Não é considerado o estudo das estratégias de operação, a interação entre os operadores e as tomadas de decisão.

Segundo TASSET (1999), vários esforços estão sendo realizados pelos órgãos reguladores com o objetivo de propor recomendações para a inclusão dos fatores humanos no ciclo de vida de uma sala de controle e na escolha de sistemas que auxiliem os operadores na execução das tarefas. Ainda segundo este autor, a alocação dos fatores humanos no ciclo de vida de salas de controle deve se feita de maneira estruturada, seguindo as recomendações da NUREG 711. SANTOS e VIDAL (2000a) destacam a importância da NUREG 711 na implementação de um programa de fatores humanos em projetos de salas de controle de reatores nucleares. VIDAL (2001) apresenta várias normas utilizadas no projeto de salas de controle.

SEBOK *et al.* (2000) enfatiza que o projeto de modernização de uma sala de controle consiste de várias fases, ou seja, desde o projeto conceitual até a fase de

construção. Os requisitos de fatores humanos devem ser incorporados durante todo o ciclo de vida e englobam itens como *layout*, projeto das interfaces, procedimentos e treinamento.

Segundo FEHER (2000), esforços estão sendo realizados pelo órgão regulador canadense com o objetivo de implementar e documentar um programa que assegure a implementação dos requisitos de fatores humanos durante a modernização da sala de controle principal do reator nuclear CANDU 6.

WILLIAMS e STORY (1987) enfatizam que para as tarefas serem realizadas com segurança pelo grupo de operação, é necessário levar em consideração as capacidades e limitações dos operadores no projeto da sala de controle principal de reatores nucleares. PIKKAR (1990) descreve as contribuições dos ergonomistas nas fases iniciais do projeto de uma sala de controle de uma refinaria de petróleo na Holanda. Segundo este autor, é possível incluir os ergonomistas e os operadores em todas as fases de decisão do projeto, sem alterações substanciais no cronograma e no custo do projeto. Segundo BURNS e VICENTE (1999), a solução para um projeto requer uma constante negociação entre os ergonomistas, projetistas e usuários, visando uma solução final mais factível.

Estudos realizados por SEBOK e MORISSEAU (2000) em um simulador de uma planta nuclear mostram as implicações do projeto das *interfaces* no desempenho do grupo de operação de uma central nuclear. PÊCHEUX e DECORTIS (1999) descrevem a complexidade das atividades envolvidas na troca de informações verbais e escritas entre os operadores da sala de controle principal de uma usina nuclear. MARTI e PALMONARI (2000) apresentam as informações obtidas através da análise da atividade dos controladores de tráfego aéreo, que visam o entendimento da atividade humana em um sistema de trabalho complexo.

MUMAW (1995) foi um dos primeiros pesquisadores, que consideraram a análise da atividade dos operadores como uma ferramenta de auxílio para a avaliação do desempenho do grupo de operação de uma central nuclear. Este autor propôs um modelo de monitoração utilizado pelos operadores de uma central nuclear durante a operação normal. Este modelo teve como um dos objetivos destacar as contribuições cognitivas feitas pelos operadores para facilitar a monitoração.

Com o objetivo de descrever as atividades envolvidas no controle do processo nuclear de geração de energia elétrica em uma central nuclear, CARVALHO E SANTOS (2002) analisam o trabalho dos operadores da sala de controle principal de um

reator nuclear PWR. CARVALHO *et al.* (2002) também analisam a carga de trabalho cognitiva dos operadores de uma usina nuclear PWR durante acidentes postulados, em um simulador nuclear.

Não obstante o fato de algumas colocações anteriores mostrarem a importância da alocação dos fatores humanos nos projetos de salas de controle de reatores nucleares, SANTOS E VIDAL (2000b) propõem uma abordagem mais ampla enfatizando a necessidade da incorporação da ergonomia e fatores humanos no ciclo de vida de salas de controle de reatores nucleares. SANTOS e VIDAL (2002a, 2002b) propõem também uma estrutura para avaliação de salas de controle de reatores nucleares, que inclua as normas e guias de fatores humanos e a análise da atividade dos operadores. A análise da atividade dos operadores apresenta características de complexidade, exibe uma série de mecanismos ausente do escopo normalizado, gerando informações essenciais que possibilitarão a adequação das salas de controle de reatores nucleares às exigências legais do órgão regulador brasileiro, auxiliando no processo de licenciamento.

Destacando a importância do processo de licenciamento nuclear para garantir a segurança da operação, este trabalho tem como objetivo realizar a avaliação da sala de controle principal de uma usina nuclear PWR, utilizando uma estrutura de avaliação mais abrangente, que engloba a análise da atividade dos operadores no ambiente real de trabalho, a análise da atividade dos operadores em um cenário de acidente postulado, normas e guias nucleares de fatores humanos em salas de controle de reatores nucleares e listas de verificação.

Considerando o objetivo descrito anteriormente, este trabalho apresenta as contribuições descritas a seguir:

- Propor a inclusão da análise da atividade dos operadores em salas de controle de reatores nucleares como uma ferramenta de auxílio no processo de licenciamento nuclear.
- Propor a inclusão da análise da atividade dos operadores como uma ferramenta de auxílio na modernização de salas de controle de reatores nucleares.
- Mostrar que a realidade da atividade dos operadores em salas de controle de reatores nucleares exibe uma série de informações, que facilita a monitoração e pode auxiliar os operadores na resolução de problemas e tomadas de decisão.

A estruturação do nosso trabalho compreende sete capítulos, a saber:

- No Capítulo 1 **O Licenciamento de Salas de Controle de Reatores Nucleares**, onde buscamos definir as etapas que compõem esse processo: o licenciamento nuclear e o licenciamento ambiental. Apresentamos também os capítulos que compõem o relatório final de análise de segurança, principalmente o capítulo 18 denominado de engenharia de fatores humanos.
- No Capítulo 2 **A Ergonomia em Salas de Controle de Reatores Nucleares**, onde apresentamos as principais técnicas e métodos, que devem ser alocados no ciclo de vida de salas de controle de reatores nucleares.
- No Capítulo 3 **Avaliação de Salas de Controle de Reatores Nucleares**, onde definimos a avaliação conceitual, a estática e a dinâmica.
- No Capítulo 4 **Estudo de Caso: A Usina Nuclear PWR**, onde apresentamos a usina nuclear estudada e a sala de controle principal avaliada.
- No Capítulo 5 **Metodologia de Avaliação da Sala de Controle Principal da Usina Nuclear PWR**, onde apresentamos a metodologia utilizada para a avaliação e as hipóteses formuladas.
- No Capítulo 6 **Resultados**, onde apresentamos os resultados obtidos relacionados com cada hipótese formulada.
- No Capítulo 7 **Conclusões**, apresentamos nossas conclusões e formulamos algumas sugestões para futuros trabalhos.

CAPÍTULO 1 – O LICENCIAMENTO DE SALAS DE CONTROLE DE REATORES NUCLEARES

A sala de controle principal de um reator nuclear é o local onde o processo de geração de energia elétrica, a partir da fissão nuclear, deve ser controlado e monitorado pelos operadores com segurança e eficiência, considerando todos os modos operacionais da planta nuclear e todas as condições de acidente. 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 e a segurança nuclear.

1.1 SALAS DE CONTROLE

Por centenas de anos, os projetos e as construções de utensílios e máquinas eram realizados utilizando o bom senso dos projetistas e as melhorias feitas através do método da tentativa e erro. No final do século XIX, algumas atividades já utilizavam máquinas e o esforço físico humano como fatores preponderantes na execução das tarefas. Com a Segunda Guerra Mundial, novos equipamentos e instrumentos foram introduzidos, ocasionando uma mudança radical no modo de realizar as tarefas, introduzindo novos conceitos como tomadas de decisão e fazendo com que os pilotos militares experimentassem tensões e estresse. O período após a Segunda Guerra Mundial trouxe a era espacial, com naves espaciais tripuladas, projetos de ferramentas especiais, projetos de novos sistemas de controle e de *interfaces* operador sistema. Com o advento de novas tecnologias e com as condições especiais de trabalho, esse período colocou em evidência como os seguintes componentes interagem, sendo administrados com sucesso no projeto de uma sala de controle: equipamentos, *interfaces*, sistema de trabalho, condições do sistema de trabalho e treinamento.

Segundo BUDURKA (1984, apud CHAPANIS, 1996), o sistema é uma combinação, em qualquer nível de complexidade de pessoas, materiais, ferramentas, máquinas, *software*, facilidades e procedimentos, projetados para trabalharem juntos por

um objetivo comum e interagindo com um outro sistema externo. Ainda segundo BUDURKA (1984, apud CHAPANIS, 1996), engenharia de sistemas é o processo interativo, mas controlado, no qual as necessidades do usuário são entendidas e obtidas através da transformação dos requisitos de projeto em requisitos operacionais. Inclui o controle e integração de todas as técnicas que contribuem com esse processo através do ciclo de vida do sistema, de modo a assegurar que as necessidades do usuário sejam atendidas. O ciclo de vida de um sistema 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 do sistema. A seguir são citadas algumas fases, apresentadas por diversos autores:

- KIRK (1973, apud CHAPANIS, 1996)
 1. Formação de objetivos
 2. Definição
 3. Projeto inicial
 4. Projeto detalhado
 5. Testes
 6. Conversão
 7. Operação
 8. Avaliação
 9. Manutenção e apoio logístico
- CLARK et alii (1986, apud CHAPANIS, 1996)
 1. Planejamento
 2. Definição
 3. Projeto
 4. Integração
 5. Aceitação
 6. Entrega
 7. Vendas
- BLANCHARD E FABRYCKY (1988)
 1. Identificação das necessidades
 2. Projeto conceitual
 3. Projeto inicial ou básico
 4. Projeto detalhado e desenvolvimento

5. Produção
 6. Utilização e apoio logístico
 7. Desativação
- CUSHMAN E ROSENBERG (1991, apud CHAPANIS, 1996)
 1. Planejamento
 2. Projeto
 3. Teste e verificação
 4. Produção
 5. Avaliação
 - KIRWAN E AINSWORTH (1992)
 1. Concepção
 2. Fluxograma funcional
 3. Projeto preliminar
 4. Projeto detalhado
 5. Construção
 6. Comissionamento
 7. Operação e manutenção

Nesta tese de doutorado, o ciclo de vida de uma sala de controle de reatores nucleares é definido com as fases mostradas na figura 1.

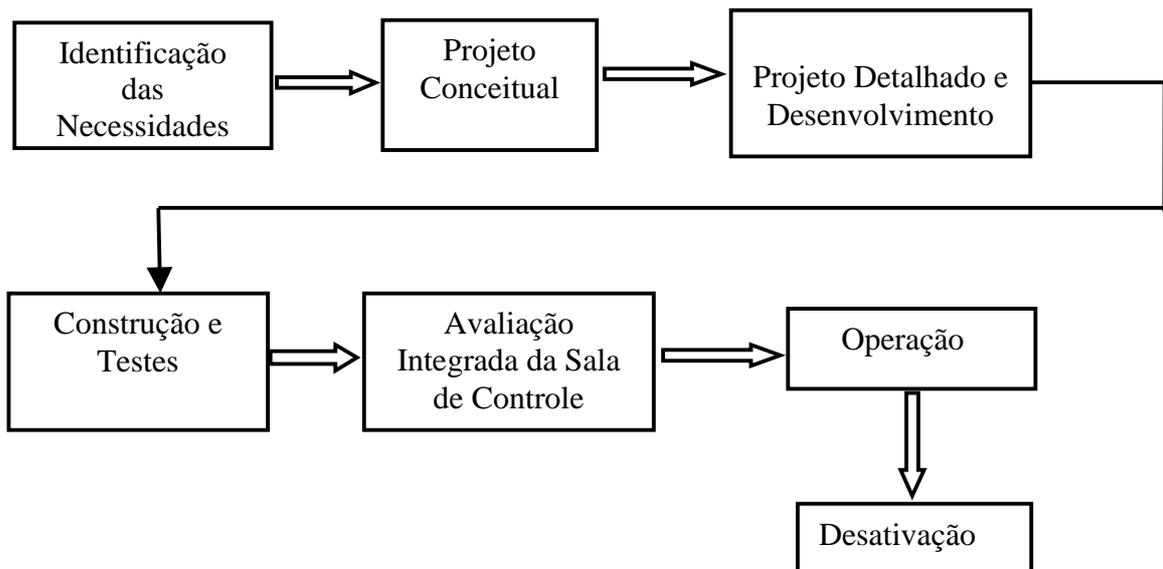


Figura 1: Fases do Ciclo de Vida de uma Sala de Controle de Reatores Nucleares

A identificação das necessidades operacionais consiste na identificação e no reconhecimento de uma necessidade, ou seja, uma missão que pode ser uma nova sala de controle ou a modernização de uma sala de controle já existente. Segundo BLANCHARD E FABRYCKY (1988), esta necessidade torna-se realidade através da elaboração do documento Necessidades Operacionais. Este documento pode conter os seguintes itens:

- Capacidade operacional existente, que consiste na análise da área de atuação, descreve a sala de controle similar ou existente, as deficiências e as necessidades exigidas.
- Capacidade operacional planejada, onde são descritas as possíveis modificações, o planejamento inicial para implementar as inovações ou modificações, recursos para treinamento, infraestrutura exigida e as condições para execução.
- Tecnologia, onde são descritas a tecnologia disponível e a que será utilizada.
- Restrições, onde são caracterizadas as possíveis limitações em função da tecnologia disponível, do custo de implementação, da mão de obra disponível, do risco associado, da segurança, do tempo disponível para implementação das modificações, das condições ambientais, da complexidade, da confiabilidade e do desempenho operacional.

Na fase do projeto conceitual é realizado o estudo da viabilidade de implantação. São definidos as entradas, as especificações técnicas e o planejamento. É realizada a análise funcional, feita a descrição do uso pretendido da sala de controle, a missão é reavaliada, a tecnologia disponível e áreas de não adequação técnica são identificadas. São apresentadas soluções alternativas. Nesta fase surgem questões tais como:

- Como será a sala de controle?
- Como será usada a sala de controle?
- Quais são os modos de operação?
- Quais são os *software* e *hardware* necessários?
- Quais são os tipos de *interfaces* operador sistema?
- Para que tipo de operador a sala de controle será projetada?
- Quantos operadores serão necessários?
- Qual o nível de especialização exigido para os operadores?
- Quais são as condições ambientais em que a sala de controle será usada?

No projeto detalhado e desenvolvimento é realizado um esforço para análise das várias soluções propostas. As soluções são modeladas, testadas, algumas descartadas, outras modificadas e novamente testadas, objetivando a escolha da melhor concepção. Os subsistemas que exigirão um desenvolvimento avançado são identificados. O objetivo é encontrar uma solução que satisfaça os requisitos estabelecidos. Esta etapa é revisada com a finalidade de assegurar que a nova sala de controle terá uma ótima relação custo benefício, um bom desempenho e os riscos sejam aceitáveis.

Na fase de construção e testes todos os subsistemas, equipamentos, componentes (*hardware, software*), são adquiridos, construídos e montados. O grupo de projeto verifica, através de testes, se as especificações inicialmente estabelecidas foram alcançadas.

Após a construção e testes dos sistemas, dos subsistemas, é feita a avaliação integrada da sala de controle. Esta avaliação é realizada em condições idênticas à da futura operação normal. Segundo O'HARA *et al.* (1996), a avaliação integrada de salas de controle de reatores nucleares tem como objetivo comprovar que todos os requisitos ergonômicos foram incluídos no projeto. A avaliação comprova se as funções e tarefas alocadas para os operadores podem ser executadas com segurança.

Na fase de operação, após a fase de avaliação integrada da sala de controle, quando todos os sistemas já foram integrados e avaliados, inicia-se então uma série de testes relativos à partida do reator nuclear e posteriormente à operação da sala de controle. Se necessário são realizadas ações corretivas com o objetivo de aperfeiçoar o produto final.

Na fase de desativação, o problema principal está relacionado com a reciclagem e armazenamento de equipamentos, componentes e peças radioativas, evitando que o meio ambiente seja afetado pela liberação da radiação nuclear. No caso de uma sala de controle de reatores nucleares, a sua desativação acontece somente quando a central nuclear é retirada de operação.

1.2 O Processo de Licenciamento

O processo de licenciamento de uma instalação nuclear engloba duas etapas: o licenciamento nuclear e o licenciamento ambiental.

1.2.1 O Licenciamento 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 CNEN emite normas específicas pertinentes a área nuclear, que devem ser rigorosamente obedecidas. Todas as atividades desenvolvidas na fase de projeto, construção, comissionamento e operação das usinas nucleares, são licenciadas e fiscalizadas pela CNEN. 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.

As usinas nucleares são projetadas, construídas e operadas seguindo elevados padrões de qualidade, utilizando materiais e equipamentos de alta qualidade, através da criteriosa observância das especificações durante a construção e com a implementação de um programa de treinamento para os operadores e para o grupo de manutenção. Dessa maneira, caso ocorram condições de transientes, acidentes, erros de operação, operação em condições anormais e mau funcionamento de componentes, não haverá liberação de produtos de fissão, material radioativo, para o meio ambiente. O projeto de um reator nuclear é caracterizado pela adoção de critérios e práticas conservativas de projeto, com vários níveis de segurança, com uma grande margem de tolerância para erros de operação, para operação em condições anormais e para o não funcionamento de componentes. O primeiro nível de segurança caracteriza-se pela possibilidade de ocorrência de falhas em sistemas, sem que ocorra um acidente com liberação de radioatividade. São necessários sistemas com redundâncias, facilidades de inspeção e testes. O segundo nível de segurança considera a análise de uma extensa série de acidentes, acidentes postulados, de modo a incluir sistemas de segurança capazes de prevenir erros de operação e inibir falhas de equipamentos. O terceiro nível de segurança requer a introdução de sistemas de segurança adicionais, levando em consideração a ocorrência e os efeitos de acidentes hipotéticos, tais como, terremotos, tempestades e assumindo falhas simultâneas dos sistemas de segurança, que deveriam atuar durante a ocorrência desses acidentes. A verificação correta da aplicação desses

níveis de segurança em todas as etapas do projeto de uma usina nuclear, é feita através do processo de 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 operação segura de uma instalação nuclear, visando resguardar a saúde do trabalhador e da população, bem como proteger o meio ambiente de possíveis danos causados pela radiação. O projeto e licenciamento nuclear se completam de modo a proteger o público contra os riscos potenciais associados à energia nuclear. O licenciamento nuclear é feito através da revisão dos relatórios de análise e segurança submetidos pela empresa proprietária 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 seguintes pontos:

- aprovação do local de construção;
- licença de construção;
- autorização para operação inicial;
- autorização para operação permanente;
- cancelamento da autorização para operação.

Na aceitação do local de construção devem ser levados em consideração os seguintes fatores:

- dimensões;
- 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.

Sendo a escolha do local um compromisso entre vários fatores, caso seja necessário, pode ser exigida a instalação de sistemas ou equipamentos não previstos no projeto original, de modo a tornar possível o enquadramento do local nas condições exigidas para proteção do público. 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. Adicionalmente, a norma CNEN-NE-1.04 requer que seja adotada uma usina nuclear de referência, para a aprovação do local 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 revisão e análise do relatório preliminar de análise de segurança (RPAS), são solicitadas informações complementares à empresa requerente, através de perguntas e reuniões para debate sobre os pontos duvidosos. 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.

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.

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.

1.2.2 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. Este estudo visa identificar, organizar e avaliar, entre outros, os efeitos físicos, ecológicos, econômicos, sociais e culturais do empreendimento. Como impacto ambiental entendemos qualquer modificação do meio ambiente, seja ela adversa ou benéfica, resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança, o bem estar da população, as atividades sociais e

econômicas, a flora, a fauna, o mar, os rios, o solo, o meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais. A legislação ambiental vigente prevê ainda, que possíveis impactos negativos sejam compensados na forma de benefícios à comunidade, através de medidas mitigadoras.

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. Exemplares do RIMA são distribuídos aos órgãos públicos que têm relação direta com o empreendimento, para que analisem o documento e se manifestem a respeito. Suas cópias estarão à disposição dos interessados nos centros de documentação ou bibliotecas do órgão estadual de controle ambiental, FEEMA e da Prefeitura. Esse relatório é essencial, uma vez que as audiências públicas, com pleno direito de acesso à população, são parte integrante do processo de licenciamento ambiental.

1.3 O Relatório Final de Análise de Segurança

O relatório final de análise de segurança (RFAS), segundo as normas e procedimentos estabelecidos pelo órgão regulador brasileiro, Comissão Nacional de Energia Nuclear, tem seu formato, estrutura e conteúdo referenciado às normas e documentos utilizados e desenvolvidos pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA). Este relatório compreende os seguintes capítulos:

- Capítulo 1: Introdução e descrição geral da instalação
- Capítulo 2: Características gerais da instalação, ou seja, características físicas, geográficas, demográficas, meteorológicas, geológicas, sismológicas, hidrológicas, industriais e de transporte da região.
- Capítulo 3: Projeto de estruturas, componentes, equipamentos e sistemas.
- Capítulo 4: Descrição do projeto do reator, elementos combustíveis, núcleo do reator.
- Capítulo 5: Sistemas de resfriamento do reator e sistemas associados.
- Capítulo 6: Sistemas de segurança.
- Capítulo 7: Instrumentação e controle.
- Capítulo 8: Sistemas elétricos.

- Capítulo 9: Sistemas auxiliares.
- Capítulo 10: Sistemas de vapor e conversão de energia.
- Capítulo 11: Gestão de resíduos radioativos.
- Capítulo 12: Proteção radiológica.
- Capítulo 13: Condução da operação.
- Capítulo 14: Ensaios e operações na partida do reator.
- Capítulo 15: Análise de acidentes postulados.
- Capítulo 16: Especificações técnicas.
- Capítulo 17: Programa de garantia de qualidade.
- Capítulo 18: 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 empresa geradora de energia elétrica deve justificar a adoção da usina nuclear de referência, identificar as possíveis diferenças, como por exemplo, em relação à potência gerada e especificar os critérios e normas a serem utilizados. A adoção de uma usina nuclear de referência implica nas seguintes características:

- estar localizada no país do principal fornecedor;
- estar licenciada no país de origem;
- entrar 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, CNEN, deve estabelecer e expedir normas, regulamentos aplicáveis e em uso em países com larga experiência na operação de usinas nucleares. As normas da CNEN têm como referência as normas da 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. As normas elaboradas pela CNEN, inicialmente, apresentam um caráter experimental, sendo revisadas em um prazo de até dois anos, com o objetivo de incorporar emendas consagradas pela prática e obter assim

a condição de normas nucleares. Caso torne-se necessário, a CNEN 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 da CNEN 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.

A usina nuclear PWR estudada e sala de controle avaliada foram projetadas e construídas utilizando tecnologia alemã, tendo como usina nuclear de referência, a central nuclear de *Grafenrheinfeld*. Foi incorporado no projeto, na construção, nos procedimentos de operação, na manutenção, a experiência operacional alemã. O capítulo 18, engenharia de fatores humanos, só foi incluído no relatório final de análise de segurança, por recomendação da Agência Internacional de Energia Atômica, no final da construção da sala de controle principal avaliada. Então do ponto de vista da engenharia de fatores humanos, não foi realizada uma análise específica comparando os requisitos das normas alemãs com os critérios estabelecidos pelas normas e guias de fatores humanos, utilizados como referência pela Agência Internacional de Energia Atômica. Essas normas e guias estabelecem critérios para implementar um programa de engenharia de fatores humanos em salas de controle, avaliando o impacto causado pela introdução de *interfaces* operador sistema e para comprovar a alocação das técnicas relacionadas com fatores humanos no ciclo de vida de salas de controle de reatores nucleares.

O objetivo do capítulo 18 é então assegurar que a sala de controle seja projetada e avaliada segundo os tópicos descritos pela NUREG 711, documento da comissão reguladora da área nuclear dos Estados Unidos da América, utilizado como referência pela Agência Internacional de Energia Atômica.

O documento 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

Os documentos IAEA-75-INSAG-3, IEEE STD 845, NUREG/CR-6093 enfatizam que 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 segurança do público. 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. Os documentos e normas IAEA-TECDOC 668, IEC 964 e NUREG/CR-3371 podem ser usados como referência para este tópico.

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. Esta análise é utilizada para definir o programa de treinamento, o desenvolvimento dos procedimentos e das *interfaces* operador sistema. Os documentos IEC 964 e NUREG/CR-3371 podem ser usados como referência para este tópico.

- 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. Os documentos e normas ANSI/ANS 3.1, ANSI/ANS 3.4, NUREG 1021, *Regulatory Guide* 1.114, NUREG/CR-6122, NUREG/CR-6126, podem ser usados como referência para este tópico. A Comissão Nacional de Energia Nuclear elaborou as normas CNEN-NE-1.01, CNEN-NE-1.06 e CNEN-NE-1.17 relacionadas com este item.

- Análise da confiabilidade humana

O objetivo deste tópico é garantir que a empresa geradora de energia elétrica analisou as consequências dos possíveis erros humanos na segurança da instalação nuclear, prevendo mecanismos para evitá-los. É necessário utilizar uma base de dados de erros humanos. Os documentos NUREG/CR-6265, NUREG/CR-1278 e NUREG 1624 podem ser usados como referência para este item.

- Projeto das *interfaces* operador sistema

O projeto das *interfaces* operador 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.

Os documentos e normas IEC 964, IEC 1227, IEC 1772, IAEA-TECDOC 565, IAEA-TECDOC 812, NUREG/CR-5908, NUREG/CR-6105, NUREG/CR-6684 e a NUREG 700 podem ser utilizados como referência para este item.

- 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. Os documentos e normas NUREG 899, NUREG 1358, NUREG/CR-5228 e ANSI/ANS-3.2 podem ser usados como referência para este item.

- 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. Os documentos e normas ANSI/ANS 3.1, ANSI/ANS 3.5, NUREG 1021, NUREG/CR-6126, NUREG/CR-6122, NUREG/CR-6127, CNEN-NE-1.01, CNEN-NE-1.06 e *Regulatory Guide* 1.114 podem ser usados como referências para este item.

- 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. Os documentos e normas IEC 1771, IEEE STD 845 e NUREG/CR-6393 podem ser usados como referência para este item.

CAPÍTULO 2 – A ERGONOMIA EM 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 dez itens divididos em quatro etapas, citadas a seguir:

- planejamento do programa de engenharia de fatores humanos
- análise do seguintes itens:
 - experiência operacional
 - análise das funções e alocação das funções
 - análise das tarefas
 - qualificação e quantificação dos operadores
 - análise da confiabilidade humana
- projeto dos seguintes itens:
 - projeto das *interfaces* operador sistema
 - desenvolvimento dos procedimentos
 - desenvolvimento do sistema de treinamento
- verificação e validação do programa de engenharia de fatores humanos

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 utilizada pela ergonomia, ou seja, a realidade da atividade dos operadores, a abordagem da atividade futura provável (DANIELLOU e GARRIGOU, 1988), a interação entre os operadores, a interação dos operadores com o grupo de apoio, manutenção e testes, as estratégias utilizadas pelos operadores, ignorando uma série de mecanismos que possibilitaria melhores práticas de avaliação de salas de controle, podendo constituir uma excelente ferramenta de ajuda a ser usada no processo de licenciamento de salas de controle. Para que os objetivos anteriormente citados sejam alcançados, é necessário estabelecer uma metodologia que englobe os princípios relacionados com a ergonomia, incluindo também as normas e guias de fatores humanos.

Existem aspectos específicos que afetam as decisões com relação à escolha das técnicas e métodos mais apropriados. O tipo de informação a ser obtido varia de acordo com a técnica e método escolhidos, o que fará com que sejam mais apropriadas para certos objetivos e para uma determinada fase do ciclo de vida.

As seguintes questões auxiliam na escolha da técnica mais apropriada:

- Quais são os objetivos da análise?
- Que informações necessitam ser obtidas?
- Como serão obtidas as informações?
- Qual o nível de análise necessária para alcançar o objetivo da missão?
- Quais são as fontes disponíveis?
- A falta de uma dessas fontes irá restringir a análise?
- Em que fase do ciclo de vida pretende-se que a análise seja realizada?

As principais técnicas e métodos utilizados são citados a seguir:

2.1 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:

- análise da situação de referência, ou seja, análise de situações similares;
- construção da situação de ação característica ;
- identificação dos elementos da situação de trabalho relevantes;
- reconstituição da atividade futura;
- 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).

A situação de referência pode ser a situação atual de uma indústria que vai ser modernizada ou de um setor que vai sofrer mudanças ou transformações no seu processo de produção e que apresenta princípios de operação, que estarão presentes na futura instalação (DANIELLOU, 1988).

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.

A ergonomia atua na análise de salas de controle similares com o objetivo de garantir que essa análise seja orientada para o operador. As informações e dados obtidos através da experiência operacional em salas de controle similares, devem ser incorporados nos programas de treinamento, nos procedimentos de operação, manutenção e nas eventuais modificações dos principais sistemas. 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;
- identificação dos problemas relacionados com a operação, que devem ser evitados na nova sala de controle.

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.

A análise da atividade consiste no estudo do comportamento dos operadores com relação às ferramentas e máquinas utilizadas, com relação ao comportamento vocal, comunicativo, gestos, movimentos da cabeça e olhos (WISNER, 1995).

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. A análise da atividade é especialmente utilizada em situações onde o operador realiza diferentes ações sem uma seqüência definida (VIDAL E ZAMBERLAN, 1999).

Segundo MARMARAS E PAVARD (1997), a análise da atividade é um processo, que compreende os seguintes estágios:

- observações sistemáticas e registro das atividades observáveis dos operadores em relação aos elementos do sistema de trabalho e das condições do ambiente do sistema de trabalho;
- formulação de hipóteses sobre a competência dos operadores, interpretando suas atividades cognitivas e referenciando-se nas demandas do sistema de trabalho, nas condições do ambiente do sistema de trabalho, nas restrições e nos limites da cognição humana. A análise dos protocolos verbais é a principal técnica utilizada neste estágio.

A análise cognitiva descreve aspectos não observáveis em um processo. Descreve a organização em termos do entendimento, tomadas de decisão e estratégias dos operadores. Informações são obtidas em relação às ações e decisões tomadas pelo operador, considerando os objetivos imediatos, as informações recebidas e as atividades paralelas realizadas. Na análise cognitiva são identificadas as principais atividades cognitivas, tais como, diagnóstico dos problemas, avaliação dos efeitos de certas ações e escolha dos planos de ação. A análise cognitiva considera a operação de uma sala de controle de um reator nuclear através do ponto de vista do operador, identificando aspectos que enfatizam os recursos cognitivos, ou seja, sua memória, sua atenção. Estas informações permitem ao

projetista se concentrar nas características que os operadores consideram mais difíceis de aprender e principalmente onde os erros ocorrem.

2.2 Análise das Funções

Após a definição dos objetivos, requisitos e identificação das necessidades operacionais, as principais funções que os sistemas e subsistemas irão realizar serão identificadas e analisadas, sendo gerada uma estrutura representando como elas irão interagir. Esta análise permite que se tomem decisões relacionadas com a alocação de funções para os operadores e entre os operadores e os principais sistemas.

A análise das funções deve ser implementada na fase do projeto conceitual, gerando informações para a análise das tarefas. Algumas técnicas são usadas nesta fase, como por exemplo, o diagrama de fluxo e o diagrama decisão ação.

O diagrama de fluxo corresponde a uma série de etapas utilizadas para decompor ou identificar a seqüência de funções que é realizada por um determinado sistema. A figura 2 mostra um exemplo de um diagrama funcional de fluxo.

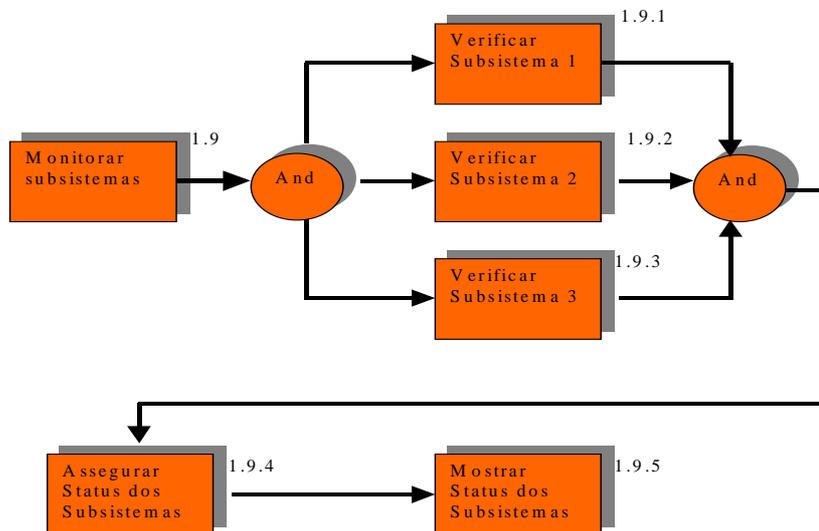


Figura 2: Diagrama Funcional de Fluxo

O diagrama decisão ação é utilizado para identificar e descrever a seqüência de funções ou ações que devem ser realizadas, contendo decisões que são baseadas em questões com alternativas binárias de escolha, sim ou não. A figura 3 mostra um exemplo de um diagrama decisão ação

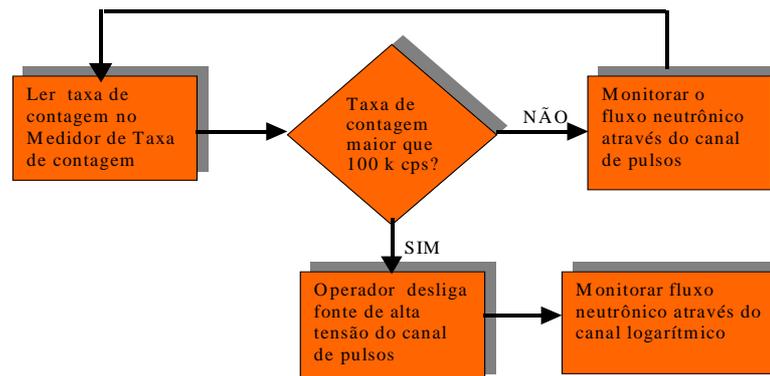


Figura 3. Diagrama Decisão Ação

2.3 Alocação das Funções

O objetivo é alocar as funções, ações e decisões relacionadas com o funcionamento da sala de controle para os sistemas, para os operadores ou para ambos. Inicialmente são identificadas todas as funções que devem ser alocadas para os operadores e para os sistemas. Posteriormente, devem ser identificadas as funções restantes, ou seja, aquelas que poderiam ser realizadas pela combinação de sistemas e operadores. São preparadas descrições de como essas funções poderiam ser implementadas, estabelecidos critérios e alternativas são comparadas, levando em consideração a eficiência, desempenho e otimização da relação custo benefício. As informações obtidas são usadas para identificar o número de operadores necessários na sala de controle, para definir os requisitos de treinamentos e os procedimentos de operação.

A seguir são citados alguns critérios que podem ser usados na alocação de funções:

- segurança;
- desempenho;
- custos envolvidos na implementação;
- viabilidade tecnológica;
- o tempo necessário para a implementação.

Esta técnica normalmente é aplicada na fase do projeto conceitual, mas deve ser revisada após o projeto detalhado, a partir do momento que os elementos relacionados com o *software* e com o *hardware* tenham sido definidos ou à medida que modificações sejam implantadas ou quando fica claro que a sala de controle não alcançou os objetivos inicialmente pretendidos.

Os objetivos básicos da alocação das funções são os seguintes:

- deixar o operador livre das tarefas que não são apropriadas para o ser humano;
- determinar as tarefas que beneficiem o ser humano e deixá-las para o operador, ou seja, tarefas relacionadas com o padrão de reconhecimento, abstração, atividades de planejamento.

São citados a seguir os principais critérios a serem usados na alocação das funções:

- os aspectos cognitivos dos operadores devem ser explorados;
- a automação deve ser usada para proteger a sociedade contra a falibilidade e variabilidade do ser humano;
- a automação deve ser usada para redução da sobrecarga cognitiva do operador;
- as tarefas automatizadas não devem retornar para o operador quando o sistema falhar.

As funções resultantes são classificadas em quatro grupos:

- funções que podem ser automatizadas: tarefas que requerem resposta rápida e alta taxa de repetição.
- funções que devem ser automatizadas: tarefas de longa duração, que requerem alta precisão ou que envolvam um alto risco para o operador.

- funções que são específicas para o ser humano: tarefas que requerem conhecimento, tarefas em situação de extrema anormalidade ou acidentes, onde a automação é difícil de ser realizada.
- funções que podem ser compartilhadas: funções realizadas através de informações baseadas na decisão do operador.

FITTS E JONES (1947) elaboraram uma lista que determina as atividades que são realizadas com melhor desempenho pelos seres humanos e pelas máquinas. Apesar de ter sido extensivamente utilizada, atualmente a aplicação desta lista é bastante questionada.

JORDAN (1963) questiona a lista de FITTS com relação à comparação entre homens e máquinas. Homens e máquinas não podem ser comparados. Pessoas são flexíveis, mas inconsistentes, enquanto as máquinas são consistentes, mas inflexíveis. O homem não é uma máquina, pelo menos não uma máquina como as máquinas que os homens constroem (JORDAN, 1963).

A tabela 1 apresenta a lista de FITTS E JONES (1947).

Tabela 1: Lista de FITTS E JONES (1947)

Seres humanos são excelentes em:	Máquinas são excelentes em:
Sensibilidade em relação a uma grande variedade de estímulos	Realizar rotinas repetitivas ou operações com um grande nível de precisão
Percepção de padrões e realizar generalizações sobre esses padrões	Responder rapidamente aos sinais de controle
Detectar sinais com um alto nível de ruído	Exercer uma grande força, de maneira suave e com precisão
Habilidade para armazenar uma grande quantidade de informações por longos períodos e recordar de fatos relevantes em momentos apropriados	Armazenar e recordar de uma grande quantidade de informações durante um curto período de tempo
Habilidade para exercer julgamentos onde eventos não podem ser completamente definidos	Realizar complexos cálculos com alta precisão e com alta velocidade
Improvisar e adaptar procedimentos	Sensibilidade a estímulos, além da faixa da percepção humana
Habilidade para responder a eventos não esperados de baixa probabilidade de ocorrência	Realizar várias coisas ao mesmo tempo
Aplicar a originalidade para resolver problemas	Processos dedutivos
Habilidade para tirar proveito da experiência e alterar o curso de uma ação	Insensibilidade aos fatores externos
Habilidade para realizar ajustes com precisão	Habilidade para repetir operações rapidamente, com precisão, de um mesmo modo e durante um longo período
Habilidade para continuar a operação, mesmo com sobrecarga de trabalho	Habilidade para realizar operações mesmo em condições ambientais adversas
Habilidade para raciocinar intuitivamente	Monitoração

2.4 Análise das Tarefas

Esta análise é focada no aspecto prescrito das tarefas. A análise das tarefas realiza o estudo das ações que devem ser realizadas pelo operador, os objetivos que ele tem de alcançar, os recursos e condições de que dispõe. A análise das tarefas gera uma lista ordenada de todas as ações, que o operador tem que realizar. A análise é utilizada:

- na determinação do tempo necessário para realizar as tarefas;

- na determinação das condições para realizar as tarefas;
- na determinação dos requisitos mínimos para o projeto das *interfaces* homem sistema;
- na determinação do número de operadores.

Segundo MEISTER (1985), a análise das tarefas obtém respostas para as seguintes perguntas:

- Operadores
 1. Quais são as informações requeridas pelo operador ?
 2. Que informações estão disponíveis para o operador ?
 3. Como os operadores avaliam essas informações ?

- Ação
 1. Quais são as ações realizadas pelos operadores ?
 2. Quais são os movimentos do operador ?
 3. Com que frequência a ação é realizada ?
 4. Com que precisão a ação é realizada ?
 5. Com que rapidez a ação é realizada ?

- Condições do local de trabalho
 1. Qual o espaço exigido pela ação ?
 2. Quais as ferramentas e equipamentos necessários ?
 3. Que tipo de ajuda é necessária ?
 4. Quais são as condições ambientais do local do trabalho ?

- Requisitos de treinamento
 1. Qual o tipo de treinamento necessário ?
 2. Qual é a experiência necessária ?

2.5 Comunicação

A comunicação define e verifica quais são as etapas dos procedimentos de emergência, parada e partida do reator nuclear, que requerem comunicação entre os operadores. A comunicação 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.

KETTUNEN E PYY (1998) definiram os seguintes tipos de comunicação, apresentados na tabela 2, que são utilizados pelos operadores de salas de controle de reatores nucleares.

Tabela 2: Tipos de Comunicação (KETTUNEN E PYY, 1998)

Tipo	Definição	exemplo
Conhecimento	Declaração que indica que uma mensagem foi recebida	“ Marcos, OK.”
Comando	Determinação específica de responsabilidade feita por um operador em relação ao outro operador	“Abra a válvula V15, agora !”
Indagação	Uma pergunta bem definida	“A vazão medida em F101 mostra algum aumento? ”
Réplica	Declaração usada para responder uma indagação	“ Sim, a vazão é 25 e está com um pequeno aumento”
Observação	Uma observação feita com o objetivo de chamar a atenção para um aspecto específico da operação	“ Agora a vazão está em 27 – A vazão deveria ser maior do que 40 “
Sugestão	Uma sugestão para uma ação específica ou uma idéia a ser considerada	“Podemos isolar a válvula se ela estiver com problema ?”
Declaração de uma intenção	Anúncio de uma ação intencional	“Veja, tentarei isolá-la”
Ânimo	Melhorar o espírito da equipe	“Vamos lá, conseguiremos”
Não codificáveis	Mensagem ambígua	“Hum....hum...hum”
Tarefa não relacionada	Uma declaração fora do contexto da operação	“A propósito, quem pode me deixar em casa? ”

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. Durante a fase de testes, a adequação do sistema de comunicação é avaliada através de simulações em situações de operação normal e de emergência.

Segundo WOODSON E TILLMAN (1981), no projeto de um sistema de comunicação é necessário considerar os seguintes itens:

- modo de comunicação, ou seja, visual ou sonoro;
- restrições relacionadas com o sistema de comunicação, ou seja, ruído, privacidade, segurança, interferências, condições ambientais;
- 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.

WOODSON e TILLMAN (1981) formularam as seguintes considerações técnicas relacionadas ao uso de sistemas de comunicação visual e sonoro, enfatizando como e quando utilizar comunicação sonora e visual e os tipos de alarmes:

- Quando usar sistema de comunicação sonoro?
 - Quando a mensagem é simples.
 - Quando a mensagem é curta.
 - Quando a mensagem não precisa ser referenciada posteriormente.
 - Quando a mensagem indica uma ação imediata.
 - Quando o sistema visual está sobrecarregado.
- Quando usar sistema de comunicação visual ?
 - Quando a mensagem é complexa.
 - Quando a mensagem é longa.
 - Quando a mensagem necessita ser referenciada posteriormente.
 - Quando o local de trabalho estiver submetido a ruídos.
 - Quando for necessário que o operador continue monitorando o processo.
- Quando usar um sistema de comunicação geral ?
 - Quando for necessário que várias pessoas recebam a mesma informação simultaneamente e do mesmo modo.
 - Quando o operador estiver momentaneamente fora do local de trabalho.
 - Quando a informação transmitida for de interesse geral
 - Quando canais de comunicação individuais não estiverem disponíveis.
- Quando usar um sistema de comunicação individual ?
 - Quando a transmissão envolver somente duas pessoas
 - Quando a informação transmitida não necessitar ser compartilhada.

2.6 Desenvolvimento dos Procedimentos

A definição dos procedimentos é realizada durante o projeto conceitual, quando as funções já tiverem sido identificadas. O desenvolvimento dos procedimentos deve ser realizado pelos projetistas e operadores com experiência, de modo a assegurar que eles sejam a representação real da atividade a ser realizada. A documentação deve ser realizada na fase do projeto detalhado, quando os projetos dos sistemas já tiverem sido concluídos e a análise das tarefas tiver sido finalizada. Os procedimentos devem ser revistos, de modo a comprovar a identificação precisa e correta das funções e tarefas a serem realizadas. Durante a fase da avaliação integrada ou mesmo de operação podem ocorrer alterações, caso se comprove a necessidade de modificações nos procedimentos.

Para controlar e monitorar uma usina nuclear com segurança e eficiência, os operadores necessitam de informações e orientações sobre os sistemas técnicos e administrativos da usina nuclear. É necessário assegurar a operação de acordo com os princípios de segurança e que a usina nuclear seja administrada segundo os aspectos reguladores, de qualidade e de saúde dos operadores. Essas necessidades são traduzidas através de instruções normativas, de operação, emergência, parada, partida e manutenção.

O processo de verificação dos procedimentos consiste em confirmar a exatidão das instruções escritas, comprovando que os aspectos técnicos foram incorporados corretamente e que as ações especificadas nas instruções de operação podem ser realizadas com sucesso pelos operadores.

2.7 Análise da Carga de Trabalho dos Operadores

A análise da carga de trabalho tem como objetivo verificar se o nível de automação é apropriado para as demandas da sala de controle e para a capacidade dos operadores, assegurando o controle e a motivação. Esta análise é iniciada durante a fase de testes, comprovando as decisões tomadas com relação à alocação das funções.

As técnicas utilizadas na análise da carga de trabalho são definidas como fisiológicas, objetivas e subjetivas:

2.7.1 Técnicas Fisiológicas

Técnicas que examinam a reação física dos operadores devido à carga de trabalho, através da mudança ou variação de certos atributos físicos. A seguir são citadas algumas medidas fisiológicas:

- Sistema Nervoso

Estímulos externos como, por exemplo, ruídos e luzes intermitentes afetam o sistema nervoso dos seres humanos. Através do uso do eletroencefalograma, o efeito combinado das células sobre uma grande área do cérebro é detectado por dois ou mais eletrodos colocados em contato com a pele.

- Dilatação da Pupila

As pupilas dos olhos contraem na presença de luzes brilhantes e dilatam em locais de baixa luminosidade. Segundo KAHNEMAN e BEATTY (1967, apud MEISTER, 1985), vários fatores tais como, a fadiga e o nível de iluminação no ambiente de trabalho afetam o tamanho da pupila e devem ser controlados cuidadosamente.

- Frequência Cardíaca

Segundo DAVID e THOMAS (1971, apud MEISTER, 1985), a frequência cardíaca varia com a carga de trabalho. A medida da pressão arterial e o uso do eletrocardiograma são fundamentais para este tipo de medida. Segundo KALSBECK (1973, apud MEISTER, 1985), a relação da frequência cardíaca com a carga de trabalho é variável e ocorre na presença da arritmia.

- Análise da Voz

As características da voz de uma pessoa variam quando ela está submetida a um estresse emocional. SIMENOV (1975, apud MEISTER, 1985) estudou essa relação com a alteração da frequência da voz de pilotos, astronautas e atores, tentando identificar a relação do estresse emocional com a fadiga. Os resultados não foram conclusivos.

- Tremor nos Dedos

Algumas pessoas exibem um pequeno tremor nos dedos, que fica mais acentuado quando submetidas a um estresse emocional. NICHOLSON (1973, apud MEISTER, 1985) estudou a relação da fadiga e do estresse emocional com o tremor nos dedos.

- **Tensões nos Músculos**

O movimento do corpo e o uso da força física são acompanhados pelo aumento da tensão nos músculos, refletido através das contrações das fibras dos músculos. A medida destas contrações é realizada por eletrodos colocados diretamente nos músculos e tem por objetivo indicar os níveis de fadiga. SCHMORE (1959, apud MEISTER, 1985) mostrou que existe uma boa correlação entre o nível de ansiedade e da fadiga com a contração dos músculos do pescoço. WIERWILLE (1979) considerou que estas medidas ainda não eram confiáveis.

2.7.2 Técnicas Objetivas

Segundo MEISTER (1985), existem dois tipos de técnicas objetivas:

- **Medida da Carga de Trabalho Utilizando Tarefas Primárias**

A medida da carga de trabalho utilizando tarefas primárias pode ser determinada através de uma carga de trabalho adicional, que pode ser imposta ao operador antes do desempenho da tarefa torna-se inaceitável.

- **Medida da Carga de Trabalho Utilizando Tarefas Secundárias**

É similar à medida da carga de trabalho utilizando tarefas primárias, exceto que 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.

2.7.3 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.

Foram desenvolvidas escalas com pontuações com o objetivo de validar as técnicas subjetivas. Uma dessas técnicas de validação é a escala de Cooper-Harper, modificada por WIERWILLE E CASALI (1983). Um dos maiores problemas encontrados com o uso de escalas de pontuação subjetivas é a variabilidade da subjetividade. HART E STAVELAND (1988), propuseram uma técnica de pontuação, NASA-TLX, que permite que esta variabilidade seja reduzida.

2.8 Análise do Desempenho dos Operadores

O desempenho humano em condições dinâmicas de operação pode se analisado, avaliando o resultado das ações do operador. Uma outra abordagem consiste em avaliar o desempenho através da observação da atividade dos operadores.

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.

Segundo BAKER *et al.* (1986), a relação entre o tempo de reação e o desempenho do operador não é óbvia, representando um indicador artificial. Um tempo de reação pequeno pode significar uma rápida execução de uma estratégia, mas também pode indicar uma má representação cognitiva de um evento, com soluções incompletas.

Segundo SKRANING (1991), para tarefas simples um tempo de reação pequeno está relacionado com uma melhor solução apresentada pelo operador. Entretanto para tarefas complexas este critério não é realístico.

A taxa de erro, ou seja, o número de erros cometido 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:

- Fatores Operacionais

Objetivo do sistema, tempo de operação.

- Fatores Relacionados com a Sala de Controle

Layout dos painéis, *layout* do console de controle, modos de operação.

- Fatores Relacionados Com as Tarefas

Complexidade, atividades múltiplas e simultâneas, duração da tarefa, supervisão, alta carga de trabalho, regulações.

- Fatores Pessoais

Treinamento, experiência individual ou do grupo, motivação, capacitação, fadiga, nível de instrução, atitude moral, carga de trabalho física e mental, medo e ansiedade, perda sensorial, sexo, idade, peso, altura, estresse.

- Fatores Ambientais

Temperatura, iluminação, limitação espaço físico, vibração, nível de ruído, turbulência, visibilidade, velocidade do vento, umidade, pressão atmosférica.

Os modos de desempenho dos operadores são baseados nas habilidades, nas regras e no conhecimento (RASMUSSEN, 1987). Os operadores normalmente estão se movendo de um modo de desempenho para outro.

- Desempenho baseado na habilidade

Neste nível são executadas ações rotineiras, tarefas práticas, ações realizadas com ocasionais verificações conscientes. O comportamento é governado através de instruções pré-programadas, desenvolvidas através de treinamento ou da experiência adquirida. Os erros cometidos neste modo são ocasionados pela falta de atenção.

- Desempenho baseado nas regras

Neste nível são aplicadas regras escritas ou memorizadas, através da combinação dos sinais e sintomas dos problemas encontrados e do conhecimento armazenado. O pensamento consciente é utilizado para verificar se a solução é apropriada ou não. As ações requerem um grande nível de consciência, apesar de estarem inseridas na experiência normal dos operadores. Os erros cometidos neste modo são ocasionados pela má interpretação.

As ações são baseadas em regras e procedimentos, seguindo a seguinte lógica:

SE (Indício X) ENTÃO (Situação Y)

- Desempenho Baseado no Conhecimento

Quando não conseguimos achar uma solução já existente para um problema, recorremos ao esforço de pensar sobre possíveis soluções. Caso exista disponibilidade de tempo e condições apropriadas que satisfaçam o aprendizado, encontraremos excelentes soluções.

Segundo REASON (1994), as pessoas não estão preparadas para solucionar novos problemas em situações de emergência. Neste nível as ações requerem um grande nível de consciência.

Os operadores devem utilizar o conhecimento fundamental ao invés da experiência formal. As ações corretas não estão claras. É uma situação não familiar. O operador não possui as habilidades e as regras necessárias. Ele deve usar seu conhecimento sobre o sistema, princípios científicos ou fundamentos teóricos. Os erros cometidos neste modo são ocasionados por um modelo mental equivocado.

O operador no modo de desempenho baseado no conhecimento deve:

- construir seu conhecimento fundamental através de princípios científicos e utilizar diagramas dos sistemas;
- ter um bom método de solução de problemas;
- duvidar das conclusões alheias;
- trabalhar em grupo.

Durante a solução dos problemas, o objetivo é descobrir meios que possibilitem a mudança de uma situação baseada no conhecimento para uma situação baseada nas regras ou na habilidade. Deve-se enfatizar, que os três níveis de desempenho não são mutuamente exclusivos.

A seguir são citadas algumas sugestões que podem melhorar o desempenho do operador, reduzindo a possibilidade de um erro acontecer:

- Modo desempenho baseado nas habilidades
- identificar as etapas críticas de uma tarefa;
- aumentar a supervisão incluindo um operador para realizar a verificação paralela nas etapas críticas;
- assim que o operador for interrompido, reler duas ou três etapas anteriores de um procedimento antes de prosseguir com a tarefa;

- melhorar o planejamento, diminuindo as interrupções;
- eliminar pressões desnecessárias realizadas pelo planejamento;
- melhorar a experiência e a proficiência do operador com a tarefa.
- Modo desempenho baseado nas regras
 - simplificar os procedimentos;
 - eliminar erros nos desenhos esquemáticos e manuais técnicos;
 - melhorar o conhecimento em relação aos procedimentos;
 - promover a prática das intenções verbalizadas.
- Modo desempenho baseado no conhecimento
 - intensificar o uso de *interfaces* amigáveis com o operador;
 - enfatizar o uso de equipes, cooperação e comunicação entre os operadores;
 - utilizar o conhecimento adquirido sobre os sistemas;
 - questionar as decisões tomadas.

Algumas técnicas podem ser usadas para melhorar o desempenho dos operadores de salas de controle de reatores nucleares, reduzindo a probabilidade de ocorrência de erros na operação e manutenção. A seguir são citadas essas técnicas:

- Comunicação em três vias

Técnica utilizada para otimizar o entendimento entre os operadores, aumentando a exatidão da comunicação. Um operador inicia a mensagem, o outro operador entende a mensagem e o primeiro operador confirma a exatidão da mensagem recebida pelo segundo operador. A desvantagem desta técnica está relacionada com o maior tempo para realizá-la. A seguir é citado um exemplo da comunicação em três vias:

PAULO: “ Marcos -Feche a válvula P12 ”

MARCOS: “ Eu entendo que você quer que eu feche a válvula P12 “

PAULO: “ Está correto. “

- Verificação paralela

O operador observa a tarefa realizada por outro operador, assegurando que está correta.

- Verificação independente

Outro operador executa uma verificação independente com o objetivo de comprovar se as tarefas foram realizadas corretamente.

- Dupla verificação

Técnica mais formal do que a verificação paralela. Dois operadores verificam as etapas de uma tarefa.

- Auto-verificação

Técnica para intensificar a atenção do operador, antes que ele realize uma ação específica. O operador deve parar, pensar, agir e rever.

2.9 Projeto do Local de Trabalho

O projeto do local de trabalho engloba o *layout* da sala de controle, dos respectivos painéis, além da análise das condições ambientais do local de trabalho. O projeto do local de trabalho é iniciado durante a fase do projeto conceitual, após a alocação das funções e da análise das tarefas. O projeto dos consoles de controle deve ser finalizado durante a fase do projeto detalhado, quando todas as informações que definem como as tarefas serão executadas tornarem-se disponíveis. A verificação e a validação devem ser realizadas durante a fase de testes, podendo ser utilizadas listas de verificação e maquetes.

O projeto dos consoles de controle e dos respectivos painéis é 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. Este projeto é orientado pelos seguintes princípios:

- Grupamento funcional

Os controles e medidores que se referem a uma função particular devem estar agrupados em uma mesma área do console. O objetivo é minimizar o movimento dos operadores ao realizar uma determinada ação, garantindo que todas as informações necessárias para a operação estejam disponíveis em um mesmo local.

- Seqüência de uso

A seqüência lógica do uso dos acionadores e controles define a posição desses controles no console.

- **Princípio da Importância**

O significado da palavra importância está relacionado com a segurança e com a frequência de uso. Este princípio requer que os controles mais importantes sejam posicionados mais próximos do operador.

- **Frequência de Uso**

Os controles mais utilizados devem ser localizados mais próximos dos operadores. Em alguns casos é impossível seguir esses quatro princípios. Neste caso, a segurança deve ter sempre a prioridade principal.

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 condições térmicas são importantes. Durante a fase do projeto detalhado realiza-se a análise das condições ambientais. Verificações são necessárias durante a fase de testes com o objetivo de confirmar se os objetivos desejados foram alcançados.

- **Ruído**

É importante identificar fontes potenciais de ruído, eliminá-las ou providenciar um tratamento acústico. É importante identificar as áreas onde a utilização de protetores contra ruídos são necessários.

- **Iluminação**

Para salas de controle recomenda-se que o nível de iluminação seja regulável. A cor das lâmpadas em uma sala de controle é muito importante quando se utilizam telas de computadores coloridas, pois o espectro da luz ambiental mistura-se com o espectro das cores emitidas pela tela, tendendo assim a modificar a percepção das cores (VIDAL e ZAMBERLAN, 1999).

- **Condições Térmicas**

A temperatura na sala de controle e a umidade relativa são fatores que devem ser considerados.

2.10 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. A análise das tarefas identifica que parâmetros necessitam ser apresentados, controlados e como os sistemas devem ser usados. O projeto das *interfaces* deve ser realizado durante a fase do projeto detalhado, quando a análise das tarefas já tiver sido realizada. O objetivo principal é desenvolver uma *interface* que preencha os seguintes requisitos:

- 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;
- não submeto o operador ao estresse;
- 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. Vários itens são analisados:

- o arranjo dos controles, dos medidores e das telas de computadores é função da seqüência de operação e da frequência de uso;
- os controles, os medidores e as telas de computadores com informações que se complementam devem estar localizados juntos;
- a luminosidade das telas de computadores e o tempo de apresentação das informações são fatores relevantes.

Os seguintes aspectos devem ser levados em consideração, pois podem afetar negativamente o desempenho dos operadores:

- as informações e os eventos são apresentados nas telas rapidamente;
- visual inadequado;

- telas com baixa relação sinal/ruído;
- a natureza dos dados apresentados não pode ser antecipada;
- vários controles atuados rapidamente;
- decisões baseadas em dados obtidos de múltiplas fontes de informações;
- pouco tempo disponível para tomadas de decisão;
- controles atuados com grande precisão;
- os controles não estão associados com as medidores e telas correspondentes;
- os controles, medidores e as telas dos computadores estão posicionados fora da área de visão dos operadores.

O projeto das *interfaces* inclui 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. A qualidade da interação é determinada pela combinação dos seguintes fatores:

- exatidão na realização da tarefa;
- como é realizada a tarefa, ou seja, com monotonia, com interesse, com desconforto;
- características técnicas da *interface*;
- contexto da tarefa;
- experiência e conhecimento do operador;
- tempo necessário para adquirir o conhecimento necessário;
- memória de curto prazo: capacidade de reter na memória de curto prazo conhecimentos não relacionados diretamente com a tarefa;
- memória de longo prazo: capacidade de reter na memória de longo prazo conhecimentos relacionadas com a seqüência das etapas necessárias para realizar a tarefa.

Para otimizar a interação operador sistema, alguns princípios devem ser seguidos:

- 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;
- a estrutura das *interfaces* deve permitir uma representação conceitual do processo;
- realimentações devem estar disponíveis, visando a correção de erros por parte dos operadores.

2.11 Desenvolvimento do Programa de Treinamento

O desenvolvimento do programa de treinamento dos operadores de reatores nucleares é um processo, que requer um alto nível de interação entre os especialistas em treinamento, projetistas e os próprios operadores. É importante que o programa de treinamento inicie o mais cedo possível e esteja concluído no final do projeto detalhado, de modo a ser implementado durante a fase de testes e avaliação, sendo revisado e atualizado durante a fase de operação.

MEISTER (1986) caracterizou o programa de treinamento como um sistema de instrução apresentando as seguintes características:

- o treinamento deve ser baseado nos resultados obtidos através da análise da atividade de trabalho, da análise das funções e da análise das tarefas;
- o processo de treinamento é interativo, consistindo de testes, avaliações e modificações.

O sistema de instrução é dividido em cinco blocos, citados a seguir:

1. Descrição do Trabalho

Inicia com a identificação das tarefas que são realizadas na sala de controle. Uma lista das tarefas é preparada, sendo verificada pelos operadores. As tarefas são priorizadas de acordo com sua importância. O sistema de instrução seleciona as tarefas a serem treinadas. Esta seleção é baseada na dificuldade da execução, na frequência e nas consequências sobre a segurança.

2. Conteúdo do Programa de Treinamento

Para cada tarefa a ser treinada deve ser descrito o comportamento a ser observado e em que condições a tarefa deve ser realizada.

A estrutura e os objetivos do programa de treinamento devem ser definidos e categorizados os elementos que influenciam no aprendizado, por exemplo: habilidade física associada com a manipulação manual do equipamento.

3. Desenvolvimento dos Métodos de Treinamento

Nesta etapa são examinados os métodos de treinamento a serem usados.

4. Preparação do Curso

A preparação do curso de treinamento está relacionada com o conteúdo da programação do curso.

5. Avaliação Interna e Externa

A aceitabilidade e o sucesso do programa de treinamento é feito através de avaliações internas e externas.

O treinamento do grupo de operação de um reator nuclear é um fator preponderante para a confiabilidade e segurança da planta nuclear. O programa de treinamento deve ser baseado na experiência operacional obtida em plantas similares e pretende assegurar os objetivos especificados pela NUREG 711.

Para os operadores de salas de controle dos reatores de potência do Brasil, os critérios para seleção dos operadores devem estar de acordo com os requisitos mínimos definidos na norma CNEN-NE-1.01.

2.12 Análise da Confiabilidade Humana

Segundo MEISTER (1966), confiabilidade humana é a probabilidade de que uma tarefa seja realizada com sucesso pelo operador em um determinado estágio da operação da sala de controle, em um mínimo período de tempo exigido.

Confiabilidade humana é a probabilidade de que um operador realize de maneira satisfatória uma tarefa exigida pelo sistema em um período de tempo determinado, sem realizar uma outra ação que possa degradar o sistema (NUREG/CR-1278).

A análise da confiabilidade humana tem como objetivo estimar a confiabilidade humana. A probabilidade de ocorrência do erro humano é definida como a razão entre os erros cometidos e o número de oportunidades dadas para a ocorrência do erro. O primeiro estágio na análise da confiabilidade humana é a identificação dos erros humanos. A análise da confiabilidade humana deve ser iniciada durante o projeto detalhado ou posteriormente, durante os testes e avaliações.

REASON (1994) considera os erros humanos como sendo falhas nas ações que foram planejadas, sem a intervenção de eventos não previstos. Ainda segundo REASON (1994), os erros humanos são classificados como:

- descuido: realizar a ação correta no item errado. Por exemplo: abrir a válvula A ao invés da válvula B;
- lapso: deixar de realizar uma ação no tempo certo;
- engano: realizar a ação errada;
- violação: interpretar a informação de maneira incorreta, ou mesmo deliberadamente, sempre seguida por um engano.

Ainda segundo o mesmo autor, os erros baseados nas habilidades geralmente são definidos como lapsos, descuidos e estão relacionados com fatores de atenção. Os erros baseados em regras são geralmente relacionados com o diagnóstico incorreto de uma situação, compreendem a aplicação de regras incorretas e a seleção de regras não apropriadas. Os erros baseados no conhecimento estão relacionados com informações inadequadas, inexatas. Podem ser caracterizados pela atenção seletiva, ou seja, prestar mais atenção para algumas características ou para características incorretas.

KIRWAN (1993), apresenta uma outra tipologia de erros, qual seja:

- Enganos e lapsos

Também chamados de erros na execução das ações. São caracterizados pela qualidade do desempenho ou pela omissão.

- Erros cognitivos

Erros de diagnósticos, erros na tomada de decisões. São ocasionados pelo mau entendimento sobre o processo e funcionamento dos sistemas. São agravados pela ausência

de sistemas de auxílio ao operador, pelo projeto deficiente, por procedimentos e treinamentos não adequados.

- Erros de manutenção

Os erros de manutenção são ocasionados por lapsos e enganos, permitindo a ocorrência de falhas imediatas e gerando falhas latentes nos sistemas.

- Erros de comissão

O operador realiza ações incorretas, não exigidas, propiciadas por erros no projeto ou pelo não reconhecimento do risco.

- Violação das regras

A violação de rotina é considerada como um risco desprezível, aceitável. Na violação extrema o risco é real, de extrema seriedade.

- Erros idiossincráticos

Erros relacionados com variáveis sociais e com o estado emocional dos operadores ao realizar uma tarefa. São resultantes de uma combinação de fatores pessoais em uma organização vulnerável.

- Erros na programação de *softwares*

Erros de programação que prejudicam o funcionamento de sistemas automatizados

Algumas técnicas são usadas para quantificar a confiabilidade humana. Na área nuclear a principal técnica é a técnica para predição da probabilidade de erros humanos (THERP). Segundo DOUGHERTY (1998) E KIRWAN (1998), a técnica para análise dos erros humanos (ATHEANA) identifica alguns fatores do contexto, relacionados com o desempenho dos operadores, que podem contribuir para a falha humana.

2.13 O Processo de Verificação e Validação

A palavra verificar significa que o sistema foi projetado e construído de acordo com as especificações. A palavra validar significa que o sistema é capaz de realizar as ações para o qual foi construído.

Verificação é o processo que consiste em determinar se a instrumentação e os equipamentos satisfazem os requisitos das tarefas realizadas pelo operador (NUREG 711).

Validação é o processo que consiste em determinar se os sistemas e a organização dos elementos relacionados com os fatores humanos são adequados, de maneira que ocorra um desempenho integrado e efetivo das funções estabelecidas (NUREG 711). A validação é realizada após a verificação. A verificação é necessária, mas não é suficiente sem a validação (IEC 964).

Segundo HOLLNAGEL (1985), o processo de verificação e validação deve ser integrado em todas as fases do ciclo de vida de uma sala de controle para reatores nucleares. A verificação e a validação devem ser realizadas durante todas as fases que definem o ciclo de vida de uma sala de controle (IEC 1771).

A documentação utilizada no processo de verificação é constituída pelos seguintes documentos: normas e guias de fatores humanos, documento análise de falhas, descrição da sala de controle, especificações da sala de controle, documento sobre a alocação das funções, documento sobre a análise das tarefas, descrição do console de controle e dos painéis, descrição das *interfaces* e descrição dos alarmes.

O grupo que realiza a verificação deve ser totalmente independente da equipe de projetistas, de modo a assegurar que a avaliação não seja direcionada somente para as restrições impostas pela equipe de projetos (NUREG/CR-6393).

O escopo do processo de verificação deve ser apropriado com a fase do ciclo de vida da sala de controle. Nas fases iniciais o processo de verificação é limitado, tornando-se mais completo nas fases posteriores. A sala de controle principal é o principal setor que deve estar incluído no processo de verificação (NUREG/CR-5908).

A validação estabelece que os sistemas irão desempenhar suas funções de maneira satisfatória em uma ampla faixa de condições operacionais (NUREG/CR-6393). A IEC 964 e a IEC 1771 definem os itens necessários para a realização do processo de validação:

- utilizar um simulador;
- descrição dos cenários de operação;
- os cenários devem ser realistas, incluindo as condições ambientais que podem afetar o desempenho humano.

Os métodos e as técnicas citados 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 análise de salas de controle similares e a análise da atividade dos operadores são inseridas na fase da identificação das necessidades operacionais. A análise das funções é implementada na fase do projeto conceitual, gerando informações para a análise das tarefas. A alocação das funções normalmente é aplicada na fase do projeto conceitual, prosseguindo até a fase do projeto detalhado, sendo revisada na fase de testes, caso os objetivos inicialmente definidos não tenham sido alcançados. A análise das tarefas deve ser iniciada durante o projeto conceitual, logo após a alocação das funções, finalizada até o projeto detalhado e revisada durante a fase de testes. O desenvolvimento dos procedimentos é iniciado durante o projeto conceitual, a partir do momento que as principais funções tiverem sido identificadas. A análise dos procedimentos é uma tarefa que se prolonga durante todo o ciclo de vida. Durante a operação normal da central nuclear, os principais eventos ocorridos e a experiência operacional acumulada podem fornecer subsídios para eventuais modificações nos procedimentos. A análise da carga de trabalho dos operadores é iniciada durante a fase de testes, com o objetivo de comprovar as decisões tomadas com relação à alocação das funções. A análise do desempenho dos operadores é iniciada durante a fase de testes. O projeto dos sistemas de comunicações é iniciado durante a fase do projeto detalhado, sendo revisado durante os testes. O projeto do local de trabalho é iniciado durante a fase do projeto conceitual, após a alocação das funções e da análise das tarefas. O projeto do *layout* dos painéis e consoles de controle deve ser finalizado durante a fase do projeto detalhado, quando todas as informações que definem como as tarefas serão executadas tornarem-se disponíveis. O projeto das interfaces deve ser realizado durante a fase do projeto detalhado, quando a análise das tarefas já tiver sido realizada. O programa de treinamento deve estar concluído no final do projeto detalhado, de modo a ser implementado durante a fase de testes, sendo revisado e atualizado durante toda a fase de operação. A análise da confiabilidade humana deve ser iniciada durante a fase do projeto detalhado, prosseguindo até a fase de testes e posteriormente durante a operação.

A figura 4 apresenta através de um diagrama em blocos a interação das técnicas e métodos descritos anteriormente.

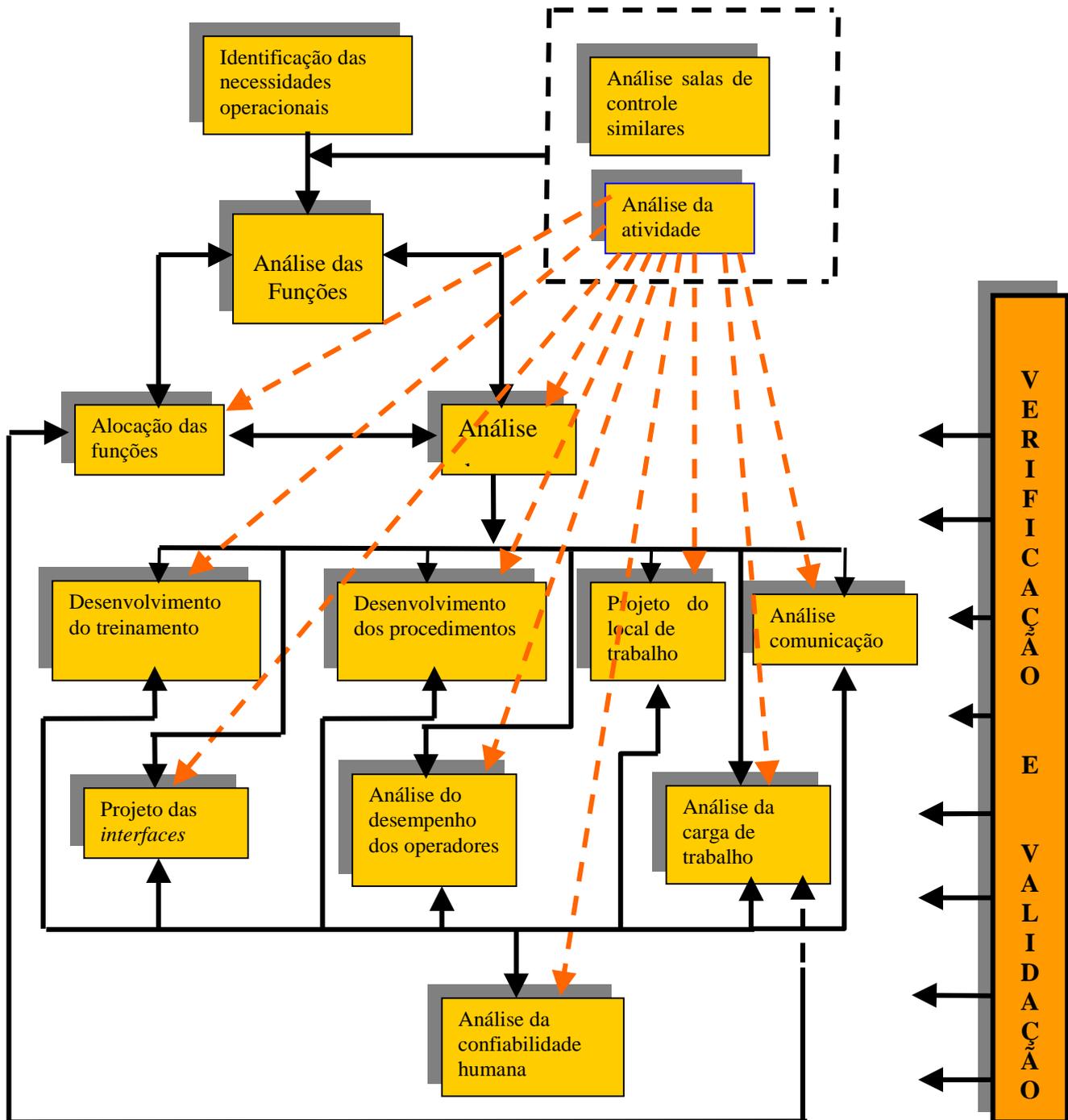


Figura 4: Interação da Engenharia de Fatores Humanos e da Ergonomia

A figura 5 apresenta a integração da engenharia de fatores humanos e da ergonomia no ciclo de vida de salas de controle de reatores nucleares.

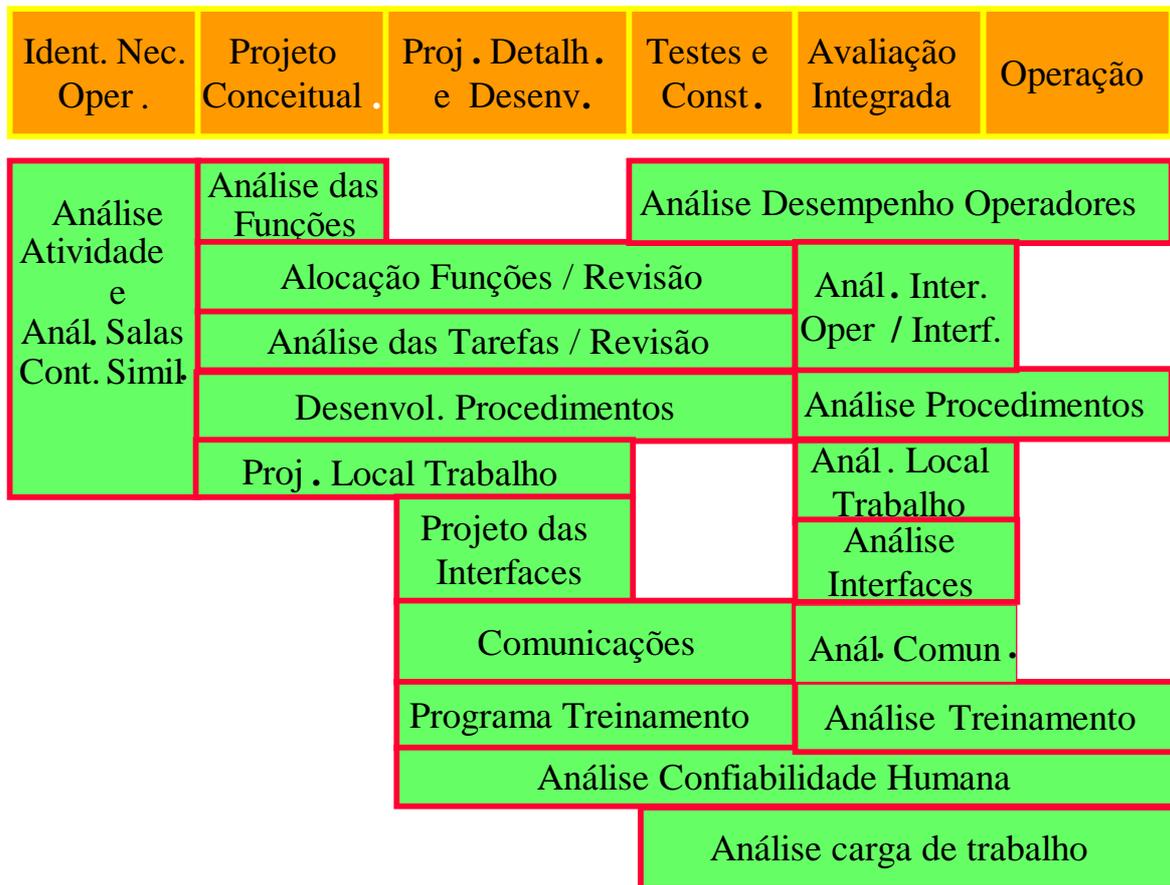


Figura 5: Integração da Engenharia de Fatores Humanos e da Ergonomia no Ciclo de Vida de Salas de Controle de Reatores Nucleares

CAPÍTULO 3 - 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).

A IEC 1771 identifica dois objetivos da avaliação:

- determinar se a sala de controle disponibiliza informações sobre o *status* dos sistemas, possui capacidade de controle, auxilia os operadores na realização de ações e tarefas em condições normais, anormais e de emergência;
- identificar características da sala de controle, dos controles, medidores, dos arranjos físicos dos equipamentos, dos consoles de controle, que podem degradar o desempenho dos operadores.

Segundo a NUREG 711, o processo de avaliação tem os seguintes objetivos:

- confirmar a adequação da configuração das *interfaces* operador sistema;
- confirmar o processo de alocação das funções;
- confirmar a adequação do número e do desempenho dos operadores;
- confirmar a adequação da interação dos operadores com as *interfaces*;
- confirmar a adequação dos sistemas de comunicação;
- confirmar a adequação dos procedimentos;
- confirmar a adequação dos aspectos dinâmicos das *interfaces*, possibilitando que as tarefas sejam realizadas de maneira efetiva pelos operadores

ROLLENHAGEN *et al.* (1989) definem a avaliação de salas de controle de reatores nucleares em duas etapas básicas. Na primeira etapa, os problemas existentes devem ser reconhecidos e avaliados. Na segunda etapa, as melhorias devem ser sugeridas, avaliadas e implementadas. Em todas as etapas é essencial a participação dos operadores, de modo a obter dados mais realísticos e confiáveis. A identificação dos problemas deve ser focalizada na sala de controle principal e incluir os seguintes itens:

- análise das *interfaces* e da interação operador sistema;

- análise do desempenho dos operadores e dos fatores que influenciam no desempenho;
- análise dos procedimentos;
- análise do local de trabalho: condições ambientais, console de controle, espaços de trabalho;
- análise da comunicação entre os operadores, análise da comunicação dos operadores com os operadores de campo, análise da comunicação dos operadores com o grupo de apoio;
- análise do treinamento;
- análise das práticas de trabalho;
- análise da carga de trabalho.

Ainda segundo ROLLENHAGEN *et al.* (1989), a avaliação de uma sala de controle visa satisfazer mais de um objetivo, sendo que os principais são citados a seguir:

- satisfazer as exigências legais do órgão regulador

O principal objetivo é assegurar que o projeto da sala de controle está de acordo com os requisitos de licenciamento, estabelecidos através de normas adotadas pelo órgão oficial 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 divididas em avaliação conceitual, estática e dinâmica.

- Avaliação Conceitual

Corresponde à descrição das características essenciais e funcionais da sala de controle. Este tipo de avaliação depende de um amplo conhecimento e experiência sobre o funcionamento do processo e da sala de controle. As seguintes técnicas podem se usadas:

1-Avaliação realizada através de especialistas

Esta avaliação é realizada por especialistas, utilizando especificações da sala de controle e informações oriundas da análise das tarefas.

2-Avaliação utilizando relatórios, documentos do projeto, normas e guias de fatores humanos

O objetivo é avaliar o *layout* da sala de controle, dos consoles de controle, dos painéis, do arranjo dos equipamentos, instrumentos, medidores, computadores, detectando não conformidades com as normas e guias de fatores humanos, utilizando como referência as especificações da sala de controle principal.

- Avaliação Estática

Este tipo de avaliação não inclui aspectos dinâmicos do processo, mas enfatiza de que forma a informação é apresentada para o operador.

As seguintes técnicas podem ser usadas:

1-Questionários

Consiste na apresentação de questões específicas em uma forma e seqüência administrada para uma amostra de uma população definida. O tipo de palavra utilizada no questionário é de grande importância, pois evita ambigüidades, tornando claro qual informação é desejada. O formato e a seqüência das questões facilita o entendimento. O questionário pode ser empregado inicialmente para um pequeno número de pessoas antes de ser empregado para a população pretendida, sendo realizadas modificações e melhorias. As informações devem ser organizadas e quantificadas, demonstrando a freqüência de algumas respostas específicas. Os questionários seguem as seguintes etapas:

- planejamento inicial;
- seleção da forma em que serão realizadas as questões;
- desenvolvimento das questões;
- formulação do questionário;
- teste inicial;
- administração do questionário;
- quantificação e análise dos dados obtidos.

2-Avaliação através de listas de verificação

Listas de verificação são ferramentas utilizadas para verificar se o projeto possui determinados atributos considerados desejáveis e importantes. As listas de verificação estabelecem um método revisor estruturado com o objetivo de assegurar que o projeto

atingiu determinados critérios, estabelecendo uma comparação com os padrões desejados. Elas devem indicar de maneira clara e exata as informações que estão sendo procuradas. Devem ser escritas de modo a proporcionar somente duas respostas, sim ou não.

A seguir são citadas algumas vantagens relacionadas com o uso de listas de verificação:

- as listas de verificação apresentam uma maneira bastante prática para avaliar, por exemplo, se uma *interface* satisfaz critérios específicos de interesse;
- as listas de verificação podem ser usadas como evidência de que a *interface* satisfaz um grupo particular de critérios.

A seguir são citadas algumas desvantagens relacionadas com o uso de listas de verificação:

- é importante possuir um excelente conhecimento e experiência sobre os requisitos a serem analisados, antes que certos itens possam ser efetivamente respondidos;
- as listas de verificação não têm como objetivo determinar a importância relativa de determinados itens;
- as listas de verificação não consideram o contexto no qual está sendo realizada a atividade do operador;
- as listas de verificação somente verificam itens que podem ser observáveis ou que podem ser mensurados.

- Avaliação Dinâmica

Consiste na simulação do processo, de modo que ocorra uma interação entre o operador e um determinado sistema, através de uma *interface*. Este tipo de avaliação deve enfatizar o funcionamento da *interface* e não somente como a informação é apresentada ao operador.

As seguintes técnicas podem ser usadas:

1-Simulação Básica

O processo é representado dinamicamente pela *interface*, com a possibilidade de intervenção através do operador. A avaliação da *interface* é realizada de maneira mais realista. Segundo WOODS (1983), a simulação básica determina que somente aspectos críticos da *interface* devem ser simulados com alto nível de fidelidade. Dessa forma, simulações devem ser realizadas com o objetivo de avaliar a funcionalidade de certas características, enfatizando apenas aspectos relacionados com a *interface*.

2-Simulação parcial da tarefa

Todas as principais características da tarefa são representadas, sendo que etapas secundárias que não estão ligadas diretamente com o objetivo da tarefa são ignoradas.

3-Simulação *full scope*

É a forma mais complexa e completa de se avaliar uma *interface*, pois o processo, os subsistemas, equipamentos e o contexto estão bem próximos da realidade. A simulação *full scope* requer uma preparação cuidadosa, que inclua todos os aspectos relevantes, ou seja, parte experimental, procedimentos, treinamento, sistemas, subsistemas, cenários, obtenção e análise dos dados.

CAPÍTULO 4 - ESTUDO DE CASO: 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. O reator utilizado é o reator de água leve pressurizada, PWR (*Pressurized Water Reactor*), com 1350 MW. Na usina nuclear o calor é produzido pela fissão do urânio no núcleo do reator. O calor é transportado pela água do sistema primário ao gerador de vapor, por meio de bombas de refrigeração, em quatro circuitos paralelos. No gerador de vapor a água do sistema primário transfere seu calor, através de tubos, para a água do sistema secundário que se transforma em vapor saturado. Os tubos do gerador de vapor promovem uma separação física entre a água do sistema primário e a do sistema secundário evitando que substâncias radioativas, eventualmente presentes no sistema de refrigeração do reator, contaminem o circuito água vapor. Para que a água do circuito primário não entre em ebulição ao ultrapassar 100 °C, a pressão é mantida elevada, 157 atmosferas, através do pressurizador. O vapor produzido é expandido na turbina que aciona o gerador elétrico. O vapor, após sua expansão nas turbinas, é condensado nos condensadores e o condensado resultante é conduzido, pelas bombas de condensado principal, ao tanque de água de alimentação onde é promovida uma desgaseificação do mesmo.

Com relação ao seu arranjo físico, a usina nuclear PWR estudada é formada pelos seguintes edifícios:

- Edifício do reator: Identificado por UJA;
- Edifício auxiliar do reator: Identificado por UKA;
- Edifício de controle: Identificado por UBA;
- Edifício do turbo gerador: Identificado por UMA;
- Edifício de alimentação de emergência: Identificado por ULB;
- Edifício dos geradores de emergência: Identificado por UBP.

O edifício do reator, UJA, abriga o sistema de refrigeração do reator e os equipamentos técnicos de segurança. Dentro do envoltório de contenção estão todos os componentes do sistema primário e alguns sistemas auxiliares. O vaso de pressão do reator e sua blindagem em concreto armado encontram-se na parte inferior do edifício. O envoltório da contenção delimita as estruturas internas do edifício do reator.

O edifício auxiliar do reator, UKA, abriga os outros sistemas auxiliares e o acesso central à área controlada da usina. O arranjo é feito de forma a permitir que as conexões com os sistemas no edifício do reator e com o envoltório da contenção sejam as mais curtas possíveis.

O edifício de controle, UBA, está subdividido em quatro sistemas de suprimento de energia idênticos, aos quais estão associados equipamentos de instrumentação e controle redundantes. O edifício tem nove andares. No andar mais baixo estão os canais e porões de cabos. Três andares abrigam os equipamentos de fornecimento de energia para consumo próprio e os equipamentos de instrumentação e controle. No andar superior está a sala de controle.

O edifício do turbo gerador, UMA, abriga a turbina e o gerador elétrico. O edifício tem um espaço principal onde está montado o turbo gerador.

O edifício de alimentação de emergência, ULB, abriga as quatro redundâncias do sistema de alimentação de emergência. O edifício é subdividido em quatro grupos de salas separadas e independentes. Cada grupo abriga uma redundância completa do sistema de alimentação de emergência.

O edifício dos geradores de emergência, UBP está subdividido em quatro sistemas redundantes. No seu nível mais baixo estão localizados os tanques de armazenagem de óleo diesel, bem como a distribuição de cabos e tubulação. Em um outro nível estão os grupos gerador diesel com seus painéis de controle locais. Em um nível intermediário estão os tanques de óleo diesel.

Os principais sistemas da usina nuclear PWR são citados a seguir:

- sistema de refrigeração do reator: Identificado por JE;
- sistemas nucleares auxiliares;
- sistema de vapor principal: Identificado por LBA;
- sistema de água de refrigeração principal: Identificado por PA
- sistemas elétricos;

- instrumentação e controle.

O sistema de refrigeração do reator, JE, é formado pelo vaso de pressão, quatro geradores de vapor, quatro bombas de refrigeração, as tubulações principais, o pressurizador, o tanque de alívio do pressurizador e as válvulas de aspersão, de alívio e de segurança.

Para que o sistema de refrigeração do reator, JE, opere sem problemas, é necessária a ação de alguns sistemas auxiliares. As principais funções destes sistemas são a injeção e retirada de refrigerante, a injeção de produtos químicos, a purificação e tratamento do refrigerante, a degaseificação do refrigerante e a remoção do calor residual.

A função do sistema de vapor principal, LBA, é transportar o vapor saturado, produzido no gerador de vapor, através de quatro circuitos paralelos, acionando a turbina que está acoplada ao gerador.

O sistema de água de refrigeração principal, PA, tem a função de condensar o vapor da turbina e transportar o calor absorvido para o mar. Este sistema capta água do mar e a bombeia através dos três condensadores da turbina de baixa pressão para um poço, de onde ela escoar através de um túnel para o mar .

O gerador elétrico alimenta, através de três transformadores monofásicos, a linha de 525 KV e fornece energia para o consumo próprio da usina através de dois transformadores auxiliares, que alimentam as quatro linhas principais de distribuição. Estas linhas dispõem também de alimentação de uma linha externa auxiliar através de outro transformador. No caso de falha do suprimento normal de energia elétrica, existem alguns consumidores que necessitam continuar operando e outros que devem, imediatamente, entrar em operação. Estes consumidores são necessários para desligar o reator e mantê-lo refrigerado.

A função da instrumentação e controle é tornar possível a operação da usina pelo operador ou por meio de dispositivos automáticos. Os dispositivos de instrumentação e controle abrangem os sistemas de medição, proteção, controle, acionamento e monitoração, bem como a sala de controle. A condução da operação e da monitoração é efetuada a partir da sala de controle principal. A sala de controle principal está ligada aos sistemas da usina através de sensores, através de mecanismos automáticos e do controle de acionamentos. Para a proteção da usina estão disponíveis os

intertravamentos de proteção, os dispositivos de proteção dos equipamentos e o sistema de proteção do reator.

4.1 A Partida Programada da Usina Nuclear PWR

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, JE. No estado subcrítico, sem pressão e frio, todas as barras de controle estão introduzidas, a pressão no sistema de refrigeração do reator corresponde à pressão atmosférica, a temperatura no sistema de refrigeração do reator e no lado secundário é menor do que 50° C e o calor de decaimento no primário é retirado pelo sistema de remoção de calor residual, JN, que realiza também a circulação do refrigerante. O tempo estimado para a partida programada do reator corresponde a 30 horas.

A partida do estado subcrítico, sem pressão e frio pode ser dividida nas seguintes fases:

- Evacuação do Sistema de Refrigeração do Reator

O nível de água do sistema de refrigeração foi reduzido, a remoção do calor residual e a circulação do refrigerante do primário são feitas pelo sistema de remoção de calor residual, JN. Parte do refrigerante é desviado, após passar pelo trocador de calor do sistema de remoção de calor, para o sistema de controle volumétrico, KBA. O refrigerante é purificado e desgaseificado, retornando ao sistema de refrigeração do reator através das bombas de carregamento. Alguns componentes do sistema de refrigeração do reator, parte superior do vaso de pressão, geradores de vapor, pressurizador, estão cheios de ar à pressão atmosférica. Portanto, antes de ser iniciado o enchimento do sistema de refrigeração do reator deve ser retirado o ar atmosférico desses componentes. A retirada, ou seja, a evacuação do ar é feita através de bombas, que possuem um sistema de regulação de pressão de aspiração. O nível do sistema de refrigeração do reator é mantido constante. A evacuação é feita através do pressurizador, alcançando os geradores de vapor e o vaso de pressão do reator. O tempo necessário para a evacuação do circuito primário é em torno de 2 horas.

- Enchimento do Sistema de Refrigeração do Reator

O enchimento do sistema de refrigeração do reator é feito com duas bombas de carregamento através das linhas de aspersão auxiliar, diretamente no pressurizador. Durante o enchimento do sistema de refrigeração do reator é necessário manter o suprimento de água de selagem para as bombas de refrigeração, promovendo uma limpeza nos selos de vedação. Caso o suprimento seja bloqueado total ou parcialmente, o enchimento deverá ser interrompido até que o suprimento seja normalizado. Para o enchimento do sistema de refrigeração do reator é importante a medição de nível do pressurizador.

- Preparação e Realização do Teste de Estanqueidade do Sistema de Refrigeração do Reator e Colocação dos Principais Sistemas do Secundário em Operação

Sempre que é aberto o sistema de refrigeração do reator, é conveniente submetê-lo a um teste de estanqueidade, depois da fase de enchimento. O teste só poderá ser realizado com uma temperatura de refrigerante elevada. A temperatura do refrigerante é função do tempo de operação da central e da resultante fragilização do material do vaso de pressão do reator. Esta temperatura está na faixa de 105° C a 180° C, para um tempo de operação da central até 24 anos. A preparação do teste de estanqueidade requer que sejam estabelecidas as condições prévias para a partida das bombas de refrigeração do reator. A pressão no circuito primário deve ser de 30 bar, antes das bombas serem ligadas. A pressão do circuito primário é obtida através do aquecimento da água do pressurizador até a ebulição, por meio de aquecedores elétricos localizados no fundo do pressurizador. Os aquecedores elétricos só devem ser ligados quando o nível do pressurizador alcançar 7 metros. Com 120° C é adotada a premissa de que a seqüência de enchimento tenha sido encerrada e que praticamente os tubos U do gerador de vapor estejam cheios. Para a realização do teste de estanqueidade, é necessária a presença do sinal LIBERAÇÃO. Para a realização do teste, três das quatro bombas de refrigeração são desligadas. Uma bomba tem que permanecer em operação durante o teste, realizando a mistura e homogeneização do ácido bórico na água e distribuindo uniformemente a temperatura durante o enchimento do pressurizador. O sistema de degaseificação do refrigerante é desligado e o controle de pressão colocado em MANUAL. Os aquecedores do pressurizador são manualmente ligados em potência máxima. Após estas operações, é iniciado o aumento de nível do pressurizador. Durante esta fase, a temperatura da água no pressurizador não deve ser menor que 140° C. É

possível acompanhar o aumento de nível no pressurizador até 11,45 metros. Depois de ter sido realizado o teste de estanqueidade, a pressão é reduzida com um gradiente de no máximo 10 bar/min, através da abertura da estação redutora de alta pressão. Inicia então a redução do nível do pressurizador para o valor de referência de 4,2 metros, quando então é colocado em AUTO o controle de nível do pressurizador. Se o teste de estanqueidade teve sucesso, isto é, não houve detecção de vazamentos, prossegue-se então com as manobras de aquecimento das linhas de vapor. Imediatamente após o teste de estanqueidade serão colocados em serviço o circuito água vapor e o turbo gerador.

- Aquecimento do Reator Nuclear até 260° C

No aquecimento do reator nuclear até 260° C são utilizadas as bombas de refrigeração do reator. Não é permitido a criticalidade do reator. Ao continuar com o aquecimento do sistema de refrigeração do reator, ocorre um ganho de reatividade devido ao coeficiente positivo de temperatura do moderador. Como a monitoração do reator na região de criticalidade é efetuada pelos canais de medição da instrumentação nuclear externa, os mesmos devem ser verificados. A retirada das barras de controle e o aumento da temperatura do refrigerante proporcionam uma aproximação do estado crítico.

- Criticalidade e Aumento da Potência do Reator Nuclear até 100 %.

A criticalidade do reator e a passagem de carga zero para a de potência são monitoradas pelos canais de fonte e intermediário da instrumentação nuclear externa do núcleo. A preparação do lado secundário para operação em potência consiste em manter a pressão do vapor e a temperatura no sistema de refrigeração do reator constante. Esta ação é necessária, pois permite que desde o início da operação em potência a subida da temperatura no sistema de refrigeração do reator seja feita de maneira controlada. A potência do reator irá subir com a retirada das barras de controle até a potência desejada. O aquecimento do primário, ou seja, o aquecimento nuclear, é realizado com a elevação da pressão do vapor, diminuindo a diferença térmica média entre os lados do primário e secundário. Isto causará uma transferência menor de calor para o lado secundário resultando em aquecimento do lado primário. O aquecimento nuclear estará terminado quando a pressão de vapor alcançar 80 bar e a temperatura no sistema de refrigeração do reator for igual a 294° C. É importante ressaltar, que após o aquecimento nuclear a subida de potência ocorrerá se as seguintes condições forem satisfeitas:

- pressão no sistema de refrigeração do reator > 132 bar;
- temperatura no sistema de refrigeração do reator > 260° C;
- fluxo neutrônico > 3 %.

Com essas condições satisfeitas se aciona uma chave no console de controle principal, PARTIDA, liberando o reator para potências superiores a 12 %. O regulador elétrico de velocidade inicia o aumento da rotação da turbina para 720 rpm (rotações por minuto). Quando for alcançada uma potência de 20 %, a turbina poderá ter sua velocidade elevada para a velocidade de sincronização, mediante ajuste manual do controle elétrico de velocidade. Ao alcançar 1.800 rpm (rotações por minuto) serão iniciados os preparativos para a sincronização do turbo gerador. No dispositivo de sincronização serão mostrados os seguintes parâmetros: nível de tensão da rede, nível de tensão no gerador, frequência da rede, velocidade do gerador e ângulo de fase.

4.2 A Parada Programada da Usina Nuclear PWR

A parada programada do reator é considerada a partir da operação em potência para o estado subcrítico, frio sem pressão. A parada programada é feita nos casos de manutenções 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. A parada programada consiste nas seguintes etapas:

- redução da potência até o desligamento do reator e da turbina;
- alcance da condição subcrítico, quente. Neste estado a remoção de calor de decaimento é feita mantendo a pressão de vapor em 80 bar, a temperatura do refrigerante do reator em 296° C e a pressão do sistema de refrigeração do reator em 158 bar;
- redução da pressão do sistema secundário, da temperatura e pressão do refrigerante do reator, até a colocação do sistema de remoção de calor residual em operação;
- continuação da redução da temperatura do refrigerante pelo sistema de remoção de calor residual;
- diminuição da pressão do sistema de refrigeração do reator e se necessário o nível do pressurizador;

- alcance da condição subcrítico, frio, sem pressão.

O reator está a 100 % de potência. Todo o vapor produzido nos geradores de vapor é conduzido ao grupo turbo gerador. Nesta etapa é iniciada a retirada de serviço do conjunto turbo gerador. A potência do reator acompanha a redução da potência do gerador. A potência do gerador é reduzida pelo controle de carga e em 100 MW assume o comando o controle de velocidade elétrico. A redução da potência só será possível pela atuação manual do operador sobre este controle, ajustando a velocidade da turbina para um valor menor que 1.800 rpm (rotações por minuto). As válvulas controladoras da turbina fecham, ativando o sinal de TUSA, desligamento da turbina.

Para a potência do reator ser reduzida, é necessário colocar em operação o controle de fluxo de nêutrons. A potência do reator é reduzida pela inserção das barras de controle. Quando não for mais possível reduzir a potência pela inserção das barras, é acionado o sinal de RESA, inserindo totalmente todas as barras de controle.

Nesta fase, a temperatura e a pressão do refrigerante irão diminuir para valores que permitam ao sistema remover o calor residual. Porém, com o intuito de manter mínima as solicitações ao sistema de remoção de calor residual, é recomendável colocá-lo em operação somente quando a temperatura do reator alcançar 120° C. Depois de ter sido reduzida a temperatura no sistema de refrigeração do reator para valores iguais ou menores do que 50° C, a pressão e o nível do circuito de refrigeração do primário poderão ser reduzidos. Neste caso, as bombas de refrigeração do reator que ainda estejam funcionando e o sistema de controle de pressão do sistema de refrigeração do reator deverão ser desligados. Ao alcançar o nível de 2,28 metros e posteriormente o nível de 0,56 metros no pressurizador, é necessário observar o nível de atividade no sistema de refrigeração do reator, para então, caso seja necessário, realizar a troca dos elementos combustíveis.

4.3 A Sala de Controle Principal da Usina Nuclear PWR

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. As áreas de controle são projetadas com o objetivo de possibilitar uma operação estável e confiável.

Os operadores na área de controle realizam as seguintes atividades:

- observação das variáveis representativas do processo;
- monitoração da seqüência operacional;
- verificação de funções individuais e a sua relação com outros sistemas;
- interferem nos níveis de determinadas variáveis, caso ocorram desvios nos valores ajustados.

O arranjo funcional da sala de controle principal da usina nuclear PWR é formado pelas seguintes áreas:

- Área de Controle Principal

É formada pelo console de controle mestre, identificado por CWA, e pelo console de informações, identificado por CWB. Nesta área estão os sistemas, controles e as informações relacionadas com a partida, subida de potência, operação em potência nominal, desligamento da turbina e desligamento do reator. A partida, desligamento da turbina, desligamento do reator e operação de potência devem ser controladas do console de controle mestre, CWA, sendo que esses controles estão localizados na parte central do console. Em CWA também estão localizados os teclados utilizados para controlar os cinco monitores posicionados no console de informação, CWB, utilizados para indicação, registro de alarmes e determinação do *status* do processo.

O *layout* do console de controle mestre, CWA é dividido em duas partes:

- Console dos operadores

Possui duas seções: esquerda e direita. O primário é representado na seção da esquerda, sendo a operação realizada pelo operador do primário.

O secundário é representado na seção da direita, sendo a operação realizada pelo operador do secundário.

- Painel vertical

É formado por medidores e por anunciadores de alarmes

- Área de Controle Auxiliar

Nesta área estão os sistemas e funções que não são constantemente monitorados e atuados durante a operação em potência nominal. Contém todos os medidores e

controles relativos à monitoração da radiação, ventilação, núcleo do reator, sistemas de proteção, sistemas auxiliares do primário e secundário, sistemas auxiliares de energia.

Esta área é formada pelo console de controle auxiliar com seus respectivos painéis, formando uma área de controle em U. O console de controle auxiliar é dividido em quatro seções e sete painéis laterais. A seção principal deste console, formada por CWL, CWM, CWN e CWP, permite que o operador de painel fique sentado ou em pé. A seção secundária é formada pelos painéis laterais CWF, CWH, CWK, CWJ, CWQ e CWG.

As seguintes funções são alocadas no console de controle auxiliar:

- execução de tarefas pré-estabelecidas para operação de partida e desligamento programado do reator;
- operação de sistemas que não necessitem de um acompanhamento permanente do operador;
- testes relacionados com a partida do reator.

A seguir são descritas as seções dos painéis do console de controle auxiliar:

- na seção CWN estão repetidos alguns controles individuais, posicionados no console de controle mestre, CWA;
- na seção CWM estão os sistemas auxiliares do primário;
- na seção CWP estão os sistemas auxiliares do secundário;
- na seção CWL estão posicionados os painéis relacionados com os sistemas de segurança. Nestes painéis são realizados testes periódicos;
- na seção lateral esquerda CWJ estão os painéis do sistema de proteção do reator;
- na seção lateral esquerda CWK estão localizados os painéis das válvulas de isolação da contenção. Nestes painéis são realizados testes periódicos;
- na seção lateral esquerda CWH estão localizados a instrumentação do núcleo e os controles individuais das barras do reator;
- na seção lateral esquerda CWF estão localizados os medidores de radiação;
- a seção correspondente ao painel reserva é CWZ;
- na seção lateral direita CWG estão localizados os sistemas de ventilação;
- na seção lateral direita CWQ estão localizados os sistemas auxiliares elétricos e os respectivos alarmes.

- Área de Comunicação

Nesta área estão os telefones com acesso externo, ramais internos, telefones para comunicação interna, estação de comunicação.

- Área de Obtenção de Dados Através do Computador de Processo

Os computadores utilizados para registro dos eventos e obtenção dos dados relativos ao processo estão alocados nesta área.

- Área da Documentação

Nesta área estão contidas as informações de gerenciamento da operação do reator. Esta área deve conter manuais de operação, procedimentos de emergência, diagramas esquemáticos, informações sobre o processo.

- Área de Facilidades

Esta área compreende a sala do supervisor, sala de reuniões, sala de refeição e banheiro.

- Área de Isolação

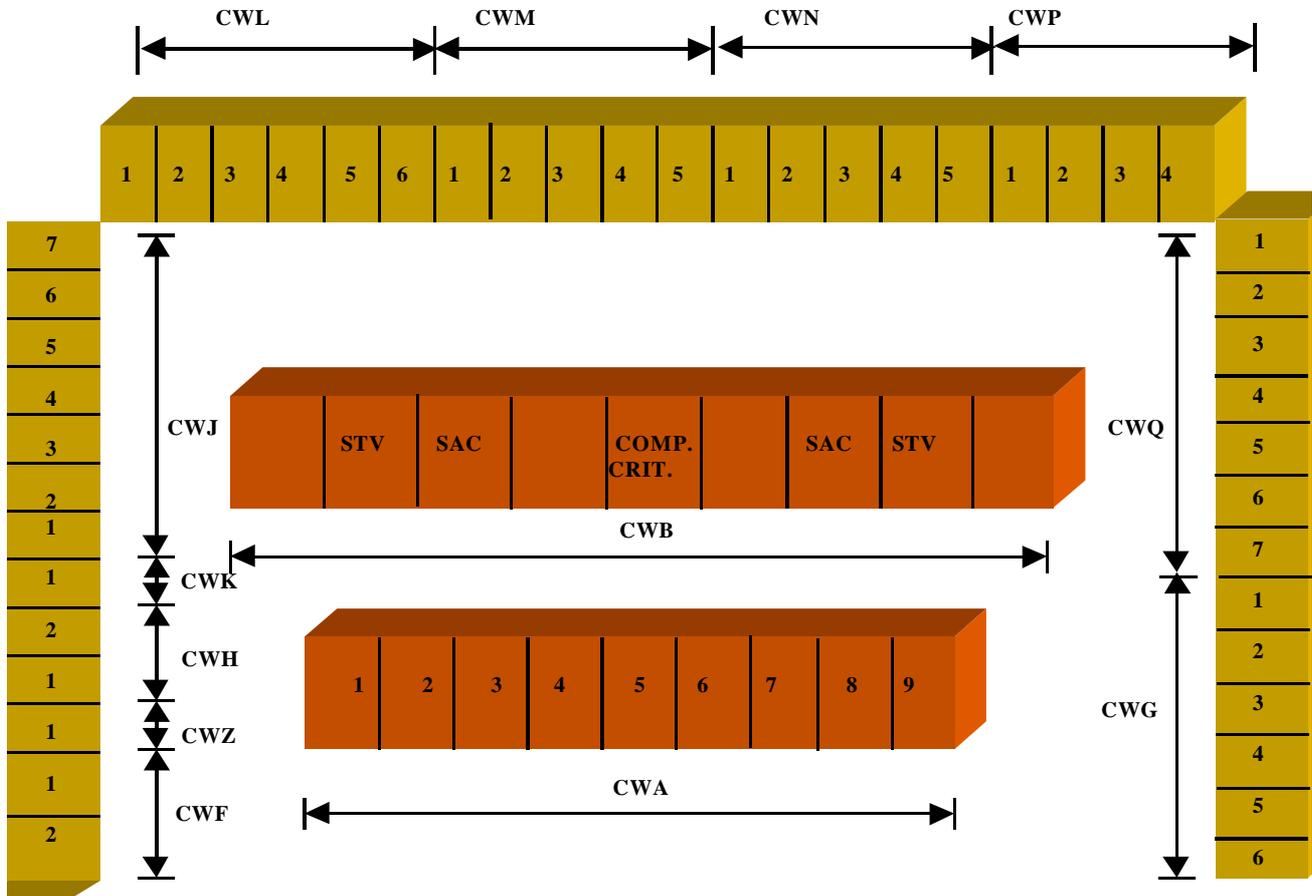
Nesta área o supervisor e o encarregado podem liberar ou dar baixa nas licenças de trabalho, sem que ocorram distúrbios, perturbações que incomodem os operadores da sala de controle. A figura 6 apresenta algumas informações relativas ao console de controle mestre, CWA, e ao console de informação, CWB.



Monitores em CWB Painel Vertical de CWA CWA

Figura 6: Informações relacionadas com CWA e CWB

A figura 7 apresenta a disposição do console de controle mestre, console de informação e painéis auxiliares da sala de controle principal da usina nuclear PWR.



CWA : CONSOLE DE CONTROLE PRINCIPAL
CWB : CONSOLE DE INFORMAÇÃO
CWF : MONITORAÇÃO DO NÚCLEO
CWG : VENTILAÇÃO
CWH : INSTRUMENTAÇÃO DO NÚCLEO
CWJ : PROTEÇÃO DO REATOR
CWK : ISOLAMENTO DA CONTENÇÃO
CWL : SISTEMAS DE SEGURANÇA
CWM : SISTEMAS AUXILIARES DO PRIMÁRIO
CWN : CONTROLES INDIVIDUAIS
CWP : SISTEMAS SECUNDÁRIOS
CWQ : SISTEMAS ELÉTRICOS
CWZ : RESERVA

STV: SISTEMA APRESENTAÇÃO DA TENDÊNCIA DAS VARIÁVEIS
SAC: SISTEMA DE ALARME COMPUTADORIZADO

Figura 7: Disposição do Console de Controle Mestre, Console de Informação e Painéis Auxiliares da Sala de Controle da Usina Nuclear PWR

A figura 8 apresenta algumas informações relacionadas com o console de controle auxiliar.

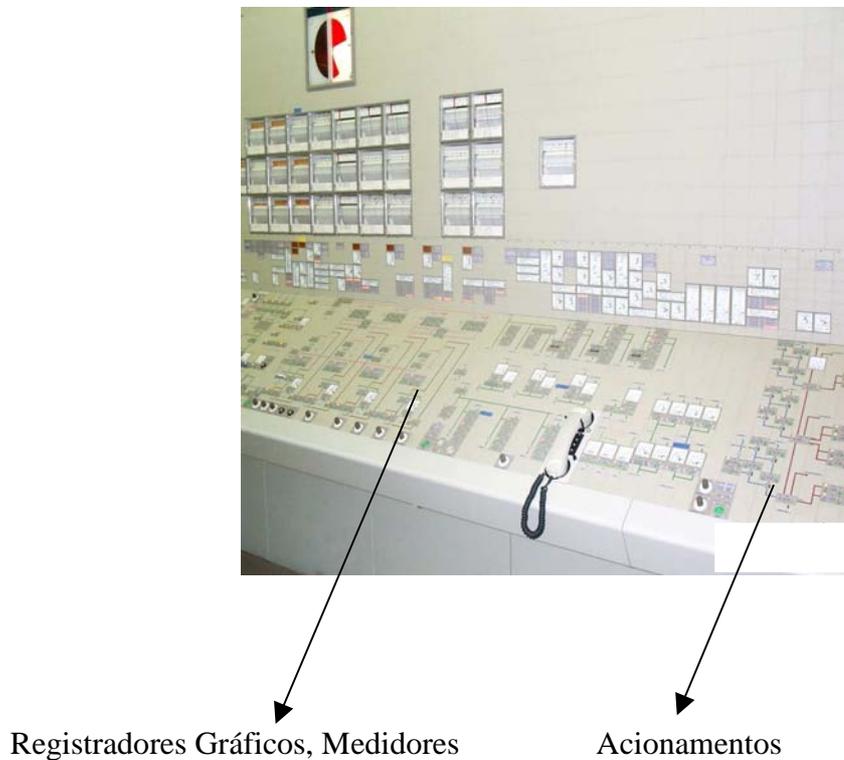


Figura 8: Console de Controle Auxiliar

4.4 Sistemas de Alarmes

A organização, agrupamento e o tipo de sinalização utilizado no projeto dos alarmes da sala de controle da usina nuclear PWR tem como referência a norma alemã KTA 3501.

Essa norma apresenta a seguinte classificação para os alarmes:

- Alarme de classe S

São os alarmes gerados diretamente pelo sistema de segurança, levando os operadores a adotarem medidas de emergência, previamente escritas, dentro de um determinado intervalo de tempo. O sistema de proteção do reator considera que as ações manuais de

proteção para controle de acidentes não devem ser realizadas antes de um período de 30 minutos. Esses alarmes são indicados pela cor vermelha.

Existem 4 alarmes classe S.

- transferência para remoção de calor residual;
- gerador de vapor - ruptura de tubo;
- gerador de vapor - ruptura de tubo com atuação das bombas de injeção de segurança;
- falha do sistema de água de alimentação.

- Alarme de classe 1

O alarme de classe 1 indica aos operadores a existência de um distúrbio no sistema de segurança do reator. Esses alarmes são indicados pela cor amarela.

Os sistemas com esses alarmes são apresentados a seguir:

- diesel de emergência 1;
- diesel de emergência 2;
- sistema de alimentação de emergência;
- água de refrigeração de componentes nucleares;
- remoção de calor residual de componentes nucleares;
- sistema adicional de boro;
- ventilação do prédio de emergência;
- ventilação interna da contenção;
- monitoração de radiação.

- Alarme de classe 2

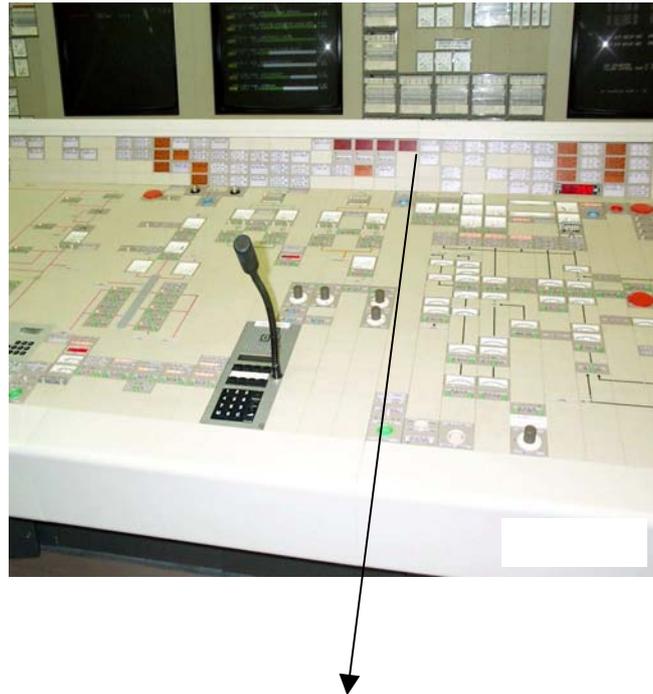
Estes alarmes estão relacionados com a disponibilidade da usina nuclear. São indicados com a cor branca. Os alarmes classe 2 estão localizados junto aos sistemas a que pertencem no console de controle mestre, CWA e nos painéis de controle auxiliares.

Na usina nuclear PWR existem dois sistemas de alarmes independentes, que operam simultaneamente:

- Sistema convencional de alarme

Neste sistema a informação é transmitida aos operadores através de sinais luminosos e sonoros, agrupados nos painéis onde estão os sinópticos dos respectivos sistemas.

A figura 9 apresenta alguns alarmes convencionais posicionados no console de controle mestre, CWA.



Alarmes Convencionais

Figura 9: Alarmes Convencionais Localizados em CWA

- Sistema de alarme computadorizado

Neste sistema a informação é transmitida aos operadores através de sinais sonoros e mensagens apresentadas nos monitores de computadores, localizados em CWB e controlados por teclados posicionados em CWA. Este sistema agrupa as informações obtidas nos diversos sistemas, possibilitando a impressão dos protocolos dos alarmes para posterior análise. No máximo sete indicações de alarmes são apresentadas simultaneamente em cada monitor. Se mais de sete indicações forem recebidas, somente as mais antigas, se não reconhecidas, serão mostradas. Todas as outras serão mostradas, seqüencialmente, após o reconhecimento das indicações apresentadas anteriormente. No

caso de um grande número de indicações de alarmes, as indicações de menor prioridade serão automaticamente retiradas do respectivo grupo de alarmes.

A estratégia de apresentação dos alarmes no sistema computadorizado, leva em consideração o tempo necessário para que ocorram as ações corretivas realizadas pelo operador, evitando a apresentação e o processamento de um número excessivo de alarmes.

Esta estratégia de apresentação considera as seguintes prioridades:

- Prioridade 1

Neste nível de prioridade estão os alarmes com informações sobre possíveis restrições na geração de energia ou na seqüência da partida ou parada do reator nuclear. Os alarmes subseqüentes, provenientes das ações de proteção são de prioridade 2.

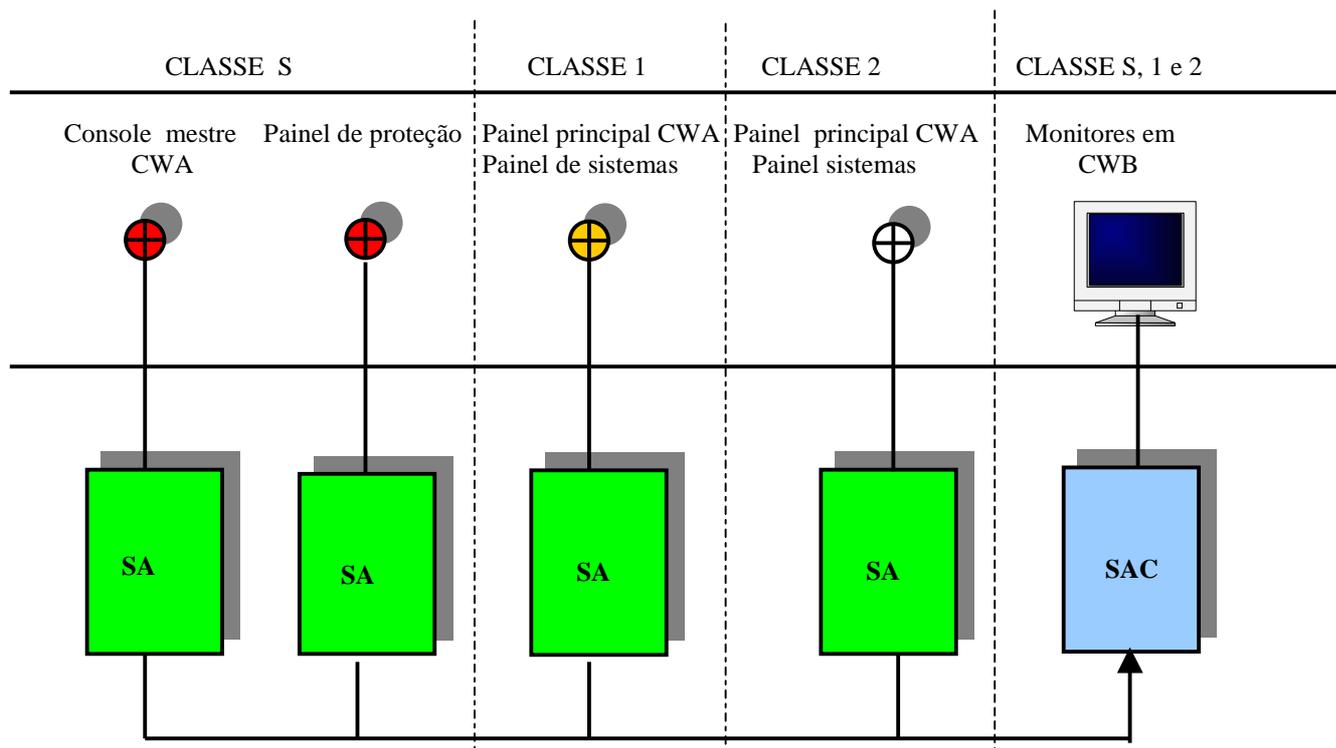
Os alarmes relacionados à geração que não requeiram intervenção manual direta, mas que exijam atenção serão sempre de prioridade 1.

- Prioridade 2

Os alarmes não relacionados à geração de energia são sempre de prioridade 2, assim como os que não exigem atuações do operador na sala de controle.

No caso da falha do sistema computadorizado de alarme, o sistema convencional de alarme possibilita que a planta nuclear seja operada em potência parcial ou total, assegurando também o desligamento do reator.

A organização dos alarmes em classes de segurança, com as respectivas cores, é apresentada na figura 10.



SA : SISTEMA CONVENCIONAL DE ALARME

SAC : SISTEMA COMPUTADORIZADO DE ALARME

Figura 10: Organização dos Sistemas de Alarmes

Para realizar ações de controle, o operador da sala de controle principal executa um comando de duas mãos. Esta característica foi prevista para garantir que comandos não sejam acionados inadvertidamente e consiste em pressionar o botão de controle apropriado, junto com o botão de liberação. Cada grupo de controle possui os botões e lâmpadas associadas, que informam o *status* do componente controlado.

A posição dos acionamentos é sinalizada nas respectivas botoeiras de controle na sala de controle principal, por meio de lâmpadas, da seguinte forma:

- luz acesa: posição real do acionamento
- luz piscando rápido: acionamento sendo operado

A tabela 3 apresenta o código de cores para as sinalizações.

Tabela 3: Código de Cores Para as Sinalizações

Código de Cores dos Comandos	
Verde	Ligar, Abrir ou Em operação
Branco	Desligar, Fechar ou Fora de Operação
Vermelho	Distúrbio

A seguinte sinalização é utilizada para a lâmpada vermelha de falha:

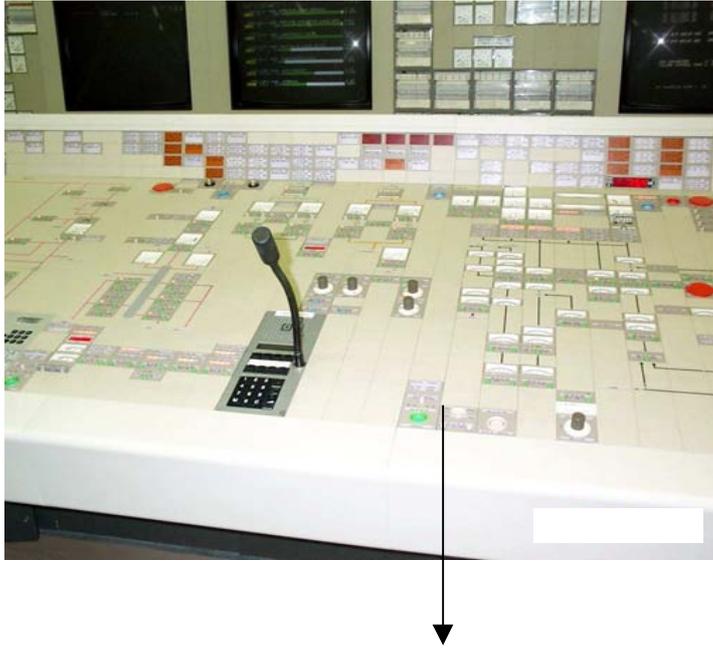
- piscando: falha
- luz acesa: bloqueio por intertravamento de proteção

A tabela 4 apresenta as cores dos botões de acionamento

Tabela 4: Código de Cores dos Botões de Acionamento

Cores dos Botões de Acionamento	
Vermelho	Emergência: Botão para desligamento
Verde	Operação: Botão com habilitação. Comando de duas mãos (Os dois botões possuem a cor verde)
Azul	Início de teste para atuação dos sinais de proteção do reator
Cinza	Operação: sem botão de acionamento para habilitação

A figura 11 apresenta os botões de acionamento localizados no console de controle mestre, CWA.



Botões de acionamento

Figura 11: Botões de Acionamento Localizados em CWA

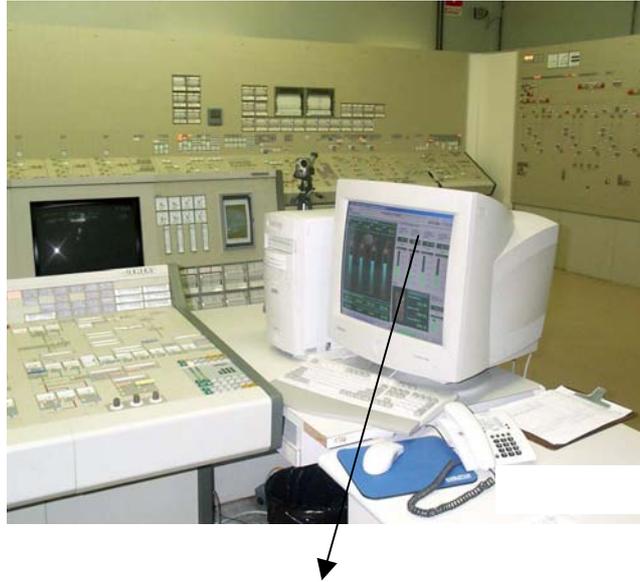
4.5 Sistema Integrado de Computadores de Processo (SICA)

O SICA é um sistema adicional de monitoração computadorizado, utilizado na sala de controle principal da usina nuclear PWR. Ele tem como função monitorar e apresentar em tempo real, através de monitores de computadores, as principais funções críticas de segurança. Em operação normal ou no caso de uma emergência, os operadores devem ser capazes de acompanhar o *status* de segurança da planta, através dos parâmetros que compõem essas funções críticas. O SICA constitui uma ferramenta de auxílio, permitindo que os operadores, em função dos parâmetros apresentados, acompanhem em tempo real as ações realizadas.

As informações são apresentadas para os operadores do primário e secundário através de dois monitores posicionados em cada um dos lados do console de controle mestre.

As funções críticas de segurança selecionadas pelos operadores são representadas nestes monitores como uma indicação do processo. Os operadores podem facilmente navegar na tela do monitor através de ícones dedicados, posicionados na parte mais inferior da tela.

A figura 12 apresenta o monitor do SICA posicionado no console de controle mestre.



SICA

Figura 12: Sistema Integrado de Computadores de Processo

4.6 Sistema Computadorizado de Apresentação da Tendência das Variáveis

O sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis mostra a tendência das principais variáveis do processo, através de gráficos em barra. As informações relacionadas com as variáveis são emitidas ciclicamente no registro de tendência. Os operadores do primário e do secundário podem acessar facilmente quaisquer das variáveis apresentadas nos monitores posicionados no console de informações, CWB. Este acesso é realizado através de dois teclados posicionados no console de controle mestre, CWA. As informações apresentadas, ou seja, os valores das principais variáveis, refletem o estado de um determinado sistema. Estas informações auxiliam os operadores nas tomadas de decisões e na procura por outros dados, localizados nos consoles de controle e painéis. Em cada tela são apresentados sete gráficos em barra, representando sete variáveis que estão sendo monitoradas. A figura 13 apresenta a tela do sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis.



Figura 13: Tela do sistema

4.7 O grupo de Operação da Usina Nuclear PWR

No planejamento para definição do grupo de operação da usina nuclear PWR, a empresa levou em consideração as seguintes características, os seguintes documentos e experiências adquiridas:

- NUREG 711;
- experiência na operação de usinas nucleares;
- experiência adquirida em simuladores;
- experiência adquirida em cursos administrados no exterior, de acordo com as exigências estabelecidas pela Agência Internacional de Energia Atômica;
- norma CNEN - NE -1.01;
- norma ANSI / ANS 3.1.

Segundo a norma CNEN - NE - 1.01, qualificação é a combinação de educação, treinamento técnico específico, experiência, saúde e habilidades relacionadas com um certo nível de responsabilidade, garantindo que as tomadas de decisão e ações realizadas durante condições normais e anormais são tais, que a usina nuclear seja operada com eficiência e segurança.

Os seguintes critérios foram utilizados para seleção do grupo de operação da usina nuclear PWR:

- na operação são aproveitados os engenheiros e técnicos com experiência;
- para o cargo de supervisor e encarregado, o processo de seleção é realizado através de concurso público para profissionais com curso superior na área tecnológica, ou seja, engenheiros, físicos e químicos;
- para o nível médio técnico, o processo de seleção é realizado através de concurso público. Para as áreas elétrica, mecânica e instrumentação são selecionados técnicos com pelo menos cinco anos de experiência. Para a operação são selecionados técnicos com formação em mecânica e elétrica;
- como parte do processo de seleção pública para operadores, os candidatos são submetidos a exames médicos e testes psicológicos.

Foi definido o seguinte grupo de operação da usina nuclear PWR:

- Chefe de operação
 - quatro anos de experiência em plantas geradoras de energia elétrica, sendo pelo menos dois anos em usinas nucleares;
 - formação em engenharia ou ciências exatas;
 - licença para operador *senior*, segundo os critérios estabelecidos pela norma CNEN - NE - 1.01.
- Supervisor de turno
 - formação em engenharia ou ciências exatas;
 - licença para operador *senior*, segundo os critérios estabelecidos pela norma CNEN - NE - 1.01.
- Encarregado de turno
 - formação em engenharia ou ciências exatas;
 - licença para operador *senior*, segundo os critérios estabelecidos pela norma CNEN - NE - 1.01.
- Operador do reator (Primário)
 - formação em técnico de nível médio mecânico ou elétrico;
 - licença para operador de reator, segundo os critérios estabelecidos pela norma CNEN-NE - 1.01.

- Operador do reator (Secundário)
 - formação em técnico de nível médio mecânico ou elétrico;
 - licença para operador de reator, segundo os critérios estabelecidos pela norma CNEN-NE - 1.01.
- Operador dos painéis auxiliares
 - formação em técnico de nível médio;
 - três anos de experiência na operação de sistemas do reator, sendo um ano em treinamento técnico, prático e teórico, dos sistemas sobre sua responsabilidade.
- Operador de campo do edifício do reator (UJA / UJB)
 - formação em técnico de nível médio;
 - três anos de experiência na operação de sistemas do reator, sendo um ano em treinamento técnico, prático e teórico, dos sistemas sobre sua responsabilidade.
- Operador de campo do edifício auxiliar do reator (UKA)
 - formação em técnico de nível médio;
 - três anos de experiência na operação de sistemas do reator, sendo um ano em treinamento técnico, prático e teórico, dos sistemas sobre sua responsabilidade.
- Operador de campo do edifício de controle (UBA)
 - formação em técnico de nível médio;
 - três anos de experiência na operação de sistemas do reator, sendo um ano em treinamento técnico, prático e teórico, dos sistemas sobre sua responsabilidade.
- Operador de campo do edifício do turbo gerador (UMA)
 - formação em técnico de nível médio;
 - três anos de experiência na operação de sistemas do reator, sendo um ano em treinamento técnico, prático e teórico, dos sistemas sobre sua responsabilidade.
- Operador de campo dos sistemas de desmineralização da água e dos sistemas de resfriamento e refrigeração (UGD / UPQ)
 - formação em técnico de nível médio;
 - três anos de experiência na operação de sistemas do reator, sendo um ano em treinamento técnico, prático e teórico, dos sistemas sobre sua responsabilidade.
 - Operador da área de rejeitos
 - formação em técnico de nível médio;
 - três anos de experiência na operação de sistemas do reator, sendo um ano em treinamento técnico, prático e teórico, dos sistemas sobre sua responsabilidade.

4.8 Acidentes Postulados

As medidas de segurança de uma usina nuclear estão fundamentadas no alto grau de qualidade técnica do projeto e da construção da usina, na necessidade de equipamentos adicionais de segurança para controlar os acidentes e proteger a população. O sistema de limitação do reator consiste de dispositivos que impedem que os valores limites de algumas variáveis de processo sejam ultrapassados. Quando estes valores limites são atingidos, os dispositivos de limitação entram em ação para trazer a usina de volta à condição normal de operação. Isto pode resultar numa redução de potência. Com isto, temporariamente, a relação entre a potência gerada e a potência consumida pode mudar. Neste caso, pode haver inserção ou queda de barras de controle ou então um aumento da concentração de boro no refrigerante, dependendo de quanto a potência do reator ultrapassa um valor conhecido como valor permitido. O sistema de proteção do reator tem como tarefa, supervisionar e processar as variáveis de processo importantes para a segurança da usina e de iniciar ações automáticas de proteção para manter a usina dentro dos limites de segurança. A escolha das variáveis de processo a serem supervisionadas, a seleção de critérios adequados de atuação e sua conexão com os sinais que dão início a ações de proteção decorre fundamentalmente da análise de acidentes. Este sistema é projetado de forma a cumprir sua função de dominar acidentes mesmo no caso de falhas internas no próprio sistema de proteção do reator, inundações, incêndios e erros durante o reparo ou a manutenção do sistema de proteção do reator.

No projeto de uma usina nuclear são previstos alguns acidentes postulados, que tentam cobrir toda a gama de acidentes possíveis de ocorrer em uma usina nuclear. A norma CNEN-NE-1.04 define acidentes postulados como sendo acidentes considerados admissíveis para fins de análise, visando ao estabelecimento das condições de segurança capazes de impedir e/ou minimizar eventuais conseqüências. O grupo de acidente abaixo mencionado cobre toda a gama de acidentes possíveis de ocorrer em uma usina nuclear:

- perturbações de reatividade e falhas de bombas do circuito primário;
- acidentes com perda de refrigerante;
- falhas em tubos do gerador de vapor;
- vazamentos no circuito de vapor e água de alimentação.

CAPÍTULO 5 - METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA SALA DE CONTROLE PRINCIPAL DA USINA NUCLEAR PWR

Segundo O'HARA *et al.* (1996), a avaliação das salas de controle de reatores nucleares tem como objetivos comprovar que todos os requisitos relacionados com a ergonomia e com os fatores humanos foram incluídos no ciclo de vida das salas de controle e que as tarefas alocadas para os operadores possam ser executadas com segurança.

A inclusão da ergonomia e dos requisitos de fatores humanos no ciclo de vida e no processo de avaliação de salas de controle de reatores nucleares permite uma melhoria na segurança da operação, possibilitando também uma melhor avaliação do projeto da sala de controle, do desempenho dos operadores, das práticas de trabalho e gerando informações para projetos de novos sistemas.

A partir das informações apresentadas anteriormente, estabelecemos o enunciado de nossa tese, qual seja:

A Ergonomia no Licenciamento e na Avaliação de Salas de Controle de Reatores Nucleares

Este enunciado nos permite a formulação das seguintes hipóteses:

Hipótese 1: A análise da atividade dos operadores no ambiente real de trabalho e em cenários simulados de acidentes postulados, associada com as normas e guias nucleares de fatores humanos em salas de controle, constitui uma ferramenta de auxílio a ser usada no processo de licenciamento nuclear.

Hipótese 2: A análise da atividade dos operadores no ambiente real de trabalho, associada com as normas, guias nucleares de fatores humanos em salas de controle e listas de verificação, constitui uma ferramenta de auxílio a ser usada no processo de avaliação de salas de controle de reatores nucleares.

Hipótese 3: A análise da atividade dos operadores no ambiente real de trabalho fornece uma série de informações que auxilia no processo de modernização de salas de controle já existentes.

Hipótese 4: A realidade da atividade dos operadores em salas de controle de reatores nucleares exhibe uma série de mecanismos, que pode auxiliar os operadores na monitoração, nas tomadas de decisão e resolução de problemas.

Segundo HOLANDA (1975), hipótese é uma suposição duvidosa, mas não improvável, pela qual se antecipa um conhecimento e que poderá ser posteriormente confirmada direta ou indiretamente. A função de uma hipótese é orientar a busca da ordenação dos fatos. As sugestões formuladas na hipótese podem ser as soluções para o problema, e, muitas vezes, as são (HUHNE, 1995).

Para trabalhar este conjunto de hipóteses, utilizamos a seguinte estrutura metodológica apresentada na figura 14 e descrita nos itens posteriores.

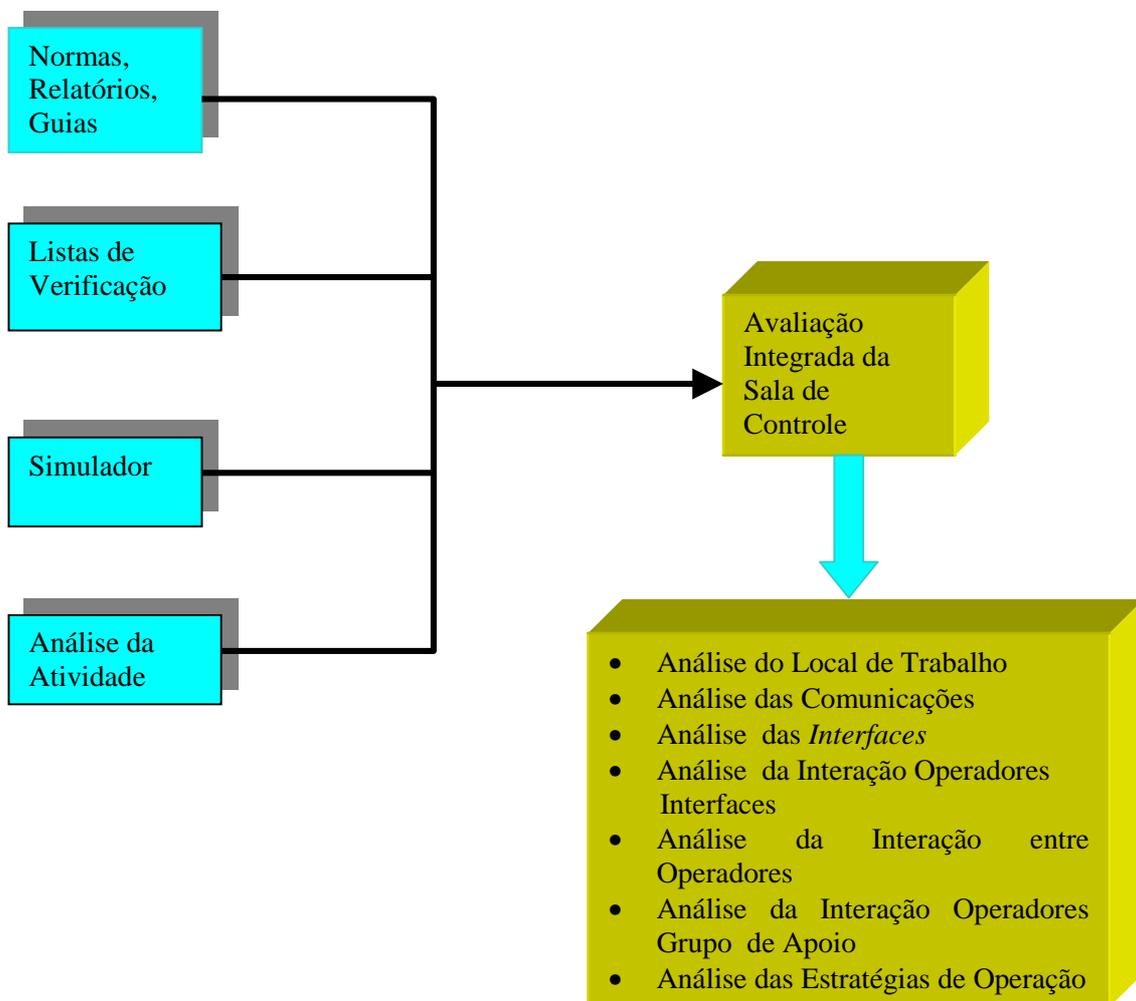


Figura 14: Avaliação da Sala de Controle Principal da Usina Nuclear PWR

5.1 Avaliação da Sala de Controle Principal da Usina Nuclear PWR Utilizando Documentos, Relatórios Técnicos, Normas e Guias Nucleares de Fatores Humanos

A estrutura utilizada para esta avaliação é formada pela identificação da fonte de informações, ou seja, as normas, guias e relatórios técnicos de fatores humanos, pelos dados contidos nestes documentos e pelos respectivos comentários. Os seguintes itens foram avaliados:

- Sistema computadorizado de tendência das variáveis
- Interação operador sistema computadorizado de tendência das variáveis
- Interação operador painéis e consoles de controle
- Sistema integrado de computador de processo (SICA)
- Dispositivos para entrada de dados e controle do processo
- Sistema de comunicação
- Sistema de alarme
- Local de trabalho

O anexo A apresenta a avaliação da sala de controle principal da usina nuclear PWR, utilizando os seguintes documentos, relatórios técnicos, normas e guias nucleares de fatores humanos:

- IAEA-TECDOC 565: *Control Rooms and Man Machine Interface in Nuclear Power Plants*
- IAEA-TECDOC 812: *Control Room Systems Design for Nuclear Power Plants*
- IEC 964: *Design of Control Rooms for Nuclear Power Plants*
- IEC 1772: *Nuclear Power Plants-Main Control Room-Application of Visual Display Units*
- NUREG 700: *Human System Interface Design Review Guideline*
- NUREG/CR-5908: *Advanced Human System Interface Design Review Guideline: Volume 1 and Volume 2*
- NUREG/CR-6105: *Human Factors Engineering Guidance for the Review of Advanced Alarms Systems*
- NUREG/CR-6684: *Advanced Alarm System – Revision of Guidance and Its Technical Basis*

O documento da Agência Internacional de Energia Atômica IAEA-TECDOC 565 apresenta a revisão dos requisitos relacionados com a avaliação de salas de controle de reatores nucleares, com os novos sistemas de auxílio aos operadores, com os procedimentos de operação e com o treinamento do grupo de operação. Este documento também apresenta as etapas que estão sendo realizadas e planejadas em todo o mundo, para melhorar o projeto das *interfaces* homem sistema, visando a otimização da segurança das plantas nucleares.

O documento da Agência Internacional de Energia Atômica IAEA-TECDOC 812 apresenta o resultado de encontros e palestras, patrocinados pela Agência Internacional de Energia Atômica, proferidas por especialistas americanos, canadenses, finlandeses, franceses, alemães, japoneses e russos, com ênfase no projeto de salas de controle de reatores nucleares. Esta publicação constitui um guia para os profissionais envolvidos na pesquisa, projeto, construção, avaliação e modernização de salas de controle. O objetivo deste documento é apresentar práticas e metodologias úteis para o projeto de salas de controle, equipamentos e sistemas utilizados em centrais nucleares.

A IEC 964 define os princípios básicos de projeto da sala de controle principal de um reator nuclear, estabelece os requisitos e especificações para o projeto funcional, incluindo as *interfaces* operador sistema, procedimentos de operação, treinamento, projeto do local de trabalho e considerações sobre o processo de verificação e validação da sala de controle principal.

A IEC 1772 apresenta os requisitos para desenvolvimento e aplicação de sistemas computadorizados de apresentação de informações na sala de controle principal de reatores nucleares. Esta norma estabelece os principais requisitos para definição das informações que devem ser apresentadas em tais sistemas, levando em consideração os seguintes objetivos:

- informações para a operação, manutenção e segurança;
- espaço, localização e organização dos dados;
- assegurar que a informação seja relevante;
- assegurar que a informação seja apresentada de maneira otimizada;
- métodos para acesso fácil e rápido às informações.

A NUREG 700 apresenta os requisitos de fatores humanos que devem ser incluídos no projeto de salas de controle de reatores nucleares. Descreve os critérios relacionados com os fatores humanos, que devem ser considerados no desenvolvimento e na avaliação das *interfaces* operador sistema. A NUREG 700 apresenta um guia para revisão dos sistemas computadorizados de apresentação de informações, da interação operador sistema, dos sistemas de auxílio ao operador, dos sistemas de comunicação e do projeto do local de trabalho.

A NUREG/CR-5908 é um relatório técnico para revisão dos aspectos de fatores humanos aplicados em interfaces operador sistema. Este relatório contém informações relacionadas com os seguintes itens:

- sistemas computadorizados de apresentação de informações;
- dispositivos de entrada de dados e controle do processo;
- sistemas de auxílio ao operador.

A NUREG/CR-6105 é um relatório técnico que apresenta informações relacionadas com sistemas avançados de alarmes. Neste documento são identificadas e descritas as principais características dos sistemas avançados de alarmes, ou seja:

- processamento;
- disponibilidade e prioridade;
- controle;
- características automáticas e dinâmicas;
- testes, manutenção e indicação de falhas;
- procedimentos de resposta;
- apresentação dos dados;
- integração e *layout*.

A NUREG/CR-6684 é um relatório técnico que tem como objetivo revisar as informações relacionadas com sistemas avançados de alarmes. Este relatório identifica aspectos dos sistemas avançados de alarmes, que podem influenciar no desempenho dos operadores e atualiza os requisitos relacionados com os sistemas de alarme incluídos na NUREG/CR-6105.

5.2 Avaliação da Sala de Controle Principal da Usina Nuclear PWR Utilizando Listas de Verificação

O anexo B apresenta a avaliação da sala de controle principal da usina nuclear PWR utilizando as seguintes listas de verificação:

- Console de controle mestre, CWA;
- Console de informações, CWB;
- Painéis de controle auxiliares;
- Sistema integrado de computadores de processo, o SICA;
- Sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis;
- Sistema de alarme convencional e computadorizado;
- Sistema de comunicação;
- Local de trabalho.

A lista de verificação do console de controle mestre, CWA, tem setenta e uma questões, a do console de informações tem dezessete questões, painéis de controle auxiliares tem sessenta e duas questões, a do sistema integrado de computadores de processo, SICA, tem trinta e duas questões, a do sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis tem vinte e nove questões, a do sistema de alarme tem quarenta e quatro questões, a do sistema de comunicação tem treze questões e a do local de trabalho tem dezenove questões.

Os seguintes documentos, guias e normas de fatores humanos foram utilizados na confecção das listas de verificação:

- IEC 964: *Design of Control Rooms for Nuclear Power Plants*
- NUREG 700: *Human System Interface Design Review Guideline*
- NUREG/CR-5908: *Advanced Human-System Interface Design Review Guideline: Volume 1 and Volume 2*
- NUREG/CR-6105: *Human Factors Engineering Guidance for the Review of Advanced Alarms Systems*
- NUREG/CR-6684: *Advanced Alarm System – Revision of Guidance and Its Technical Basis*

5.3 Análise da Atividade dos Operadores da Usina Nuclear PWR

A ergonomia aborda a complexidade do trabalho através da análise da atividade, decompondo-a em aspectos mensuráveis e registráveis da realidade laboral. São elementos observáveis a postura, a exploração visual e os deslocamentos dos operadores, atos registráveis que tomam significado no contexto de ações que reúnem habilidades e conhecimentos numa seqüência operatória. Os resultados obtidos geram informações sobre a variabilidade, sobre as estratégias utilizadas, identificando os problemas que afetam o desempenho dos operadores. Estas informações podem ser usadas, por exemplo, para a melhoria do *layout* da sala de controle.

Ao iniciar a análise da atividade dos operadores, os problemas a serem observados são definidos, as observações são direcionadas, sendo realizada uma filtragem das informações disponíveis.

O registro da atividade dos operadores ao longo de um turno é feito através de vídeos, facilitando a obtenção de um grande número de informações e permitindo a fusão entre os diálogos, deslocamentos, direção do olhar e tomadas de decisão dos operadores. Posteriormente, esses registros devem ser explicados pelos resultados das observações feitas.

A análise da atividade dos operadores mostra a comunicação entre os vários setores dentro da sala de controle. As informações que compõem o conteúdo das comunicações são trocadas oralmente, por telefones, por documentos escritos, através de gestos ou mediante os deslocamentos dos operadores. O conteúdo dessas informações constitui 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.

O deslocamento de um operador até outros operadores explica a necessidade da busca de informação, mostrando que nem toda a informação está disponível nos consoles de controle e que a atividade é coletiva. O registro do deslocamento dos operadores, a partir do acompanhamento dos percursos realizados, mostra a importância de algumas áreas de trabalho e da necessidade de obter dados e informações nos consoles e painéis de controle. O registro da direção do olhar dos operadores é amplamente utilizado para a apreciação das fontes de informações utilizadas pelos operadores. Essa exploração visual constitui uma procura ativa por informações e mostra a importância dos olhares dos

operadores em direção aos diversos setores dos painéis e telas de computadores. O número e a frequência das informações observadas em um painel de controle reportam estratégias que estão sendo utilizadas pelos operadores na monitoração de um dado, que será utilizado para planejar sua ação futura, cuja eliciação cabe ser feita

Para analisar a atividade dos operadores da sala de controle principal da usina nuclear PWR foram realizadas observações sistemáticas durante a parada e partida programada do reator nuclear. As situações de trabalho foram filmadas e fotografadas. Foram também registrados os diálogos entre os operadores e acompanhadas as trocas de turno. As observações sistemáticas 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.

Os seguintes períodos de trabalho foram observados, filmados e fotografados:

- Parada: das 19 horas às 8 horas. Total de 13 horas.
- Partida: das 7 horas às 12 horas e das 6 horas às 10 horas. Total de 9 horas.

O modelo de monitoração dos operadores de uma usina nuclear apresentado na figura 15 foi proposto por MUMAW *et al.* (1995). Esse modelo é constituído pelos seguintes elementos:

- Ocorrências iniciais

São os fatores que iniciam a monitoração. Alguns são periódicos, outros são ocasionais.

- Atividades cognitivas

Avaliam as ocorrências iniciais, planejam as ações, identificam os dados relevantes, estabelecem prioridades, definem a frequência de monitoração e desenvolvem um planejamento para a monitoração.

- Ações facilitadoras

São as ações realizadas pelos operadores com o objetivo de facilitar a monitoração.

- Recursos para monitoração

Constituem um grupo de recursos que estão disponíveis para os operadores realizarem a monitoração da planta nuclear. A figura 15 mostra a realimentação entre esses recursos e as atividades cognitivas, ou seja, a realimentação permite que os operadores mantenham, atualizem ou adaptem as informações disponíveis, de acordo com os novos dados obtidos.

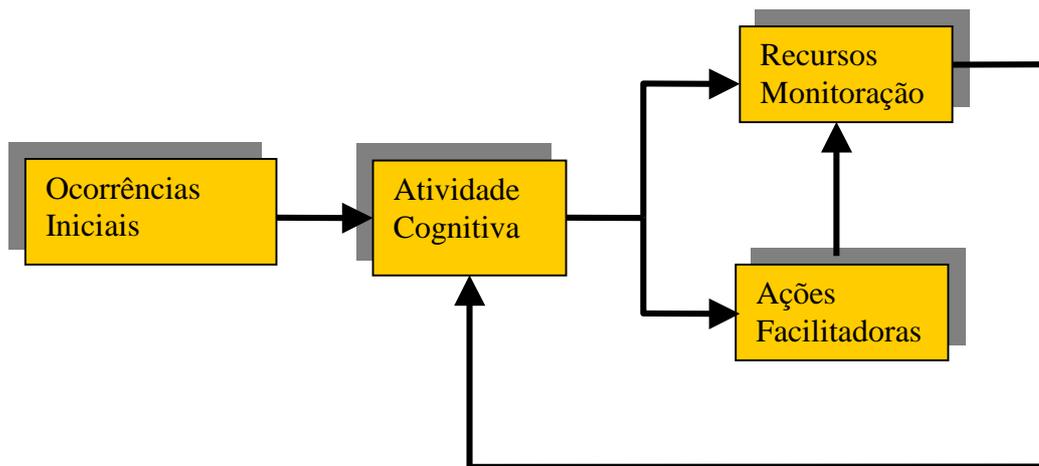


Figura 15: Modelo de Monitoração dos Operadores de uma Usina Nuclear

Neste capítulo apresentamos o modelo de monitoração dos operadores da usina nuclear PWR, adaptado do modelo proposto por MUMAW *et al.* (1995). Este modelo de monitoração é apresentado na figura 16. Este modelo descreve as fontes de informações disponíveis, os fatores que influenciam na monitoração, as atividades cognitivas associadas com a monitoração e as estratégias que os operadores desenvolvem para facilitar a monitoração.

A figura 16 mostra que as ocorrências iniciais começam a monitoração de duas maneiras. Primeiro, quando existem tarefas programadas as informações obtidas são incorporadas diretamente no modelo da situação criado pelos operadores.

Segundo, se as ocorrências iniciais são direcionadas pelo conhecimento ou por dados (RASMUSSEN, 1987), o operador obtém algumas informações através das *interfaces*. Inicialmente essas informações são avaliadas, ou seja, se são esperadas, não são esperadas, se são válidas, não válidas, se existem dúvidas sobre essa validade, se a indicação apresentada através da *interface* está dentro dos critérios de normalidade, se é anormal ou se existem dúvidas sobre a normalidade.

As duas maneiras citadas anteriormente, sempre possibilitam a atualização do modelo da situação criado pelos operadores.

Nas ocorrências direcionadas por dados, a monitoração é afetada pela forma de apresentação dos dados, pelas suas características, como por exemplo, luminosidade, intensidade sonora e frequência do alarme.

Nas ocorrências direcionadas pelo conhecimento, a monitoração é iniciada pelo operador através do conhecimento acumulado e através das expectativas em relação às fontes geradoras das informações mais importantes. O operador foca sua atenção para áreas que fornecem informações específicas, que são utilizadas para alcançar os objetivos pretendidos. A monitoração é direcionada pelo modelo que o operador forma em relação à planta e ao processo nuclear.

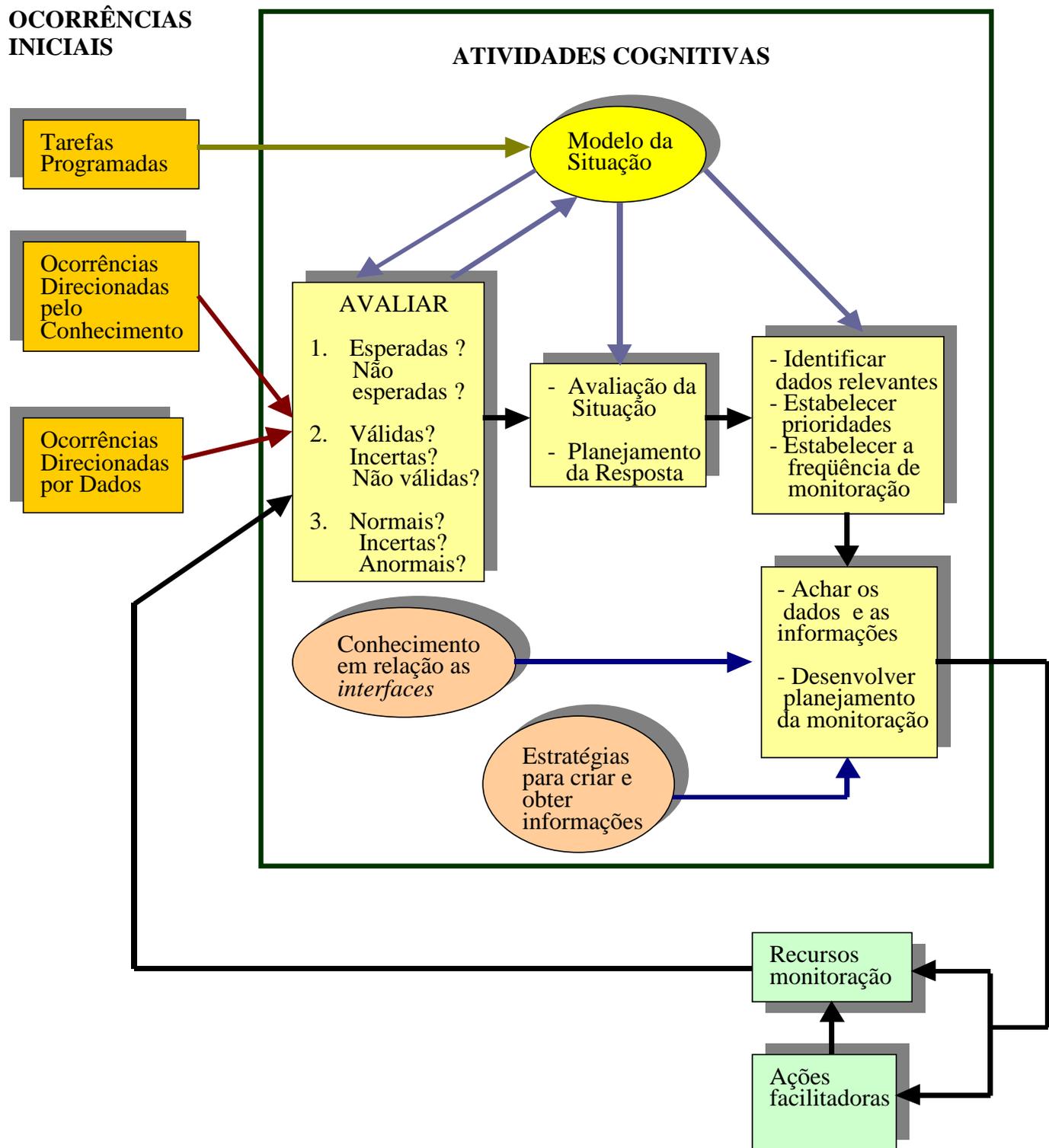


Figura 16: Modelo de Monitoração dos Operadores da Usina Nuclear PWR (Adaptado do Modelo Proposto por MUMAW *et al.*, 1995)

Na sala de controle de um reator nuclear, os operadores confrontam-se com consoles de controle, painéis, monitores de computadores, que apresentam mais variáveis do que eles podem monitorar. Nesta situação, surgem algumas perguntas:

- O que os operadores devem monitorar ?
- Para onde eles direcionam sua atenção?

ENDSLEY (1988) definiu consciência da situação como sendo a percepção dos elementos do ambiente, a compreensão do seu significado e a projeção do seu estado em um futuro próximo.

Segundo SARTER e WOODS (1991), a consciência da situação permite que os operadores construam um modelo da situação, que proporciona uma explicação coerente para o que foi observado, refletindo o *status* real da planta, gerando suposições a respeito das futuras observações e permitindo que os operadores direcionem as suas futuras monitorações. O modelo da situação é usado para identificar os dados e indicações que são mais relevantes para serem monitorados.

Ainda segundo SARTER e WOODS (1991), o modelo da situação engloba as seguintes atividades cognitivas:

- para explicar o comportamento da usina nuclear e o aparecimento de determinadas indicações, os operadores constroem uma relação causa e efeito;
- os operadores integram as indicações obtidas separadamente;
- os operadores geram valores esperados, com maior ou menor precisão, para parâmetros não monitorados;
- os operadores desenvolvem uma descrição do desempenho dos sistemas, do processo e dos objetivos a serem alcançados;
- os operadores mentalmente antecipam o futuro estado da planta;
- os operadores avaliam o desempenho da usina nuclear.

O modelo da situação integra o entendimento dos operadores em relação aos aspectos físicos e funcionais da planta nuclear e de seus sistemas. Ele é formado inicialmente pelo modelo ideal da planta, obtido pelos operadores através do treinamento, focando nos aspectos físicos da planta, suas características e interconexões. Com a experiência adquirida na operação, este modelo continua evoluindo, refletindo o estado atual da planta. Os elementos que constituem o modelo da situação estão

presentes na memória de trabalho, são atualizados com as informações mais recentes e englobam a experiência obtida com a operação real e com o treinamento em simuladores.

Segundo WICKENS e FLACK (1988), o modelo da situação construído pelos operadores é constituído por dois componentes: a avaliação da situação e o planejamento da resposta do operador.

Segundo BRANSFORD (1979), a avaliação da situação constrói uma explicação para as observações realizadas. A avaliação da situação desenvolve uma representação dos fatores conhecidos ou hipotéticos, que afetam o estado da planta nuclear. Os operadores formam suposições, que são baseadas na avaliação da situação real. Os operadores procuram por evidências para confirmar sua hipótese inicial e usam suposições para explicar os sintomas observados. Quando um novo sintoma é inconsistente com a suposição inicial, os operadores reconhecem que é um comportamento não esperado da planta, havendo necessidade de revisar a avaliação da situação. Este sintoma conduz para uma melhor explicação da situação, implicando em uma nova hipótese para explicar o ocorrido e na procura por evidências no ambiente da sala de controle.

Segundo BRANSFORD (1979), o planejamento da resposta consiste na decisão do operador sobre uma ação, na geração de uma ou mais alternativas que atinjam os objetivos identificados.

5.4 Análise da Atividade dos Operadores em um Cenário de Acidente Postulado

Segundo a norma CNEN-NE-1.01, o candidato à licença de operador sênior deve ter participado de um programa de treinamento adequado, a juízo da CNEN, em um simulador. O simulador da sala de controle principal da usina nuclear PWR foi construído pela companhia francesa Thomson-CSF, sendo comissionado na França em 1982. Desde o início da operação até hoje, várias modificações foram introduzidas no *hardware* e *software*. Este simulador tem todos os sistemas e controles que são importantes para o treinamento dos operadores em usinas nucleares de potência PWR. Aproximadamente 80% dos sistemas da usina podem ser simulados. Todos os sistemas relacionados com a segurança são simuláveis.

A análise da atividade dos operadores em um cenário de acidente simulado foi realizada no simulador da sala de controle principal da usina PWR. O seguinte acidente

postulado foi simulado: ruptura do tubo do gerador de vapor sem atuação dos critérios de emergência, ou seja, sem injeção das bombas de segurança e sem suprimento de energia elétrica de emergência.

Para analisar a atividade dos operadores durante este acidente simulado, foram realizadas observações neste simulador, localizado no centro de treinamento dessa usina nuclear. Foram também registrados os diálogos entre os operadores. As situações de trabalho envolvendo dois grupos de operação, formados pelo supervisor, encarregado, operador do primário e secundário, foram observadas, filmadas e fotografadas. Todo o processo de simulação foi controlado pelo instrutor do centro de treinamento. Antes do início da simulação, o instrutor reuniu cada grupo de operação e proferiu uma palestra sobre todo o processo de simulação. Após a simulação, o grupo de operação foi novamente reunido e algumas perguntas foram formuladas pelo instrutor. Cada período de simulação durou uma hora e quinze minutos.

Na ocorrência de vazamentos nos tubos em U dos geradores de vapor haverá uma transferência do refrigerante para o circuito de água vapor, devido à alta diferença de pressão existente entre o lado primário e o lado secundário. As principais funções das ações automáticas e das ações manuais são a de limitar os efeitos do acidentes para que não haja liberação de vapor radioativo, através das válvulas de alívio para a atmosfera, e a perda do refrigerante seja limitada. Para isso, as potências do reator e do gerador devem ser reduzidas o mais rápido possível. Deve ser também limitada a possibilidade de ocorrência simultânea de perda do suprimento elétrico para consumo próprio, pois isto significaria para a usina um caso de suprimento de energia elétrica de emergência, com perda do condensador e das bombas de refrigeração do reator. Com o funcionamento das bombas de refrigeração, é mantida a circulação forçada evitando a formação de bolhas de vapor na região da tampa do vaso de pressão do reator. Com o condensador como fonte fria, evitamos que o vapor principal radioativo seja liberado para o meio ambiente. O reconhecimento do acidente é feito através de medições da atividade com três tubos contadores *Geiger-Müller* e três cintiladores de iodeto de sódio. Desta maneira são detectadas a atividade do nitrogênio, N16, e a atividade de gases nobres no vapor principal. Esse acidente é anunciado no console de controle mestre, CWA, e no painel de proteção do reator através do alarme de classe S, ruptura de tubo de gerador de vapor 1.

Uma ruptura de tubo do gerador de vapor 1 é reconhecida pelo sistema de proteção do reator através dos seguintes sinais:

- atividade do vapor principal > máxima em um gerador de vapor
- diferença de pressão contenção e atmosfera > 30 mbar

A evolução do acidente é classificada em três fases. A primeira fase corresponde à redução de potência. Através das ações do sistema de limitação da potência do reator e do sistema de limitação da pressão do refrigerante, as potências do reator e do gerador são reduzidas. A segunda fase corresponde à redução da pressão do sistema de refrigeração do reator. Na terceira fase, através de ações manuais, a temperatura média do refrigerante é reduzida para 120 °C.

CAPÍTULO 6 - RESULTADOS

A seguir detalharemos o teor de cada uma das hipóteses, com as principais fundamentações e com os respectivos resultados.

6.1 Hipótese 1

A análise da atividade dos operadores no ambiente real de trabalho e em cenários de acidentes postulados, associada com as normas e guias nucleares de fatores humanos em salas de controle, constitui uma ferramenta de auxílio a ser usada no processo de licenciamento nuclear.

O licenciamento nuclear tem como objetivo principal garantir a operação segura de uma instalação nuclear, visando resguardar a saúde do trabalhador e da população, bem como proteger o meio ambiente de possíveis danos causados pela radiação. No licenciamento nuclear são identificadas duas etapas principais: avaliação da segurança e a fiscalização.

- Avaliação da Segurança

O objetivo da avaliação de segurança é 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 reavaliação da segurança consiste no levantamento do nível de segurança da usina nuclear, com a apresentação de relatórios listando os pontos fortes, as deficiências encontradas em cada uma das áreas citadas anteriormente, comparando com os padrões e práticas de segurança vigentes e com a avaliação do impacto na segurança das deficiências identificadas, propondo medidas compensatórias.

- Fiscalização

A fiscalização complementa a avaliação da segurança. Os principais objetivos da fiscalização são citados a seguir:

- 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 conformidades 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.

A fiscalização tem como objetivo principal verificar se a construção e a operação estão em conformidade com a licença e com a autorização emitida pelo órgão regulador. As responsabilidades do órgão licenciador com relação à fiscalização englobam os seguintes itens:

- verificação da implementação das condições estipuladas na licença e na documentação aceita pelo órgão regulador;

- identificação de não conformidades com os requisitos estipulados pelo órgão regulador;
- emissão de relatórios;
- determinação de ações imediatas para assegurar a conformidade com as normas e regulamentos;
- verificação das ações corretivas tomadas pelo licenciado, corrigindo as não conformidades.

Os seguintes eventos e protocolos verbais obtidos através da análise da atividade dos operadores da usina nuclear PWR complementam ou ratificam a avaliação apresentada no anexo A, fornecendo subsídios para o setor de licenciamento nuclear, mostrando que a análise da atividade constitui uma ferramenta de auxílio para avaliação da segurança da operação, do treinamento, do desempenho dos operadores e dos procedimentos.

1. O grupo de operação da sala de controle principal avaliada é formado por um supervisor de turno com licença sênior de operador de reator, um encarregado de turno com licença sênior de operador de reator, um operador de reator licenciado, um operador de painel secundário licenciado e um operador de painel auxiliar não licenciado. O supervisor de turno tem a responsabilidade pela correta designação de pessoal para os turnos, pela perfeita rendição do pessoal dentro dos turnos e pela efetivação das instruções. Ele é o responsável pelo comando da sala de controle, pela segurança da operação e por seguir os requisitos especificados pelo órgão licenciador. O encarregado do turno é o responsável pela supervisão das ações realizadas pelos operadores do primário, secundário e do painel, pelo uso correto dos procedimentos, por propor alterações nos procedimentos, pela coordenação das tarefas de manutenção e testes realizadas durante seu turno e por iniciar ações em situações de emergência, até que receba auxílio do supervisor. O operador do primário controla o reator e atua nos sistemas de proteção de acordo com os procedimentos. O operador do secundário controla os sistemas do secundário e a turbina. O operador auxiliar atua nos sistemas e painéis auxiliares.

O relatório final de análise de segurança, capítulo 16.5, determina que uma cobertura adequada do turno deve ser mantida, sem o uso constante de horas extras excessivas. O objetivo é manter os operadores trabalhando no máximo oito horas por dia. Entretanto, eventos inesperados, longos períodos de parada, grandes manutenções, modificações substanciais nos principais sistemas, podem implicar na necessidade de horas extras. Neste caso, os operadores não devem trabalhar mais de doze horas contínuas, excluindo o tempo de passagem de turno.

Na troca de turnos existe um grande repasse de informações escritas, contidas no documento de passagem de turno, formado pelo livro de turno, pelas listas de passagem de turno e listas de verificação dos equipamentos de segurança.

Este documento apresenta todas os fatos que ocorreram durante um turno, os testes realizados, os testes em andamento, equipamentos em manutenção, alarmes específicos não resolvidos, licenças de trabalho realizadas, licenças de trabalho em andamento, licenças de trabalho não realizadas, equipamentos e componentes defeituosos. Este documento é escrito, revisado durante a troca de turno e consultado durante o próximo turno, gerando informações sobre o funcionamento real da planta. O supervisor e o encarregado do novo turno são os responsáveis pela verificação da assinatura do livro de turno e respectivas listas de passagem de turno.

Em condições normais, a troca de turno é realizada uns quinze ou vinte minutos antes de terminar o turno. Os operadores do próximo turno chegam na sala de controle e então é iniciada uma reunião formal em uma sala anexa à sala de controle, o centro de suporte técnico. O supervisor do turno atual descreve o *status* das principais variáveis, a ocorrência de alarmes não previstos, ordens de serviços completadas, variáveis que devem ser monitoradas com mais cuidado, testes realizados e em andamento, os serviços realizados ou que estão sendo realizados pelos operadores de campo. A rendição do turno é efetuada por cada operador que entra ao substituir o operador equivalente que sai. Os operadores do turno atual e do novo turno fazem uma checagem dos valores apresentados nos consoles, painéis e uma verificação das informações apresentadas nos principais sistemas. O operador que entra deve verificar os registros de sua área de responsabilidade, observar as condições de sua área de responsabilidade quanto à limpeza dos equipamentos, conservação geral, tomar conhecimento de todas as instruções recebidas posteriores ao seu turno, preencher junto com o operador que está sendo substituído à seção aplicável a seu posto na lista de passagem de turno, assinar a

seção correspondente e entregar a lista de passagem de turno assinada para o encarregado do turno.

A análise da atividade mostrou que durante a parada e partida programada da usina nuclear PWR, em determinados turnos, o supervisor, o encarregado, o operador do primário e o operário do secundário trabalharam doze horas. Esse aumento no turno de trabalho dos operadores licenciados foi motivado pela não adequação do número de operadores licenciados no quadro da empresa. A necessidade dos operadores passarem por um curso de licenciamento de longa duração, segundo os critérios estabelecidos na norma CNEN-NE-1.01, e a complexidade das provas, talvez expliquem estes fatos.

A análise da atividade também mostrou que a intensificação do trabalho desses operadores acarretou em turnos ainda maiores do que 12 horas. O término do turno sem que os operadores tivessem terminado de preencher todos os documentos relacionados com a passagem de turno, a necessidade de acompanhar determinados testes já iniciados ou cancelados, e que não foram executados de acordo com o planejamento, a necessidade de transferir informações para os outros operadores durante a troca de turno, implicaram no aumento das horas trabalhadas e na prorrogação e sobreposição dos turnos.

Durante a parada programada, o protocolo verbal que apresenta os problemas no sistema de remoção do calor residual (JN), os eventos que ocasionaram a geração de sinais espúrios e a perda do compressor, comprovam os fatos citados anteriormente, mostrando que o encarregado trabalhou mais de 12 horas e trinta e cinco minutos durante um turno. Este protocolo é apresentado na tabela 5.

As informações apresentadas anteriormente indicam a necessidade de adequar o número de operadores licenciados no quadro de funcionários da empresa geradora de energia elétrica e aumentar o número de grupos responsáveis pela operação da sala de controle principal, de acordo com o documento da Agência Internacional de Energia Atômica, IAEA-TECDOC 812. Seis grupos no total, sendo que três grupos para cobrir o período de vinte e quatro horas de trabalho, ou seja, oito horas de trabalho por turno, um grupo em treinamento, um grupo de sobreaviso e um grupo de férias.

Tabela 5: Problemas no Sistema de Remoção do Calor Residual (JN)

Hora	Evento	Transcrição fita	Comentário
7:15	Problemas no JN	<p>Encarregado do turno atual: <i>O (nome do operador do primário) está falando que este problema do JN já aconteceu com ele antes. E eles baixaram manualmente, no núcleo mesmo. Eles chegaram a seguinte conclusão: botar em manual que depois dá para voltar com o JN. O que tem de mais prioritário é aquilo ali, voltar pra poder resfriar. Basicamente já finalizou, é só esperar chegar a 50 graus e fechar aqui as válvulas.</i></p> <p>Encarregado do turno atual: <i>Rapaz que loucura essa madrugada, esse negócio de colocar os testes da instrumentação juntos foi muito estressante.</i></p> <p>Encarregado do próximo turno: <i>Começou a pipocar uma porrada de coisa?</i></p> <p>Supervisor: <i>(nome do encarregado do turno atual) pega a LT (liberação de trabalho), libera a LT, joga a LT para fora da sala de controle e pede ao (nome do encarregado do próximo turno) para dar um tempo ali, porque senão você não vai conseguir passar o turno.</i></p> <p>Encarregado do turno atual: <i>As LTs já foram, já foram liberadas.</i></p> <p>Supervisor: <i>Já foram, tem LT aqui. Tem LT aqui.</i></p> <p>Instrumentista: <i>...ficou à noite (nome do encarregado do turno atual) ?</i></p>	<p>Problema recorrente no JN</p> <p>Vários testes na instrumentação geraram alarmes, que perturbaram a operação.</p> <p>Simultaneidade entre os testes e a parada da usina.</p> <p>Encarregado com dificuldades em preencher o documento de passagem de turno e dar baixas nas licenças de trabalho.</p>
7:35		<p>Encarregado do turno atual: <i>Estou desde as sete da noite. Uma loucura isso aqui.</i></p> <p>Encarregado do turno atual: <i>Eu vou aí contigo (nome do encarregado do próximo turno), deixa só eu imprimir aqui. Eu te passo aí. Fala uma gracinha aí. Toma logo isso aqui, eu vou embora.</i></p> <p>Encarregado do próximo turno: <i>Não, não vai embora não, fica mais um pouquinho, se não vai ter drenagem, não vai ter trabalho pra gente. Puseram tanta mangueira e não vão usar.</i></p>	<p>Excesso de horas trabalhadas, ou seja, mais de 12 horas.</p> <p>Dificuldades em passar o turno.</p> <p>Problemas no JN atrasaram a previsão de chegar a 50 graus pela manhã.</p>

		<p><i>compressores de ar comprimido, a gente só tem o 20 disponível, o 10 foi para o espaço. Está sabendo? O ar comprimido das válvulas ali. O sistema de ar comprimido da usina. A gente só tem um compressor disponível.</i></p> <p>Encarregado do próximo turno: <i>Agora você não vai fazer nada, você não vai nem sair de perto de mim agora.</i></p> <p>Encarregado do próximo turno: <i>(nome do supervisor), outro problema que pintou, demos sorte que não precisou injetar o peróxido. A KBD (sistema de injeção de produtos químicos) deu problema no vazamento de óleo da bomba. Eu pedi para a mecânica ir lá, se for necessário mesmo injetar teria como complementar o nível e usar. Decidiram que não iam injetar mais peróxido. Mas mesmo assim a gente abriu a LT para o pessoal corrigir.</i></p>	<p>Sobreposição de turnos. Dificuldades em passar o turno. O acúmulo de trabalho nesse período faz com que o encarregado do turno atual tenha dificuldades em passar o turno para o encarregado do próximo turno, que mesmo sem receber oficialmente o turno já começou a trabalhar.</p>
--	--	--	--

2. Segundo a NUREG 700 e a NUREG/CR-6105, o livro de resposta aos alarmes deve estar disponível para o grupo de operação. Os operadores devem ter acesso imediato as seguintes informações:

- grupo funcional dos alarmes;
- texto sobre os alarmes;
- sensores, processamento, validação lógica do sinal;
- nível de atuação;
- prioridades;
- causas potenciais para os alarmes;
- ações que podem confirmar a existência dos alarmes;
- ações automáticas do sistema de alarme, que devem ser verificadas pelos operadores;
- ações posteriores.

No capítulo 5 do manual de operação da usina nuclear PWR é destacado que os alarmes para cada sistema individual, incluindo as conseqüências e correspondentes contramedidas a serem executadas pelo pessoal de operação ou automaticamente, devem estar apropriadamente descritas. O livro de resposta aos alarmes é um documento que faz parte do manual de operação e de acordo com os procedimentos administrativos da usina nuclear deve estar disponível para o grupo de operação. A análise da atividade mostrou que durante o período da parada e partida programada da usina nuclear PWR, o livro de resposta aos alarmes ainda não estava disponível. É necessário disponibilizar este documento, pois ele contém informações que podem auxiliar os operadores no diagnóstico de um alarme.

3. Segundo a NUREG 700, deve ser limitado o acesso de pessoas não essenciais, mas autorizadas, em determinadas áreas da sala de controle principal.

A análise da atividade mostrou que durante a parada programada, após o desligamento do reator, vários trabalhadores dos setores de manutenção e instrumentistas entraram na sala de controle principal, tentando obter liberação das licenças de trabalho. A figura 17 mostra esta situação.



Figura 17: Excesso de Pessoas na Sala de Controle Principal

O protocolo verbal apresentado na tabela 6 mostra que o supervisor teve dificuldades em limitar o acesso de vários trabalhadores, de modo a evitar interrupções e perturbações, que poderiam interferir no controle do processo e afetar o desempenho dos operadores.

É necessário controlar o acesso dos trabalhadores, que buscam liberação das licenças de trabalho, conforme os procedimentos administrativos descritos no manual de operação da usina nuclear PWR. Para facilitar o controle do acesso de trabalhadores, sugerimos que o processo de liberação seja realizado fora da sala de controle principal, ou seja, no centro de suporte técnico, sala anexa à sala de controle principal. Esse processo de liberação pode ser gerenciado por um encarregado, que não estivesse escalado para o próximo turno de trabalho.

Tabela 6: Limitar o Acesso dos Trabalhadores

Evento	Transcrição fita	Comentário
Reator desligado	<p>Supervisor no geral: <i>Atenção usina reator desligado. Sendo iniciados os procedimentos para desligamento da planta</i></p> <p>Supervisor: <i>O reator está desligado. Agora começa a aparecer todo mundo.</i></p> <p>Consultor alemão: <i>Estamos 12 minutinhos mais cedo do que essa programação.</i></p> <p>Encarregado: <i>22, 22 minutos.</i></p> <p>Consultor alemão: <i>Não está faltando.....(alemão tentando dizer a hora).</i></p> <p>Encarregado: <i>Então eu quero ficar 30 minutos antes. Ainda vou ganhar mais uns 15 minutos.</i></p> <p>Supervisor: <i>Ainda vou ganhar mais. A gente vai voltar em vez de 12 dias vamos voltar em 10 dias.</i></p> <p>Consultor alemão rindo: <i>Vamos ver... Você acredita ?</i></p> <p>Supervisor: <i>Eu vou ficar aqui direto. Eu e ele... E você também.</i></p>	<p>Supervisor comunica no geral que o reator está desligado.</p> <p>Supervisor preocupado com o número de trabalhadores da manutenção, limpeza e instrumentistas, que irão entrar na sala de controle.</p> <p>Consultor alemão tentando dizer a hora.</p>

	<p>Consultor alemão rindo: <i>E eu também.</i></p> <p>Supervisor: <i>A instrumentação vai, a medida que vai precisando, vai pedindo....</i></p> <p>Supervisor: <i>Chama a segurança. Chama a segurança! Chama a segurança! Chama o especialista de segurança!</i></p> <p>Supervisor: <i>Tem de cumprir o procedimento. Muita gente na sala de controle. Tem de cumprir o procedimento a risca. Acesso à sala de controle. A usina está parada, mas o núcleo está carregado Todo mundo lá fora. OK?</i></p> <p>Operador auxiliar: <i>Mas o que é isso?</i></p> <p>Supervisor: <i>Pra mim é assalto ou sem terra...Alguma coisa desse nível entendeu (risos) Eu vou chamar a segurança...</i></p> <p>Consultor alemão: <i>Eu tenho esse mesmo problema na Alemanha também... A usina está ligada e sala de controle cheia.</i></p> <p>Supervisor: <i>Ah! Então acho que o problema foi outro. Nós acabamos importando isso junto com a usina. Vocês mandaram isso também.</i></p>	<p>Muitas pessoas têm acesso a sala de controle. Supervisor tenta limitar a entrada dessas pessoas.</p> <p>Supervisor irritado com a quantidade de pessoas na sala de controle principal.</p>
--	---	---

4. Segundo a NUREG 700 e a NUREG/CR-6105, as atividades de testes e manutenção devem ser realizadas sem causar interferência nas atividades dos operadores. A análise da atividade mostrou que durante a parada e partida programada, vários eventos externos geraram interrupções, que interferiram na atividade dos operadores e na realização das tarefas programadas. Vários testes realizados causaram interferências na sala de controle, com acionamento de alarmes e geração de sinais espúrios. Esses eventos resultaram em atrasos nas ações planejadas e dificultaram o controle do processo nuclear. O protocolo verbal apresentado na tabela 7 mostra como os testes realizados pelo grupo de instrumentistas influenciaram na atividade dos operadores.

Tabela 7: Alarmes e Sinais Espúrios

Evento	Transcrição fita	Comentário
<p>Problemas na partida do JN 40</p>	<p>Encarregado: <i>Dei partida no grupo funcional. Está parado?</i></p> <p>Operador Primário: <i>Não sei o que houve. Essas válvulas fecharam... Então a bomba não pode partir.</i></p> <p>Supervisor: <i>Porque essas válvulas fecharam?</i></p> <p>Encarregado: <i>Vamos dar um comando de parada?</i></p> <p>Operador Primário: <i>Não! Eu parti agora. Vamos ver o que está acontecendo. Realmente a bomba está fora.</i></p> <p>Supervisor: <i>Tem que chamar a instrumentação... E essa aqui que abriu? Tem que fechar</i></p> <p>Encarregado: <i>Tem os testes... Só devia fazer esses testes depois de tudo parado... desligado...</i></p> <p>Supervisor: <i>Cadê o (responsável pelo teste)? O (responsável pelos testes) está com vocês?</i></p> <p>Instrumentista: <i>Não, o (responsável pelo teste) é do grupo desse rapaz aqui.</i></p> <p>Supervisor: <i>Cadê o (responsável pelo teste)?</i></p> <p>Instrumentista: <i>Ele está nesse grupo aqui.</i></p> <p>Supervisor: <i>E no teu grupo, quem é que está?</i></p> <p>Instrumentista: <i>Está o (nome do instrumentista).</i></p> <p>Supervisor: <i>Deu m... de novo! Pede a ele, pede ao (responsável pelo teste) para suspender. Voltar as condições normais. Não tem jeito não! Agente vai ter que recomeçar este teste só às 7:00 horas da manhã!</i></p> <p>Supervisor: <i>Nós voltamos a receber o sinal aqui do JN . De atuação em cima da válvula e uma série de sinais espúrios aqui. Eu não sei se é algum pessoal do grupo de vocês que tão tocando isso aí. Na verdade eu acho melhor suspender e retornar com isso aí só amanhã de manhã.</i></p>	<p>A bomba da refrigeração não partiu.</p> <p>A situação leva os operadores a pensarem na influência dos testes.</p> <p>Supervisor procurando o responsável pelos testes.</p> <p>O teste vai ser feito novamente. Atraso nas ações planejadas.</p> <p>Supervisor reconhece que os testes estão prejudicando a operação e pede a suspensão.</p>

Suspensão dos testes	<p><i>Para não ter dúvida... Eu estou começando a receber o comando aqui ... Está uma loucura! Entendeu? Porque fica difícil... Daqui a pouco eu vou ter um problema, e eu vou ter que alegar que foi o teste... E esse teste era para fazer com o reator a frio.....</i></p> <p><i>Eu estou tentando mas a gente não está conseguindo... Vamos dar uma suspendida então nisso aí.</i></p> <p><i>O (nome do responsável por outros testes) está perto de você? Não... Fala com ele para também suspender o dele, OK?</i></p>	
----------------------	--	--

O setor de planejamento da usina é o responsável pelo planejamento de todas as atividades de manutenção e testes realizadas durante a parada programada, pelo organograma dos programas de desligamento e partida da unidade, pela cronologia das mesmas, bem como o desenvolvimento das tarefas programadas. A não adequação de determinados testes em relação ao modo de operação da planta, a incompatibilidade e simultaneidade de alguns testes e o grande número de testes programados em um curto intervalo de tempo também influenciaram na atividade dos operadores, criaram conflitos entre o grupo de operação e instrumentistas, geraram atrasos nas ações planejadas e afetaram a carga de trabalho dos operadores.

Os protocolos verbais mostrados nas tabelas 8 e 9 exemplificam as situações citadas anteriormente.

Os resultados obtidos enfatizam a necessidade do grupo de operação adotar uma atitude mais questionadora com o setor de planejamento em relação aos tipos de testes a serem realizados, ao cronograma, à simultaneidade, à incompatibilidade de certos testes e em relação à possibilidade dos mesmos afetarem a operação da usina e as indicações na sala de controle. Reuniões com o setor de planejamento e com os trabalhadores envolvidos nas tarefas a serem executadas, discussão dos resultados esperados, planejamento das ações, revisão das etapas mais importantes e das responsabilidades de cada indivíduo, constituem um grupo de soluções, que podem minimizar os problemas causados pelos testes durante a parada e partida programada da usina.

Tabela 8: Simultaneidade e Incompatibilidades dos Testes

Evento	Transcrição fita	Comentário
Testes simultâneos	<p>Encarregado: <i>Teste do spray, isso aqui é um teste. Isso é nossa responsabilidade. Teste de estanqueidade do KBA. O (nome do responsável) está coordenando.</i></p> <p>Instrumentista: <i>Mas isso nós vamos fazer durante a noite</i></p> <p>Encarregado: <i>Não. Não vamos fazer durante a noite, vamos fazer, estava programado para 11, 11:30 e esse daqui pra 11:30, mas esses dois testes não podem ser rodados juntos porque esse aqui, que é o nosso, reduz pressão...</i></p> <p>Instrumentista: <i>Como fez da outra vez, abre o spray, traça a curva lá.</i></p> <p>Encarregado: <i>O teste de estanqueidade precisa de pressão constante. Então esses dois testes, eles não cabem juntos. Esse aqui demora umas seis horas, mais ou menos, cinco, seis horas. Aí este teste tem que vir pra 5:30, ou seja, esses dois testes não podem acontecer juntos. Este aqui precisa de pressão constante e esse aqui derruba a pressão do primário.</i></p> <p>Instrumentista: <i>Mas o cara do planejamento aprovou isso ai?</i></p> <p>Encarregado: <i>E o outro ?</i></p> <p>Instrumentista: <i>É esse cara aqui, o (nome do responsável pelo planejamento), pô! Então nós vamos respeitar o teu ou então ele vai ter que adiantar o dele.</i></p> <p>Encarregado: <i>Tem que ver isso aí.</i></p> <p>Encarregado: <i>Já aconteceu deles darem ordem contrária aqui e o pessoal checkou. Não faz muito sentido não.</i></p> <p>Instrumentista: <i>Vai ter que acabar o dele e segurar o teu.</i></p> <p>Encarregado: <i>Eu não posso fazer o meu.</i></p>	<p>Há incompatibilidade entre os dois testes previstos para o mesmo período. O teste do spray reduz a pressão e o teste de estanqueidade necessita pressão constante.</p> <p>Problemas na simultaneidade dos testes.</p> <p>Atraso nas ações planejadas</p>

Tabela 9: Atraso nas Ações Planejadas e Interferências dos Testes

Evento	Transcrição fita	Comentário
<p>Anúncio da liberação de testes.</p> <p>Liberação de testes.</p> <p>Sons de alarmes. Estes alarmes já haviam surgido antes quando os testes foram liberados da primeira vez.</p>	<p>Supervisor: <i>... Avisa a ele (responsável teste limitação) o seguinte: possivelmente a partir de 4:00 horas, assim que eu entrar em RHR, falta pouco, eu vou liberar ele. Daqui a uma hora mais ou menos. E avisa ao (responsável por outro teste) também. Daqui a uma meia hora, dá uma ligada que eu devo liberar os testes. Vai entrar em RHR. Valeu!</i></p> <p>Supervisor: <i>Eu vou liberar os testes. RHR entrando agora, OK!</i></p> <p>Encarregado: <i>Pode liberar</i></p> <p>Supervisor: <i>Não há dúvida de que começaram os testes...</i></p> <p>Encarregado: <i>Liberou os testes?</i></p> <p>Supervisor: <i>Agora relaxa! Relaxa, que vai ter que conviver com isso!</i></p> <p>Supervisor: <i>Começou o teste de novo p...! Como é o nome dele (nome instrumentista.)?</i></p> <p>Supervisor: <i>(Nome responsável do teste) do teste da limitação, entrar em contato com a sala de controle!</i></p> <p>Operador Primário: <i>Nós estamos resfriando, tem que injetar água e.....</i></p> <p>Supervisor: <i>É isso mesmo amigo... Não deu certo pára! Nós temos que tentar. Ficar sem tentar é que não dá...</i></p> <p>Supervisor: <i>Estão fazendo algum teste de limitação?</i></p> <p>Instrumentista: <i>Não.</i></p> <p>Supervisor: <i>Nadinha limitação. Cadê o (responsável pelo teste limitação)?</i></p>	<p>Este teste já havia sido liberado e suspenso anteriormente.</p> <p>Começaram os problemas de novo.</p>

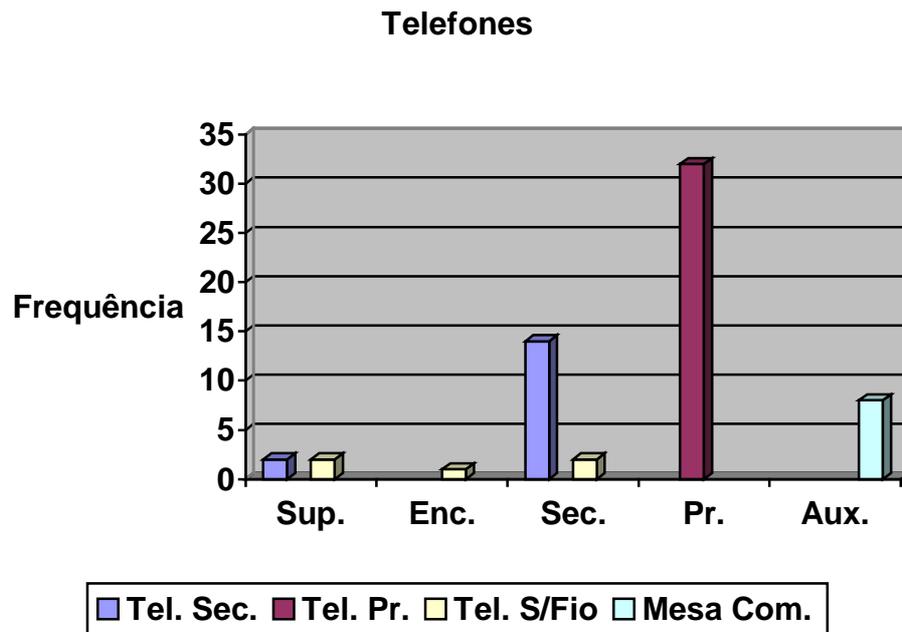
	<p><i>Responsável pelo teste da limitação, entrar em contato com a sala de controle!</i></p> <p>Operador Primário: <i>Saiu</i></p> <p>Encarregado: <i>Não adianta, enquanto estiver fazendo os testes, vai ficar isso aí. Não, não dá cara, ou nós resfriamos, ou então continuam os testes.</i></p> <p>Supervisor: <i>Espera aí, espera aí. Teste de ventilação está sendo feito com conhecimento do operador? De novo, dá uma segurada lá (injeção de boro), senão não dá. Rapidinho, senão agente vai borar demais o primário.</i></p>	<p>Os testes interferem na operação.</p>
--	--	--

5. Segundo a NUREG 700, os operadores não devem deixar a área de operação primária durante uma seqüência operacional em que a monitoração contínua no console de controle mestre seja crítica.

A análise da atividade mostrou que interrupções freqüentes originadas por telefonemas externos e internos, interferiram na atividade de monitoração e retiraram os operadores da área de resolução de problemas. Na figura 18, o gráfico dos telefonemas recebidos mostra que durante a parada programada, na redução de carga, desligamento da turbina e do reator, o operador do primário recebeu trinta e duas ligações e o operador do secundário recebeu quatorze ligações. Os telefonemas externos foram ligações particulares e os telefonemas internos foram oriundos de vários setores da usina nuclear, tais como, setor de manutenção, chefia da operação, setor de planejamento, setor administrativo e setor da instrumentação. Na figura 19, o gráfico dos telefonemas recebidos mostra que durante a partida programada, nos testes de aquecimento do reator e da válvula de segurança do pressurizador, o operador do secundário teve que se deslocar quatro vezes para a mesa de comunicação para atender telefonemas dos operadores do campo e o operador auxiliar teve que se deslocar oito vezes para a mesa de comunicações para atender e repassar ligações telefônicas dos operadores de campo para os outros operadores.

Para evitar que interrupções freqüentes, causadas por telefonemas externos e internos, interfiram na atividade de monitoração e retirem os operadores da área de resolução de problemas, sugerimos que durante a parada e partida programada da usina

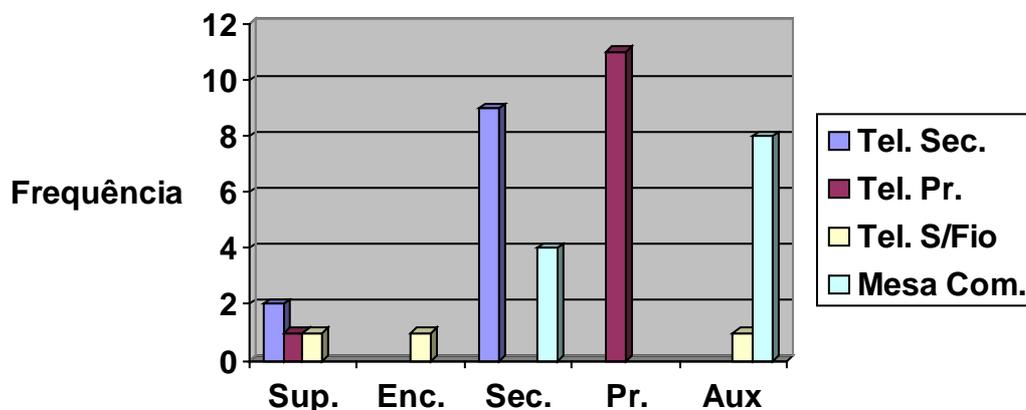
nuclear PWR seja estudada a possibilidade de incorporar no grupo de trabalhadores da sala de controle principal um funcionário administrativo, que ficará encarregado de receber os telefonemas externos e internos, resolver problemas administrativos, tais como, requisição de cópias, solicitação de transporte e refeições.



Horário: 21:13 às 23:01 Hrs (Parada programada: Redução da carga)

Figura 18: Telefonemas Recebidos Durante a Parada Programada

Telefones



Horário: 9:30 às 11:34 Hrs (Partida programada: Testes de aquecimento do reator e testes da válvula de segurança do pressurizador)

Figura 19: Telefonemas Recebidos Durante a Partida Programada

6. A análise da atividade dos operadores no cenário simulado do rompimento de um tubo do gerador de vapor mostrou que os procedimentos de emergência estão impressos em inglês. Os procedimentos em inglês podem dificultar o entendimento e a assimilação das informações relacionadas com as ações necessárias para colocar o reator nuclear em segurança. A norma CNEN-NE-1.01 não exige que os operadores licenciados tenham proficiência na língua inglesa.

Esta análise também mostrou que durante a simulação do rompimento do tubo do gerador de vapor o instrutor percebeu a existência de um erro no procedimento. O treinamento contribui positivamente na avaliação dos procedimentos de emergência, possibilitando a verificação e validação dos mesmos. O protocolo verbal, apresentado na tabela 10, mostra o diálogo entre o supervisor e o instrutor, comprovando a descoberta do erro no procedimento.

Tabela 10: Erro no Procedimento

Evento	Transcrição fita	Comentário
Rompimento do tubo do gerador de vapor	<p>Supervisor: <i>O procedimento manda abaixar mais de 80 graus.</i></p> <p>Instrutor: <i>O procedimento está errado.</i></p> <p>Supervisor: <i>Valores não estão batendo. O procedimento não diz isso. Está escrito aqui. Baixar a temperatura e sair da saturação.</i></p> <p>Instrutor: <i>Independente do procedimento. Você tem de entender o processo. Se não entender o processo, não adianta nada.</i></p> <p>Supervisor: <i>Se o (nome do encarregado) não seguir os procedimentos, ele está ferrado. Mudar o procedimento depende da CROU.</i></p> <p>Instrutor: <i>Independente dos procedimentos. Presta atenção. Está errado. Tem de ser modificado.</i></p> <p>Instrutor: <i>Olha o SICA. Os valores não estão batendo</i></p>	<p>Supervisor lê o procedimento</p> <p>Instrutor afirma que o procedimento não está correto.</p> <p>Instrutor reafirma que o procedimento não está correto e que o importante é entender o procedimento.</p> <p>Supervisor afirma que isto não é fácil. Assumir responsabilidades é difícil.</p>

Durante o processo de simulação, observamos que o operador auxiliar não participou do treinamento. A norma CNEN-NE-1.01 não faz menção a inclusão do operador auxiliar nos treinamentos no simulador. Consideramos importante a inclusão dos operadores auxiliares neste tipo de treinamento, pois em todos os modos de operação da usina a cooperação e a troca de informações entre todos os operadores é de vital importância para a construção do modelo de evolução do processo, possibilitando a obtenção de informações para resolução de problemas e tomadas de decisão. O protocolo verbal apresentado na tabela 11 mostra a participação do operador auxiliar para resolução do problema na caldeira.

Tabela 11: Problemas na Caldeira

Evento	Transcrição fita	Comentário
<p>Problema com a caldeira</p>	<p>Encarregado no telefone com o responsável pela manutenção: <i>Deixa eu te dizer o seguinte. Nós já estamos agora começando, eu estou jogando barra no reator. Devo está acabando de desligar ele daqui a 5 minutos e estou surpreendido aqui pelo seguinte: a caldeira 2 acabou de travar o ventilador. Hoje, assim que eu cheguei às 19:00, o operador de campo informou que a caldeira 1 estava já com baixa da LT e agora fomos surpreendidos que na caldeira 1 tem um andaime ... Uma coisa de louco né cara, coisa de louco... Eu não sei o que este andaime está fazendo lá, eu vou partir essa .. com andaime, com tudo hein... pede seu pessoal pra ver que história é essa, principalmente no ventilador da outra, porque agente não pode ficar sem as duas né. Eu já estou desligando o reator.</i></p> <p>Encarregado: <i>(nome do operador auxiliar) são 7 horas?</i></p> <p>Operador Painel: <i>7 horas. Pode falar. É coisa rápida?</i></p> <p>Encarregado: <i>É coisa rápida. Dá só um minutinho para mim. Vê o estado dessa caldeira, o que é está realmente acontecendo lá.</i></p> <p>Encarregado: <i>Roda a sua baiana. Pode rodar a baiana e depois quem você matar eu assino em baixo. O negócio da caldeira eu já acionei o responsável.</i></p> <p>Supervisor: <i>(Nome do encarregado) iniciar o resfriamento. O que está pendente?</i></p> <p>Encarregado: <i>A caldeira.</i></p> <p>Supervisor: <i>Mas nem a caldeira 1 nem a 2 estão em cima ?</i></p> <p>Encarregado: <i>Uma o ventilador está travado, eu vou</i></p>	<p>Ventilador da caldeira 2 travou. Caldeira 1 está com um andaime, embora tenha dado baixa na licença de trabalho.</p> <p>O turno do operador auxiliar finalizou às 7:00 horas. Apesar da chegada do operador auxiliar do outro turno, o operador permaneceu trabalhando. Sua presença é importante para a solução de um problema.</p> <p>Operador auxiliar vai para o campo.</p>

Os resultados obtidos mostram que a análise da atividade dos operadores constitui uma ferramenta de auxílio, que pode ser usada pelo setor de licenciamento para comprovar a adequação do número de operadores licenciados no quadro técnico da empresa, para avaliação dos documentos disponíveis para o grupo de operação, para avaliação do conteúdo dos procedimentos e na determinação dos fatores que podem afetar o desempenho dos operadores, influenciar negativamente na carga de trabalho e na segurança da operação.

6.2 Hipótese 2

A análise da atividade dos operadores no ambiente real de trabalho, associada com as normas, guias nucleares de fatores humanos em salas de controle e listas de verificação, constitui uma ferramenta de auxílio a ser usada no processo de avaliação de salas de controle de reatores nucleares.

Segundo a NUREG 711, o processo de avaliação tem como objetivo:

- confirmar a adequação da configuração das *interfaces* operador sistema;
- confirmar a adequação da interação dos operadores com as *interfaces*;
- confirmar a adequação dos sistemas de comunicação;
- confirmar a adequação dos aspectos dinâmicos das *interfaces*, possibilitando que as tarefas sejam realizadas de maneira efetiva pelos operadores;
- confirmar a adequação dos sistemas de auxílio ao operador;
- confirmar a adequação do local de trabalho;
- confirmar a adequação dos sistemas de alarme;
- avaliar a carga de trabalho dos operadores;
- avaliar o desempenho dos operadores;
- satisfazer as exigências legais do órgão regulador.

O gráfico da figura 20 apresenta o resultado da avaliação da sala de controle principal da usina nuclear PWR, utilizando as listas de verificação apresentadas no anexo B. Os percentuais mostrados foram obtidos através da resposta SIM para cada questão formulada. Os resultados apresentados na figura 20 mostram que o sistema de comunicação, o console de informação, CWB, e o local de trabalho foram os itens que apresentaram os menores percentuais e conseqüentemente sugestões devem ser apresentadas para a melhoria desses itens. Os resultados obtidos através da análise da atividade ratificam e complementam a avaliação realizada através das normas, guias de fatores humanos e listas de verificação, gerando sugestões para futuras modificações no local de trabalho, nos sistemas de comunicação, nas práticas de trabalho e nas interfaces.

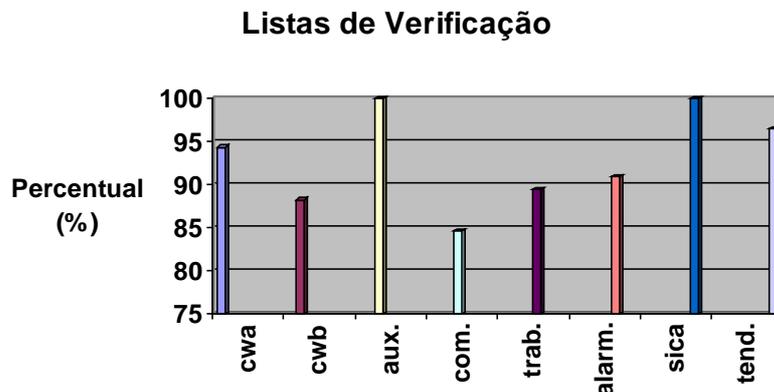


Figura 20: Listas de Verificação

Os seguintes eventos, protocolos verbais foram utilizados na obtenção dos resultados relacionados com a hipótese 2:

1. Segundo a NUREG 700 e a NUREG/CR-5908, as telas do sistema de apresentação da tendência das variáveis fornecem informações sobre as principais variáveis, que determinam a evolução do processo nuclear.

A análise da atividade dos operadores confirmou que os operadores para terem uma consciência global da situação necessitam obter também informações sobre as variáveis nos medidores localizados nos consoles de controle e nos painéis auxiliares. Quando ocorre um evento, ou seja, quando é acionado um alarme, os operadores do primário e secundário passam a acompanhar a evolução do processo através do sistema de

apresentação da tendência das variáveis e do sistema de alarme. Os operadores necessitam integrar as informações obtidas nestes sistemas com as informações obtidas no sistema automático de intertravamento.

Os gráficos apresentados nas figuras 21 e 22 que representam a exploração visual dos operadores do primário e secundário mostram esses operadores monitorando dados, principalmente, nos consoles de controle mestre e de informações.

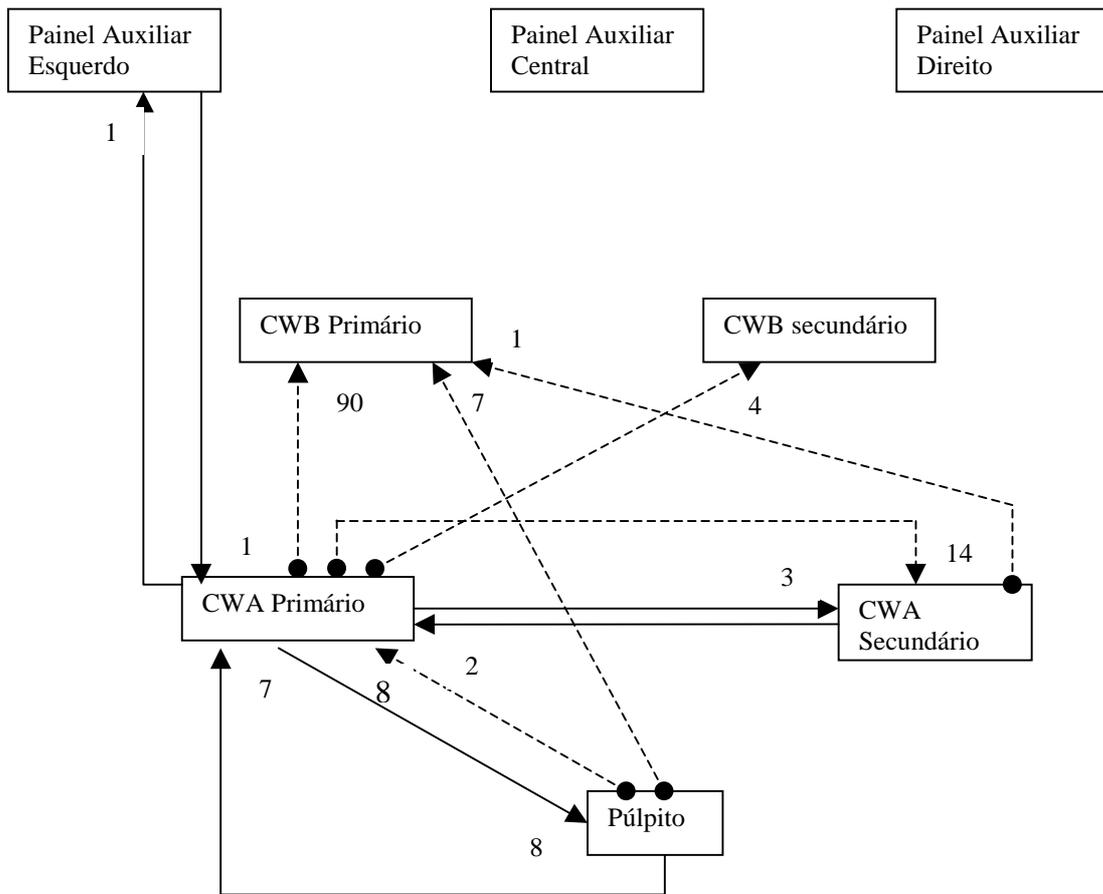


Figura 21: Exploração Visual Operador primário

Hora: 21:00 – 23:00 (Parada programada: Redução de Carga e Desligamento da turbina e do Reator. Evento: Acionamento manual LAC 30 não funciona)

Legenda:

- ▶ Quantificação do deslocamento para visualização
- - - -▶ Quantificação da visualização sem deslocamento

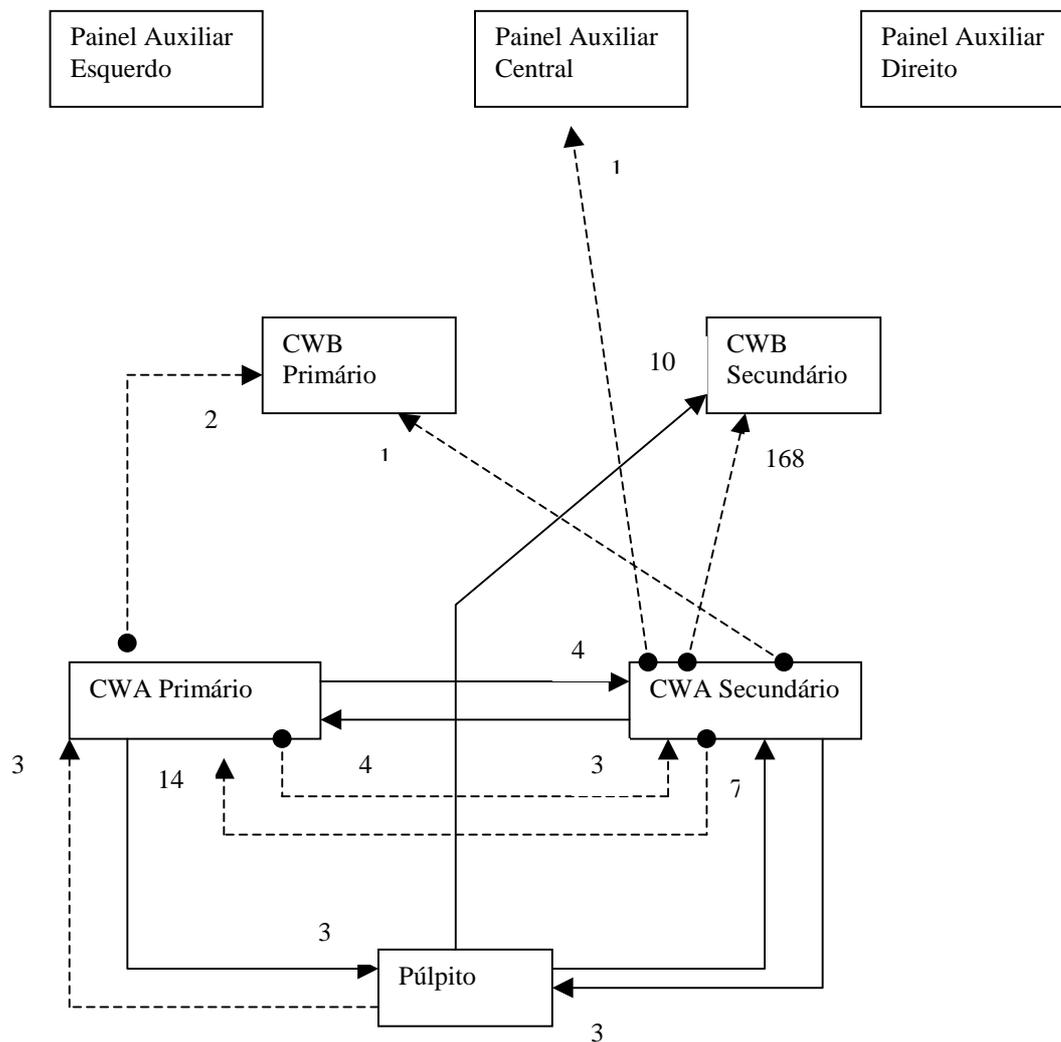


Figura 22: Exploração Visual Operador Secundário

Hora: 21:00 – 23:00 (Parada programada: Redução de Carga e Desligamento da turbina e do Reator. Evento: Acionamento manual LAC 30 não funciona)

Legenda

- Quantificação do deslocamento para visualização
- - - - -→ Quantificação da visualização sem deslocamento

2. Segundo a NUREG 700 e a NUREG/CR-5908, as informações apresentadas na tela do sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis devem ser lidas com facilidade pelos operadores, na posição normal de trabalho.

A análise da atividade dos operadores mostrou que os operadores devem estar em pé, para lerem com facilidade todas as informações apresentadas nas telas dos monitores do console de informações, CWB. O gráfico apresentado na figura 23 mostra que na parada, durante a redução de carga, desligamento da turbina e do reator, os operadores do primário e secundário ficaram a maior parte do tempo em pé, monitorando as variáveis apresentadas no console de informações. Em outras usinas nucleares de geração posterior a da usina nuclear PWR avaliada, que foram projetadas e construídas pela mesma empresa alemã, a sala de controle principal possui os monitores do sistema de alarme computadorizado, do computador de critério e do sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis integrados no console de controle mestre, CWA.

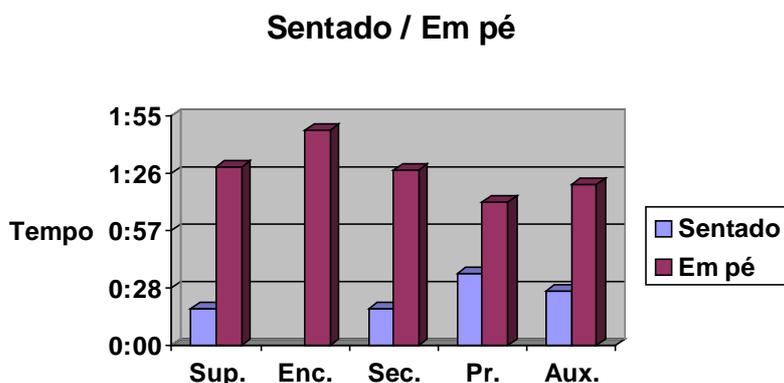


Figura 23: Operadores do Primário e Secundário Sentados / em Pé

3. A tabela 18, apresentada no anexo A, mostra que as cores vermelha e verde são facilmente discrimináveis em um fundo branco. As telas do sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis apresentam um fundo preto. A cor verde indica que os valores das variáveis estão dentro do limite normal. A cor vermelha indica que os valores das variáveis estão fora da faixa normal de operação. De acordo com a tabela 18, o significado atribuído para as cores vermelha e verde está correto. Entretanto, o contraste com a cor de fundo da tela do sistema não é considerado bom.

Através de conversas com os operadores do primário e secundário constatamos que os mesmos também consideram deficiente o contraste das cores vermelha e verde com o

fundo preto das telas do sistema, dificultando a visualização das informações. Durante a parada e partida programada, observamos que esses problemas não interferiram com a operação e nem influenciaram no desempenho dos operadores.

4. Segundo a norma IEC 964, o sistema de alarme deve apresentar dados que possibilitam aos operadores entenderem as falhas conforme elas ocorram, evitar acúmulo de dados, assegurar que informações relevantes e importantes sejam apresentadas de uma maneira que otimize a capacidade de entendimento, apresentar informações mais representativas das condições anormais de operação e informações que permitam ao operador identificar facilmente um alarme e sua consequência.

Os alarmes na usina nuclear PWR são classificados como alarme de classe S, classe 1 e classe 2.

O alarme de classe S é o sinal gerado pelos sistemas de segurança, cujo surgimento obriga os operadores a adotarem medidas de emergência, previamente escritas, dentro de um determinado intervalo de tempo.

O alarme de classe 1 indica ao pessoal de operação a existência de um distúrbio nos sistemas de segurança do reator.

O alarme de classe 2 está relacionado com a disponibilidade da usina nuclear. Todos os alarmes que surgem são sonoramente e visualmente anunciados.

O sistema de alarme é formado pelo sistema convencional e pelo sistema computadorizado de alarmes. Esses sistemas são independentes e funcionam em paralelo.

O sistema convencional é constituído por anunciadores localizados no console de controle mestre, CWA, e nos consoles auxiliares. Os alarmes de classe S são indicados com um sinal luminoso vermelho. Os alarmes de classe 1 são indicados com um sinal luminoso amarelo. Os alarmes de classe 2 são indicados com um sinal luminoso branco em botoeiras idênticas às usadas na classe 1.

Segundo a NUREG 700 e a NUREG/CR-6105, estes alarmes são especialmente dedicados e continuamente visíveis, pois as informações estão presentes sempre na mesma posição e continuamente disponíveis para o operador, ou seja, o operador não precisa selecionar o alarme. Este tipo de alarme apresenta certas vantagens em relação às mensagens de alarmes apresentadas nos monitores de vídeo, pois possibilita uma rápida detecção.

O sistema de alarme computadorizado apresenta as mensagens de alarmes em dois monitores coloridos, posicionados no console de informações, CWB. Segundo a NUREG 700 e a NUREG/CR-6105, para alarmes não espacialmente dedicados, ou seja, mensagens de alarmes, é necessário que exista uma área suficiente na tela que possibilite a visualização dos alarmes de alta prioridade.

Segundo a NUREG 700 e a NUREG/CR-6105, as seguintes informações devem estar disponíveis nas mensagens de alarmes: título, sensores que geraram o alarme, prioridade dos alarmes, valores dos parâmetros, níveis de acionamento, ações imediatas exigidas dos operadores. O texto do alarme deve ser de fácil entendimento, usar uma terminologia padronizada, identificar a fonte geradora do alarme e indicar sua prioridade.

O sistema computadorizado de alarmes da usina nuclear PWR disponibiliza a ordem cronológica dos alarmes, a prioridade do alarme, alarmes reconhecidos, alarmes não reconhecidos, o tipo de alarme e o sistema que gerou o alarme.

Através da análise da atividade observamos, que a ocorrência de um alarme leva os operadores a monitorarem inicialmente o sistema computadorizado de alarme. Eles tentam inicialmente identificar se o evento está relacionado com os sistemas que estão sob sua responsabilidade. Os operadores para diagnosticarem o problema tentam integrar os dados obtidos através do sistema computadorizado de alarme e dos bloqueios provocados pelo sistema de intertravamento. Entretanto, como esse sistema de alarme indica a ocorrência de um desvio nas variáveis, mas não permite uma avaliação precisa do problema, os operadores têm dificuldade na integração das informações necessárias para um diagnóstico preciso e conseqüentemente para uma tomada de decisão mais rápida.

A dificuldade em construir esses diagnósticos é exemplificada através dos protocolos verbais apresentados nas tabelas 12 e 13.

Tabela 12: Bloqueio Intermitente da Injeção de Água de Alimentação do Sistema KBA

Evento	Transcrição fita	Comentário
<p>Bloqueio intermitente da injeção de água de alimentação do sistema KBA. Este bloqueio impede a correta boração do primário, pois o sistema fica impossibilitado de injetar água e injeta apenas ácido bórico no primário.</p>	<p>Supervisor: ... <i>Bloqueou de novo? Porque?</i> Operador Secundário: ...<i>Sempre teve... Não tem nada a ver com teste, não...</i> Supervisor: <i>Hein!?</i> Operador Secundário: <i>Não tem nada a ver com teste, não.</i> Operador Primário: <i>Como é que quando parou o teste, parou de fazer isso?</i> Operador Secundário: <i>Tá testando agora?</i> Operador Primário: <i>Tem alguém fazendo teste aqui!</i> Supervisor: <i>Mas isso aqui não é proteção. Isso aqui é limitação...</i> Operador Secundário: <i>Mandar ele armar lá no armário, fala com ele...</i> Supervisor: <i>Hein?</i> Operador Secundário: <i>O problema é antigo. Desde a partida eu vi. Vamos segurar um pouco...</i> Supervisor: <i>(nome operador primário) dá uma segurada nesse boro aí. Tenta segurar esse boro aí.</i></p>	<p>O sistema KBA apresenta bloqueio intermitente da injeção de água desde às 00:30 horas.</p> <p>O operador secundário já tinha tido problemas com este sistema. O supervisor não tinha conhecimento do problema.</p> <p>Apenas pela modificação de alguns sinais o operador primário infere que alguém está fazendo teste.</p> <p>Alarmes e bloqueios espúrios levam a prática de bloquear sinais de limitação no armário de automação evitando a atuação dos automatismos.</p> <p>Neste momento é tomada a decisão de bloquear a automação no armário.</p>
<p>Bloqueio intermitente da injeção de água de alimentação do sistema KBA.</p>	<p>Supervisor: <i>(Nome do encarregado)! Manda alguém resetar esse alarme lá. Porque esse troço tá terrível. E não é teste não. O (nome do operador Secundário) tá falando aqui que com ele já aconteceu isso direto. O (nome operador secundário) tá garantindo que não é teste, com ele já aconteceu várias vezes isso aí...</i></p>	<p>Dificuldade no diagnóstico do problema leva a decisão de mexer no armário da automação, para cessar o alarme de limitação e desbloquear a injeção de água de alimentação</p>

Tabela 13: Problemas na Partida do JN 40

Evento	Transcrição fita	Comentário
<p>Problemas na partida do JN 40 (Sistema de remoção do calor residual)</p>	<p>Operador Primário: <i>Dei partida no grupo funcional. Está parado?</i></p> <p>Engenheiro Instrumentista: <i>Não sei o que houve.. Essas válvulas fecharam... Então a bomba não pode partir.</i></p> <p>Encarregado: <i>Porque essas válvulas fecharam?</i></p> <p>Supervisor: <i>Vamos dar um comando de parada?</i></p> <p>Engenheiro Instrumentista: <i>Não! Vamos ver o que está acontecendo. Realmente a bomba está fora.</i></p> <p>Supervisor: <i>Tem que chamar a manutenção..... E essa aqui que abriu ? Tem que fechar?</i></p> <p>Encarregado: <i>Tem os testes sendo realizados. Só poderiam fazer esses testes depois de tudo parado... desligado...</i></p> <p>Supervisor (no telefone): <i>É o seguinte: Nós voltamos a receber o sinal aqui do JN. De atuação em cima da válvula e uma série de sinais . Eu não sei se é algum pessoal do grupo de vocês que tão tocando isso aí... Na verdade eu acho melhor a gente suspender e retornar com isso aí só amanhã de manhã.</i></p> <p><i>Está uma loucura! Entendeu? Porque fica difícil... Daqui a pouco eu vou ter um problema, e eu vou ter que alegar que o teste é o responsável Está legal? Vamos dar uma suspendida então nisso aí.</i></p> <p><i>O (nome do responsável. por outros testes) está perto de você? Não. Fala com o (nome do responsável por outros testes) pra também suspender os testes dele também, tá?</i></p> <p>Supervisor: <i>Oi, encerraram já? Voltaram todas as condições normais... Vou anunciar no</i></p>	<p>O grupo de operação não conseguiu ainda diagnosticar o problema. As informações fornecidas pelo sistema de alarme e pelos bloqueios do intertravamento não definiram qual é o problema.</p> <p>A situação complexa leva os operadores a pensarem na influência dos testes. Eles poderiam ter gerado o problema.</p> <p>As informações obtidas através dos sistemas, não permitem um diagnóstico preciso do problema, o supervisor solicita a suspensão dos testes.</p> <p>O grupo de operação ainda não conseguiu</p>

	<p><i>geral para todos que estiverem no UJB (edifício do reator) para parar...</i></p> <p>Supervisor no geral: <i>Pessoal do teste JR 70 (sistema de proteção do reator), UJB se dirigir para o prédio do UBA, sala de controle.</i></p> <p>Supervisor: <i>Parou de bloquear agora</i></p> <p>Operador Primário: <i>... Não está bloqueado... Porque que é só começar o teste que bloqueia?</i></p> <p>Supervisor: <i>Pararam o teste, não pararam?</i></p> <p>Operador Primário: <i>Pararam tudo? Ainda não!</i></p> <p>Supervisor: <i>Tá dando muito sinal aqui... parando a válvula .</i> <i>Aqui já acabou, tiraram o sinal. Abriram essas válvulas aqui...</i></p> <p>Supervisor: <i>Hein? Tá vindo do JR de algum lugar. Só começa a ter isso aqui quando é teste...</i></p> <p>Supervisor: <i>(nome instrumentista) você está no teste do JR 70 junto com o (nome responsável pelo teste)? Pois é, eu já avisei ao (responsável pelo teste) e chamei no geral. Pede ao pessoal ... Vocês já fizeram alguma coisa em relação ao teste, alguma coisa? Tá, então eu estou cancelando os testes de novo, tá? Nenhum teste vai poder continuar por enquanto, tá bom? ... Tá bom.</i></p>	<p>um diagnóstico preciso do problema. Os operadores ainda não têm certeza se o problema foi causado pelos testes.</p> <p>Os operadores não sabem se os testes terminaram, apenas pelas informações do sistemas .</p>
--	--	---

5. O sistema de comunicação sendo adequadamente projetado, sem interferências, ruídos, influencia na eficiência da troca de informações, auxiliando os operadores na construção de um modelo representativo da evolução do processo.

Em algumas situações, os operadores não são capazes de solucionar os problemas somente com as informações disponíveis na sala de controle principal. Dessa maneira, é necessário que os operadores de campo, técnicos de manutenção, sejam contatados através de telefones ou solicitados na sala de controle principal, de modo a fornecer subsídios para o grupo de operação. O protocolo verbal obtido durante a parada

programada e apresentado na tabela 11 mostra a necessidade de troca de informações através do sistema de comunicação entre os operadores da sala de controle principal, técnicos de manutenção e os operadores de campo.

Na área correspondente ao console de controle mestre não existe o sistema de comunicação viva voz com o campo. Os operadores do primário, secundário, supervisor e encarregado necessitam se deslocar até a mesa de comunicação para acessar esse sistema. Isto pode dificultar a monitoração, influenciando nas resoluções de problemas. O gráfico da figura 19 mostra que durante a partida programada, nos testes da válvula de segurança do pressurizador, o operador do painel e o operador do secundário se deslocaram oito e quatro vezes, respectivamente, até a mesa de comunicação, deixando temporariamente a área de resolução de problemas.

Com o objetivo de manter os operadores da sala de controle principal na área de resolução de problemas durante a comunicação com os operadores de campo, sugerimos que o sistema de comunicação, mostrado na figura 24, seja deslocado para a área primária de operação.



Figura 24: Mesa de Comunicação

6. Segundo a IEC 964 e a NUREG 700, deve ser prevista uma área no console de controle, caso os operadores tenham necessidade de utilizá-la como espaço para escrever.

A análise da atividade mostrou que não existem espaços especiais no console de controle mestre, para que os operadores possam realizar anotações. A figura 25 mostra como o operador do secundário utiliza o console de controle mestre para realizar anotações. Como não existe uma área específica no console de controle mestre, CWA, para os operadores fazerem anotações, sugerimos o uso de uma mesa específica para esta finalidade, próxima ao console de controle mestre. A posição dessa mesa não deve obstruir os deslocamentos dos operadores.

A análise da atividade também mostrou que no projeto da sala de controle principal não são previstos espaços adequados para que os operadores possam consultar os diagramas esquemáticos e fluxogramas.

A figura 26 mostra a parte superior do console de informações, CWB sendo utilizada para colocação de diagramas esquemáticos e manuais. Ao utilizar esse espaço não adequado, os próprios operadores e consultores dificultam a atividade de monitoração, pois obstruem a visão dos operadores do primário e secundário, em relação aos medidores, registradores gráficos e monitores posicionados no console de informações.

Sugerimos então, que seja determinado um local na sala de controle principal para consulta de diagramas esquemáticos e fluxogramas. O uso de uma mesa específica para esta finalidade deve ser analisado, enfatizando que a sua colocação não deve obstruir a visão dos operadores em relação ao console de informações e aos painéis auxiliares.



Figura 25: Operador Secundário Realizando Anotações



Figura 26: Diagramas Esquemáticos e Manuais no Console de Informações

7. Segundo a NUREG 700, a localização da sala do supervisor deve facilitar o rápido acesso na sala de controle principal, em operação normal e em situações de emergência. O supervisor é o responsável pelo comando da sala de controle, pela segurança da operação e por seguir os requisitos especificados pelo órgão licenciador. Em caso de acidente ou emergência, é o responsável pela determinação da severidade da situação e pela notificação da emergência para o chefe da operação.

A análise da atividade mostrou que a sala do supervisor está localizada nas cercanias da área de operação primária e que o supervisor tem uma visão completa da sala de controle, através de uma janela envidraçada. A figura 27 mostra a sala do supervisor.



Figura 27: Sala do Supervisor

Os gráficos da troca de informação verbal do supervisor com os operadores e com o grupo de apoio, apresentados respectivamente nas figuras 28 e 29, mostram a importância do supervisor dentro do grupo de operação, a constante busca de informações com o operador do primário e o encarregado e a necessidade de uma permanente integração do supervisor com o grupo de operação.

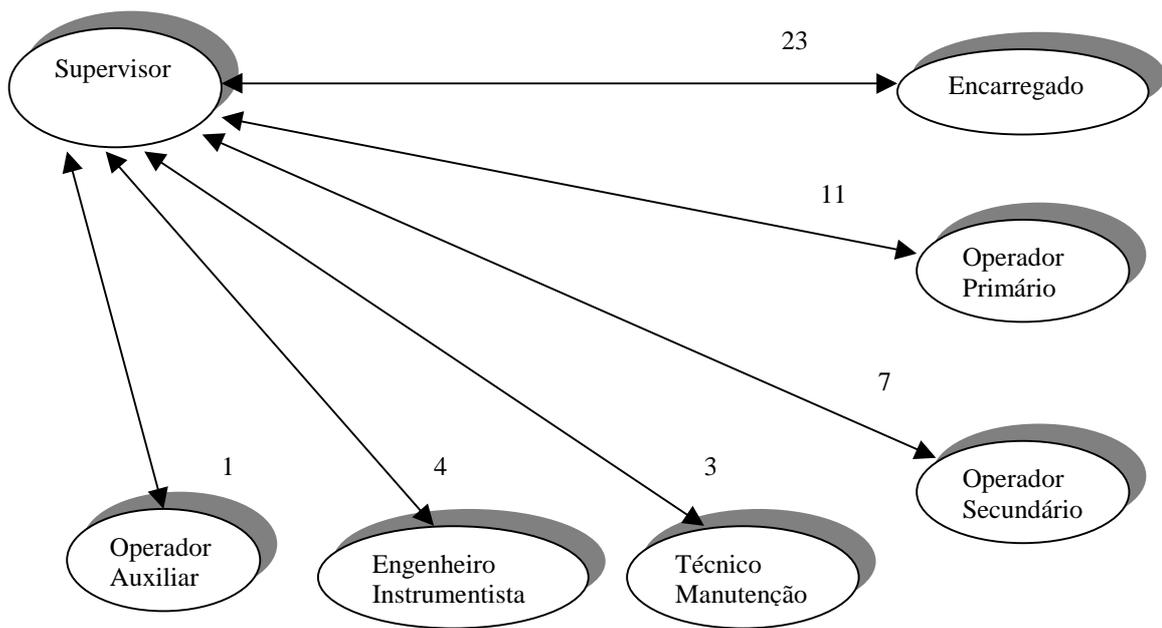
Com o objetivo de melhorar a comunicação e a cooperação do supervisor com o grupo de operação, possibilitando também um melhor gerenciamento no controle das interrupções externas durante a monitoração, sugerimos a transferência do supervisor para dentro da sala de controle principal.

A figura 30 mostra uma sugestão para o *layout* da sala de controle principal, com a mesa do supervisor posicionada ao lado da mesa do encarregado.

Sugerimos também, que o supervisor e/ou o encarregado realizem inspeções diárias no campo, que abranjam aspectos operacionais. Essas inspeções seriam realizadas em cada turno, caso não esteja ocorrendo alguma situação relevante na sala de controle. Através dessas inspeções, o supervisor e/ou encarregado de cada turno obteriam maiores informações sobre a atividade de campo, sobre determinados sistemas, sobre os trabalhos e procedimentos executados no campo. Essas informações contribuiriam também para o aprimoramento do modelo formado pelos operadores sobre a evolução de processo.

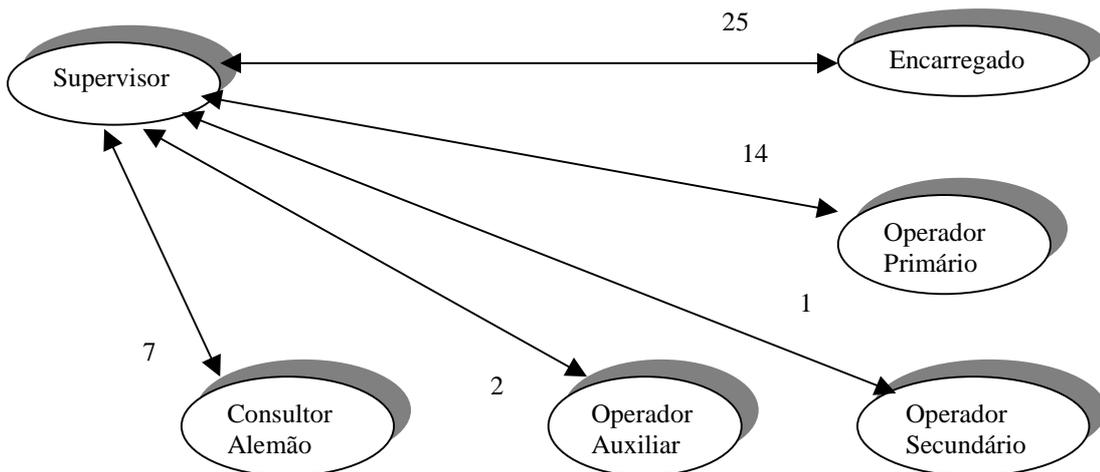
O evento da caldeira, tabela 11, mostra a importância dos sistemas localizados no campo e a necessidade de uma constante troca de informações com os operadores do campo. Analisando o manual de operação volume 1, procedimentos administrativos da usina - conduta de operação, verificamos que esta possibilidade já estava prevista.

A análise da atividade mostrou que esse item ainda não foi implementado.



Hora: 23:34 – 1:44 horas (Parada Programada: Processo de Resfriamento do Reator)

Figura 28: Troca de Informação Verbal do Supervisor na Parada Programada



Hora: 9:30 – 11:40 horas (Teste da Válvula de Segurança do Pressurizador)

Figura 29: Troca de Informação Verbal do Supervisor na Partida Programada



Figura 30: Sala de Controle Principal da Usina PWR

8. Segundo a NUREG 700, deve existir uma sala de repouso, banheiro e cozinha nos limites da sala de controle principal e ser facilitado o acesso do grupo de operação nestas áreas.

A análise da atividade mostrou que a área reservada para a sala de repouso, banheiro e cozinha é reduzida. No projeto da sala de repouso, do banheiro e da cozinha, as condições de conforto para os operadores não foram priorizadas. O acesso nestas áreas também não é facilitado, pois os operadores da sala de controle principal têm de percorrer duas salas anexas e abrir quatro portas corta fogo. A figura 31 mostra a sala de repouso e a cozinha.



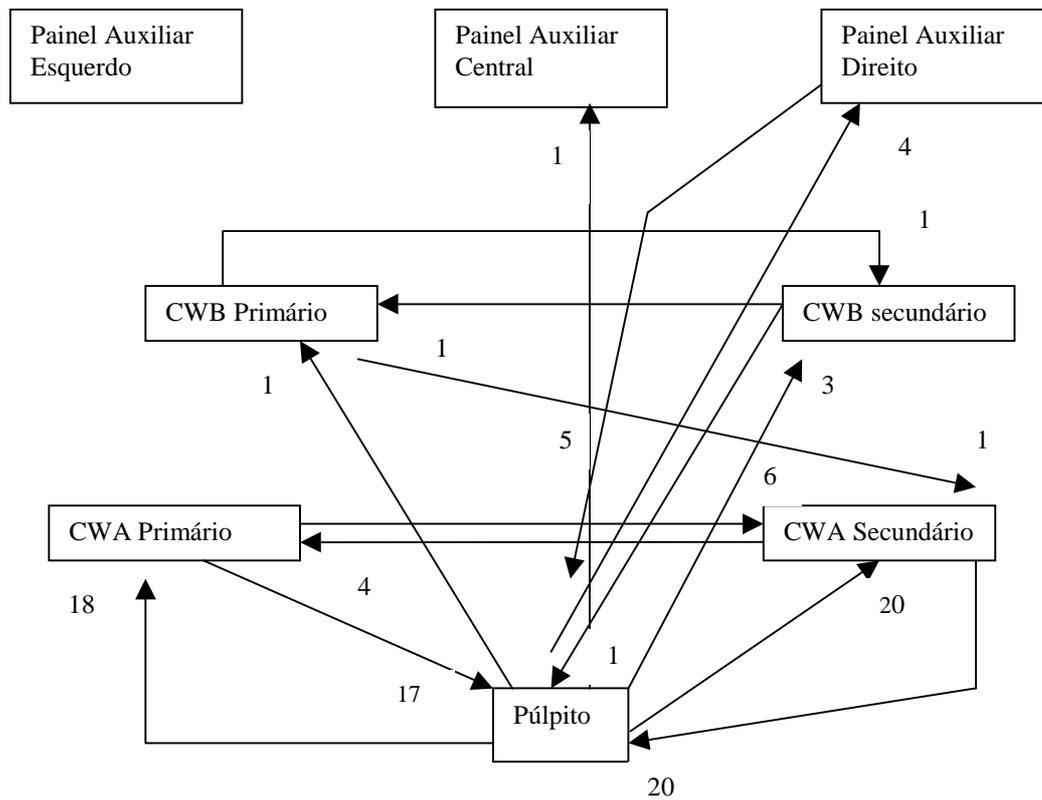
Figura 31: Sala de Repouso e Cozinha

9. Segundo a IEC 964, a sala de controle principal deve possuir espaço suficiente, permitindo que o grupo de operação realize todas as ações necessárias, facilitando os deslocamentos dos operadores. O arranjo dos painéis e consoles de controle deve facilitar o acesso imediato dos operadores às informações relacionadas com as tarefas e facilitar a comunicação entre os operadores. Segundo a NUREG 700, os operadores devem ser capazes de se deslocar na área primária de operação, sem que seja necessário transpor obstáculos. O *layout* da sala de controle deve facilitar os movimentos e a comunicação entre os operadores.

O gráfico mostrado na figura 32 apresenta o deslocamento do encarregado durante a parada programada. O gráfico mostrado na figura 33 apresenta o deslocamento do operador do primário durante a parada programada. Observamos a necessidade que esses operadores têm em cooperar com o grupo e obter informações contidas no console de controle mestre, CWA.

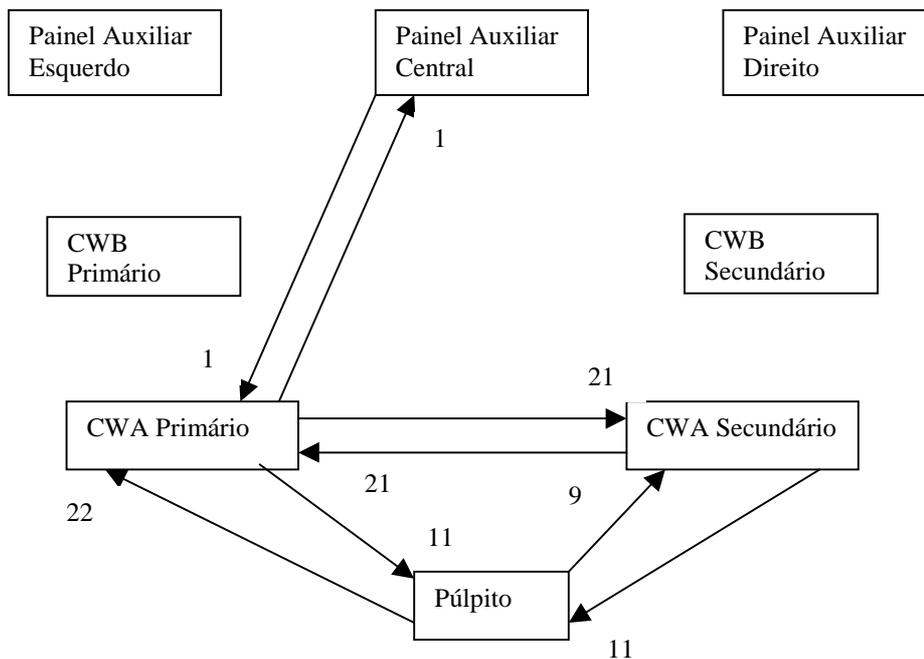
O encarregado com o objetivo de obter informações no console de controle mestre, CWA, mantém uma atitude ativa de cooperação com os operadores do primário e secundário, indo várias vezes para as posições de trabalho ocupadas por esses operadores, comprovando que a sua função no grupo de operação é de vital importância

para a resolução de problemas e tomadas de decisão. O *layout* da sala de controle facilita o deslocamento do operador do primário e do encarregado.



Hora: 21:13 – 23:01 (Parada Programada: Redução de Carga)

Figura 32: Quantificação do Deslocamento do Encarregado



Hora: 21:13 – 23:01 (Parada Programada: Redução de Carga)

Figura 33: Quantificação do Deslocamento do Operador do Primário

6.3 Hipótese 3

A análise da atividade dos operadores no ambiente real de trabalho fornece uma série de informações, que auxilia no processo de modernização de salas de controle de reatores nucleares já existentes.

Os resultados obtidos através da análise da atividade dos operadores da usina nuclear PWR apresentados nos itens 6.1 e 6.2, mostram que a análise da atividade dos operadores constitui uma ferramenta de auxílio a ser usada no processo de licenciamento nuclear e na avaliação de salas de controle de reatores nucleares. A partir dessa fonte de informações apresentada anteriormente, sugerimos o projeto de alguns sistemas e a revisão em algumas práticas de trabalho, que poderiam ser implementados como resultado do processo de modernização da usina nuclear PWR.

1. No item 3 do capítulo 6.1, a tabela 6 e a figura 17 mostram que o supervisor do turno encontrou dificuldades para limitar o acesso dos instrumentistas e técnicos de manutenção, que tentavam a liberação das licenças de trabalho para iniciarem as tarefas planejadas. Recomendamos que para controlar o acesso desses trabalhadores, o processo de liberação das licenças de trabalho seja feito no centro de suporte técnico, sala anexa à sala de controle principal, e gerenciado por um encarregado, que não estivesse escalado para os próximos turnos.

Sugerimos o seguinte processo de liberação:

- inicialmente os trabalhadores iriam para o centro de suporte técnico com as licenças de trabalho em duas vias. Entregariam essas licenças de trabalho para o encarregado responsável pelo gerenciamento da liberação. Esse encarregado seria o responsável pelo recebimento, organização e distribuição das licenças de trabalho para a sala de controle principal e posterior liberação;
- essas licenças de trabalho seriam organizadas em um mesa localizada no centro de suporte técnico, segundo a estrutura mostrada na tabela 14. Posteriormente, esses trabalhadores voltariam para o centro de suporte técnico e pegariam uma cópia da licença de trabalho liberada. A outra cópia seria colocada nesta mesa na posição ANDAMENTO. Caso houvesse necessidade, o encarregado poderia autorizar a ida do trabalhador para a sala de controle principal, com o objetivo de esclarecer dúvidas sobre o serviço a ser realizado;
- em um quadro posicionado em uma das paredes do centro de suporte técnico, seriam colocadas as licenças de trabalho já realizadas.

Tabela 14: Licenças de Trabalho

LICENÇAS DE TRABALHO			
SETOR	LIBERADAS	ANDAMENTO	PENDENTES
Mecânica			
Elétrica			
Instrumentação			
Mudanças no projeto			
Estanqueidade válvulas da contenção			

2. No item 6 do capítulo 6.1, a análise da atividade dos operadores mostrou que alguns procedimentos estão escritos em inglês, podendo dificultar o entendimento e a assimilação das informações contidas no manual de operação. Sugerimos então a tradução desses procedimentos para o Português.

Em alguns eventos citados anteriormente, a análise da atividade mostrou a dificuldade do encarregado na procura e no uso dos procedimentos. Sugerimos também uma outra opção de consultas aos procedimentos, além do meio já disponível através de procedimentos impressos em papel. Disponibilizar na sala de controle um sistema computadorizado, que facilite a busca e a consulta dos procedimentos.

Segundo NIWA *et al.* (1996, apud GREEN, 2000), alguns aspectos devem ser considerados no desenvolvimento de sistemas computadorizados para consulta aos procedimentos:

- a confiabilidade na transferência das informações contidas nos procedimentos impressos em papel para o novo sistema computadorizado;
- se o sistema introduz tarefas adicionais para os operadores, que prejudiquem as tarefas principais, se o sistema aumenta a carga de trabalho dos operadores;
- o formato utilizado nos procedimentos.

LIPNER E RUSNICA (1996, apud GREEN, 2000) descrevem o sistema COMPRO da companhia americana *Westinghouse*, instalado na usina nuclear *Beznau* na Suíça, que passa por um processo de verificação e validação, para posterior licenciamento. GREEN (2000) cita o sistema PLASMA instalado no centro de simulação em Paks na Hungria em março de 2000, baseado no software COPMA-II, desenvolvido no *Institute for Energiteknikk em Halden* na Noruega. Este sistema possibilita as seguintes informações para os operadores:

- o sistema recomenda ao operador qual procedimento relacionado com as funções críticas de segurança deve ser usado;
- o operador pode navegar em qualquer procedimento, que faça parte do banco de dados do sistema;
- à medida que o operador inicia um procedimento, a etapa corrente do procedimento será sempre mostrada para o operador;
- se a instrução solicita ao operador para verificar por exemplo, se o nível do gerador de vapor é aceitável, então esse valor será mostrado para o operador.

Sugerimos também, que o sistema computadorizado para procedimentos esteja disponível na intranet da empresa para alguns setores específicos, com uma opção para sugestão de alteração dos mesmos. Estas sugestões seriam posteriormente analisadas pelos setores responsáveis da usina.

No item 6 do capítulo 6.1, a análise da atividade dos operadores no cenário simulado do rompimento do tubo do gerador de vapor mostrou que durante esse treinamento, o instrutor comprovou a existência de um erro no procedimento. No protocolo verbal mostrado na tabela 10 o supervisor demonstrou preocupação com os meios administrativos disponíveis para implementações das alterações nos mesmos. A disponibilidade de um sistema computadorizado talvez facilite essa interação entre o grupo responsável pela alteração dos procedimentos e os grupos de operação e treinamento.

3. No item 4 do capítulo 6.2, a análise da atividade dos operadores mostrou que os operadores tinham dificuldades para diagnosticarem e avaliarem a ocorrência de um alarme, utilizando somente as informações fornecidas somente pelo sistema de alarme. Os operadores para diagnosticarem o problema tentavam integrar os dados obtidos através do sistema computadorizado de alarme e dos bloqueios provocados pelo sistema de intertravamento. A dificuldade em construir esses diagnósticos é exemplificada através dos protocolos verbais apresentados nas tabelas 12 e 13.

O desempenho dos operadores em uma situação anormal e a conseqüente evolução das condições da usina depende da capacidade dos operadores de identificarem corretamente os eventos causadores e tomar as ações de recuperação apropriadas. Esta capacidade depende de vários fatores, tais como, treinamento, *layout* da sala de controle, procedimentos de emergência adequadamente escritos e sistemas de auxílio aos operadores. Caso os operadores diagnostiquem incorretamente as causas básicas do transiente, existe a possibilidade das ações subseqüentes causarem deterioração das condições de segurança, transformando um incidente operacional em um acidente de grandes proporções. É necessário, diminuir a carga de trabalho dos operadores em uma situação de emergência, fornecendo-lhes ferramentas adicionais que o auxiliem na identificação da natureza dos transientes, facilitando o retorno da usina à condição de operação normal.

Baseado nas informações citadas anteriormente, recomendamos o desenvolvimento de um novo sistema de diagnóstico de eventos, que auxilie os operadores na integração das informações obtidas através dos sistemas de alarmes e dos bloqueios do sistema de intertravamento.

Na sala de controle principal, ao lado do console de controle mestre do operador do primário e do secundário, está posicionado o sistema de auxílio ao operador, o SICA.

O SICA é um sistema computadorizado de monitoração em tempo real dos parâmetros essenciais para a determinação do estado de segurança da usina nuclear em caso de uma situação de emergência, bem como para o perfeito acompanhamento do funcionamento da usina durante a operação normal. O SICA fornece aos operadores uma visão integrada dos valores de um conjunto de parâmetros capaz de refletir qualquer desvio da operação normal da usina. Estas informações são apresentadas para os operadores sob forma gráfica, através de monitores coloridos.

Uma versão mais atualizada do SICA estará disponível na sala de controle principal da usina nuclear, fornecendo aos operadores além da avaliação contínua do estado de segurança da usina nuclear, o acompanhamento em tempo real da condição dos diversos parâmetros, através de árvores de estado, que compõem as chamadas funções críticas de segurança. Apresentará também as ações a serem executadas pelos operadores em situações de emergência, os procedimentos de operação em emergência necessários para o retorno da usina para uma condição segura. Esse conjunto de opções pode auxiliar o operador na integração das informações obtidas através dos sistemas de alarmes e dos bloqueios do sistema de intertravamento.

4. No item 5 do capítulo 6.2, a análise da atividade dos operadores mostrou que em algumas situações, os operadores não são capazes de solucionar os problemas somente com as informações disponíveis na sala de controle principal. É necessário que os operadores de campo sejam contatados através de telefones ou solicitados na sala de controle principal, de modo a fornecer subsídios para o grupo de operação. O sistema de comunicação sendo adequadamente projetado auxilia os operadores da sala de controle principal na obtenção de dados no campo e na construção de um modelo representativo da evolução do processo.

Recomendamos então a modernização do atual sistema de comunicação com o campo, com a introdução de um novo sistema através de rádio ou *paggers*.

Sugerimos também, caso seja usado um sistema de comunicação através de rádio, realizar estudos que comprovem a não interferência desse sistema na instrumentação da sala de controle e descobrir áreas no campo onde esses sistemas não consigam transmitir ou receber informações. Identificar essas áreas através de cores pintadas no chão.

6.4 Hipótese 4

A realidade da atividade dos operadores em salas de controle de reatores nucleares exhibe uma série de mecanismos, que facilita a monitoração e pode auxiliar os operadores na resolução de problemas e tomadas de decisão.

A figura 15 apresentada no capítulo 5.3 descreve o modelo de monitoração dos operadores da usina nuclear PWR. Esse modelo é constituído pelas ocorrências iniciais, pelas atividades cognitivas, pelas ações facilitadoras e recursos para monitoração.

As ocorrências iniciais são constituídas pelas tarefas programadas, pelas ocorrências direcionadas por dados e pelos conhecimentos.

As atividades cognitivas avaliam as ocorrências iniciais, planejam as ações, identificam os dados relevantes, estabelecem prioridades e desenvolvem um planejamento para a monitoração. A consciência da situação permite que os operadores construam um modelo da situação, que proporciona uma explicação coerente para o que foi observado, permitindo que os operadores direcionem as suas futuras monitorações. Os elementos que constituem o modelo da situação estão presentes na memória de trabalho, são atualizados com as informações mais recentes e englobam a experiência obtida com a operação real e com o treinamento em simuladores. Este modelo da situação é formado pela avaliação da situação e pelo planejamento da resposta do operador.

A avaliação da situação constrói uma explicação para as observações realizadas, desenvolvendo uma representação dos fatores conhecidos ou hipotéticos, que afetam o estado da planta nuclear. Os operadores formam suposições que são baseadas na avaliação da situação real. Os operadores procuram por evidências para confirmar sua hipótese inicial e usam suposições para explicar os sintomas observados.

O planejamento da resposta consiste na decisão do operador sobre uma ação, na geração de uma ou mais alternativas que atinjam os objetivos identificados.

Durante a monitoração os operadores realizam ações, que têm como objetivo facilitar a busca por informações e dados. Para otimizar a monitoração também está disponível um grupo de recursos.

A análise da atividade dos operadores da usina nuclear PWR, durante a parada e partida programada, identificou as ocorrências iniciais, quais os recursos para a monitoração existentes e quais as ações facilitadoras utilizadas. Esses itens auxiliam os operadores na monitoração, na avaliação da situação e na resolução de problemas.

1. As seguintes ocorrências iniciais foram identificadas:

- Ocorrências Direcionadas pelos Dados

- Alarmes sonoros e luminosos

Os operadores são alertados que um evento significativo ocorreu através dos alarmes sonoros e luminosos. Os operadores devem avaliar o significado e a importância dos alarmes. Na usina nuclear PWR existem dois sistemas de alarmes independentes, que operam simultaneamente. O primeiro é o sistema convencional de alarme, onde as informações são transmitidas para os operadores através de sinais luminosos e sonoros, agrupados nos painéis onde estão os sinópticos dos respectivos sistemas. O segundo é o sistema computadorizado de alarmes, onde as informações são transmitidas para os operadores através de mensagens de alarmes, apresentadas em monitores de computadores localizados em CWB. Este sistema de alarme agrupa as informações obtidas, possibilitando a impressão dos protocolos dos alarmes para posterior análise.

- Informações apresentadas no sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis

Este sistema disponibiliza para o operador várias funções e parâmetros, que são apresentados em dois monitores localizados em CWB. Este sistema tem como função obter dados do processo, registrar eventos e apresentar a tendência dos principais parâmetros do processo, através de diagramas de barras.

- Dados apresentados nos medidores posicionados nos consoles e painéis de controle
Os operadores para localizarem uma indicação, lêem outras indicações na mesma área do console e dos painéis de controle. Dessa maneira, os valores apresentados nos medidores geram informações, que podem iniciar a atividade de monitoração.

- Informações apresentadas no sistema integrado de computadores de processo (SICA)
O SICA adquire informações do processo nuclear, mostrando os parâmetros do processo. Este sistema fornece aos operadores uma visão adicional integrada dos valores de um conjunto de variáveis, constituindo um sistema de auxílio aos operadores, utilizado durante a operação normal ou em situações de emergência.

- Receber uma comunicação

A operação de um reator nuclear envolve outras pessoas além do grupo de operadores da sala de controle principal. Os operadores de campo, os instrumentistas e o grupo de manutenção fazem parte desse grupo. Os operadores da sala de controle principal podem receber uma comunicação dessas pessoas através do sistema de comunicação interno, iniciando a monitoração em um determinado sistema.

- Ocorrências Direcionadas pelo Conhecimento

- Verificação periódica realizada pelos operadores de campo

São realizadas verificações periódicas pelos operadores de campo nas suas respectivas áreas de atuação, visando documentar as condições de determinados equipamentos e o *status* de determinados sistemas. Essas informações são transmitidas para os operadores da sala de controle principal, possibilitando a monitoração indireta de certos equipamentos e sistemas.

- Documento de troca de turno

Este documento apresenta todas os fatos que ocorreram durante um turno. Dentro deste contexto estão incluídos os testes realizados no turno, testes em andamento, equipamentos em manutenção, alarmes específicos não resolvidos, ordens de trabalho realizadas, ordens de trabalho em andamento, ordens de trabalho não realizadas, mudança na potência do reator, medidores defeituosos. Este documento é revisado durante a troca de turno e consultado durante o próximo turno, gerando informações

sobre o funcionamento real da planta. O documento troca de turno é formado pelo livro de turno, pelas listas de passagem de turno e listas de verificação dos equipamentos de segurança.

- Troca de turno

Uns quinze ou vinte minutos antes de terminar o turno, os operadores do próximo turno chegam na sala de controle principal e então é iniciada uma reunião formal. Esta reunião é realizada em uma sala anexa à sala de controle, o centro de suporte técnico. O supervisor do turno atual descreve o *status* dos principais sistemas, a ocorrência de alarmes não previstos, ordens de serviços completadas, variáveis que devem ser monitoradas com mais cuidado, testes realizados e em andamento, os serviços realizados ou que estão sendo realizados pelos operadores de campo. Logo após o recebimento do turno e já tendo verificado com os operadores as respectivas pendências, o supervisor e o encarregado do turno discutem com os operadores da sala de controle principal as informações obtidas. O supervisor do próximo turno inicia então a leitura formal das ordens de trabalho que devem ser realizadas, os operadores fazem uma checagem dos valores apresentados nos consoles, painéis e uma verificação das informações apresentadas nos principais sistemas.

A rendição do turno é efetuada por cada operador que entra ao substituir o operador equivalente que sai. O operador que entra deve verificar os registros de sua área de responsabilidade, observar as condições de sua área de responsabilidade quanto à limpeza dos equipamentos, conservação geral, tomar conhecimento de todas as instruções recebidas posteriores ao seu último turno, preencher junto com o operador que está sendo substituído a seção aplicável a seu posto na lista de passagem de turno, assinar a seção correspondente e entregar a lista de passagem de turno assinada para o encarregado do turno.

- Ocorrências Direcionadas por Tarefas Programadas

Os operadores devem estar atentos com as tarefas programadas de manutenção, com as trocas de equipamentos, pois elas são incorporadas no modelo da situação criado pelos operadores, estabelecendo expectativas do que é considerado normal e esperado, durante o turno. A solicitação da ordem de trabalho é um documento para execução de manutenção, notificando os defeitos, irregularidades e falhas em equipamentos e

componentes, que necessitam de reparo. No início do turno os operadores revisam este documento, mantendo-se informados sobre estas atividades, porque alguns equipamentos podem ser desabilitados ou tornados provisoriamente indisponíveis.

A programação semanal de trabalho é aprovada pelo chefe da usina, incluindo todas as tarefas a serem executadas ao longo da semana.

2. Atividades Cognitivas

Os operadores constroem um modelo da situação para resolverem os problemas e tomarem decisões. Este modelo da situação é formado pela avaliação da situação e pelo planejamento da resposta.

- Os seguintes fatores estão relacionados com a avaliação da situação:

- Confirmar as expectativas sobre o estado da planta

Os operadores têm expectativas sobre a resposta da usina nuclear em função de uma alteração em um sistema. A monitoração obtém indicações para confirmar ou não confirmar essas expectativas.

- Indicações não esperadas

Ocasionalmente são encontradas indicações não esperadas. Os operadores direcionam a monitoração com o objetivo de encontrar outras indicações, que o auxiliem a entender as indicações não esperadas.

- Verificar prováveis problemas

O operador deve estar atento e direcionar a monitoração para indicações, que possam revelar a ocorrência de quaisquer problemas.

- Avaliar a validade de uma indicação

Os operadores normalmente relutam em confiar em uma única indicação apresentada pela *interface*. Os operadores procuram monitorar outras indicações, que possam ser usadas para avaliar a validade da indicação inicial.

- Os seguintes fatores estão relacionados com o planejamento da resposta:

- Determinar o objetivo a ser alcançado

Os operadores necessitam saber se o objetivo pretendido está sendo alcançado. Eles identificam e monitoram variáveis, que auxiliam na obtenção desse objetivo.

- Identificar os efeitos secundários de determinadas ações

O operador deve assegurar que a sua ação e as ações realizadas por outros membros da equipe não tenham efeitos secundários, consequências não pretendidas.

- Determinar alternativas para alcançar os objetivos

Os operadores devem considerar a possibilidade de uma falha no processo e a existência de alternativas para restabelecer o processo.

- Obter realimentações das ações realizadas

À medida que as ações estão sendo realizadas, os operadores necessitam obter realimentações dos sistemas, indicando que as ações pretendidas estão realmente sendo realizadas e que os parâmetros estão respondendo de maneira apropriada.

3. Ações Facilitadoras

Os operadores realizam algumas ações com o objetivo de facilitar a monitoração. Através da análise da atividade dos operadores da usina nuclear PWR, as seguintes ações facilitadoras foram identificadas:

- Escolher o SICA ou o sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis para monitorar as variáveis do processo

Durante a operação normal observamos que os operadores da usina nuclear PWR preferem monitorar as variáveis do processo utilizando o SICA. O posicionamento do SICA ao lado do console de controle mestre, a facilidade de navegação através do teclado e do *mouse*, e a configuração mais amigável das telas do SICA podem explicar essa preferência dos operadores.

Quando ocorre um evento, ou seja, quando é acionado um alarme, os operadores passam a acompanhar a evolução do processo através do sistema computadorizado de

apresentação da tendência das variáveis. Neste caso, a necessidade dos operadores de integrarem as informações obtidas no sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis com as informações do sistema automático de intertravamento e do sistema de alarmes podem explicar essa preferência dos operadores.

- Criar um lembrete para facilitar a monitoração

Quando é importante monitorar freqüentemente uma indicação ou quando é necessário anotar informações importantes relacionadas com a operação, o operador cria um lembrete. A figura 34 mostra alguns lembretes colocados ao lado do SICA.



Figura 34: Uso de Lembretes

- Utilizar um aviso padrão para evitar uma ação

O operador não realiza uma determinada ação ou fica atento com a condição de um determinado equipamento ou sistema, quando um cartão de sinalização é colocado em um sistema, equipamento ou nos consoles de controle. A colocação desse cartão de sinalização reduz as demandas cognitivas impostas ao operador.

O cartão de sinalização somente pode ser aplicado, alterado e removido pelo grupo de operação. Existem dois tamanhos de cartões. Os cartões de dimensões menores são utilizados em locais, que não dificultem a visibilidade das informações. Na usina

nuclear PWR esses cartões de sinalização são definidos como cartão de segurança, cartão de precaução, cartão de aviso, cartão de instalação provisória e cartão de simulação. A colocação desses cartões é autorizada pelo supervisor de turno.

O cartão de segurança é de cor vermelha e tem como objetivo alertar aos operadores, que o equipamento ou componente, no qual está colocado, não pode estar atuando ou funcionando.

O cartão de precaução é de cor amarela e tem como objetivo alertar aos operadores sobre restrições na operação de um determinado equipamento.

O cartão de aviso é de cor azul e tem como objetivo informar que uma solicitação de ordem de trabalho já foi aberta para o defeito ou falha do equipamento ou componente.

O cartão de instalação provisória é de cor branca e tem como objetivo indicar a instalação provisória de cabos de alimentações elétricas ou mangueiras para drenagem.

O cartão de simulação é de cor rosa e tem como objetivo indicar a presença de um sinal de simulação.

A figura 35 mostra o cartão de aviso colocado em um equipamento no campo. A figura 36 mostra o cartão de precaução sendo colocado no console de controle auxiliar.



Figura 35: Cartão de Aviso



Figura 36: Cartão de Precaução

- Utilizar um grupo externo

Quando for necessário monitorar algumas indicações mais especificamente e não for possível se dedicar exclusivamente a uma tarefa, o operador solicita ajuda de um consultor ou de um engenheiro instrumentista. Durante a parada e partida programada da usina nuclear PWR existiu a necessidade de apoio externo dos consultores alemães e engenheiros instrumentistas. A tabela 16 apresenta este protocolo verbal. A cooperação, entretanto, é dificultada devido ao idioma inglês ou alemão, que não é dominado completamente pelos operadores.

- Estratégia para regular a carga de trabalho

O supervisor tenta regular a carga de trabalho dos operadores, com o objetivo de facilitar a monitoração e evitar erros. Ele aprova, protela ou adia uma requisição de licença de trabalho, tentando distribuir mais uniformemente as demandas das tarefas. Observamos o supervisor impedir a entrada do grupo de manutenção e do grupo de limpeza na sala de controle principal, buscando a liberação de licenças de trabalho. A tabela 6 apresenta esse protocolo verbal.

4. Através da análise da atividade identificamos os seguintes recursos utilizados pelos operadores para obterem informações sobre o processo:

- Monitorar o console de controle mestre, CWA.

Os operadores do primário e do secundário obtêm informações relacionadas com a partida, subida de potência, operação em potência nominal, desligamento da turbina e desligamento do reator, através dos medidores localizados no console de controle mestre, CWA. Essas informações estão localizadas na parte central do console e no painel vertical de CWA.

- Monitorar o console de controle de informações, CWB.

Os operadores do primário e do secundário obtêm informações sobre o processo através dos medidores, registradores gráficos localizados no console de informações, CWB. Neste console estão posicionados dois monitores de computadores que apresentam informações relacionadas com o sistema de alarme computadorizado, dois monitores de computadores que apresentam informações relacionadas com a tendência das principais variáveis do processo e o monitor do computador de critérios.

- Monitorar os painéis auxiliares.

Nestes painéis estão as informações relacionadas com os sistemas auxiliares do primário, com os sistemas de segurança, sistema de proteção do reator, válvulas de isolamento da contenção, instrumentação do núcleo, informações das barras de controle do reator, medidores de radiação, sistemas de ventilação nuclear e convencional, sistemas auxiliares elétricos e os respectivos alarmes. Essas informações estão disponíveis para o operador auxiliar, mas também são utilizadas pelos operadores do primário e secundário.

- Monitorar o sistema integrado de computadores de processo (SICA)

O SICA constitui uma ferramenta de auxílio operacional, que tem como função monitorar e apresentar em tempo real, através de monitores de computadores, as principais funções críticas de segurança da usina nuclear PWR. As informações são

apresentadas para os operadores do primário e secundário, através de dois monitores gráficos posicionados em cada um dos lados do console de controle mestre, CWA.

- Monitorar o sistema de alarme convencional

No sistema de alarme convencional, os alarmes são transmitidos para os operadores através de sinais luminosos e sonoros, agrupados nos painéis onde estão os sinópticos dos respectivos sistemas. Os anunciadores de alarmes são organizados logo acima dos respectivos sistemas. Os alarmes convencionais estão distribuídos no console de controle mestre, CWA, e nas quatro seções do console de controle auxiliar, ou seja, nos sistemas de segurança, CWL, sistemas auxiliares do primário, CWM, e sistemas auxiliares do secundário, CWN e CWP.

- Comunicar com os operadores de campo através do sistema de comunicação

Os operadores da usina nuclear PWR utilizam o sistema de comunicação geral, para se comunicar com os operadores de campo, obtendo informações sobre o estado da usina nuclear.

- Comunicar com o grupo de manutenção e com o grupo de testes através do sistema de comunicação

Os operadores da usina nuclear PWR se comunicam com a manutenção e com o grupo de testes para obterem informações sobre as condições de funcionamento de determinados sistemas, sobre os testes que estão sendo realizados, que podem implicar no surgimento de determinados alarmes.

- Comunicar com os operadores de outra usina nuclear e com a operadora nacional do sistema elétrico (ONS)

Os operadores da usina nuclear PWR, principalmente durante a parada e partida programada, se comunicam através de telefones com os operadores de outra usina nuclear, para obterem e transmitirem informações sobre os reatores, pois os mesmos estão inseridos na mesma rede de transmissão de energia elétrica.

Os operadores também se comunicam com a operadora nacional do sistema elétrico (ONS), para pedirem autorização para a parada e partida do reator nuclear.

- Procedimentos, diagramas esquemáticos, fluxogramas

Os operadores utilizam informações contidas no manual de operação, fluxogramas e nos diagramas esquemáticos da planta.

- Ler os registros dos alarmes e os dados impressos nos registradores gráficos

Os operadores imprimem os protocolos dos alarmes, que foram apresentados nos dois monitores de computadores posicionados em CWB, para posterior análise. Uma impressora está posicionada ao lado do console de controle de informações.

Os operadores utilizam também as informações apresentadas nos registradores gráficos, que possibilitam a análise dos eventuais transientes, que causaram variações em parâmetros.

A seguir apresentamos alguns protocolos verbais que mostram os operadores utilizando o modelo da situação, formado pela avaliação da situação e pelo planejamento da resposta, para auxiliar na monitoração e resolver problemas.

No protocolo verbal apresentado na tabela 15, as ocorrências iniciais são direcionadas pelos dados apresentados no sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis, nos medidores do console de controle mestre, CWA, no SICA e no sistema automático do intertravamento.

Avaliando a situação, o operador do primário e o encarregado detectam sintomas anormais na planta. A partir desse momento, eles procuram por evidências para confirmar os sintomas observados.

Encarregado: *Da outra vez aconteceu comigo isso, nós estávamos analisando quando parou.*

Operador Primário: *Nós vimos que da outra vez aconteceu isso, aí nós chegamos a conclusão, que essa medida é na perna quente. Você descarrega basicamente a pressão da descarga da outra bomba. Isso aí é nítido, quando você desliga a bomba, você fica com a pressão maior.*

Operador primário: *Aqui tem um dado que justifica deixar o controle alto com a pressão mais baixa. Eu não vejo porque não fazer.*

No planejamento da resposta os operadores empregam recursos adicionais para identificar e avaliar as conseqüências das ações realizadas. Os operadores necessitam

saber se o objetivo pretendido está sendo alcançado. Eles identificam e monitoram variáveis, que auxiliam na obtenção desse objetivo.

Encarregado: *Eu li no Science Description que o delta P (variação da pressão) do núcleo é 3 BAR. Para estar dando esta diferença de 2, agora, mais baixo, é possível, fica mais frio.*

Encarregado: *O (nome operador primário) está falando que este problema do JN já aconteceu com ele antes. E eles baixaram manualmente. Botar em manual que depois dá para voltar.*

Supervisor: *Basicamente já finalizou, é só esperar chegar a 50 graus e fechar aqui as válvulas.*

Tabela 15: JN 40 em Funcionamento

Evento	Transcrição fita	Comentário
Colocar o JN 40 em funcionamento	<p>Encarregado: <i>Da outra vez aconteceu comigo isso, nós estávamos analisando quando parou.</i></p> <p>Operador Primário: <i>Nós vimos que da outra vez aconteceu isso, aí nós chegamos a conclusão, que essa medida é na perna quente. Você descarrega basicamente a pressão da descarga da outra bomba. Isso aí é nítido, quando você desliga a bomba, você fica com a pressão maior.</i></p> <p>Encarregado: <i>Eu li no Science Description que o delta P (variação da pressão) do núcleo é 3 BAR. Para estar dando esta diferença de 2, agora, mais baixo, é possível, fica mais frio.</i></p> <p>Operador Primário: <i>Da outra vez o que nós fizemos, baixamos a pressão do primário aqui.</i></p> <p>Encarregado: <i>Eu falei que ia fazer, mas o (nome supervisor) está com receio de fazer.</i></p>	<p>O evento já tinha sido resolvido numa outra ocasião.</p> <p>Operador através da sua experiência operacional justifica as medidas observadas.</p> <p>Encarregado cita uma revista técnica para também justificar os valores e as informações observadas.</p> <p>Operador reafirma a ação que deve ser realizada</p>
Colocar o JN 40 em funcionamento	<p>Operador Primário: <i>Baixa na mão pô. Aqui tem um dado que justifica deixar o controle alto com a pressão mais baixa. Eu não vejo porque</i></p>	<p>Operador primário através da informação obtida no sistema de tendência da variável,</p>

	<p><i>não fazer. Da outra vez nós fizemos isso, eu fiz e toquei o pau.</i></p> <p>Encarregado: <i>Segundo ele, perde o Delta P, cara. Também acho que não.</i></p> <p>Operador Primário: <i>Foi para 180 graus.</i></p> <p>Encarregado: <i>O (nome operador primário) está falando que este problema do JN já aconteceu com ele antes. E eles baixaram manualmente. Botar em manual que depois dá para voltar.</i></p> <p>Supervisor: <i>Basicamente já finalizou, é só esperar chegar a 50 graus e fechar aqui as válvulas.</i></p>	<p>tenta contribuir com mais informações para o encarregado.</p> <p>Encarregado explica as ações que estão sendo realizadas, justificando que o operador primário já vivenciou o evento.</p> <p>Problema resolvido. Temperatura no primário está em 50 graus.</p>
--	--	---

No protocolo verbal apresentado na tabela 16, as ocorrências iniciais são direcionadas pelos dados armazenados no computador de processo e apresentados no sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis.

O supervisor precisa assegurar, que as ações realizadas pelo instrumentista não tenham efeitos secundários, não ocasionem problemas na operação.

Na avaliação da situação o supervisor requisita ajuda do instrumentista para explicar os possíveis problemas que podem surgir.

Supervisor: *O Que eu vou perder com isso?*

Instrumentista: *Se tudo correr bem não vai perder nada.*

Supervisor: *E não correndo tudo bem?*

Instrumentista: *Não correndo tudo bem, eu perco as duas CPUs durante 3 minutos.*

Supervisor: *Mas eu perco memória*

Instrumentista: *Perde, perde tudo.*

Os operadores consideraram a possibilidade de uma falha no processo e a existência de alternativas para restabelecer o processo. Utilizando o planejamento da resposta, o supervisor solicita cópia das informações armazenadas na memória do computador de

processo. Caso ocorra perda dos dados, o grupo de operação conseguirá restabelecer essas informações.

Supervisor: *Dá uma logada. Tira um log das informações das 11 horas até agora.*

A tomada de decisão para resolução de problemas é realizada pelo grupo de operação. Os operadores se reúnem para decidir sobre a situação. A participação de todos é essencial. Os operadores se reúnem para avaliar as conseqüências das ações realizadas pelo instrumentista. Esta etapa do protocolo verbal mostra que na estratégia de operação, a cooperação e o trabalho em equipe é vital para solucionar problemas inesperados.

Supervisor: *(Nome do encarregado), tomada de decisão em equipe! Ele vai mudar a CPU. Se tudo correr bem nós não perdemos nada, se não correr bem, nós vamos perder memória.*

Tabela 16: Liberação dos Testes – Tomada de Decisão em Equipe

Evento	Transcrição fita	Comentário
Liberação teste. Instrumentista solicita autorização para realizar testes na sala de controle.	<p>Supervisor: <i>Que é que eu vou perder com isso?</i></p> <p>Instrumentista: <i>Se tudo correr bem não vai perder nada...</i></p> <p>Supervisor: <i>E não correndo tudo bem?</i></p> <p>Instrumentista: <i>Não correndo tudo bem, eu perco as duas CPUs durante 3 minutos.</i></p> <p>Supervisor: <i>Mas eu perco memória.</i></p> <p>Instrumentista: <i>Perde, perde tudo. Olha o que está acontecendo agora. Os sinais tão saindo normalmente, mas uma CRT está parada... Está tudo saindo lá. Os sinais do primário estão saindo na última CRT.</i></p> <p>Supervisor: <i>(nome do encarregado), tomada de decisão em equipe! Ele vai mudar a CPU. Se tudo correr bem nós não perdemos nada, se não correr bem, nós vamos perder memória. Então,</i></p>	<p>Supervisor deseja saber qual a influência dos testes na operação.</p> <p>O grupo de operação pode ficar sem informações do computador de processo</p> <p>Reunião do grupo de operação para tomada de decisão.</p>

	<p><i>dentro daquela teoria que eu não posso falar. Vamos fazer. Quem não morre não vê Deus.</i></p> <p>Supervisor: <i>Dá uma logada. Tira um log de informações das 11 horas até agora.</i></p>	<p>Supervisor solicita uma impressão dos valores contidos na memória do computador de processo. Existe a possibilidade de perda das informações.</p>
--	---	--

No protocolo verbal apresentado na tabela 17, o encarregado passa o turno para o encarregado 2, informando sobre os testes que estão sendo realizados nas válvulas do JN. Na avaliação da situação o encarregado 2 solicita ajuda do encarregado 1 para explicação do sintoma observado. Eles procuram por evidências para confirmar os sintomas observados e formulam hipóteses para explicar os sintomas.

Encarregado 1: *Esse teste consiste basicamente, você está em 31 bar, vai subir a pressão de 31 a 40 bar, vai forçar esse aumento de pressão, aí as válvulas piloto e de segurança vão abrir.*

Encarregado 2: *Depois de 40 vai direto, né ?*

Encarregado 1: *São duas etapas neste teste, eu acho que lá em cima é 157 bar. Só tem um porém, as válvulas do JN estão com passagem.*

Encarregado 2: *Ela vai ter que vedar com alta pressão.*

Encarregado 1: *É, mais a primeira está dando passagem agora. É uma que nunca deu.*

Encarregado 2: *O (técnico manutenção) está com dúvida do negócio do JND, se vai desconectar eletricamente ou não.*

Encarregado 2: *Eu acho que não tem nada a ver.*

No planejamento da resposta o encarregado 1 acessa recursos adicionais para interpretar os sintomas observados. Os encarregados identificam e avaliam as conseqüências das ações que devem ser realizadas

Encarregado 1: *Mas por que vai desconectar? Cadê? deixa eu ver. Cadê ? Mas mesmo com a válvula fechada ? Vou ver no manual. De operação.*

Encarregado 1: *Tem. O do JN está aí? Está aqui, o fluxo mínimo está aqui. A gente fez um teste, se você desconectar você vai ter que testar ela de novo. Você tem que abrir aqui, fechar aqui dentro, partir.*

Encarregado 1: *Fala com o supervisor. Vem cá pra eu te mostrar uma coisa no teste. No manual de operação, aqui está pedindo pra travar essas válvulas.*

Encarregado 1: *Essas válvulas devem permanecer travadas até a temperatura maior que 120°.*

Tabela 17: Válvulas do JN com Passagem

Evento	Transcrição fita	Comentário
Válvulas do JN com passagem	<p>Encarregado 1: <i>Esse teste consiste basicamente, você está em 31 bar, vai subir a pressão de 31 a 40 bar, vai forçar esse aumento de pressão, aí as válvulas piloto e de segurança vão abrir.</i></p> <p>Encarregado 2: <i>Depois de 40 vai direto, né ?</i></p> <p>Encarregado 1: <i>São duas etapas neste teste, eu acho que lá em cima é 157 bar.</i> <i>Só tem um porém, as válvulas do JN estão com passagem.</i></p> <p>Encarregado 2: <i>Ela vai ter que vedar com alta pressão.</i></p> <p>Encarregado 1: <i>É, mais a primeira está dando passagem agora. É uma que nunca deu.</i></p> <p>Encarregado 2: <i>O (técnico manutenção) está com dúvida do negócio do JND, se vai desconectar eletricamente ou não.</i></p> <p>Encarregado 2: <i>Eu acho que não tem nada a ver.</i></p> <p>Encarregado 1: <i>Mas por que vai desconectar? Cadê deixa eu ver. Cadê ? Mas mesmo com a válvula fechada ? Vou ver no manual. De operação.</i></p> <p>Encarregado 2: <i>A bomba não tem fluxo mínimo.</i></p> <p>Encarregado 1: <i>Tem. O do JN está aí? Está aqui, o fluxo</i></p>	<p>Encarregado 1 que sai do turno e o encarregado 2 que entra, trabalham juntos e tomam decisões ao mesmo tempo em que o primeiro passa o turno ao segundo.</p> <p>Encarregado 1 explica ao encarregado 2 que a outra válvula está dando passagem.</p> <p>Dúvidas com o teste.</p> <p>O manual de operação serve como uma fonte de recursos para tomada de decisão.</p>

	<p><i>mínimo está aqui. A gente fez um teste, se você desconectar você vai ter que testar ela de novo. Você tem que abrir aqui, fechar aqui dentro, partir.</i></p> <p>Encarregado 2: <i>Eu não vou desconectar essa bomba.</i></p> <p>Encarregado 1: <i>Fala com o supervisor. Vem cá pra eu te mostrar uma coisa no teste. No manual de operação, aqui está pedindo pra travar essas válvulas.</i></p> <p>Encarregado 2: <i>Hum, hum.</i></p> <p>Encarregado 1: <i>Essas válvulas devem permanecer travadas até a temperatura maior que 120°.</i></p>	<p>Encarregado 1 mostra o manual de operação com a informação desejada.</p>
--	---	---

Os protocolos verbais apresentados anteriormente identificaram situações e eventos que levaram os operadores a se engajarem nas atividades cognitivas de alto nível, ou seja, a avaliação da situação e o planejamento da resposta. Essas atividades cognitivas auxiliaram os operadores a lidarem com situações complexas, documentando os comportamentos dos operadores engajados nestas situações.

CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES

Nesta tese, 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, realizada em um simulador *full-scope*.

O objetivo foi realizar a avaliação da sala de controle principal de uma usina nuclear PWR, utilizando a estrutura metodológica proposta e mostrar que a análise da atividade dos operadores no ambiente real de trabalho e em cenários de acidentes postulados, constituem uma ferramenta de auxílio no licenciamento nuclear e no processo de modernização de salas de controle de reatores nucleares já existentes. A realidade da atividade dos operadores exibe uma série de mecanismos, que auxilia na monitoração, nas tomadas de decisão e resolução de problemas, obtendo informações sobre a complexidade do trabalho, revelando aspectos importantes sobre o coletivo do trabalho, sobre as estratégias utilizadas, identificando problemas que afetam a segurança da operação, o desempenho dos operadores, influenciam na carga de trabalho, contribuindo para a melhoria da segurança, conforto, o bem estar e a eficácia da atividade dos operadores de salas de controle de reatores nucleares.

Esta abordagem 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.

Através dos resultados apresentados no capítulo 6.1, verificou-se que a análise da atividade dos operadores forneceu subsídios para o setor de licenciamento nuclear, mostrando a não adequação do número de operadores licenciados, o uso constante de horas extras de trabalho e turnos maiores do que 12 horas. Os resultados também 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 a parada e partida programada do reator nuclear, um funcionário administrativo responsável pela execução de tarefas administrativas e por receber

telefonemas externos e internos. Esta medida evitaria que interrupções externas interferissem na atividade de monitoração, permitindo que o supervisor e o encarregado se concentrassem no comando, supervisão e coordenação das atividades realizadas na sala de controle.

Os resultados obtidos através da análise da atividade dos operadores em um cenário de acidente simulado, mostrou a necessidade de disponibilizar para o grupo de operação procedimentos de emergência em Português e comprovou a importância desse tipo de treinamento para verificação e validação desses procedimentos. Também foi sugerida a participação dos operadores de painel no treinamento no simulador, pois a contribuição do conhecimento diferenciado de cada membro do grupo de operação é importante para a resolução de incidentes e acidentes.

Através dos resultados apresentados nos capítulos 6.2 e 6.3, verificou-se que a análise da atividade dos operadores ratificou e complementou 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 das *interfaces*, dos consoles de controle e do sistema de comunicação.

A ergonomia utiliza a análise da atividade dos operadores para abordar a complexidade do trabalho dos operadores, decompondo esta atividade em aspectos observáveis e mensuráveis, como a postura, a exploração visual, a comunicação, os deslocamentos e identificando as atividades paralelas, que não são formuladas dentro da estrutura de descrição das tarefas e realizadas de maneira inconsciente pelos operadores. Estas informações são usadas para a revisão das práticas de trabalho e para sugestões de projetos de novos sistemas e modernização dos sistemas de comunicação e de auxílio aos operadores.

Finalmente, os resultados obtidos no capítulo 6.4 mostraram que durante a parada e partida programada da usina nuclear, os operadores utilizaram uma série de recursos e ações que auxiliaram na monitoração das variáveis do processo e na resolução de problemas. Os operadores utilizaram cartões de segurança, de 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 e anotações em determinadas posições do console de controle para posterior consulta, utilizando essa fonte de informações como uma memória auxiliar. Os operadores também tiveram necessidade de apoio externo de consultores alemães e

engenheiro instrumentistas. Os operadores utilizaram procedimentos, diagramas esquemáticos, fluxogramas, comunicaram com os operadores de campo, leram os registros dos alarmes, tentando diagnosticar eventos e manter o reator nuclear em condições de segurança.

Como sugestões para futuros trabalhos, propomos utilizar a metodologia proposta para avaliar salas de controle com tecnologias mais avançadas, ou seja, salas de controle computadorizadas. Sugerimos também utilizar a estrutura de avaliação proposta para avaliação de sistemas de auxílio aos operadores, integrados em um simulador de uma planta nuclear PWR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANSI/ANS-3.1, 1993, Selection, Qualification and Training of Personnel for Nuclear Power Plants.
- ANSI/ANS-3.2, 1994, Administrative Controls and Quality Assurance to the Operational Phase of Nuclear Power Plants.
- ANSI/ANS-3.4, 1983, Medical Certifications and Monitoring of Personnel Requiring Operators Licenses of Nuclear Power Plants.
- ANSI/ANS-3.5, 1993, Nuclear Power Plants Simulators for Use in Operators Training and Examinations.
- BAKER, S. , HOLMSTRON, C. , MARSHALL, E. E REIERSEN, C. , 1986, **Conventional Instrumentation in Advanced Control Room**, OECD-Halden Reactor Project, HWR 178, Norway.
- BILLINGS, B. E REYNARD, C. ,1981, **Dimensions of the Information Problem**, Moffet Field, NASA Ames Research Center.
- BLANCHARD, B. S. AND FABRYCKY, W. J. , 1988, **Systems Engineering and Analysis**, Englewood Cliffs, Prentice Hall.
- BRANSFORD, J. D. , 1979, **Human Cognition: Learning, Understanding and Remembering**, Wadsworth Publishing Company, Belmont, CA.
- BUDURKA, W. J. , 1984, **Developing Strong Systems Engineering Skills**. In: IBM Technical Directions, v.10 (4), pp. 40-48.
- BURNS, C. M. E VICENTE, K. J. , 2000, “A Participant Observer Study of Ergonomics in Engineering Design: How Constraints Drive Design Process”, **Applied Ergonomics**, v.31, pp.73-82.
- CARVALHO, P. V. E SANTOS, I. J. A. L , 2002, “O Trabalho dos Operadores de Salas de Controle de Reatores Nucleares”, Em: **Anais do VII Congresso Latino-Americano de Ergonomia**, Recife, Pernambuco.
- CARVALHO, P. V. , VIDAL, M. C. E SANTOS, I. J. A. L, 2002, “Análise da Carga de Trabalho Cognitiva dos Operadores de uma Usina Nuclear PWR em Acidentes Postulados”, Em: **Anais do XIII Congresso Internacional de Física de Reatores**, Rio de Janeiro, Brasil.
- CHAPANIS, A. , 1996, **Human Factors in Systems Engineering**, A Wiley Interscience Publication.

- CLARK, D. W. , CRAMER, M. L. AND HOFFMAN, M. S. , 1986, **Human Factors and Product Development Solutions for Success Retail Systems Division**. In: NCR Corporation.
- 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-1.17**, Qualificação de Pessoal e Certificação para Ensaio Não Destrutivo em Itens de Instalações Nucleares.
- 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. , 1988, "Peut-on analyser le travail futur?". In: **Anais do XXIV Congresso de SELF**, Paris.
- DANIELLOU, F. E GARRIGOU, A. , 1993, **L'Ergonome, l'Activité, et la Parole des Travailleurs**, Representations Pour l'Action, Toulouse, Octarès, pp. 73-92.
- DAVID, G. C. E THOMAS, J. M. , 1971, **An Evaluation of the Use of Heart Rate Irregularity as a Measure of Mental Workload in the Steel Industry**, London, England.
- DOUGHERTY, E. , 1998, "Human Errors of Commission Revisited: An Evaluation of the Atheana Approach", **Reliability Engineering and Systems Safety**, v.60, pp 71-80.
- ENDSLEY, M. R. , 1988, "Design and Evaluation for Situation Awareness Enhancement", **Proceedings of the Human Factors Society, Santa Monica, C.A**, HFS.
- FEHER, M. P. , 2000, "Application of Human Factors to the Candu 6 Control Room Upgrade", In: **IAEA Workshop Specialists's Meeting on Approaches for the**

Integration of Human Factors into the Upgrading and Refurbishment of Control Rooms, Halden, Norway.

FITTS, P. M. E JONES, R. E. , 1947, **Analysis of Factors Contributing to 460 “Pilot Errors” Experiences in Operating Aircraft Controls**, Army Air Forces, Engineering Aero Medical Laboratory, Ohio.

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.

GREEN, M. , E NILSEN, S. , 2000, **Past Lessons, And The Future of Computerised Procedures**, OECD, Halden Reactor Project, IFE/HR/E-2000/005, Norway.

HART, S. G. E STAVELAND, L. E. , 1988, **Development of NASA-TLX (Task Load Index)**, Human Mental Workload.

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.

HOLANDA, A. B. , 1975, **Novo Dicionário da Língua Portuguesa**, Primeira Edição.

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

HUHNE, L. , 1995, **Metodologia Científica**, Agir, rio de Janeiro.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, **IAEA-75-INSAG-3**, 1988, Basis Safety Principles for Nuclear Power Plants.

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

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, **IAEA-TECDOC 668**, 1992, The Role of Automation and Humans 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 1227**, 1993, Nuclear Power Plants Control Rooms-Operator Controls.

- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, **IEC 1771**, 1995, Nuclear Power Plants-Main Control Room-Verification and Validation of Design.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, **IEC 1772**, 1995, Nuclear Power Plants-Main Control Room-Application of Visual Display Units.
- JORDAN, N. , 1963, “Allocation of Functions Between Man and Machines in Automated Systems”, **Journal of Applied Psychology**, v.47.
- KAHNEMAN, D. E BEATTY, J. , 1967, “Pupil Diameter and Load on Memory”, **Science**, v.154, USA.
- KALSBECK, J. W. H. , 1973, “Do You Believe in Sinus Arrhythmia?”, **Ergonomics**, v.16.
- KANTOWITZ, B. H. E SORKIN, R. D. , 1983, **Human factors: Understanding People System Relationships**, New York.
- KETTUNEN, J. E PYY, P. , 1998, **Effect of Communication on the Reliability of Nuclear Power Plant Control Room Operations**, Halden Programme Groups.
- KIRK, F. G. , 1973, **Total System Development for Information Systems**, New York.
- KIRWAN, B. , 1993, “A Human Error Analysis Toolkit for Complex Systems”, In: **Fourth Cognitive Science Approaches to Process Control Conference**, August, Copenhagen, Denmark.
- KIRWAN, B. , 1998, “Human Error Identification Technique for Risk Assessment of High Risk System”, **Applied Ergonomics**, v.29, n.3, pp 157-177.
- KIRWAN, B. AND AINSWORTH, L. K. , 1992, **A Guide to Task Analysis**, London, Taylor and Francis.
- LEPLAT, 1991, **Organization of Activity in Collective Task, Distributed Decision Making: Cognitive Models for Cooperative Work**, Chichester, John Wisley.
- LIPNER, M. H. , E RUSNICA, L. A. , 1996, “**Computerised System for Procedures execution Mintoring**”. The 1996 American Nuclear Society International Topical Meeting on Nuclear Plant Instrumentation, Control and Human-Machine Interface Technologies, May 6-9, Pennsylvania.
- MALONE, T. B. , 1980, **Human Factors of Control Room Design and Operator Performance at Three Mile Island**, Washington, USA.
- MARMARAS, N. E PAVARD, B. , 1997, “A Methodological Framework for Development and Evaluation of Systems Supporting Complex Cognitive Tasks”, **Journées Européennes des Techniques Avancées de l’Informatique**, v.8, pp.13-20.

- MARTI, P. E PALMONARI, M. , 2000, **Activity Analysis in Complex Work Settings**, University of Siena, Italy.
- MEISTER, D. , 1966, **Human Factors in Reliability**, New York, Mc Graw Hill.
- MEISTER, D. , 1985, **Behavioral Analysis and Measurement Methods**, John Wiley and Sons, USA.
- MEISTER, D. , 1986, **Human Factors Testing and Evaluation**, John Wiley and Sons, USA.
- MUMAW, R. J. , ROTH, E. M. , VICENTE, K. J. E BURNS, C. M. , 1995, **Cognitive Contributions to Operator Monitoring During Normal Operations**, Atomic Energy Control Board, Ottawa, Canada.
- NICHOLSON, A. N. , 1973, “Influence of Workload on the Neurological State of a Pilot During the Approach and Landing”, **Aerospace Medicine**, v.44.
- NIWA, Y. , HOLLNAGEL, E. E GREEN, M. , 1996, “**Guidelines for Computerised Presentation of Emergency Operating Procedure**”, Nuclear Engineering and Design 167, pp. 113-127.
- 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 Avancees”, **Journées Européennes des Techniques Avancées de l’Informatique**, v.5, pp. 1-11.
- PIKAAR, R. N. , 1990, “**Ergonomics in Control Room Design**”, Ergonomics v.33, n.5, pp. 589-600.
- PÊCHEUX, V. E DECORTIS, F. , 1999, **Construction of Shared representations in nuclear Power Plant Shift Changeovers**, Université de Liège – Service de Psychologie du Travail, Belgium.
- RASMUSSEN, J. , 1987, “Skills, Rules and Knowledge: Signals, Signs and Symbols and others Distinctions in Human Performance Models”, **IEEE Transactions On Systems, Man and Cybernetics**.
- REASON, J. , 1994, **Human Error**, Cambridge University.
- REGULATORY GUIDE 1.114**, 1989, Guidance to Operators at the Controls and to Senior Operators in the Control Room of a Nuclear Power Unit.
- 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. L. , 1996, **Metodologia para Implementação de um Programa de Manutenibilidade em Projetos de Sistema**. Tese de M.Sc., UFF, Niterói, RJ, Brasil.
- SANTOS, I. J. A. L. E VIDAL, M. C. , 2000a, “Normas Nucleares de Fatores Humanos Aplicadas no Projeto de Salas de Controle de Reatores Nucleares”, Em: **Anais do Congresso Internacional da Associação Brasileira de Ergonomia**, Rio de Janeiro.
- SANTOS, I. J. A. L. E VIDAL, M. C. , 2000b, “Ergonomia e Fatores Humanos no Projeto de Salas de Controle de Reatores Nucleares”, Em: **Anais do XII Congresso Internacional de Física de Reatores**, Poços de Caldas, Minas Gerais.
- SANTOS, I. J. A. L. E VIDAL, M. C. , 2002a, “Ergonomia e Fatores Humanos na Avaliação de Salas de Controle de Reatores Nucleares”, Em: **Anais do VII Congresso Latino-Americano de Ergonomia**, Recife, Pernambuco.
- SANTOS, I. J. A. L. E VIDAL, M. C. , 2002b, “A Ergonomia no Licenciamento e na Avaliação de Salas de Controle de Reatores Nucleares”, Em: **Anais do XIII Congresso Internacional de Física de Reatores**, Rio de Janeiro, Brasil.
- SARTER, N. B. E WOODS, D. D. , 1991, “Situations Awareness: A Critical but ill-defined Phenomena”, **The International Journal of Aviation Psychology**, V.1, pp. 43-55.
- SCHMORE, M. M. , 1959, “Individual Patterns of Physiological Activity as a Function of Task Differences and Degree of Arousal”, **J. Experimental Psychology**, v.58.
- SEBOK, A. , COLLIER, S. E GREEN, M. , 2000, **Incorporating Human Factors in Control Room Upgrades: Theory and Pratical Experience**, Halden Reactor Project, Norway.
- SEBOK, A. E MORINEAU, D. S. , 2000, “Staffing Levels, Team Performance and Interface Design in Process Control”, In: **The Conference of Supporting Control Room Operations**, November, London, United Kingdom.
- SIMENOV, P. V. , 1975, “Use of the Invariant Method of Speech Analysis to Discern the Emotional State of Announces”, **Aviation and Space Environmental**, v.46.
- SKRANING, G. , 1991, **The Operator Performance Assessment System**, Halden Reactor Project, HWR-538, Norway.
- TASSET, D. , 1999, **Human Factors and Operation Aspects in Control Room: A French Safety View**, OECD-Halden Reactor Workshop, Norway.
- THE INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, **IEEE STD 845**, 1988, Guide to Evaluation of Man-Machine Performance in Nuclear Power Generating Station Control Rooms and Other Peripheries.

- 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 899**, 1982, Guidelines for the Preparation of EOP, 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 1358**, 1989, Lessons Learned from the Special Inspection Program for EOPS, Office of Nuclear Regulatory Research Washington, DC 20555-0001.
- U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, **NUREG 1624**, Technical Basis and Implementation Guidelines for a Technique for Human Event Analysis, Office of Nuclear Regulatory Research Washington, DC 20555-0001.
- U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, **NUREG/CR-1278**, 1983, Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications, Office of Nuclear Regulatory Research Washington, DC 20555-0001.
- U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, **NUREG/CR-3371**, 1983, Task Analysis of Nuclear Power Plant Control Rooms, Office of Nuclear Regulatory Research Washington, DC 20555-0001.
- U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, **NUREG/CR-5228, VOLUME 1 , 2**, 1989, Technique for Preparing Flow-Chart Format EOPs, 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-6093**, 1994, An Analysis of Operational Experiences During Low Power and Shutdown and Plan for Addressing Human Reliability Assessment Issues, 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-6122**, 1994, Staffing Decision Processes and Issues, Office of Nuclear Regulatory Research Washington, DC 20555-0001.
- U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, **NUREG/CR-6126**, 1994, Cognitive Skill Training for Nuclear Power Plant Operational Decision Making, Office of Nuclear Regulatory Research Washington, DC 20555-0001.
- U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, **NUREG/CR-6127**, 1994, The Effects of Stress on Nuclear Power Plant Operational Decision Making and Training Approaches to Reduce Stress Effects, Office of Nuclear Regulatory Research Washington, DC 20555-0001.
- U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, **NUREG/CR-6265**, 1995, Multidisciplinary Framework for Human Reliability Analysis with an Application to Errors of Commission and Dependencies, Office of Nuclear Regulatory Research Washington, DC 20555-0001.
- U. S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, **NUREG/CR-6393**, 1996, Integrated System Validation: Methodology and Review Criteria, 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.
- VIDAL, M. C. , 2000, **Ergonomia Contemporânea**, CESERG / COPPE / UFRJ.
- VIDAL, M. C. , 2001, **Ergonomia na Empresa, Útil e Aplicada**, Brasil.
- VIDAL, M. C. E ZAMBERLAN, M. C. P. L. , 1999, **Perspectivas Ergonômicas no Projeto de Salas de Controle na Indústria de Processo Contínuo**, Tese de D.Sc. , COPPE, Rio de Janeiro.
- WICKENS, C. D. AND FLACK, J. M. , 1988, “Information Processing”, **Human Factors in Aviation**, New York Academic Press.
- WIERWILLE, W. W. E CASALI, J. G. , 1983, “A Validated Rating Scale for Global Mental Workload Measurement Applications”, **Proceedings of the Human Factors Society Twenty**, Seventh Annual Meeting.
- WILLIAMS, J. C. E STORY, D. T. , 1987, “Ergonomics and Control Room Design”, **Nuclear Energy**, v.26, n. 4, pp. 225-231.
- WISNER, A. , 1995, “Understanding Problem Buildings: Ergonomic Work Analysis”, **Ergonomics**, v.38, n. 3, pp. 595-605.

WOODS, D. D. , 1983, "Decision Process Analysis", **Fourth IEOP Meeting**, EPRI, Palo Alto, California.

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.

ANEXO A - Avaliação Utilizando Documentos, Relatórios Técnicos, Normas e Guias de Fatores Humanos

A.1 Sistema Computadorizado de Apresentação da Tendência das Variáveis

- FONTE: IEC 964 (4.6.3)

INFORMAÇÕES: O sistema deve apresentar informações, que são necessárias para os operadores atuarem em operação normal e em condições de acidente. As informações devem estar disponíveis para os operadores, assim que sejam necessárias.

As informações apresentadas em telas de computadores devem ser facilmente assimiladas e entendidas pelos operadores.

Os símbolos utilizados devem ser padronizados.

O fluxo do processo e a seqüência dos eventos apresentados nas telas dos computadores, devem estar de acordo com os estereótipos da população.

COMENTÁRIOS: O sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis mostra a tendência das principais variáveis do processo, através de gráficos em barra. As informações relacionadas com as variáveis são emitidas ciclicamente no registro de tendência. Os operadores do primário e do secundário podem acessar facilmente quaisquer das variáveis apresentadas nos monitores posicionados no console de informações, CWB. Este acesso é realizado através de dois teclados posicionados no console de controle mestre, CWA. Nos gráficos em barra os valores das variáveis aumentam da esquerda para a direita.

- FONTE: IEC 1772 (4.2; 4.4)

INFORMAÇÕES: Os principais usuários do sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis devem ser identificados.

A falha do sistema não deve afetar as ações relacionadas com a operação.

O número de cores utilizadas no sistema deve ser menor do que dez.

COMENTÁRIOS: Os principais usuários do sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis são os operadores do primário e secundário e eventualmente o encarregado do turno.

As funções com intervenção direta na usina nuclear não são atribuídas ao computador de processo. A função do computador de processo é obter dados da usina e processá-los, de tal modo que seja acionado o sistema de alarme computadorizado, possibilitando que as falhas sejam detectadas em tempo hábil, registrando eventos do processo e oferecendo apoio à operação. O funcionamento normal compreende o compartilhamento das principais funções entre dois processadores centrais. As funções de registro dos eventos do processo, ou seja, as funções de supervisão básica, são realizadas por uma unidade central de processamento. As funções que consomem horas de computação, incluindo a avaliação da instrumentação do núcleo, ou seja, as funções de supervisão básica estendida, são atribuídas à segunda unidade central de processamento. Se a primeira unidade central de processamento falhar, tanto os sinais do processo quanto os monitores de vídeo são automaticamente transferidos para a segunda unidade central de processamento e as funções da primeira unidade central de processamento são então assumidas pela segunda. As funções anteriormente realizadas pela segunda unidade central de processamento são interrompidas.

O sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis apresenta quatro cores básicas. A apresentação das variáveis é feita através de gráficos em barra. As variáveis possuem valores máximos e mínimos, que compõem os limites em que são consideradas válidas. A escala das variáveis é representada pela cor branca. Dentro do limite, ou seja, entre os valores mínimo e máximo, a cor usada é verde. Fora do limite normal definido para as variáveis, a cor usada é vermelha. Os valores das variáveis que estão sendo monitoradas são definidos pela cor amarela.

- FONTE: IEC 1772 (5.1)

INFORMAÇÕES: Deve ser considerado o número de operadores que atua no sistema. A forma de apresentação das informações deve ser baseada na necessidade dos usuários. Deve ser considerada a finalidade das informações, ou seja, manutenção, monitoração, ação de controle.

COMENTÁRIOS: Os principais usuários do sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis são os operadores do primário e secundário e eventualmente o encarregado do turno.

As cores utilizadas nos gráficos em barra distinguem a condição de cada variável, facilitando a monitoração.

As informação obtidas são utilizadas para a monitoração do processo.

- FONTE: IEC 1772 (5.2; 5.3)

INFORMAÇÕES: A localização do sistema deve levar em consideração o nível de operação pretendido, a determinação da responsabilidade operacional, distância do operador em relação ao sistema, ângulo de visão dos operadores, proximidade dos controles.

COMENTÁRIOS: A área de controle principal é formada pelo console de controle mestre, CWA e pelo console de informações, CWB. A partida, desligamento do reator, desligamento da turbina e a operação em potência são controlados pelo operador do primário e secundário, que exercem essas ações no console de controle mestre. O sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis é formado por dois monitores coloridos posicionados no console de informações. Os monitores são controlados por dois teclados numéricos, localizados no console de controle mestre. Através desses teclados, os operadores do primário e secundário controlam e monitoram as variáveis apresentadas em cada um dos monitores.

A distância da visão do operador em relação aos monitores do sistema é de 2,23 metros. O ângulo de visão é 15,5 graus. A figura 37 apresenta o operador monitorando as informações apresentadas no console de informações.



Figura 37: Operador Monitorando as Variáveis no Console de Informações

- FONTE: IEC 1772 – Anexo B (B.2)

INFORMAÇÕES: Os gráficos em barra apresentam as seguintes características:

- possibilitam a utilização de uma escala padronizada;
- indicação dos valores atuais junto com os valores limites;
- mudança de cores caso os valores limites sejam alcançados;
- comparação simples e rápido reconhecimento dos valores limites.

COMENTÁRIOS: A apresentação da tendência das variáveis é feita através de gráficos em barra. As variáveis possuem valores máximos e mínimos, que compõem os limites em que elas são consideradas válidas. A escala das variáveis é representada pela cor branca. Dentro do limite normal das variáveis, ou seja, entre os valores mínimo e máximo, a cor usada é verde. Fora do limite normal definido para as

variáveis, a cor usada é vermelha. O valor da variável que está sendo monitorada é definido pela cor amarela.

- FONTE: IEC 1772 – Anexo D

INFORMAÇÕES: As informações apresentadas podem ser acessadas através dos seguintes métodos:

- Formato simples: pressionando um botão ou tecla dedicada, digitando um determinado número.
- Formato de grupo: identificando o grupo selecionado através do menu apresentado na tela do computador.

COMENTÁRIOS: O formato utilizado é simples. O sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis é formado por dois monitores coloridos posicionados no console de informações. Os monitores do sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis são controlados por dois teclados numéricos, localizados no console de controle mestre. Através desses teclados, pressionando teclas dedicadas, os operadores do primário e secundário controlam e monitoram as variáveis apresentadas em cada um dos monitores.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2 Cap. 1 (1.1.1; 1.1.2); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (1.1.1)

INFORMAÇÕES: A organização das telas deve ser consistente, auxiliando o operador na localização das funções. Determinadas áreas nas telas devem ser reservadas para o título, opções de controle, instruções, menus e mensagens de erros.

COMENTÁRIOS: Gráficos em barras horizontais são apresentados nos monitores do sistema e caracterizados por quatro cores: branca, vermelha, verde e amarela. Nas telas são identificados os sistemas que estão sendo monitorados, por exemplo: geradores de vapor, bombas de refrigeração. São definidos as unidades das variáveis monitoradas e o valor medido. Em cada tela são apresentados sete gráficos em barra, representando sete variáveis.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2 Cap. 1 (1.1.3; 1.1.4); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (1.1.2; 1.1.3)

INFORMAÇÕES: Determinadas áreas das telas devem ser separadas por espaços em branco, linhas ou outra forma de demarcação visual. Áreas usadas para dados, opções de controle e instruções devem ser distintas. As informações apresentadas devem ser consistentes com os padrões e convenções utilizadas pelos operadores.

COMENTÁRIOS: Em cada tela são apresentados sete gráficos em barra, representando sete variáveis que estão sendo monitoradas. São colocados espaços entre um gráfico e o gráfico em barra subsequente. As informações que identificam a variável e o sistema que está sendo monitorado são colocadas acima do respectivo gráfico em barra. A unidade da variável é colocada no início do gráfico em barra.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap. 1 (1.1.5; 1.1.6); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (1.1.4; 1.1.5)

INFORMAÇÕES: A tela deve conter um título ou uma identificação na parte superior, descrevendo o conteúdo da tela. Deve existir uma linha em branco entre o título e o conteúdo da tela apresentada. As mudanças na tela do sistema devem ter relação com o estado da planta nuclear. Estas mudanças são resultantes de regras explícitas, relacionando a mudança do conteúdo da tela com o estado do processo.

COMENTÁRIOS: Cada tela apresenta um título principal, identificando o grupo de variáveis que está sendo monitorado e o respectivo número da página da tela. Existe um espaço entre o título e o conteúdo da tela.

A apresentação das variáveis é feita através de gráfico em barra. As variáveis possuem valores máximos e mínimos, que compõem os limites em que são consideradas válidas. A escala das variáveis é representada pela cor branca. Dentro do limite normal, ou seja, entre os valores mínimo e máximo, a cor usada é verde. Fora do limite normal definido para as variáveis, a cor usada é vermelha. O aumento ou diminuição do valor de uma variável, que reflete a alteração do estado de um determinado sistema, é

apresentado através do deslocamento das barras da esquerda para a direita e com a mudança de cor de verde para vermelho.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap. 1 (1.1.7; 1.1.8; 1.1.11; 1.1.12); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (1.1.7; 1.1.8; 1.1.10)

INFORMAÇÕES: As informações apresentadas nas telas devem ser coerentes com as necessidades dos operadores, possibilitando que os operadores adquiram uma consciência global da situação. Somente devem ser apresentados os dados necessários, para os operadores realizarem as ações pretendidas.

Quando as telas são divididas, é importante manter os dados relacionados com uma determinada tarefa juntos, evitando que os operadores naveguem através de várias páginas, evitando que os operadores sejam obrigados a lembrar quais dados foram apresentados em telas anteriores.

COMENTÁRIOS: As informações apresentadas, ou seja, os valores das principais variáveis, refletem o estado de um determinado sistema. Estas informações auxiliam os operadores nas tomadas de decisões e na procura por outros dados, localizados nos consoles de controle e painéis.

Em cada tela são apresentados sete gráficos em barra, representando sete variáveis que estão sendo monitoradas. A navegação entre cada tela é realizada através do teclado numérico posicionado no console de controle mestre.

Se necessário, o operador pode retornar a tela inicial ou navegar através de outras telas.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (1.1.16); NUREG/CR-5908, Vol.2 (1.1.14)

INFORMAÇÕES: As informações agrupadas na tela devem ser visualmente distintas, através de cores ou separadas por espaços em brancos ou linhas. As variáveis consideradas importantes para a segurança, devem ser apresentados de modo conveniente e devem ser facilmente acessíveis.

COMENTÁRIOS: Este sistema apresenta o registro da tendência das principais variáveis do processo através de gráficos em barra. Os gráficos em barra horizontais são apresentados nos monitores do sistema e caracterizados por quatro cores: branca, vermelha, verde e amarela. Os operadores do primário e do secundário podem navegar entre as várias telas que compõem o sistema. Este acesso é realizado através de teclados numéricos posicionados no console de controle mestre.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (1.1.17; 1.1.18); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (1.1.15; 1.1.16)

INFORMAÇÕES: Informações relacionadas com a condição normal de operação são apresentadas na tela. Os gráficos, tabelas, diagramas, devem ser consistentes com os requisitos das tarefas:

- Instruções e descrições gerais: Texto contínuo, listas.
- Examinando e comparando valores numéricos individuais: Tabelas.
- Examinando relação funcional entre componentes de um sistema: Mímicos e diagramas
- Examinando a relação espacial de componentes, objetos ou lugares: Diagramas, mapas
- Examinando e interpretando valores numéricos: gráficos em barra.

COMENTÁRIOS: A apresentação das variáveis é feita através de gráficos em barra.

- FONTE: NUREG/CR-5908, Vol.2 (1.1.18)

INFORMAÇÕES: Para a identificação das informações e dados devem ser incorporados termos que são familiares para os operadores.

COMENTÁRIOS: Cada tela apresenta um título principal, identificando o grupo de variáveis que está sendo monitorado. A identificação das variáveis e dos sistemas é feita através de termos padronizados, utilizando o sistema de identificação KKS (*Kraftwerk Kennzeichensystem*). As exigências básicas para o desenvolvimento do KKS incluíram a identificação detalhada e padronizada para todos os sistemas,

equipamentos e componentes, de acordo com as suas funções no processo, com a identificação dos locais de instalação dentro de um sistema ou subsistema, com a identificação das estruturas, áreas externas, salas e áreas de incêndios.

Por exemplo: LBA60 CP001 (sistema de vapor principal circuito 60 sensor de pressão número 1), JEA10 CL901 (gerador de vapor circuito 10 sensor de nível número 901).

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (1.1.16; 1.1.18; 1.1.19; 1.1.28); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (1.1.20; 1.1.21)

INFORMAÇÕES: O sistema deve apresentar informações sobre a segurança da usina nuclear. O sistema deve apresentar informações sobre o estado real da usina nuclear. O modo de apresentação das variáveis deve considerar os objetivos das ações a serem realizadas.

COMENTÁRIOS: O sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis mostra os valores das variáveis dos principais sistemas, apresenta a evolução desses valores, facilitando a monitoração e as ações de controle necessárias para manter o processo nuclear seguro.

- FONTE: NUREG/CR-5908, Vol. 2 (1.1.24; 1.1.25; 1.1.26)

INFORMAÇÕES: O sistema deve apresentar os valores normais das principais variáveis, de modo que os operadores percebam com maior facilidade desvios da operação normal.

COMENTÁRIOS: O sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis mostra, através de gráficos em barra, a tendência das principais variáveis do processo. As variáveis possuem valores máximos e mínimos, que compõem os limites normais de operação. Dentro desses limites, ou seja, entre os valores mínimo e máximo, a cor usada é verde. Fora do limite normal, a cor usada é vermelha.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (1.1.29; 1.1.30; 1.1.31; 1.1.32); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (1.1.33; 1.1.34; 1.1.35)

INFORMAÇÕES: Devem ser usados meios distintos para chamar a atenção dos operadores, quando ocorrem mudanças no estado dos sistemas.

Quando um texto crítico merece ser destacado, o texto deve ser realçado por negrito, cores. Quando um gráfico contém alguma característica que merece atenção por parte do operador, um texto suplementar deve enfatizar essa característica.

Informações que devem ser comparadas ou mentalmente integradas, devem estar próximas, devem ter formato e dimensão de apresentação similar.

COMENTÁRIOS: As cores verde e vermelha apresentadas nos gráficos em barra, destacam as mudanças nas condições de normalidade das variáveis. O valor da variável é destacado através da cor amarela. As informações que definem o sistema, a variável e a unidade da variável são apresentadas em letras brancas e estão posicionadas acima e ao lado do gráfico em barra, respectivamente. A figura 38 mostra a tela do sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis.



Figura 38: Tela do Sistema de Apresentação da Tendência das Variáveis

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap. 1 (1.1.41); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (1.1.38; 1.1.39; 1.1.40; 1.1.41; 1.1.42)

INFORMAÇÕES: Enquanto estiver visualizando uma tela secundária, um sinal visual ou sonoro deve ser gerado para alertar o operador para retornar para a tela principal, caso informações importantes precisem ser monitoradas.

Se a tela mantém fixa uma determinada informação, o operador deve ser alertado sobre esta condição. O operador deve ter acesso a um sistema de ajuda, caso necessite informações sobre determinadas convenções e símbolos adotados.

COMENTÁRIOS: É emitido um sinal sonoro, alertando que a variável está fora da faixa de operação normal. Neste caso, a cor do gráfico em barra muda de verde para vermelho. As informações relacionadas com a identificação dos sistemas e variáveis estão no manual de operação.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap. 1 (1.1.36; 1.1.52); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (1.1.44; 1.1.48)

INFORMAÇÕES: As informações apresentadas na tela devem ser lidas com facilidade, considerando a distância máxima de visão e condições mínimas de iluminação. Operadores devem se capazes de obter uma cópia impressa das informações apresentadas na tela.

COMENTÁRIOS: Considerando o operador no console de controle mestre, CWA, a distância da visão do operador em relação aos monitores do sistema de apresentação da tendência das variáveis é de 2,23 metros. A iluminação média na sala de controle principal é 800 lux. O sistema fornece, caso seja necessário, uma cópia das informações apresentadas na tela.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap. 1 (1.2.1.1; 1.2.1.2; 1.2.1.3; 1.2.1.4; 1.2.1.5; 1.2.1.6; 1.2.1.7); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (1.2.1.1; 1.2.1.2; 1.2.1.3; 1.2.1.4; 1.2.1.5; 1.2.1.6; 1.2.1.7)

INFORMAÇÕES: Deve se usado um formato padrão para todos os textos apresentados nas telas.

Os textos devem ser concisos.

Quando palavras são abreviadas, cada abreviação deve ser definida quando de sua primeira aparição no texto.

COMENTÁRIOS: A identificação das variáveis é feita através de termos padronizados. A identificação dos sistemas é feita através do sistema de identificação KKS.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (1.2.2.1; 1.2.2.2; 1.2.2.4; 1.2.2.5; 1.2.2.7); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (1.2.2.1; 1.2.2.2; 1.2.2.4; 1.2.2.5; 1.2.2.7)

INFORMAÇÕES: Informações devem ser organizadas de maneira lógica, facilitando a assimilação.

Dados em linhas são organizados da esquerda para a direita.

Dados em colunas são organizados de cima para baixo.

Itens em uma lista são organizados em ordem cronológica, alfabética, funcional ou de importância.

Em uma tabela, a coluna mais a esquerda contém a identificação das variáveis apresentadas em cada linha. A linha superior contém a identificação das variáveis apresentadas em cada coluna

Na identificação das variáveis devem ser incluídas as respectivas unidades. Linhas ou espaços em branco devem ser inseridos nas tabelas, em intervalos regulares.

COMENTÁRIOS: As informações apresentadas em todos os gráficos em barra são organizadas de maneira lógica. A unidade da variável é colocada no início de cada gráfico em barra. Entre um gráfico em barra e o gráfico subsequente, existe uma uniformidade de espaços em branco.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (1.2.3.2; 1.2.3.4); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (1.2.3.2; 1.2.3.4)

INFORMAÇÕES: A ordenação e o *layout* dos campos dos dados devem ser consistentes de uma tela para outra. Formatos para entrada e apresentação dos dados devem ser compatíveis.

COMENTÁRIOS: A ordenação e o *layout* dos dados apresentados em uma tela do sistema de tendência das variáveis é igual para todas as telas do sistema.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (1.2.4.1; 1.2.4.3; 1.2.4.5; 1.2.4.9); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (1.2.4.1; 1.2.4.3; 1.2.4.5; 1.2.4.9)

INFORMAÇÕES: Cada gráfico em barra deve ter uma única identificação. Quando dados são comparados, as barras devem ser adjacentes e espaçadas. Se uma barra representa dados de particular interesse, então a barra deve ser destacada.

COMENTÁRIOS: Cada gráfico em barra é identificado pelo sistema e a variável que está sendo monitorada. Os gráficos em barra são ordenados de maneira lógica e espaçados uniformemente. O valor das variáveis aumenta da esquerda para a direita.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (1.2.11.1; 1.2.11.2); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (1.2.10.1; 1.2.10.2)

INFORMAÇÕES: Áreas indicando faixas normais e anormais de operação podem ser definidas através de cores.

COMENTÁRIOS: As variáveis possuem valores máximos e mínimos, que compõem os limites em que são consideradas válidas. A escala das variáveis é representada pela cor branca. Dentro do limite normal de operação, ou seja, entre os valores mínimo e máximo, a cor usada é verde. Fora do limite normal, a cor usada é vermelha.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (1.3.1.1; 1.3.1.2; 1.3.1.3); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (1.3.1.1; 1.3.1.2; 1.3.1.3)

INFORMAÇÕES: Textos podem apresentar letras maiúsculas e minúsculas. A identificação das variáveis apresenta somente letras maiúsculas.

Uma fonte legível e simples deve ser usada. Deve ser possível distinguir com facilidade os seguintes caracteres: X e K, T e Y, I e L, I e 1, O e Q, S e 5, U e V.

COMENTÁRIOS: Os sistemas, as variáveis e as unidades são identificados por letras maiúsculas. É possível distinguir com facilidade todos os caracteres utilizados.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (1.3.2.1; 1.3.2.2; 1.3.2.4; 1.3.2.7); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (1.3.2.1; 1.3.2.2; 1.3.2.4; 1.3.2.7)

INFORMAÇÕES: Abreviações devem ser evitadas, exceto quando são termos comuns. Quando abreviações são necessárias, devem ser usadas aquelas cujo significado seja de mais fácil entendimento. Podem ser usados códigos alfanuméricos para a identificação.

COMENTÁRIOS: A identificação das variáveis e dos sistemas é feita através de termos padronizados. Esses termos são definidos através de siglas formadas por letras maiúsculas seguidas por números. Por exemplo: LBA60 CP001 (sistema de vapor principal circuito 60 sensor de pressão número 1), JEA10 CL901 (gerador de vapor circuito 10 sensor de nível número 901).

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (1.3.3.2; 1.3.3.3; 1.3.3.4; 1.3.3.5; 1.3.3.6); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (1.3.3.2; 1.3.3.3; 1.3.3.4; 1.3.3.5; 1.3.3.6)

INFORMAÇÕES: Legendas de identificação devem ser compostas de termos técnicos conhecidos. A legenda de identificação deve descrever de maneira concisa e precisa o sistema. Para um mesmo item, deve ser dada a mesma legenda de identificação. A legenda deve ser separada de outra legenda, por pelo menos dois espaços em branco.

COMENTÁRIOS: A identificação das variáveis e dos sistemas é feita através de termos padronizados. Esses termos são definidos através de siglas formadas por letras maiúsculas seguidas por números, por exemplo: LBA60 CP001 (sistema de vapor principal circuito 60, sensor de pressão número 1), JEA10 CL901(gerador de vapor circuito 10, sensor de nível número 901). A separação entre as identificações é de pelo menos dois espaços em branco.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (1.3.6.1; 1.3.6.2; 1.3.6.3; 1.3.6.5); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (1.3.6.1; 1.3.6.2; 1.3.6.3; 1.3.6.5)

INFORMAÇÕES: O valor das variáveis apresentadas nas escalas aumenta no sentido horário, da esquerda para a direita, de baixo para cima.

O número máximo de graduações entre números é nove.

Escalas devem possuir graduações em intervalos regulares de 1, 2, 5, 10 ou múltiplos de 10.

COMENTÁRIOS: As informações apresentadas em todos os gráficos em barra são organizadas de maneira lógica.

O valor da variável monitorada é apresentado no início do gráfico em barra e identificado através da cor amarela.

A unidade da variável é colocada após o valor da variável.

O deslocamento do gráfico em barra, da esquerda para a direita, está associado com o aumento do valor da variável.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (1.3.6.9; 1.3.6.10; 1.3.6.12); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (1.3.6.9; 1.3.6.10; 1.3.6.12)

INFORMAÇÕES: As escalas devem ser consistentes com os valores das variáveis. Deve ser possível expandir as escalas.

A escala linear deve ser preferida ao invés da escala logarítmica.

Se for demonstrado, que escalas não lineares facilitam a interpretação dos dados, estas devem ser usadas.

Quando os dados apresentados são números positivos, o eixo de origem deve estar na posição mais à esquerda.

Os valores numéricos aumentam da esquerda para a direita.

COMENTÁRIOS: As escalas dos gráficos em barra são consistentes com os valores medidos das variáveis.

São utilizadas escalas lineares.

O deslocamento do gráfico em barra da esquerda para a direita, está associado com o aumento do valor da variável. O início do gráfico em barra está na posição mais à esquerda.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (1.3.6.15; 1.3.6.16; 1.3.6.17); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (1.3.6.15; 1.3.6.16; 1.3.6.17)

INFORMAÇÕES: Caso o gráfico precise ser expandido é necessário que exista uma indicação dessa expansão. Os operadores devem ser capazes de alterar manualmente as escalas dos gráficos. Caso essa alteração seja automática, é necessário que exista uma indicação informando ao operador, que a alteração está sendo realizada.

COMENTÁRIOS: Cada gráfico em barra está relacionado com a sua respectiva escala. O valor da variável dentro da faixa de operação é representado por meio de uma escala simples.

A cor vermelha no gráfico em barra indica que a variável está fora da faixa de operação normal. Neste caso, é emitido um alarme sonoro. Ocorre também a mudança automática da escala.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (1.3.8.1; 1.3.8.2; 1.3.8.3; 1.3.8.4; 1.3.8.5); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (1.3.8.1; 1.3.8.2; 1.3.8.3; 1.3.8.4; 1.3.8.5)

INFORMAÇÕES: As cores devem ser usadas de maneira consistente. O número de cores deve ser mínimo. Se uma cor é empregada para um uso ou com um significado específico, outra cor não deve ser empregada para o mesmo significado ou uso.

As seguintes cores são facilmente discrimináveis em um fundo claro: vermelho, verde, azul escuro e preto.

As seguintes cores são facilmente discrimináveis em um fundo escuro: amarelo, azul claro e branco. A tabela 18 apresenta informações sobre as cores mais usadas em consoles e painéis de salas de controle de reatores nucleares.

Tabela 18: Cores e Contrastes nas Telas dos Computadores

Cores	Significado	Atenção	Bom Contraste
Vermelho	Inseguro, Perigo, Alarme	Bom	Branco
Amarelo	Risco, Atenção, Estado anormal	Bom	Preto, Azul escuro
Verde	Seguro, Satisfatório, Estado normal	Não	Branco
Azul claro	Tranquilo	Não	Preto
Azul escuro	Aviso	Não	Branco
Branco	Aviso	Não	Verde, Preto, Vermelho, Azul escuro
Preto	<i>Background</i>	Não	Branco, Amarelo, Azul claro

COMENTÁRIOS: O sistema de apresentação da tendência das variáveis apresenta quatro cores básicas: verde, vermelho, amarela e branca.

A apresentação das variáveis é feita através de gráficos em barra. A cor de fundo da tela do sistema é preta.

O valor da variável é representado através da cor amarela. A cor amarela apresenta um bom contraste com a cor de fundo da tela, ou seja, preta.

As informações que definem o sistema, a variável e a unidade da variável são apresentadas em letras brancas. A cor branca apresenta um bom contraste com a cor de fundo da tela, ou seja, preta.

As variáveis possuem valores máximos e mínimos, que compõem os limites normais de operação. Dentro desses limites, ou seja, entre os valores mínimo e máximo, a cor usada é verde. Fora do limite normal, a cor usada é vermelha.

Segundo a tabela 18, para um fundo de tela preto a cor vermelha e a cor verde não seriam as mais indicadas.

Entretanto, a cor vermelha é a mais indicada para indicar um estado de alerta ou atenção. A cor verde é a mais indicada para indicar um estado seguro, normal. Estas condições prevaleceram em relação ao contraste com o fundo da tela.

No sistema de apresentação da tendência das variáveis, a cor vermelha representa uma condição de alarme e a cor verde representa uma condição de normalidade.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (1.3.10.1; 1.3.10.2; 1.3.10.3; 1.3.10.4; 1.3.10.6); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (1.3.10.1; 1.3.10.2; 1.3.10.3; 1.3.10.4; 1.3.10.6)

INFORMAÇÕES: As informações destacadas através de brilho especial ou intermitência devem ser facilmente reconhecidas pelo operador, atraindo sua atenção para ações específicas ou tomadas de decisão. A quantidade de informações destacadas deve ser mínima. Se o destaque da informação implica na identificação de uma situação provisória ou um erro, assim que está situação terminar o destaque tem de ser removido.

COMENTÁRIOS: O valor medido da variável é destacado através da cor amarela. A condição de normalidade dos valores das variáveis nos gráficos em barra é destacada através da cor verde. A condição de anormalidade dos valores das variáveis é destacada através da cor vermelha.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (1.3.11.1; 1.3.11.2; 1.3.11.3; 1.3.11.4; 1.3.11.5; 1.3.11.6; 1.3.11.7; 1.3.11.8); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (1.3.11.1; 1.3.11.3; 1.3.11.4)

INFORMAÇÕES: Sinais sonoros devem ser gerados com o objetivo de alertar os operadores para situações que requerem atenção especial, tais como: ação incorreta, falha na *interface*. O nível dos sinais sonoros não deve interferir com a comunicação verbal entre os operadores. A origem dos sinais sonoros deve possibilitar a identificação da estação de trabalho, que necessita da atenção do operador.

Sinais de alarmes devem ser facilmente distinguidos de sinais de emergências. Sinais de alarmes são usados para indicar condições que requerem consciência da situação, mas não, necessariamente, necessitam de uma ação imediata.

Sinais de alarmes devem ser acompanhados de sinais visuais.

Se um sinal sonoro for estabelecido para uma dada situação operacional, o mesmo sinal não pode ser usado para outra finalidade. O número de frequência dos sinais sonoros não pode ser maior que quatro.

COMENTÁRIOS: Os alarmes são identificados através do sistema de anúncio de alarmes, que é formado pelo sistema de alarme computadorizado e pelo sistema de alarme convencional. Esses dois sistemas funcionam simultaneamente e são independentes.

No sistema de apresentação da tendência das variáveis, assim que é atingida a condição de anormalidade, a cor do gráfico em barra altera de verde para a cor vermelha. O sistema de alarme computadorizado e o sistema convencional emitem um sinal sonoro e o alarme é identificado.

Os alarmes são classificados como alarmes de classe S, classe 1 e classe 2. Os alarmes de classe 1 e classe 2 são identificados por um sinal sonoro. Os alarmes de classe S são identificados por outro sinal sonoro. A intensidade sonora dos alarmes é pelo menos 10 dB (A) acima da intensidade sonora normal na sala de controle principal.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (1.6.3.1; 1.6.3.2; 1.6.3.3; 1.6.3.4; 1.6.3.12); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (1.5.3.1; 1.5.3.2)

INFORMAÇÕES: As impressoras devem ser usadas para imprimir dados sobre os alarmes, informações sobre as variáveis e dados relacionados com o processo. As impressoras devem estar localizadas na área primária de operação. O operador deve ser capaz de ler os dados impressos, sem ter de sair da área primária de operação. O acesso à impressora deve ser livre, sem obstruções. O tipo de impressora deve permitir a troca rápida e fácil de tinta e papel. O tipo de impressora deve permitir o ajuste da velocidade de impressão.

COMENTÁRIOS: A impressão dos dados relacionados com as variáveis, apresentados no sistema de tendência das variáveis e os respectivos alarmes, é feita em uma impressora posicionada ao lado do console de informações, CWB. A posição da impressora não atrapalha os deslocamentos dos operadores. O acesso é fácil e sem obstruções. A figura 39 mostra esta impressora.



Figura 39: Impressora

A.2 Interação Operador Sistema de Apresentação da Tendência das Variáveis e Interação Operador Consoles e Painéis de Controle

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (2.1.1; 2.1.2; 2.1.3; 2.1.4; 2.1.5; 2.1.6; 2.1.7; 2.1.8; 2.1.9; 2.1.10; 2.1.11); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (2.1.1; 2.1.2; 2.1.3; 2.1.4; 2.1.5; 2.1.6; 2.1.7; 2.1.8; 2.1.9; 2.1.10; 2.1.11)

INFORMAÇÕES: A seleção dos diálogos deve ser baseada nos requisitos das tarefas, nas habilidades dos operadores e no tempo de resposta do sistema.

Os procedimentos para entrada de dados devem ser consistentes com as ações realizadas, auxiliando os operadores a desenvolverem hábitos consistentes de operação, diminuindo os erros.

O formato e o tipo de comando utilizado devem ser consistentes com os procedimentos e com as mensagens apresentadas.

A introdução de comandos não deve implicar no uso de códigos especiais.

A execução de uma tarefa através de uma interface deve ser realizada com um número mínimo de ações.

Informações já disponíveis não devem ser novamente requisitadas ao operador.

A seqüência de introdução de dados deve refletir a representação do operador sobre a tarefa, disponibilizando todas as opções de controles necessárias. Os operadores devem controlar o processamento das informações através de ações explícitas.

COMENTÁRIOS: No sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis os operadores do primário e do secundário navegam entre as várias páginas que compõem o sistema, através de dois teclados numéricos posicionados no console de controle mestre.

Para executar um comando, o operador deve pressionar o botão LIGA do setor de controle de acionamento e, simultaneamente, a tecla de controle apropriada. Teclas de funções específicas estão instaladas nos teclados numéricos posicionados no console de controle mestre, CWA.

Para executar medidas de controle nos consoles de controle e painéis, o operador da sala de controle emite um comando de duas mãos, ou seja, pressiona o botão de controle apropriado, simultaneamente com o botão de liberação. Esta característica foi prevista para garantir que comandos não sejam acionados inadvertidamente, evitando erros

Cada grupo de controle possui botões de acionamento, liberação e lâmpadas associadas, com códigos de cores, que informam o estado do sistema controlado.

A cor verde para as lâmpadas indica que o sistema está em operação, uma válvula foi aberta, uma bomba foi ligada. A cor branca para as lâmpadas indica que o sistema está fora de operação, uma válvula foi fechada, uma bomba foi desligada. A cor vermelha para as lâmpadas indica distúrbios, problemas.

As cores vermelha, verde, azul e cinza são utilizadas para os botões de acionamento e liberação. A cor vermelha para botão de desligamento. A cor verde para botão de acionamento e liberação, com comando de duas mãos. A cor azul para botão de teste. A cor cinza para botão de acionamento sem habilitação.

A figura 40 mostra o operador executando um comando de duas mãos.



Figura 40: Operador Executando um Comando de Duas Mãos

Para o ajuste de potência e para o desligamento rápido do reator são utilizadas barras de controle cujas varetas absorvedoras de nêutrons são movimentadas para cima ou para baixo, dentro dos elementos combustíveis no núcleo do reator. Para a indicação da posição das barras de controle são utilizados um sistema analógico e um sistema digital. Na sala de controle, as informações sobre as barras de controle são apresentadas no console de controle mestre e no painel auxiliar, CWH.

A indicação digital da posição das barras de controle é efetuada por meio de módulos de indicação digital, que estão dispostos no painel auxiliar, CWH.

No painel auxiliar de controle, CWH, também é apresentada uma representação esquemática da seção transversal do núcleo, com a indicação digital de posição ou tempo de queda da barra de controle.

O desligamento rápido do reator é realizado através de teclas especiais, mostradas na figura 41, e posicionadas no console de controle mestre, CWA. Para realizar esse acionamento, é necessário que o operador do primário altere sua posição normal, ou seja, fique em pé.



Figura 41: Controles de Desligamento Rápido do Reator

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (2.1.14; 2.1.15; 2.1.18; 2.1.21; 2.1.27); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (2.1.14; 2.1.15; 2.1.18; 2.1.21; 2.1.27)

INFORMAÇÕES: Deve existir indicação de que o sistema recebeu e processou os comandos. Se a entrada de dados está sendo feita através de menus e comandos, não deve ser permitido ao operador introduzir textos. Os meios utilizados para introdução de informações e comandos devem ser compatíveis com as habilidades dos operadores, permitindo que ações simples sejam realizadas pelos iniciantes e ações mais complexas sejam realizadas pelos operadores mais experientes.

COMENTÁRIOS: Cada grupo de controle nos console e nos painéis de controle possui botões de acionamento, liberação e lâmpadas associadas, com códigos de cores, que informam o estado do sistema controlado. Os acionamentos também são sinalizados nas respectivas lâmpadas das botoeiras de controle. Lâmpadas acesas e piscando, informam, respectivamente, a posição correta do acionamento e que o acionamento está sendo atuado.

As indicações digital e analógica das barras de controle apresentam a posição das barras, após uma ação de controle realizada pelo operador ou pelo sistema automático.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (2.1.45; 2.1.47); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (2.1.45; 2.1.47)

INFORMAÇÕES: Quando vários operadores tiverem que interagir com o sistema simultaneamente, a entrada de controle associada com um operador não deve interferir com a do outro operador. Em determinadas situações, os operadores devem ser capazes de interromper o processo nuclear.

COMENTÁRIOS: Os operadores licenciados, ou seja, o operador do primário, secundário, o encarregado e o supervisor, deverão desligar o reator quando a segurança do mesmo estiver ameaçada, ou quando o sistema de proteção não atuar. O operador do primário atua nos controles, que afetam o circuito primário do reator. O operador do secundário atua nos controles da turbina e do gerador elétrico. Somente os operadores licenciados manipulam os controles, que afetam diretamente a reatividade ou o nível de potência do reator.

Para o desligamento rápido do reator, interrompendo o processo nuclear, são utilizadas barras de controle cujas varetas absorvedoras de nêutrons são movimentadas para cima ou para baixo dentro dos elementos combustíveis no núcleo do reator. O desligamento rápido do reator é realizado através de tecla especial, posicionada no console de controle mestre, CWA.

- FONTE: NURE G 700 Revisão 2, Cap.1 (2.2.3.1; 2.2.3.3. 2.2.3.4; 2.2.3.5. 2.2.3.6; 2.2.3.9; 2.2.3.10; 2.2.3.12; 2.2.3.14); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (2.2.3.1; 2.2.3.3. 2.2.3.4; 2.2.3.5. 2.2.3.6; 2.2.3.9; 2.2.3.10; 2.2.3.12; 2.2.3.14)

INFORMAÇÕES: Chaves e teclas de função são utilizadas com objetivos específicos. Chaves e teclas de função devem ser agrupadas em posições destacadas para facilitar sua localização. Uma função realizada por uma chave ou tecla em uma tarefa, deve ser realizada na mesma chave ou tecla, em outras tarefas. Quando uma função está continuamente disponível, esta deve ser empregada em uma única chave ou tecla. Se uma chave ou tecla é usada em mais de uma função, a função disponível deve ser sempre indicada para o operador. Quando a ativação da chave não resulta em uma resposta imediata, os operadores devem ser avisados. Se algumas chaves estão ativas e outras não, o grupo de chaves ativas deve ser indicado.

COMENTÁRIOS: No sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis, os operadores do primário e do secundário navegam entre as várias páginas que compõem o sistema, através de teclados numéricos posicionados no console de controle mestre. Teclas de funções específicas estão instaladas neste teclado. A impressão dos dados apresentados na tela e a navegação entre as páginas, são funções específicas realizadas por estas teclas.

O desligamento rápido do reator é realizado por uma chave específica, posicionada no console de controle mestre.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (2.4.1.1; 2.4.1.2; 2.4.1.3; 2.4.1.4; 2.4.1.5); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (2.4.1.1; 2.4.1.2; 2.4.1.3; 2.4.1.4; 2.4.1.5)

INFORMAÇÕES: As informações apresentadas pelo sistema devem estar em uma localização padrão. As informações devem ter terminologia consistente e familiar para os operadores.

COMENTÁRIOS: O sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis é formado por dois monitores coloridos posicionados no console de informações. Os monitores são controlados por dois teclados numéricos localizados no console de controle mestre. Através desses teclados, os operadores do primário e secundário controlam e monitoram as variáveis apresentadas em cada um dos monitores.

Todos os sistemas, equipamentos e componentes apresentam terminologia padronizada baseada no sistema de identificação KKS (*Kraftwerk Kennzeichensystem*). As exigências básicas consideradas para o desenvolvimento do KKS incluíram a identificação detalhada e padronizada para todos os sistemas, equipamentos e componentes, de acordo com as suas funções no processo, com a identificação dos locais de instalação dentro de um sistema ou subsistema, com a identificação das estruturas, áreas externas, salas e áreas de incêndios, onde estão montados os sistemas, subsistemas e equipamentos.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (2.7.2.1; 2.7.2.2. 2.7.3.1; 2.7.3.2; 2.7.3.4; 2.7.3.5; 2.7.3.6; 2.7.3.7; 2.7.3.11; 2.7.3.15); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (2.4.4.1; 2.4.4.2. 2.4.5.1; 2.4.5.2; 2.4.5.4; 2.4.5.5; 2.4.5.6; 2.4.5.7; 2.4.5.11; 2.4.5.15)

INFORMAÇÕES: As mensagens e sinais de aviso devem ser distintos e apropriados com o contexto. Sinais visuais e sonoros devem ser utilizados para a apresentação das informações. Quando o sistema detecta um erro, uma mensagem deve ser apresentada. O tipo de mensagem ou sinal de erro deve ser apropriado com a tarefa executada. Quando uma entrada é inválida ou inoperante, uma mensagem deve indicar o tipo de erro. Os operadores devem ser capazes de obter informações mais detalhadas sobre os erros.

COMENTÁRIOS: Cada grupo de controle localizado nos consoles de controle e nos painéis auxiliares, possui botões de acionamento e liberação, com lâmpadas, que atuam, controlam e informam o estado do sistema controlado.

A cor verde para as lâmpadas indica que o sistema está em operação, uma válvula foi aberta, uma bomba foi ligada. A cor branca para as lâmpadas indica que o sistema está fora de operação, uma válvula foi fechada, uma bomba foi desligada. A cor vermelha para as lâmpadas indica distúrbios, problemas. Os acionamentos também são sinalizados nas respectivas lâmpadas das botoeiras de controle. A lâmpada acesa indica a posição real do acionamento. A lâmpada piscando rápido indica que o acionamento está sendo atuado.

Sinais sonoros também estão associados com as mensagens de alarme, apresentadas nos sistemas de alarme.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (2.5.1.1.1; 2.5.1.1.2; 2.5.1.1.11); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (2.5.1.1; 2.5.1.2; 2.5.1.3; 2.5.2.1; 2.5.2.2; 2.5.2.3; 2.5.2.6; 2.5.3.1; 2.5.3.3)

INFORMAÇÕES: As *interfaces* devem apresentar informações, que possibilitem aos operadores realizarem as respectivas ações. As *interfaces* devem fornecer informações, que possibilitem aos operadores navegarem entre as telas. Quando as seqüências de ações em uma nova tela, requer o término das ações na tela anterior, o operador só deve ser capaz de mover para uma nova tela, quando todas as condições forem alcançadas. O operador deve ser capaz de especificar a informação a ser apresentada e selecionar a forma de apresentação.

Os controles devem estar apropriadamente indicados. Quando os dados requisitados, excedem a capacidade da tela, devem ser gerados meios para que os dados sejam apresentados em outras telas.

Os operadores devem ser capazes de requisitar uma atualização automática dos dados e controlar essa atualização.

A organização das telas de computadores deve refletir uma lógica baseada nos requisitos das tarefas e ser prontamente entendida pelos operadores. Se a interpretação dos dados apresentados depende do contexto, uma indicação explícita do contexto deve aparecer na tela do computador.

COMENTÁRIOS: Cada grupo de controle nos consoles e painéis auxiliares possui botões de acionamento e liberação, com lâmpadas associadas, com cores, que atuam, controlam e informam o estado do sistema controlado. Os acionamentos também são sinalizados nas respectivas lâmpadas das botoeiras de controle.

Todos os controles, teclas, botões, medidores são identificados.

O sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis mostra através de gráficos em barra a tendência das principais variáveis do processo. A forma de apresentação das variáveis é definida pelo sistema, ou seja, gráficos em barra. Os operadores não são capazes de alterar essa forma de apresentação. São apresentadas no máximo sete variáveis em cada tela do sistema de apresentação da tendência das variáveis. Os operadores navegam entre as telas, acessando outras variáveis e outros sistemas, através do teclado posicionado no console de controle mestre. As variáveis possuem valores máximos e mínimos que compõem os limites em que elas são consideradas válidas. Dentro do limite, ou seja, entre os valores mínimo e máximo, a cor usada para o gráfico em barra é verde. Fora do limite normal definido para as variáveis, a cor usada é vermelha. É emitido um sinal sonoro de alarme, alertando que a variável está fora da faixa de operação normal. Neste caso, a cor do gráfico em barra muda de verde para vermelho.

Gráficos em barras horizontais são apresentados nos monitores do sistema de apresentação da tendência das variáveis. Os sistemas que estão sendo monitorados são identificados na tela do sistema, por exemplo, geradores de vapor, bombas de refrigeração. São definidos também as unidades das variáveis monitoradas e o valor medido. Os valores das variáveis apresentados no gráfico em barras aumentam da esquerda para a direita. A organização das telas é padronizada para todas as telas do sistema.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (2.5.2.1; 2.5.2.3. 2.5.2.4; 2.5.2.5; 2.5.2.6); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (2.5.6.1; 2.5.6.3. 2.5.6.4; 2.5.6.5; 2.5.6.6)

INFORMAÇÕES: As telas devem ser apresentadas através de uma identificação consistente, localizada na parte superior. Quando várias telas são abertas simultaneamente, os operadores devem ser capazes de sobrepor-las, distribuindo-as ou visualizando-as seqüencialmente. O sistema deve ser capaz de listar as telas que estão abertas, mas não necessariamente ativas. As páginas ativas devem ser diferenciadas das páginas inativas.

COMENTÁRIOS: Em cada tela do sistema de apresentação da tendência das variáveis são apresentados sete gráficos em barra, representando sete variáveis que estão sendo monitoradas. Na parte superior da tela é colocado o título da página, identificando o número do grupo de variáveis e o número da página. São colocados espaços entre um gráfico e o gráfico em barra subsequente. As informações que identificam a variável e o sistema que está sendo monitorado são colocadas acima do respectivo gráfico em barra. A unidade da variável é colocada no início do gráfico em barra.

A.3 Dispositivos para Entrada de Dados e Controle do Processo

- FONTE: IAEA-TECDOC 812

INFORMAÇÕES: As *interfaces* de controle são classificadas em três grupos:

- sistemas convencionais acionados por chaves rotativas e botões de acionamento tipo *push buttons*;
- sistemas dedicados acionados por teclados numéricos;
- controles especiais acionados por cursor ou teclas sensíveis a toque;

A escolha dos controles envolve os seguintes critérios:

- segurança;
- rapidez de acesso
- frequência de uso.

COMENTÁRIOS: No sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis, os operadores do primário e do secundário navegam entre as várias páginas que compõem o sistema, através de dois teclados numéricos posicionados no console de controle mestre. Segundo o documento IAEA-TECDOC 812, este acionamento é característico de um sistema dedicado.

Para executar medidas de controle nos consoles de controle e painéis, o operador da sala de controle emite um comando de duas mãos, ou seja, pressiona o botão de controle apropriado, simultaneamente com o botão de liberação. Esta característica foi prevista para garantir que comandos não sejam acionados inadvertidamente, evitando erros. Segundo o documento IAEA-TECDOC 812, este acionamento é característico de um sistema convencional.

Para executar acionamentos e controles no sistema integrado de computadores de processo, SICA, são utilizados o teclado, *mouse*, com o uso de *cursor*.

O capítulo 18 do relatório final de análise de segurança enfatiza que a segurança, frequência de uso e a rapidez de acesso foram alguns dos critérios utilizados para posicionamento dos controles e dos acionamentos nos consoles e painéis de controle.

- FONTE: IEC 964 (4.7.2)

INFORMAÇÕES: O projeto dos controles deve assegurar a facilidade da operação e minimizar os erros dos operadores. As características mecânicas dos controles devem ser compatíveis com as características e capacidade do ser humano. O movimento dos controles deve estar de acordo com os estereótipos da população. Deve ocorrer uma uniformidade na escolha da cores, tamanhos e formas dos controles, que realizam funções similares. A ativação errônea de um determinado controle pode ser minimizada através de sua correta localização e do uso de estruturas de proteção.

COMENTÁRIOS: O arranjo funcional da sala de controle principal é formado pela área de controle principal e pela área de controle auxiliar. A área de controle principal é formada pelo console de controle mestre, CWA, e pelo console de informações, CWB. No console de controle mestre estão os controles e as informações relacionadas com a partida, subida de potência, operação em potência nominal, desligamento da turbina e desligamento do reator. Os medidores e alarmes associados com os controle citados anteriormente, estão localizados no painel superior de CWA. O projeto do console de controle mestre permite que os operadores do primário e secundário realizem suas atividades na posição sentado, com fácil acesso aos controles e acionamentos. No caso de uma emergência, com o desligamento rápido do reator, é necessário que o operador do primário altere sua posição, ou seja, esteja em pé.

No console de informações, CWB, estão localizados medidores, registradores gráficos e os monitores coloridos para anunciação de alarmes e apresentação da tendência das variáveis. A figura 42 mostra esses medidores, registradores gráficos e os monitores para anunciação de alarmes e apresentação da tendência das variáveis.

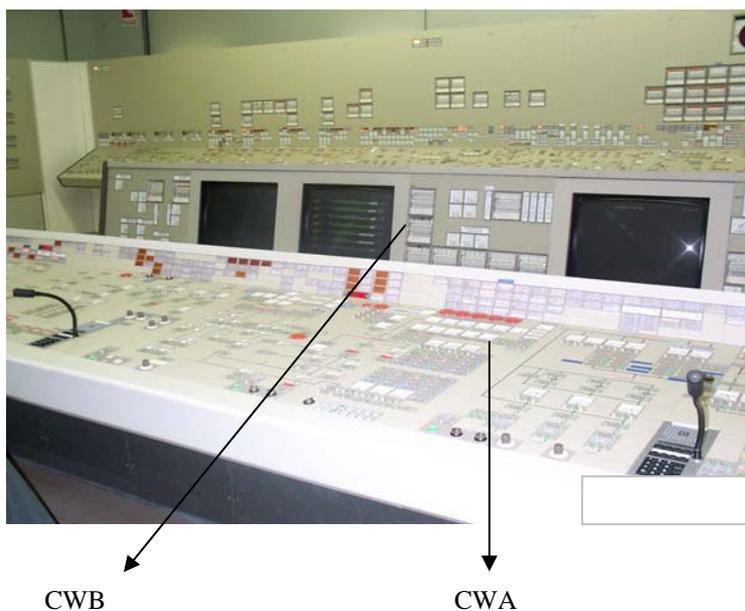


Figura 42: Console de Controle Mestre, CWA e Console de Informações, CWB.

No console de controle auxiliar estão diversos painéis formando uma área de controle em U. O console é dividido em quatro seções e sete painéis laterais. A seção principal deste console permite que o operador auxiliar realize sua atividade sentado ou em pé.

Para executar medidas de controle nos consoles de controle e painéis, o operador da sala de controle emite um comando de duas mãos, ou seja, pressiona o botão de controle apropriado, simultaneamente com o botão de liberação. Esta característica foi prevista para garantir que comandos não sejam acionados inadvertidamente, evitando erros.

Nos controles utilizando chaves rotativas, a posição inicial está mais à esquerda e a posição final mais à direita. O sentido de ajuste é da esquerda para a direita.

As cores vermelha, verde, azul e cinza são utilizadas para botões de desligamento, acionamento, teste e liberação. A cor vermelha para botão de desligamento. A cor verde para botão de acionamento e liberação, com comando de duas mãos. A cor azul para botão de teste. A cor cinza para botão de acionamento sem habilitação.

- FONTE: IEC 964 (4.8)

INFORMAÇÕES: Os controles e os respectivos anunciadores de alarmes, medidores devem ser corretamente integrados, assegurando a operação efetiva da planta nuclear. Os controles devem estar localizados próximos dos respectivos medidores. A operação de um controle está associada à uma mudança no valor medido pelo respectivo medidor. Quando a seqüência de uso é um fator principal, a organização dos controles, anunciadores de alarmes e medidores deve refletir essa necessidade.

COMENTÁRIOS: A correta integração dos controles e medidores possibilita ao operador visualizar as modificações apresentadas nos medidores, em função dos ajustes e acionamentos realizados. Neste caso, os controles e os medidores associados devem estar localizados próximos. No caso da sala de controle avaliada, foi utilizada uma estrutura hierárquica apresentando a mímica do processo, onde os medidores, anunciadores de alarmes e controles são dispostos refletindo o fluxo das operações realizadas nos sistemas e equipamentos.

A estrutura mímica do processo facilita a localização e monitoração dos medidores e controles associados, diminuindo as demandas relacionadas com a memória de curto prazo, possibilitando um melhor e mais rápido entendimento das relações entre os sistemas e equipamentos

Na sala de controle avaliada, os medidores e anunciadores de alarmes associados estão posicionados em painéis verticais e os respectivos controles estão na mesa de controle. O alinhamento vertical entre os medidores e anunciadores de alarmes, com os respectivos controles, reflete as relações entre os sistemas. A figura 43 mostra o painel auxiliar.



Figura 43: Painel Auxiliar

- FONTE: IEC 964 – Anexo A (A.4.4.1; A.4.4.2; A.4.5.1)

INFORMAÇÕES: O arranjo dos anunciadores de alarmes, dos mostradores e dos controles nos consoles e painéis de controle, deve ser feito considerando os aspectos ergonômicos. Os anunciadores de alarmes e medidores devem ser posicionados de preferência de cima para baixo, nos respectivos consoles e painéis.

COMENTÁRIOS: Na sala de controle avaliada, os medidores e anunciadores de alarmes associados estão posicionados em painéis verticais e os respectivos controles estão na mesa de controle. O alinhamento vertical entre os medidores e anunciadores de alarmes, com os respectivos controles, reflete as relações entre os subsistemas e equipamentos. Os anunciadores de alarme e medidores são posicionados de cima para baixo nos respectivos painéis.

- FONTE: IEC 964 – Anexo A (A.4.5.1)

INFORMAÇÕES: É essencial que os medidores e controles sejam agrupados utilizando as seguintes técnicas:

- agrupamento por função: os medidores e controles devem ser agrupados em relação a função desempenhada no sistema. A função deve ser identificada em relação aos objetivos que devem ser alcançados pelo sistema.
- agrupamento pela seqüência de uso: os medidores e controles devem ser agrupados em relação a seqüência de uso.
- agrupamento pela freqüência de uso: os medidores e controles mais freqüentemente usados são posicionados juntos e próximos do operador
- agrupamento por prioridades: Os medidores e controles que contém informações mais significativas para o sucesso do sistema, são colocados juntos e em uma posição considerada principal.
- agrupamento através dos procedimentos de operação, normal ou de emergência: medidores e controles usados em condições de emergência devem ser agrupados separadamente dos medidores e controles utilizados na operação normal.
- mímica do processo: estrutura hierárquica representando o fluxo do processo.

COMENTÁRIOS: No caso da sala de controle avaliada, todas as técnicas citadas anteriormente foram contempladas. Uma estrutura hierárquica foi utilizada, apresentando a mímica do processo, onde os

medidores, anunciadores de alarmes e controles são dispostos refletindo o fluxo das operações realizadas nos sistemas, equipamentos.

A estrutura mímica do processo facilita a localização e monitoração dos medidores e controles associados, diminuindo as demandas relacionadas com a memória de curto prazo. Os medidores e anunciadores de alarmes associados estão posicionados em painéis verticais e os respectivos controles estão na mesa de controle. O alinhamento vertical entre os medidores e anunciadores de alarmes com os respectivos controles reflete as relações entre os sistemas e equipamentos.

Os medidores e controles foram agrupados em relação à função desempenhada nos sistemas, seqüência e freqüência de uso.

Os controles utilizados no desligamento rápido do reator são posicionados separadamente dos medidores e controles utilizados na operação normal.

- FONTE: IEC 964 (4.4.2)

INFORMAÇÕES: O posicionamento dos medidores e controles nos painéis e consoles deve ser baseado nos seguintes critérios:

- os painéis de alarmes devem ser visíveis para os operadores nos consoles de operação;
- os controles mais usados devem ser facilmente alcançados, considerando os operadores nos consoles de operação;
- os medidores relacionados com os controles mais usados devem ser lidos com facilidade, considerando os operadores nos consoles de operação.

COMENTÁRIOS: A correta integração dos controles e medidores possibilita ao operador visualizar as modificações apresentadas nos medidores, em função dos ajustes e acionamentos realizados nos controles. Neste caso, os controles e os medidores associados devem estar localizados próximos.

Na sala de controle avaliada, os medidores e anunciadores de alarmes associados estão posicionados em painéis verticais e os respectivos controles estão na mesa de controle. O alinhamento vertical entre os medidores e anunciadores de alarmes, com os respectivos controles, reflete as relações entre os subsistemas e equipamentos, facilitando a operação.

No console de controle mestre estão os controles e as informações relacionadas com a partida, subida de potência, operação em potência nominal, desligamento da turbina e desligamento do reator. Os medidores e alarmes associados com os controle citados anteriormente, estão localizados no painel superior de CWA. O projeto do console de controle mestre permite que os operadores do primário e secundário tenham fácil acesso aos controles e acionamentos. No caso de uma emergência, com o desligamento rápido do reator, é necessário que o operador do primário altere sua posição, ou seja, esteja em pé para ter acessos aos controles.

No console de informações, CWB, estão localizados medidores, registradores gráficos e os monitores coloridos para anunciação de alarmes e apresentação da tendência das variáveis.

No console de controle auxiliar estão diversos painéis formando uma área de controle em U. O console é dividido em quatro seções e sete painéis laterais. A seção principal deste console permite que o operador auxiliar realize sua atividade sentado ou em pé.

- FONTE: IEC 964 (4.5.3)

INFORMAÇÕES: Deve ser providenciada uma identificação adequada e consistente para os medidores e controles posicionados nos consoles e painéis de controle na sala de controle principal. Esta identificação deve estar de acordo com os estereótipos da população.

COMENTÁRIOS: Todos os medidores, mostradores são identificados de forma padronizada. Os controles que atuam nos sistemas, equipamentos apresentam terminologia padronizada baseada no sistema de identificação KKS (*Kraftwerk Kennzeichensystem*).

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (3.1.1.1; 3.1.1.2; 3.1.1.3; 3.1.1.4; 3.1.1.5; 3.1.1.8; 3.1.1.10; 3.1.1.11; 3.1.1.13; 3.1.1.15; 3.1.1.16; 3.1.2.1; 3.1.2.2; 3.1.2.3; 3.1.2.4; 3.1.2.5; 3.1.2.6; 3.1.2.7; 3.1.2.8); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (3.1.2.1; 3.1.2.2; 3.1.2.3; 3.1.2.4; 3.1.2.5; 3.1.2.6; 3.1.2.7; 3.1.2.8)

INFORMAÇÕES: Os dispositivos de entrada de dados e controle devem ser apropriados, estáveis e interagir com as *interfaces* segundo os requisitos das tarefas.

Um sinal visual ou sonoro pode estar associado com o uso dos dispositivos.

O sistema deve ser projetado de modo a evitar uma manipulação acidental dos dispositivos, que resultem em mudanças no *status* das funções e dos componentes.

Os dispositivos devem ocupar um espaço mínimo nas estações de trabalho, permitindo que a atuação nos controles seja realizada com segurança pelos operadores.

Os controles devem possuir travas que evitem a ativação acidental.

Para minimizar erros dos operadores, os movimentos dos controles devem estar de acordo com os estereótipos da população. Os controles usados para realizar as mesmas funções em equipamentos diferentes devem ter o mesmo tamanho.

Não devem ser usados mais de três tipos de tamanho de controles.

Quando possível, os controles devem ter a mesma forma.

A cor dos controles deve contrastar com a cor de fundo dos painéis.

Devem ser usadas as mesmas cores para relacionar um controle com seu dispositivo de apresentação de dados.

COMENTÁRIOS: Medidores, registradores gráficos, mostradores digitais, teclados numéricos, anunciadores de alarmes, chaves tipo *push buttons*, chaves rotativas, acionamentos através de chaves, são os componentes usados nos consoles e painéis de controle. Os medidores retangulares horizontais são usados na medição da temperatura. Os medidores retangulares verticais são usados na medição de posição. Os medidores quadrados são utilizados na medição de pressão e vazão.

Perto das botoeiras de acionamento existem lâmpadas que indicam se os controles foram acionados corretamente. A lâmpada acesa indica a posição real do acionamento. A lâmpada piscando rápido indica que o acionamento está sendo atuado.

Para executar medidas de controle nos consoles de controle e painéis, o operador da sala de controle emite um comando de duas mãos, ou seja, pressiona o botão de controle apropriado, simultaneamente com o botão de liberação. Esta característica foi prevista para garantir que comandos não sejam acionados inadvertidamente, evitando erros.

Através de uma estrutura mímica do processo, os medidores, anunciadores de alarmes e controles foram dispostos nos consoles e painéis de controle, refletindo o fluxo das operações realizadas nos sistemas, equipamentos.

A posição e a distância entre os medidores e controles nos consoles e painéis de controle permitem que os operadores tenham espaço suficiente para atuarem em determinados controles, evitando também o acionamento acidental de controles próximos.

As chaves rotativas com várias posições possuem travas que evitam a alteração acidental de sua posição inicial.

O acionamento das chaves e controles rotativos é feito da esquerda para a direita.

As chaves e controles rotativos têm a mesma forma e tamanho.

Os botões de acionamento e liberação têm a mesma forma e tamanho.

Os registradores gráficos têm o mesmo tamanho.

Os teclados numéricos são padronizados.

As chaves e controles rotativos têm a mesma cor.

As cores vermelha, verde, azul e cinza são utilizadas para botões de acionamento, liberação, desligamento e teste. A cor vermelha para botão de desligamento. A cor verde para botão de acionamento e liberação, com comando de duas mãos. A cor azul para botão de teste. A cor cinza para botão de acionamento sem habilitação.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (3.2.1.1; 3.2.1.2; 3.2.1.3; 3.2.1.22; 3.2.2.4); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (3.2.1.1; 3.2.1.2; 3.2.1.3; 3.2.1.22; 3.2.2.4)

INFORMAÇÕES: Deve ser usado um *layout* padrão para os teclados. Deve ser usado um *layout* padrão para o teclado numérico.

Para alguns comandos é necessário pressionar duas teclas simultaneamente.

Teclas com função fixa devem ser agrupadas de maneira lógica, colocadas em posições distintas no teclado e atuadas com um único toque.

COMENTÁRIOS: O *layout* dos teclados utilizados no console de controle mestre, CWA, é padronizado. Os teclados no console de controle mestre são posicionados próximos dos operadores do primário e do secundário.

No sistema de apresentação da tendência das variáveis, os operadores do primário e do secundário navegam entre as várias páginas que compõem o sistema, através de dois teclados numéricos posicionados no console de controle mestre. Esses teclados numéricos possuem um *layout* padronizado. Para executar um comando, o operador deve pressionar o botão LIGA do setor de controle de acionamento e, simultaneamente, a tecla de controle apropriada.

Teclas de funções específicas estão instaladas nos teclados numéricos posicionados no console de controle mestre, CWA. As teclas de funções específicas são atuadas com um único toque.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (3.3.1.1.1; 3.3.1.1.2; 3.3.1.1.3; 3.3.1.3.1; 3.3.1.3.2; 3.3.1.3.4);

INFORMAÇÕES: *Push buttons* devem ser posicionados e ordenados de maneira lógica, segundo a seqüência das ações.

Deve existir uma indicação, que mostre ao operador que um determinado *push button* foi acionado.

Todos os *push buttons* devem ser identificados e a leitura da identificação de cada *push button* deve ser facilitada pelas condições de iluminação da sala de controle.

A distância entre *push buttons* próximos é padronizada, evidenciando a separação física e facilitando a atuação dos operadores.

COMENTÁRIOS: Os *push buttons* são posicionados nos consoles e painéis de controle de maneira lógica, de acordo com o fluxo das operações realizadas nos sistemas e equipamentos.

Cada grupo de controle nos consoles e painéis de controle possui botões de acionamento, liberação, do tipo *push button*, com lâmpadas associadas, com cores, que informam o estado do sistema controlado.

A cor verde para as lâmpadas indica que o sistema está em operação, uma válvula foi aberta, uma bomba foi ligada. A cor branca para as lâmpadas indica que o sistema está fora de operação, uma válvula foi fechada, uma bomba foi desligada. A cor vermelha para as lâmpadas indica distúrbios, problemas. Todos os *push buttons* são identificados e a distância entre eles é padronizada.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (3.3.2.1.1; 3.3.2.1.2; 3.3.2.1.5)

INFORMAÇÕES: O acionamento dos controles rotativos é feito no sentido horário. A diferenciação dos controles rotativos, através da forma e tamanho, pode ser utilizada se esses controles são usados para diferentes funções e posicionados no mesmo painel. Os controles rotativos usados em distintas ações de controle devem ser diferentes. Os controles rotativos podem ser dos seguintes tipos: rotação contínua e rotação com retenção.

COMENTÁRIOS: O acionamento dos controles rotativos, posicionados nos consoles e painéis de controle, é feito no sentido horário. Os controles rotativos posicionados nos consoles e painéis de controle possuem a mesma cor, forma e tamanho. Alguns dos controles são de rotação contínua e outros com retenção.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (3.3.2.3.1; 3.3.2.3.4)

INFORMAÇÕES: São utilizados controles acionados através de chaves, quando as funções que estão sendo controladas, devem estar protegidas contra a ativação por pessoas não autorizadas. A condição de não acionamento deve ser orientada, de maneira que o estado DESLIGADO ou SEGURO corresponda à posição vertical das chaves. Os operadores só podem remover as chaves, quando elas estão posicionadas no estado DESLIGADO. As posições das chaves devem ser identificadas. A atuação é feita girando a chave no sentido horário.

COMENTÁRIOS: Nos consoles de controle mestre, CWA, são utilizados controles acionados através de chaves. As funções realizadas através do acionamento dessas chaves, permitem o bloqueio ou a liberação de determinados equipamentos, habilitação de modos de operação.

A condição de não acionamento, ou seja, o estado DESLIGADO, corresponde a posição vertical das chaves. Os operadores só podem remover as chaves, quando elas estão posicionadas no estado DESLIGADO.

Todas as posições das chaves são identificadas. A atuação é feita girando a chave no sentido horário.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (3.3.2.4.1; 3.3.2.4.2; 3.3.2.5.1; 3.3.3.1.1; 3.3.3.1.2)

INFORMAÇÕES: A indicação da posição dos controles de ajuste contínuo permite aos operadores uma rápida identificação do valor medido. Os controles de seleção rotativos com retenção devem ser usados, quando no mínimo três posições de retenção são necessárias.

Os operadores devem visualizar com facilidade os valores apresentados nos *thumbwheels*, localizados no consoles. Se um *thumbwheel* é usado como dispositivo de entrada de dados, as posições DESLIGADO, ZERO ou NORMAL devem ser identificadas, facilitando o reconhecimento do *status* do sistema.

COMENTÁRIOS: Os controles de seleção rotativos com retenção possuem no mínimo três posições de retenção.

Os operadores visualizam com facilidade os valores apresentados nos *thumbwheels*, localizados no console de controle mestre. A figura 44 mostra os *thumbwheels*.

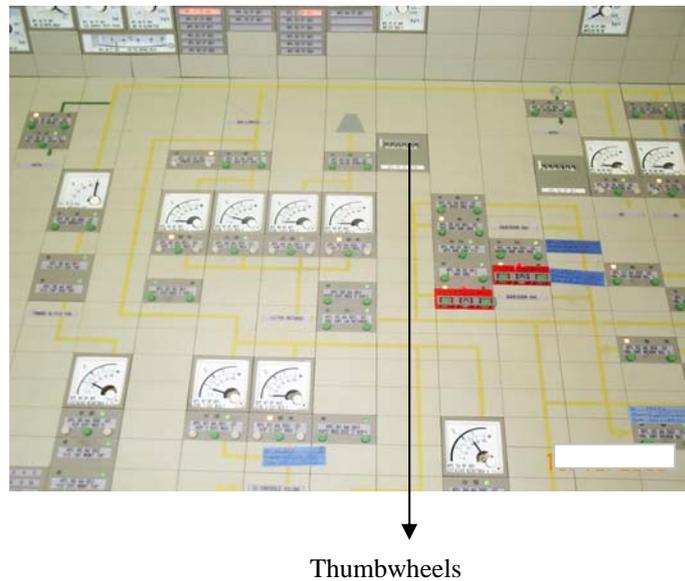


Figura 44: Thumbwheels

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (11.2.1.1.; 11.2.1.2; 11.2.1.3; 11.2.2.1.1; 11.2.2.1.2; ; 11.2.2.1.3; 11.2.2.1.4; 11.2.2.1.5; 11.2.2.2.1; 11.2.2.2.2; 11.2.2.2.3; 11.2.2.2.4; 11.2.2.2.5; 11.2.2.2.6; 11.2.2.2.8; 11.2.2.2.9; 11.2.2.3.1; 11.2.2.3.2; 11.2.3.1; 11.2.3.2; 11.2.3.3; 11.2.3.4; 11.2.3.5; 11.2.3.9)

INFORMAÇÕES: Os medidores devem ser localizados próximos do operador. Os operadores devem visualizar com facilidade os dados contidos nos medidores, considerando os operadores sentados e atuando nos consoles e painéis de controle. A posição dos controles não deve obstruir a visualização dos dados e informações.

Nos medidores circulares, o valor da variável aumenta no sentido horário. Nos medidores retangulares com escalas lineares, o valor da variável aumenta da esquerda para a direita ou de baixo para cima. Nos medidores com escalas circulares, o valor da variável aumenta no sentido horário.

Os seguintes critérios são usados no posicionamento e integração dos controles com os medidores:

- Múltiplos controles devem ser montados abaixo dos medidores. Caso não seja possível, os controles devem ser montados à direita.

- Múltiplos controles devem ser centralizados em relação aos medidores.
- Múltiplos controles podem ser agrupados em linha.
- Quando há uma seqüência normal de operação dos múltiplos controles, eles devem ser posicionados da esquerda para a direita ou de cima para baixo.
- Múltiplos medidores podem ser localizados acima de um único controle. Caso não seja possível, eles podem ser posicionados à esquerda do controle.
- Múltiplos medidores podem ser agrupados em linha.
- Quando é necessário a integração dos valores lidos nos medidores, os mesmos devem ser posicionados da esquerda para a direita ou de cima para baixo.
- Múltiplos medidores não devem ser obstruídos durante a operação.
- A configuração preferida é a seguinte: cada medidor localizado acima do controle associado e cada par de medidor e controle agrupados em filas horizontais.
- Duas ou mais filas horizontais de medidores podem ser agrupados acima de uma única fila horizontal de controles. Os medidores são posicionados da esquerda para a direita e de cima para baixo, em uma ordem normal de leitura. Os controles ordenados da esquerda para a direita. Controles e medidores devem ter as suas respectivas identificações.
- Quando os medidores estão em painéis separados, eles devem estar no painel superior adjacente dos seus controles.

COMENTÁRIOS: Os medidores estão localizados no console de controle mestre, CWA, console de informações, CWB, e painéis auxiliares. Os operadores do primário e secundário atuam no console de controle mestre e visualizam os dados apresentados nos medidores localizados no console de controle mestre e no console de informações. O operador auxiliar visualiza os dados apresentados nos medidores, localizados nos painéis auxiliares.

A posição dos controles não obstrui a visualização dos dados.

Os operadores do primário e do secundário só conseguem visualizar os dados apresentados nos medidores posicionados na parte inferior do console de informações, CWB, se estiverem em pé.

Nos medidores retangulares, o valor da variável aumenta da esquerda para a direita ou de baixo para cima. Nos medidores com escalas circulares, o valor da variável aumenta no sentido horário. A figura 46 mostra alguns medidores retangulares, nos quais a variável correspondente à temperatura aumenta da esquerda para a direita, nos quais a variável correspondente à posição aumenta de baixo para cima. A figura 45 também mostra alguns medidores quadrados com escalas circulares, nos quais as variáveis correspondentes à pressão e vazão aumentam no sentido horário.



Figura 45: Medidores Quadrados e Retangulares

Através de uma estrutura mímica do processo, que reflete o fluxo das operações realizadas nos subsistemas, os medidores estão localizados no painel vertical do console auxiliar, enquanto os controles estão localizados no console do painel auxiliar.

No console de controle mestre, através da representação da estrutura mímica do processo, os medidores são posicionados acima do seu respectivo grupo de controle. No painel vertical estão os anunciadores de alarme, relacionados com o sistema que está sendo representado.

Múltiplos controles são agrupados em linha. Os medidores não são obstruídos durante a operação.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (11.4.1.6; 11.4.1.7)

INFORMAÇÕES: Devem ser usadas técnicas para realçar, diferenciar os controles de emergência.

COMENTÁRIOS: Os controles utilizados para o desligamento rápido do reator são posicionados na parte superior do console de controle mestre, CWA. Esses controles possuem proteção contra a ativação acidental e são diferenciados pela cor vermelha.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (11.4.2.4; 11.4.2.6; 11.4.2.7)

INFORMAÇÕES: Os controles e medidores devem estar posicionados nos painéis e consoles da esquerda para a direita ou de cima para baixo.

A posição de grupos funcionais similares deve ser igual de painel para painel ou no próprio painel.

O *layout* de grupos de controles idênticos deve ser consistente em todos os painéis.

O *layout* de grupos de medidores idênticos deve ser consistente em todos os painéis.

COMENTÁRIOS: A correta integração dos controles e medidores possibilita ao operador visualizar as modificações apresentadas nos medidores, em função dos ajustes e acionamentos realizados nos controles. Neste caso, os controles e os medidores associados devem estar localizados próximos. No caso da sala de controle avaliada, foi utilizada uma estrutura hierárquica, apresentando a mímica do processo, onde os medidores, anunciadores de alarmes e controles são dispostos refletindo o fluxo das operações realizadas nos subsistemas, equipamentos.

Na sala de controle avaliada, os medidores e anunciadores de alarmes associados estão posicionados em painéis verticais e os respectivos controles estão na mesa do console de controle. O alinhamento vertical entre os medidores e anunciadores de alarmes com os respectivos controles reflete as relações entre os subsistemas e equipamentos.

Alguns controles posicionados no console de controle mestre, CWA, estão também repetidos na seção CWN do console de controle auxiliar.

O *layout* de grupos de controles e medidores idênticos é igual em todos os consoles e painéis.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (11.4.2.9; 11.4.3.2)

INFORMAÇÕES: A padronização deve ser mantida quando painéis similares são utilizados em diversas estações de trabalho. A atuação de um controle não pode resultar na atuação de um controle adjacente.

COMENTÁRIOS: No console de controle mestre, CWA, a padronização é mantida, quando os medidores e anunciadores de alarmes associados estão posicionados em painéis verticais e os respectivos controles estão na mesa do console de controle.

A atuação de um controle não interfere no controle adjacente.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (11.4.3.4; 11.4.3.6)

INFORMAÇÕES: Devem ser usadas filas horizontais de medidores, ao invés de colunas de medidores. No máximo 5 componentes similares devem ser posicionados em uma mesma fila.

COMENTÁRIOS: Nos painéis e console de controle, os medidores são posicionados em filas horizontais.

- FONTE: NUREG 700 Revisão2, Cap.1 (11.3.1.1.1; 11.3.1.1.2; 11.3.1.1.3)

INFORMAÇÕES: Controles e medidores que devem ser manipulados e localizados com rapidez pelos operadores devem ser identificados de maneira clara e apropriada. Um esquema de identificação hierárquica deve ser usado, reduzindo o tempo de procura por parte dos operadores.

Etiquetas principais são utilizadas para identificar os principais sistemas ou as estações de trabalho dos operadores. Etiquetas secundárias são usadas para identificar subsistemas ou grupos funcionais. Etiquetas para componentes são usadas para identificar elementos dos consoles.

COMENTÁRIOS: Todos os sistemas, equipamentos e componentes apresentam terminologia de identificação padronizada baseada no sistema de identificação KKS (*Kraftwerk Kennzeichensystem*). Este sistema permite identificar com precisão os sistemas, os componentes e as estruturas da usina nuclear, de acordo com a sua função, tipo e localização.

Graças a essa sistemática, todos os documentos apresentam uma única denominação para um mesmo componente.

As exigências básicas para o desenvolvimento do KKS incluíram a identificação detalhada e padronizada de todos os sistemas, equipamentos e componentes, de acordo com as suas funções no processo, com a identificação dos locais de instalação de um sistema ou subsistema, com a identificação das estruturas, áreas externas, salas e áreas de incêndios, onde estão montados os sistemas, subsistemas e equipamentos. Para facilitar o entendimento e a memorização, os níveis de identificação são preenchidos com registros alfanuméricos. O nível zero é utilizado para identificar de modo preciso as extensões da planta nuclear, por exemplo: unidade 2 e unidade 3.

No nível um, caso haja mais de um sistema semelhante em uma usina, por exemplo, dois sistemas de geração de calor semelhantes ou dois conjuntos turbogeradores, cada um desses é então referenciado por meio de um carácter.

A usina é então subdividida em:

- grupos principais, por exemplo: J = geração nuclear de calor;
- grupos secundários, por exemplo: JE = sistema de refrigeração do reator;
- subgrupos, por exemplo: JEG10 = circuito 10 de refrigeração do tanque de alívio do pressurizador.

O conteúdo do nível 2, correspondente à unidade. No caso da identificação por processo, existem equipamentos mecânicos, circuitos elétricos, instrumentação e controle. No caso da identificação por compartimento existem salas, áreas de incêndio. Por exemplo: JA 0424 – Edifício do reator (UJA), 4 piso, sala 24.

No conteúdo do nível 3 são identificados os componentes da engenharia mecânica, elétrica ou do controle. Esse nível corresponde aos componentes da usina tais como: bomba, ventilador, motor, amplificador, tanque etc. Por exemplo: AP 001 – Bomba 1.

Seja o seguinte exemplo:

JEG10 – Nível 1

JA0424 – Nível 2

AP001 – Nível 3

Assim teremos: bomba 1 do circuito 10 de refrigeração do tanque de alívio do pressurizador, instalada no edifício UJA, quarto piso, sala 24.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (11.3.1.2.1; 11.3.1.2.2; 11.3.1.2.3; 11.3.1.2.4; 11.3.1.2.5; 11.3.1.2.6)

INFORMAÇÕES: A identificação deve ser posicionada acima dos componentes, que estão sendo descritos. Para assegurar a visibilidade da identificação, as etiquetas devem ser colocadas próximas dos componentes, que estão sendo descritos.

A identificação de um controle não deve estar oculta, quando o operador realiza o ajuste ou a manipulação de um controle. Identificações adjacentes devem ser separadas por um espaço suficiente.

COMENTÁRIOS: Na sala de controle avaliada a identificação não é colocada acima dos componentes. A identificação é colocada próxima dos componentes. Identificações adjacentes são separadas por um espaço suficiente.

A identificação de um controle não fica oculta, quando o operador atua em um controle.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (11.3.1.2.9; 11.3.1.2.10; 11.3.1.2.11; 11.3.1.2.12; 11.3.1.2.13)

INFORMAÇÕES: A identificação deve ser orientada horizontalmente, possibilitando sua fácil leitura da esquerda para a direita. Não devem ser utilizadas letras com formatos especiais. A identificação não deve obstruir outras informações, escalas que devam ser lidas pelos operadores. A identificação deve ser visível para o operador durante as ações de controle.

COMENTÁRIOS: As identificações são colocadas na posição horizontal. Não são utilizadas letras com formatos especiais. Uma identificação não obstrui outras identificações.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (11.3.1.3.1; 11.3.1.3.2; 11.3.1.3.3; 11.3.1.3.4; 11.3.1.3.5; 11.3.1.3.6; 11.3.1.3.8)

INFORMAÇÕES: As etiquetas de identificação devem descrever as funções dos medidores, controles e equipamentos, além de expressar de maneira clara e simples as ações pretendidas.

As palavras, abreviações e símbolos usados nos painéis devem ter um significado comum e único para todos os operadores.

Não deve existir diferença entre a nomenclatura usada nos procedimentos e a utilizada nos painéis e consoles.

Palavras e abreviações com aparência similar não devem ser utilizadas, evitando assim erros de interpretação.

COMENTÁRIOS: As etiquetas de identificação descrevem as funções realizadas pelos medidores, mostradores e controles. Todos os sistemas, equipamentos e componentes apresentam terminologia padronizada baseada no sistema de identificação KKS.

A terminologia usada nos painéis e consoles tem um significado comum e único para os operadores. Não existe diferença entre a nomenclatura usada nos procedimentos e a utilizada nos painéis e consoles.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (11.3.1.4.1; 11.3.1.4.2; 11.3.1.4.3; 11.3.1.4.4; 11.3.1.4.6; 11.3.1.4.7; 11.3.1.4.8; 11.3.1.4.9)

INFORMAÇÕES: Identificações temporárias devem ser usadas, quando necessárias. Caso não seja necessária a substituição das identificações antigas, as identificações temporárias não devem obstruir as identificações permanentes. As identificações temporárias devem claramente identificar os componentes e equipamentos. As identificações temporárias devem ser fixadas de maneira apropriada. As identificações temporárias não devem obstruir qualquer dispositivo adjacente, nem a sua identificação. O uso de identificações temporárias deve ser controlado administrativamente. O uso e controle das identificações temporárias devem ser periodicamente revistos.

COMENTÁRIOS: Cartões de sinalização são identificações temporárias, que são usados com a finalidade de informar à todos os funcionários as condições de determinados equipamentos e componentes. Existem cinco tipos de cartão de sinalização: segurança, precaução, simulação, aviso e instalação provisória.

O cartão de segurança, na cor vermelha, é utilizado com o objetivo de alertar que o equipamento, componente não pode ser atuado.

O cartão de precaução, na cor amarela, alerta os operadores sobre restrições na operação de equipamentos e componentes.

O cartão de simulação, na cor rosa, indica a presença de um sinal de simulação.

O cartão de aviso, na cor azul, indica que uma solicitação de trabalho já foi aberta para o defeito ou falha no equipamento.

O cartão de instalação provisória, na cor branca, indica uma instalação provisória de um componente.

Um cartão de sinalização somente pode ser aplicado, alterado e removido pelo grupo de operação. O seu uso é controlado pelo setor de operação.

Existem dois tamanhos de cartão. O cartão menor é instalado em locais onde os cartões maiores possam causar transtorno à operação, dificultando a visibilidade das informações. O cartão maior é mais utilizado no campo, devendo ser protegido por um envelope plástico transparente.

O cartão de sinalização deve ser firmemente colocado no equipamento ou componente.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (11.3.2.1; 11.3.2.2; 11.3.2.3; 11.3.2.4; 11.3.2.5)

INFORMAÇÕES: Linhas são usadas para demarcar controles e medidores relacionados funcionalmente. As linhas de demarcação devem ser visualmente distintas. As linhas de demarcação devem ser permanentemente fixadas. As cores utilizadas nas linhas de demarcação devem ser consistentes em todos os consoles e painéis de controle. As cores utilizadas devem ser específicas para determinados sistemas, auxiliando na identificação pelos operadores.

COMENTÁRIOS: A correta integração dos controles e medidores possibilita ao operador visualizar as modificações apresentadas nos medidores, em função dos ajustes e acionamentos realizados nos controles. Neste caso, os controles e os medidores associados devem estar localizados próximos. Na sala de controle avaliada, foi utilizada uma estrutura hierárquica apresentando a mímica do processo, onde os medidores, anunciadores de alarmes e controles são dispostos refletindo o fluxo das operações nos sistemas e equipamentos.

Na sala de controle avaliada, os medidores e anunciadores de alarmes associados estão posicionados em painéis verticais e os respectivos controles estão na mesa do console de controle. O alinhamento vertical entre os medidores e anunciadores de alarmes com os respectivos controles, reflete as relações entre os sistemas e equipamentos.

A mímica do processo é representada através de linhas de demarcação com cores distintas. A direção do fluxo do processo é de baixo para cima e da esquerda para a direita. Outros fluxos são indicados através de setas.

As linhas de demarcação são usadas nos controles e medidores relacionados funcionalmente e nos sistemas relacionados com esses controles e medidores

O capítulo 18 do relatório final de análise de segurança exemplifica algumas cores usadas para representar a mímica do processo em alguns sistemas. Por exemplo:

- símbolos gráficos: cor cinza
- circuito do gerador de vapor: cor vermelha
- refrigeração do reator: cor roxa
- aquecedores da água alimentação: cor verde

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (11.3.1.5.2)

INFORMAÇÕES: As cores escolhidas para as letras, que formam a identificação, devem contrastar com as cores dos painéis. A tabela 19 apresenta as principais combinações de cores. As identificações devem ser formadas com letras maiúsculas e números. O espaço mínimo entre palavras deve ser o correspondente a uma largura de um carácter.

Tabela 19: Legibilidade da Combinação de Cores

Legibilidade	Combinação de cores
Muito boa	Letra preta em um fundo branco
Boa	Letra preta em um fundo amarelo Letra azul escuro em um fundo branco Letra verde em um fundo branco
Médio	Letra vermelha em um fundo branco Letra vermelha em um fundo amarelo Letra branca em um fundo preto
Fraca	Letra verde em um fundo vermelho Letra vermelha em um fundo verde Letra laranja em um fundo preto Letra laranja em fundo branco

COMENTÁRIOS: A cor dos painéis e do console de controle é bege clara. A identificação dos controles, medidores e componentes é formada por números e letras pretas maiúsculas. Essas letras estão fixadas em um painel menor cinza claro. Esse painel menor está fixado em um painel maior cinza escuro, que está posicionado no console de controle e nos painéis de cor bege clara. A legibilidade é avaliada como sendo muito boa.

A.4 Sistema de Alarmes

- FONTE: IAEA-TECDOC 812 (3.3.1); IAEA-TECDOC 565 (4.1.1.3)

INFORMAÇÕES: Os alarmes apresentam uma hierarquia, baseada nas seguintes cores:

- Vermelho: requer uma ação imediata do operador para corrigir uma falha.
- Amarelo: requer uma ação do operador. O tempo exigido para realizar essa ação é definido pela natureza da falha.
- Branco: indica uma mudança no estado de uma variável.
- Verde: uma ação automática sendo realizada. Os operadores devem imediatamente verificar se a ação requisitada pelo sistema foi realizada.

COMENTÁRIOS: O sistema de anúncio de alarmes é formado pela combinação do sistema de alarme computadorizado e do sistema de alarme convencional. Os alarmes são classificados como alarmes de classe S, classe 1 e classe 2.

O alarme de classe S é o sinal gerado pelo sistema de segurança, cujo surgimento obriga os operadores a adotarem medidas de emergência, previamente escritas, dentro de um determinado intervalo de tempo. O sistema de proteção do reator é projetado de forma que as ações manuais de proteção para controle de acidentes não sejam necessárias antes de um período de 30 minutos. Os alarmes de classe S são os seguintes: transferência para remoção de calor residual, ruptura de tubo do gerador de vapor 1, ruptura de tubo do gerador de vapor 2, falha do sistema de água de alimentação. São indicados com sinal visual vermelho.

Os alarmes de classe 1 indicam aos operadores a existência de um distúrbio nos sistemas de segurança do reator. São indicados com sinal visual amarelo.

Os alarmes de classe 2 estão relacionados com a disponibilidade da usina nuclear. São indicados com sinal visual branco em botoeiras idênticas às usadas na classe 1.

- FONTE: IAEA-TECDOC 565 (4.1.1.3)

INFORMAÇÕES: Ocorrendo uma falha, persistindo a falha ou qualquer mudança não programada nos estados das variáveis, deve ocorrer uma sinalização visual e sonora, que leve o operador a realizar as ações corretivas necessárias. Quando uma unidade está operando normalmente, não deve acontecer qualquer sinal de alarme. No caso de uma falha ou quando ocorrer um incidente, o número de alarmes deve ser limitado. Neste caso, devem estar presentes os alarmes originados pela principal falha, os alarmes resultantes de uma ação de segurança e os alarmes resultantes de um desvio no funcionamento de uma seqüência automática implementada.

COMENTÁRIOS: O sistema de anúncio de alarmes é formado por uma combinação do sistema de alarme computadorizado e do sistema de alarme convencional. Esses dois sistemas funcionam simultaneamente e são independentes. Os alarmes são classificados como alarmes de classe S, alarmes de classe 1 e alarmes de classe 2. Assim que é atingida a condição de anormalidade dos valores das variáveis, é emitido um sinal visual e um sinal sonoro. Os alarmes de classe 1 e classe 2 são identificados através de um sinal sonoro. Os alarmes de classe S são identificados por outro sinal sonoro.

- FONTE: IEC 964 (4.6.4)

INFORMAÇÕES: O sistema de alarme deve:

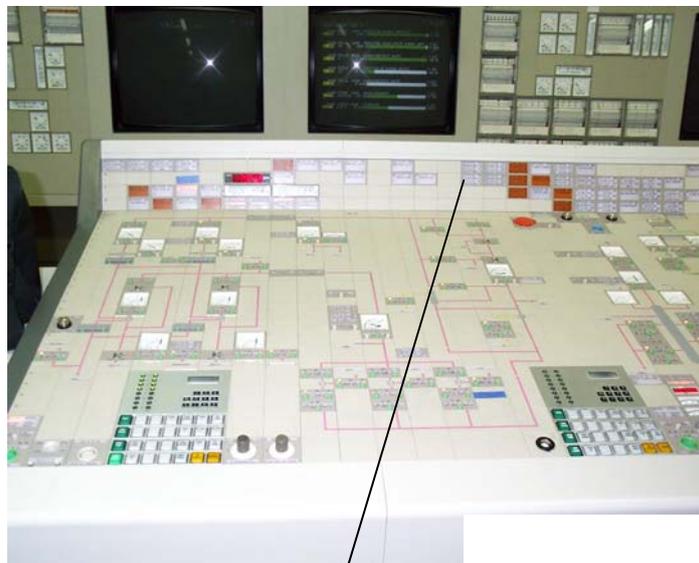
- apresentar informações que possibilitam os operadores entenderem as falhas, conforme elas ocorram e evitar sobrecarga de informações;

- possibilitar que os operadores removam informações irrelevantes, mas assegurar que informações relevantes e importantes sejam apresentadas de uma maneira, que otimize a capacidade de entendimento do operador;
- apresentar aos operadores as informações mais representativas das condições anormais de operação;
- apresentar informações, que permitam ao operador identificar facilmente um alarme e sua consequência.

COMENTÁRIOS: O sistema de alarme é formado pelos equipamentos necessários à formação e anunciação dos sinais gerados por perturbações nos diversos processos. O sistema de anunciação de alarmes é formado por uma combinação do sistema de alarme computadorizado e do sistema de alarme convencional.

O sistema convencional de alarme faz o encaminhamento dos sinais de alarmes para os consoles de controle e painéis de controle locais.

Todos os alarmes que surgem são sonoramente e visualmente anunciados. Um alarme visual e sonoro ocorre, quando o desvio entre o valor real e o valor desejado da variável é maior que o permitido. Um alarme pode ser anunciado por mais de um meio, de forma a possibilitar o seu rápido esclarecimento. A figura 46 mostra o sistema convencional de alarme.



Alarmes

Figura 46: Sistema Convencional de Alarmes

O sistema de alarme computadorizado apresenta as mensagens de alarmes em dois monitores coloridos, posicionados no console de informações. Para mostrar o grande número de alarmes no vídeo, a anunciação de alarmes via computador é subdividida em dois grupos de prioridades. Cada tipo de alarme necessita de um tempo específico para as ações corretivas a serem tomadas pelo operador.

Existe uma estratégia para apresentação de alarmes, nos casos em que o número de alarmes seja tão alto que eles não possam ser processados simultaneamente.

A anunciação de alarmes é dividida então em duas prioridades.

Se o alarme contiver informações sobre possível restrição na geração de energia ou na seqüência de partida ou parada do reator nuclear, ele deverá ser classificado como de prioridade 1. Os alarmes subsequentes, provenientes das ações de proteção são de prioridade 2.

Os alarmes relacionados à geração que não requeiram intervenção manual direta, mas que exijam atenção serão sempre de prioridade 1.

Os alarmes não relacionados à geração são sempre de prioridade 2, assim como os que não exigem atuação imediata do operador na sala de controle.

Os alarmes de ambas as prioridades são normalmente indicados no monitor de vídeo. Se o número de alarmes não reconhecidos em um determinado vídeo exceder o limite previsto, é feita a supressão

automática e escalonada dos alarmes de prioridade dois. Isto é, todos os alarmes de prioridade dois da área de alarmes com o maior número de anunciações serão suprimidos. Se o número de alarmes exceder novamente o limite, serão suprimidos os alarmes da área de alarmes seguinte. Se necessário, é possível uma nova apresentação dos alarmes suprimidos no monitor. Também é mostrada no vídeo a indicação de que a supressão dos alarmes de prioridade 2 está presente. A figura 47 mostra o sistema de alarme computadorizado.



Figura 47: Sistema de Alarme Computadorizado

- FONTE: NUREG/CR-6684 (4.1.1)

INFORMAÇÕES: O sistema de alarme deve alertar o operador sobre a existência de desvios no sistema ou no processo, deve informar ao operador sobre a prioridade e natureza do desvio, conduzir a resposta inicial do operador para o desvio, confirmar se a resposta do operador corrigiu o desvio.

COMENTÁRIOS: O sistema de alarme é formado pelos equipamentos necessários à formação e anunciação dos sinais gerados por perturbações nos diversos processos. O sistema de anunciação de alarmes é formado por uma combinação do sistema de alarme computadorizado e do sistema de alarme convencional.

Todos os alarmes que surgem são sonoramente e visualmente anunciados.

O sistema convencional de alarme faz o encaminhamento dos sinais de alarmes para os consoles de controle e painéis de controle locais.

O sistema de alarme computadorizado faz a apresentação dos sinais de alarmes em dois monitores coloridos posicionados no console de informações.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (4.1.1.1); NUREG/CR-6684 (4.2.1)

INFORMAÇÕES: Os seguintes critérios devem ser incluídos como condição básica para a escolha dos alarmes: monitorar funções críticas de segurança, evitar danos à população, evitar danificar os equipamentos, monitorar pontos de decisão incluídos nos procedimentos de emergência.

COMENTÁRIOS: O reconhecimento dos alarmes é feito pelos operadores na sala de controle principal, através do sistema de alarme convencional e computadorizado. A função dos sistemas de alarmes é obter dados dos principais parâmetros da usina nuclear e processá-los de tal modo que falhas sejam detectadas e diagnosticadas tão rápido quanto possível.

Os alarmes são classificados como alarme de classe S, classe 1 e classe 2. O alarme de classe S é o sinal gerado pelos sistemas de segurança, cujo surgimento obriga os operadores a adotarem medidas de

emergência, previamente escritas, dentro de um determinado intervalo de tempo. São indicados com sinal visual vermelho.

O alarme de classe 1 indica ao pessoal de operação a existência de um distúrbio nos sistemas de segurança do reator. São indicados com sinal visual amarelo.

Os alarmes de classe 2 estão relacionados com a disponibilidade da usina nuclear. São indicados com sinal visual branco em botoeiras idênticas às usadas na classe 1. Eles são mostrados nos monitores do sistema computadorizado de alarme e registrados pela impressora. Eles também estão localizados junto aos sistemas a que pertencem, no console de controle mestre e nos painéis de controle auxiliares.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (4.1.1.2); NUREG/CR-6684 (4.2.2)

INFORMAÇÕES: Os pontos de atuação dos alarmes devem ser escolhidos, de modo a assegurar que o grupo de operação possa monitorar e realizar as ações apropriadas, para cada categoria de alarmes, em um tempo determinado.

COMENTÁRIOS: Para os alarmes de classe S, o sistema de proteção do reator é projetado de forma que as ações manuais de proteção para controle de acidentes não sejam necessárias antes de um período de 30 minutos.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (4.1.2.1); NUREG/CR-6684 (4.3.1)

INFORMAÇÕES: O sistema de processamento dos alarmes deve assegurar, que os alarmes que necessitam de uma resposta imediata dos operadores ou que indicam uma ameaça para a segurança da usina, sejam apresentados de uma maneira que suportam uma rápida detecção e entendimento por parte dos operadores.

COMENTÁRIOS: O sistema de alarme é formado pelos equipamentos necessários à formação e anúnciação dos sinais gerados por perturbações nos diversos processos. O sistema de anúnciação de alarmes é formado por uma combinação do sistema de alarme computadorizado e do sistema de alarme convencional.

Todos os alarmes que surgem são sonoramente e visualmente anunciados. O alarme de classe S obriga os operadores a adotarem medidas de emergência, previamente escritas, dentro de um determinado intervalo de tempo. O sistema de proteção do reator é projetado de forma que as ações manuais de proteção para controle de acidentes não sejam necessárias antes de um período de 30 minutos. Os alarmes de classe S são indicados com sinal vermelho no painel vertical do console de controle mestre, CWA, nos painéis auxiliares de proteção e nos monitores posicionados no console de informações, CWB.

Os alarmes de classe 1 indicam ao operadores a existência de um distúrbio nos sistemas de segurança do reator. São indicados com sinal luminoso amarelo no painel vertical do console de controle mestre, CWA, nos painéis auxiliares dos sistemas e nos monitores posicionados no console de informações, CWB.

Os alarmes de classe 2 estão relacionados com a disponibilidade da usina. São indicados com sinal luminoso branco em botoeiras idênticas às usadas na classe 1. Os alarmes classe 2 estão localizados junto aos sistemas a que pertencem nos painéis de controle. Eles também são apresentados nos monitores posicionados no console de informações, CWB.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (4.1.2.5); NUREG/CR-6684 (4.3.5)

INFORMAÇÕES: Mensagens que indicam o *status* dos sistemas, mas não pretendem alertar o operador para a necessidade de uma ação, não devem ser apresentados através do sistema de alarme computadorizado.

COMENTÁRIOS: As mensagens mostradas nos monitores do sistema computadorizado são indicações de alarmes. Esses alarmes são agrupados em 8 grupos. Cada grupo de alarmes pode ser associado a um monitor de vídeo, através do teclado posicionado no console de informações, CWB. Isso permite o agrupamento de indicações em um monitor de vídeo ou a sua distribuição em vários monitores de vídeo, conforme seja adequado a cada modo de operação, ou seja, partida, parada e operação normal. No máximo sete indicações por monitor, com no máximo duas linhas por indicação, são apresentadas

simultaneamente. Se mais de 7 indicações forem recebidas, somente as mais antigas, se não reconhecidas, serão mostradas. Todas as outras serão mostradas seqüencialmente após o reconhecimento das indicações apresentadas. As indicações reconhecidas, que não estiverem mais presentes no monitor, mas ainda estejam ativas, poderão ser novamente apresentadas na tela. No caso de grande número de indicações de alarmes, as indicações definidas como de menor prioridade serão automaticamente retiradas do monitor do respectivo grupo de alarmes.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (4.1.2.6); NUREG/CR-6684 (4.3.6)

INFORMAÇÕES: Devem ser previstos sistemas que auxiliam os operadores nos diagnósticos de falhas e analisem a causa raiz de um evento, identificando eventos associados com o desligamento automático da planta.

COMENTÁRIOS: O computador de critérios tem como função localizar, identificar e eliminar erros na seqüência de controle da usina nuclear.

Quando ocorre uma falha nos controles automáticos, ou quando surge uma situação de anormalidade, os operadores se confrontam com um desafio extraordinário e necessitam, então, de informação sobre o ponto em que a seqüência foi interrompida e sob quais condições pode ser retomada a seqüência de controle. O computador de critérios fornecer informações relacionadas com essa falha, mas somente quando exigida pelo operador. A informação produzida é o resultado da comparação com uma seqüência de operação predefinida, salientando os critérios que não foram seguidos. O computador de critérios apresenta essas informações de acordo com a estrutura do grupo funcional e das *interfaces* de controle de acionamento. As representações das *interfaces* de controle mostram o *status* dos intertravamentos dos acionamentos e a condição dos intertravamentos.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (4.1.3.1; 4.1.3.2); NUREG/CR-6105 (4.4.1; 4.4.3); NUREG/CR-6684 (4.4.1; 4.4.2; 4.4.3)

INFORMAÇÕES: Mensagens de alarme devem ser apresentadas aos operadores em ordem de prioridades, indicando as ações necessárias para a usina nuclear alcançar a segurança. O número de níveis de prioridade não deve ser maior que quatro.

Quando alguns alarmes não são mais apresentados, os operadores devem ser capazes de ter acesso as informações dos alarmes não mais presentes.

COMENTÁRIOS: As mensagens de alarmes são apresentadas nos monitores do sistema computadorizado de alarmes. Para mostrar o grande número de alarmes no vídeo, a anúncio de alarmes via computador é subdividida em duas prioridades.

Se o alarme contiver informações sobre possível restrição na geração de energia ou na seqüência de partida ou parada, ele deverá ser classificado como de prioridade 1. Os alarmes subsequentes, provenientes das ações de proteção são de prioridade 2.

Os alarmes relacionados à geração que não requeiram intervenção manual direta, mas que exijam atenção, serão sempre de prioridade 1.

Os alarmes não relacionados à geração de energia são sempre de prioridade 2.

Os alarmes de ambas as prioridades são normalmente indicados no monitor de vídeo. Se o número de alarmes não reconhecidos em um determinado monitor exceder o limite previsto, é feita a supressão automática e escalonada dos alarmes de prioridade dois. Isto é, todos os alarmes de prioridade dois, com o maior número de anúncios, serão suprimidos. Se o número de alarmes exceder novamente o limite, serão suprimidos os alarmes da área seguinte. Também é mostrada no monitor a indicação de que a supressão dos alarmes de prioridade 2 está presente.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (4.2.1.1); NUREG/CR-6684 (4.5.1.1)

INFORMAÇÕES: O sistema de alarme deve auxiliar o operador no discernimento sobre:

- as mensagens de alarme;
- o estado dos alarmes: novo, conhecimento e desativação;
- os alarmes que implicam no desligamento do reator.

COMENTÁRIOS: Os alarmes são classificados como classe S, classe 1 e classe 2. O alarme de classe S obriga os operadores a adotarem medidas de emergência, previamente escritas, dentro de um determinado intervalo de tempo. Os alarmes de classe S são indicados com sinal vermelho no painel vertical do console de controle mestre, CWA, nos painéis de proteção e nos monitores posicionados no console de informações, CWB.

Os alarmes de classe 1 indicam ao operadores a existência de um distúrbio nos sistemas de segurança do reator. São indicados com sinal amarelo no painel vertical do console de controle mestre, CWA, nos painéis auxiliares dos sistemas e nos monitores posicionados no console de informações, CWB.

Os alarmes de classe 2 estão relacionados com a disponibilidade da usina. São indicados com sinal branco em botoeiras idênticas às usadas na classe 1. Os alarmes classe 2 estão localizados junto aos sistemas a que pertencem nos painéis de controle. Eles também são apresentados nos monitores posicionados no console de informações, CWB.

O reconhecimento de um alarme é a confirmação dada pelo operador de que tomou conhecimento da ocorrência de um alarme. As áreas para as botoeiras de reconhecimento dos alarmes são distribuídas pelos painéis e consoles de controle. Foram criadas 20 áreas de reconhecimento para os mesmos, sendo que os anunciadores de alarme são organizados logo acima dos sistemas a que estão subordinados.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (4.2.1.4); NUREG/CR-6105 (4.5.1.4); NUREG/CR-6684 (4.5.1.4)

INFORMAÇÕES: Alarmes espacialmente dedicados e continuamente visíveis são utilizados em situações, que necessitam de uma resposta rápida do operador, auxiliam no diagnóstico e na resposta aos distúrbios da planta nuclear, mantendo uma consciência total em relação ao *status* da usina nuclear e dos sistemas.

COMENTÁRIOS: Nos alarmes espacialmente dedicados e continuamente visíveis, as informações estão presentes sempre na mesma posição e continuamente disponíveis para o operador, ou seja, o operador não precisa selecionar o alarme. Segundo a NUREG 700, este tipo de alarme apresenta certas vantagens em relação às mensagens de alarmes apresentadas nos monitores de vídeo, pois possibilita uma rápida detecção e otimiza o padrão de reconhecimento. Na sala de controle avaliada o sistema convencional de alarmes é espacialmente dedicado e continuamente visível.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (4.2.2.1; 4.2.2.2; 4.2.3.1; 4.2.3.2; 4.2.3.3; 4.2.3.4; 4.2.3.5); NUREG/CR-6105 (4.5.2.2; 4.5.3.4); NUREG/CR-6684 (4.5.2.1; 4.5.2.2; 4.5.3.1; 4.5.3.2; 4.5.3.3; 4.5.3.4; 4.5.3.5)

INFORMAÇÕES: Para alarmes não espacialmente dedicados, ou seja, mensagens de alarmes, é necessário que exista uma área suficiente na tela, que possibilite a visualização dos alarmes de alta prioridade. A apresentação de alarmes de alta prioridade pode anular a apresentação de alarmes de menor prioridade.

Novos alarmes devem ser indicados através de sinais sonoros e visuais. Se o operador não está visualizando a tela do sistema, quando surgem novas mensagens de alarme, o sistema deve notificar que um novo alarme está presente, apresentando a prioridade e a localização da mensagem de alarme. Depois que o operador reconheceu o alarme, pressionou o botão de reconhecimento, a apresentação do alarme deve mudar para um estado visualmente distinto e o sinal de alarme deve cessar. O retorno da condição de alarme para condição de normalidade deve ser acompanhado por um sinal sonoro ou visual.

COMENTÁRIOS: As mensagens de alarmes são apresentadas nos monitores do sistema computadorizado de alarmes. Para mostrar o grande número de alarmes no vídeo, a anúncio de alarmes via computador é subdividida em duas prioridades, ou seja, prioridade um e prioridade dois. Os alarmes de ambas as prioridades são normalmente apresentados no monitor de vídeo. Se o número de alarmes não reconhecidos em um determinado vídeo exceder o limite previsto, é feita a supressão automática e escalonada dos alarmes de prioridade dois.

No máximo sete alarmes, com no máximo duas linhas, são apresentados simultaneamente no monitor do sistema. Se mais de sete alarmes forem processados, somente os sete últimos não reconhecidos, serão apresentados no monitor. Os alarmes mais recentes são apresentados em ordem cronológica. Os novos alarmes são indicados através de sinais sonoros e visuais. O reconhecimento de um novo alarme é feito

através de chaves *pushbuttons*, localizadas no console de controle. A indicação da chegada de um novo alarme é feita através de lâmpadas sinalizadoras piscando e com um sinal sonoro. Após o reconhecimento de um novo alarme, o sinal sonoro desaparece. Caso o alarme não tenha sido solucionado, a lâmpada continua piscando. Caso o alarme tenha sido solucionado, o estado da lâmpada muda, ou seja, fica continuamente iluminada e posteriormente é desativada, voltando para a condição inicial, apagada.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (4.2.5.1; 4.2.5.2; 4.2.5.3; 4.2.5.4; 4.2.5.5; 4.2.5.6; 4.2.5.7; 4.2.5.8; 4.2.5.9); NUREG/CR-6105 (4.5.5.1.1; 4.5.5.1.5); NUREG/CR-6684 (4.5.5.1.1; 4.5.5.1.2; 4.5.5.1.3; 4.5.5.1.4; 4.5.5.1.5; 4.5.5.1.6; 4.5.5.1.7; 4.5.5.1.8; 4.5.5.2.1; 4.5.5.2.2)

INFORMAÇÕES: As seguintes informações devem estar disponíveis nas mensagens de alarmes: título, sensores que geraram o alarme, prioridade dos alarmes, valores dos parâmetros, níveis de acionamento, ações imediatas exigidas dos operadores. O texto do alarme deve ser de fácil entendimento e usar uma terminologia padronizada. O conteúdo de cada mensagem deve identificar a fonte do alarme. Cada mensagem de alarme deve indicar sua prioridade. Se o alarme requer uma verificação antes de uma ação ser realizada, os limites de acionamento dos alarmes devem estar incluídos nas mensagens de alarme. O formato de apresentação das mensagens de alarme deve ser igual para todos os alarmes. O formato de apresentação das mensagens de alarme nos monitores e na impressora também deve ser o mesmo.

COMENTÁRIOS: O sistema disponibiliza a ordem cronológica dos alarmes, a prioridade do alarme, alarmes reconhecidos, alarmes não reconhecidos, o tipo de alarme, o componente associado com o alarme, o sistema que gerou o alarme. O formato das mensagens é o mesmo para todos os alarmes mostrados no monitor do sistema. Uma cópia das informações contidas no monitor do sistema é obtida através da impressora posicionada ao lado do console de informações, CWB.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (4.2.6.2.1; 4.2.6.2.2); NUREG/CR-6105 (4.5.6.2.1); NUREG/CR-6684 (4.5.6.2.1; 4.5.6.2.2)

INFORMAÇÕES: Um sinal visual intermitente deve estar incluído em todos alarmes. Um sinal visual intermitente deve ser usado para alarmes que requerem uma ação do operador.

COMENTÁRIOS: Os novos alarmes são indicados através de sinais sonoros e visuais. O reconhecimento de um novo alarme é feito através de chaves *pushbuttons* localizadas no console de controle. A indicação da chegada de um novo alarme é feita através de lâmpadas sinalizadoras piscando e com um sinal sonoro.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (4.2.6.3.1; 4.2.6.3.6); NUREG/CR-6105 (4.5.6.3.1); NUREG/CR-6684 (4.5.6.3.1; 4.5.6.3.6)

INFORMAÇÕES: Um sinal sonoro deve ser usado para alertar o operador sobre a existência de um novo alarme, ou sobre qualquer condição que requeira a atenção do operador. O sinal de alarme sonoro deve automaticamente desaparecer, assim que o alarme for reconhecido.

COMENTÁRIOS: Os novos alarmes são indicados através de sinais sonoros e visuais. Os alarmes são classificados como alarmes de classe S, classe 1 e classe 2. Os alarmes de classe 1 e classe 2 são identificados através de um sinal sonoro. Os alarmes de classe S são identificados por outro sinal sonoro. Após o reconhecimento do novo alarme, o sinal sonoro desaparece. O mesmo sinal sonoro é usado para identificar a chegada de um novo alarme e a sua contínua presença, até que seja reconhecido.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (4.2.6.3.8; 4.2.6.3.11; 4.2.6.3.12; 4.2.6.3.13; 4.2.6.3.14; 4.2.6.3.15); NUREG/CR-6105 (4.5.6.3.8; 4.5.6.3.9; 4.5.6.3.10; 4.5.6.3.11; 4.5.6.3.13; 4.5.6.3.14); NUREG/CR-6684 (4.5.6.3.8; 4.5.6.3.9; 4.5.6.3.10; 4.5.6.3.11; 4.5.6.3.12; 4.5.6.3.13; 4.5.6.3.14)

INFORMAÇÕES: O sinal sonoro de alarme direciona a atenção do operador para a estação de trabalho que originou o alarme. A intensidade do sinal sonoro de alarme deve permitir, que os operadores facilmente discernam o alarme sonoro do ruído ambiental da sala de controle. A intensidade do sinal sonoro de alarme não deve causar irritação nos operadores.

Deve ser evitado o ajuste manual do nível do sinal sonoro e a não ativação do alarme. A quantidade e a posição dos alto-falantes deve permitir que os sinais de alarmes sejam audíveis dentro da área de operação. Devem ser usadas até três frequências para o sinal sonoro.

COMENTÁRIOS: Os novos alarmes são indicados através de sinais sonoros e visuais. Os alarmes de classe 1 e classe 2 são identificados através de um sinal sonoro. Os alarmes de classe S são identificados por outro sinal sonoro. Através do sinal sonoro, o operador é capaz de identificar se o alarme é classe S ou classe 1 e classe 2. Através dos anunciadores de alarmes, localizados nos consoles de controle, o operador é capaz de identificar a origem do alarme. O relatório final de análise de segurança determina que a intensidade do sinal sonoro de alarme seja 10 dB (A) acima da intensidade sonora normal da sala de controle principal. A intensidade do sinal sonoro de alarme não causa irritação nos operadores.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (4.2.7.1.1; 4.2.7.1.2; 4.2.7.1.3; 4.2.7.1.7; 4.2.7.1.8); NUREG/CR-6105 (4.5.7.1.8); NUREG/CR-6684 (4.5.7.1.1; 4.5.7.1.2; 4.5.7.1.3; 4.5.7.1.7; 4.5.7.1.8)

INFORMAÇÕES: Os alarmes devem ser agrupados por função ou sistemas. Grupos de alarmes funcionais devem ser visualmente distintos. Grupos funcionais devem ser claramente identificados, possibilitando que os operadores determinem quais sistemas possuem alarmes, que ainda não foram desativados.

Alarmes de nível, fluxo, pressão e temperatura, agrupados em uma determinada ordem em um painel, devem ser agrupados na mesma ordem em outros painéis. Cada grupo de alarmes deve ser identificado através de uma legenda, posicionada acima do grupo de alarmes.

COMENTÁRIOS: Os diversos tipos de anúnciões apresentados na planta recebem o nome de alarme. Os alarmes de grupos são vários alarmes simples agrupados em alarmes coletivos. Estes alarmes estão relacionados com os equipamentos ou parte de um sistema da usina.

Um grupo funcional é uma parte do processo, que executa totalmente uma função bem definida. As falhas são indicadas no grupo funcional. Os anunciadores de alarme são organizados logo acima dos sistemas a que estão subordinados.

Devido à grande quantidade de alarmes, é dada uma informação mais geral na sala de controle. Essa informação contém o tipo de falha, por exemplo: falha no transmissor, e o local da falha. Os alarmes são claramente identificados e agrupados na mesma ordem em outros painéis.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (4.2.7.2.1; 4.2.7.2.2; 4.2.7.2.3; 4.2.7.2.5); NUREG/CR-6684 (4.5.7.2.1; 4.5.7.2.2; 4.5.7.2.3; 4.5.7.2.5)

INFORMAÇÕES: As mensagens de alarmes devem ser apresentadas por prioridades. Os alarmes de maior prioridade são apresentados em primeiro lugar.

Os operadores devem ser capazes de agrupar as listas de mensagens de acordo com sua função, com a ordem cronológica e *status*. O sistema deve apresentar os alarmes não reconhecidos, alarmes reconhecidos ativos e alarmes desativados. Listas de mensagens de alarmes devem ter uma linha branca de separação, entre quatro ou cinco mensagens por vez. As mensagens de alarmes que excedem a capacidade de uma tela devem ser apresentadas na tela seguinte.

COMENTÁRIOS: As mensagens de alarmes são apresentadas nos monitores do sistema computadorizado de alarmes. Para mostrar o grande número de alarmes no monitor, a anúnciões de alarmes via computador é subdividida em duas prioridades, ou seja: prioridade um e prioridade dois. Os alarmes de ambas as prioridades são normalmente indicados no monitor de vídeo. Se o número de alarmes não reconhecidos, em um determinado vídeo, exceder o limite previsto, é feita a supressão automática e escalonada dos alarmes de prioridade dois.

No máximo sete alarmes, com no máximo duas linhas para cada mensagem, são apresentados simultaneamente no monitor do sistema. Se mais de sete alarmes forem processados, somente os sete últimos alarmes não reconhecidos serão apresentados. Entre uma mensagem de alarme e a mensagem posterior, existe um espaço de duas linhas em branco. O sistema disponibiliza a ordem cronológica dos alarmes, a prioridade do alarme, alarmes reconhecidos, alarmes não reconhecidos, o tipo de alarme, o sistema que gerou o alarme. O formato das mensagens é o mesmo para todos os alarmes mostrados no monitor do sistema.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (4.3.1; 4.3.7.1; 4.3.7.2; 4.3.7.3; 4.3.7.4)

INFORMAÇÕES: Devem existir controles para silenciar, reconhecer, desativar e testar um alarme. Esses controles devem ser diferenciados através da cor, da forma ou da posição no painel de controle. Cada grupo de controle deve ter as mesmas funções, na mesma posição nos consoles e painéis de controle.

Para mensagens de alarmes apresentadas no monitor do sistema computadorizado, cada operador deve ter seu próprio grupo de controle. Os controles de alarme devem ser projetados de maneira a evitar a sua desativação acidental.

COMENTÁRIOS: A seqüência de operação manual foi considerada no arranjo do grupo de controles. Grupos de controle são claramente diferenciados, identificados e relacionados com os respectivos sistemas. Cada grupo de controle tem as mesmas posições nos consoles e painéis de controle. Os controles de reconhecimento, silenciar o alarme, teste da lâmpada de alarme e cancelamento do alarme, são botões de contato momentâneo tipo *pushbuttons*. Esses controles estão posicionados na parte inferior dos consoles de controle e dos painéis auxiliares.

São utilizados teclados, posicionados no console de controle mestre, para controle das mensagens apresentadas no sistema computadorizado de alarmes.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (4.3.2.1; 4.3.2.2; 4.3.3.1; 4.3.3.2; 4.3.3.3); NUREG/CR-6105 (4.6.3.2; 4.6.3.3); NUREG/CR-6684 (4.6.2.1; 4.6.2.2; 4.6.3.1; 4.6.3.2; 4.6.3.3)

INFORMAÇÕES: Deve ser possível silenciar um sinal de alarme de qualquer grupo de controle localizado na área primária de operação. Sinais sonoros podem ser silenciados manualmente pelos operadores, caso não interfira com outra ação de controle mais crítica. O controle de reconhecimento dos alarmes deve desabilitar a iluminação intermitente das lâmpadas e mantê-las acesas, até que o alarme seja desabilitado. O reconhecimento do alarme deve ser possível de qualquer localização, onde a mensagem e o sinal visual de alarme possam ser vistos.

Alarmes que não são espacialmente dedicado e continuamente visível, mensagens de alarmes, só podem ser reconhecidos quando a mensagem de alarme estiver na tela.

COMENTÁRIOS: É possível silenciar um sinal de alarme de qualquer grupo de controle localizado na área primária de operação. Sinais sonoros de alarme são silenciados manualmente pelos operadores do primário e secundário. O controle de reconhecimento dos alarmes desabilita a iluminação intermitente do alarme, mantendo acesa a lâmpada de alarme, até que ocorra a desativação. O reconhecimento do alarme é possível no console e no painel de controle, onde a sinalização do alarme é apresentada. Mensagens de alarmes são reconhecidas quando apresentadas no monitor do sistema computadorizado.

- FONTE: NUREG/CR-6684 (4.7.1; 4.7.2; 4.7.3; 4.7.4)

INFORMAÇÕES: Devem ser disponibilizados controles para silenciar, reconhecer, desativar e testar os alarmes. Os controles devem ser adequadamente identificados. Cada grupo de controle deve realizar as mesmas funções. Mensagens de alarmes apresentadas em monitores devem possuir seus próprios controles.

COMENTÁRIOS: São disponibilizados controles para silenciar, reconhecer, desativar e testar os alarmes. Esses controles estão posicionados na parte inferior dos consoles e dos painéis auxiliares. Os controles são adequadamente identificados. Cada controle realiza a mesma função. São utilizados teclados, posicionados no console de controle mestre, para controle das mensagens apresentadas no sistema computadorizado de alarmes.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (4.4.1.1; 4.4.1.2); NUREG/CR-6105 (4.8.1.1; 4.8.1.2); NUREG/CR-6684 (4.8.1.1; 4.8.1.2; 4.8.2.1; 4.8.2.2)

INFORMAÇÕES: O sistema de alarme deve ser projetado de modo que uma falha simples não resulte na perda de um grande número de alarmes. Quando os alarmes são apresentados em um monitor, os operadores devem ser capazes de acessar os alarmes de outro monitor. Os anunciadores de alarmes

convencionais devem utilizar lâmpadas com filamentos duplos. Testes periódicos do sistema de alarme devem ser obrigatórios e controlados através de procedimentos administrativos.

COMENTÁRIOS: O sistema de alarme convencional e o sistema de alarme computadorizado são sistemas independentes. Os alarmes aplicados ao computador de processo ou gerados no mesmo são mostrados nos monitores do sistema computadorizado. Esses alarmes podem ser agrupados em 8 grupos diferentes. Cada grupo de alarmes pode ser associado a um monitor, por meio do teclado posicionado no console de controle mestre. Isso permite o agrupamento das indicações dos alarmes em um monitor ou a sua distribuição em outros monitores de vídeo, conforme seja adequado a cada modo de operação.

Testes periódicos dos sistemas de segurança são obrigatórios e controlados através de procedimentos administrativos. O capítulo 16 do relatório final de análise de segurança apresenta vários programas de testes e inspeções, que devem ser estabelecidos, implementados e mantidos. O programa de inspeção em serviço estabelece os controles para monitoração da integridade estrutural de componentes e itens importantes à segurança da usina. O programa de teste em serviço estabelece os controles para monitoração e avaliação de testes funcionais periódicos em equipamentos e itens relacionados com a segurança da usina.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (4.4.3.1; 4.4.3.2; 4.4.3.3; 4.4.3.4); NUREG/CR-6105 (4.8.3.1); NUREG/CR-6684 (4.8.3.1; 4.8.3.2; 4.8.3.3; 4.8.3.4)

INFORMAÇÕES: Atividades de testes, manutenção devem ser realizadas sem causar interferência nas atividades dos operadores. Quando o sistema de alarme está em manutenção, os sinais sonoros e visuais devem estar inoperantes. Devem ser previstos meios para o fácil reconhecimento da condição operacional dos alarmes. Se uma janela de alarmes está ativada, estado *ON*, devido ao reparo ou troca de um equipamento, esta condição deve ser reconhecida pelos operadores e controlada através de procedimentos administrativos.

COMENTÁRIOS: O capítulo XVI do relatório final de análise de segurança apresenta vários programas de testes e inspeções, que devem ser estabelecidos, implementados e mantidos.

Os cartões de sinalização são usados com a finalidade de informar para todos os funcionários da usina as condições específicas de determinados equipamentos. Existem cinco tipos de cartões de sinalização: cartão de segurança na cor vermelha, cartão de precaução na cor amarela, cartão de simulação na cor rosa, cartão de aviso na cor azul e cartão de instalação provisória na cor branca. Os cartões de sinalização somente podem ser aplicados, alterados e removidos pelos operadores. O cartão de simulação indica a presença de um sinal de simulação.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (4.5.1; 4.5.2; 4.5.3); NUREG/CR-6105 (4.9.2; 4.9.3); NUREG/CR-6684 (4.9.1; 4.9.2; 4.9.3)

INFORMAÇÕES: Um manual de resposta aos alarmes deve estar disponível para o grupo de operação. Os operadores devem ter acesso imediato ao manual de resposta aos alarmes.

O manual de resposta aos alarmes deve ter as seguintes informações:

- grupo funcional dos alarmes;
- texto sobre os alarmes;
- sensores, processamento, validação lógica do sinal;
- nível de atuação;
- prioridades;
- causas potenciais para os alarmes;
- ações dos operadores, que podem confirmar a existência dos alarmes;
- ações automáticas do sistema de alarme, que devem ser verificadas pelos operadores;
- ações posteriores.

COMENTÁRIOS: Durante o período de avaliação da sala de controle, ainda não estava disponível o manual de resposta aos alarmes.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (4.5.4; 4.5.5; 4.5.6); NUREG/CR-6684 (4.9.4; 4.9.5)

INFORMAÇÕES: As informações contidas no manual de resposta aos alarmes devem ser consistentes com as informações contidas no consoles de controle, nos sistemas de alarme, nos procedimentos para calibrar os níveis de atuação dos alarmes, nas especificações técnicas e nos procedimentos de operação. Na estrutura do documento os itens mais importantes devem ser destacados, as informações por categorias devem estar localizadas na mesma posição de cada página, minimizando a necessidade dos operadores em procurar por informações em várias páginas do documento.

COMENTÁRIOS: Durante o período de avaliação da sala de controle, ainda não estava disponível o manual de resposta aos alarmes.

A.5 Sistema Integrado de Computador de Processo, o SICA

- FONTE: IAEA-TECDOC 565 (4.1.1.5)

INFORMAÇÕES: O sistema de apresentação dos parâmetros de segurança é um sistema computadorizado de auxílio ao operador. Este sistema monitora os parâmetros críticos da planta nuclear e apresenta as informações de modo a dar uma visão sistemática do *status* da planta, especialmente em condições de acidente. Este sistema auxilia os operadores com relação ao diagnóstico e tomadas de decisão. Caso ocorra a não disponibilidade do sistema de auxílio ao operador, os métodos usuais de monitoração e controle devem ser utilizados.

COMENTÁRIOS: O sistema integrado de computadores de processo, o SICA, é um sistema computadorizado de monitoração em tempo real dos parâmetros essenciais para a determinação do estado de segurança da usina nuclear, em caso de uma situação de emergência e durante sua operação normal. O SICA fornece uma visão integrada dos valores de um conjunto de parâmetros relacionados com a segurança da usina, constituindo um importante elemento de auxílio aos operadores em situações de emergência e durante a operação normal. O SICA é um integrador de sistemas formado pelo sistema de aquisição de dados, sistema supervisor de parâmetros e sistema de controle ambiental. Essas informações são transmitidas para os operadores sob forma gráfica através de monitores coloridos.

- FONTE: IAEA-TECDOC 812 (3.4)

INFORMAÇÕES: Sistemas de auxílio ao operador são sistemas computadorizados, que apresentam algumas funções relacionadas com o processo, mas não fazem parte da instrumentação, nem dos sistemas de controle. Algumas funções podem ser implementadas em um sistema de auxílio ao operador. Por exemplo: diagnóstico e detecção de falhas, monitoração das funções de segurança, apresentação de informações que auxiliam os operadores na realização de determinadas tarefas, apresentação dos procedimentos de operação através de um suporte computadorizado, monitoração da eficiência das bombas do circuito primário, turbinas, gerador elétrico, gerador de vapor, pré-aquecedores, cálculo da potência elétrica, monitoração e cálculo da queima dos combustíveis, análise e monitoração das vibrações nas turbinas, monitoração radiológica da central nuclear, suporte computadorizado para a manutenção.

COMENTÁRIOS: O sistema integrado de computadores de processo, o SICA, é um sistema computadorizado de monitoração em tempo real dos parâmetros essenciais para a determinação do estado de segurança da usina nuclear, em caso de uma situação de emergência e durante sua operação normal. O SICA é um sistema de monitoração adicional dos parâmetros essenciais para a determinação do estado de segurança da usina nuclear.

O SICA está posicionado em cima do console de controle mestre no lado do operador do primário e do secundário. O SICA não exerce funções de controle de processo.

O SICA é um integrador de sistemas de processo formado pelo sistema de aquisição de dados do processo, sistema supervisor de parâmetros e sistema de controle ambiental.

O SICA atuando na opção sistemas do reator faz uma estimativa das concentrações de ácido bórico ou água desmineralizada necessárias para manter o reator em estado crítico, calcula a concentração final de iodo, xenônio, a reatividade devido a variação das barras de controle, queima de combustível acumulada.

- FONTE: IEC 964 (4.6.5)

INFORMAÇÕES: Com o objetivo de aumentar a segurança, a disponibilidade e a operacionalidade da planta nuclear, sistemas que apresentam as variáveis de segurança e sistemas de diagnósticos de falhas devem ser integrados no projeto da sala de controle principal.

COMENTÁRIOS: O SICA é um sistema de monitoração adicional dos parâmetros essenciais para a determinação do estado de segurança da usina nuclear.

O SICA está posicionado em cima do console de controle mestre no lado do operador do primário e do secundário. O SICA não exerce funções de controle de processo.

- FONTE: NUREG/CR-5908, Vol. 2 (5.1.1; 5.1.2; 5.1.3; 5.1.4; 5.1.5; 5.1.7)

INFORMAÇÕES: A ajuda proporcionada pelos sistemas de auxílio ao operador deve ser consistente, em termos das informações apresentadas, considerando também os aspectos cognitivos dos operadores. Estes sistemas devem ser integrados com as *interfaces* existentes na sala de controle. Estes sistemas auxiliam na monitoração e execução das tarefas.

O sistema de auxílio ao operador deve alertar sobre a existência de informações críticas.

Este sistema deve ser capaz de auxiliar no planejamento de uma estratégia de soluções de problemas. A busca de informações pelos operadores deve ser minimizada.

COMENTÁRIOS: O desempenho dos operadores em uma situação de acidente e a evolução das condições operacionais da usina nuclear dependem da capacidade dos operadores em identificar corretamente os eventos ocorridos e tomar decisões para colocar e manter o reator seguro. Existe uma necessidade de diminuir a carga de trabalho dos operadores em situações de emergência, fornecendo ferramentas adicionais que possam ser usadas na identificação dos transientes, auxiliando os operadores na tarefa de colocar a usina em condição normal. Dessa maneira, o SICA é uma ferramenta adicional utilizada na monitoração do funcionamento dos principais sistemas da usina, tanto em operação normal, como em caso de acidente. O seu funcionamento é independente do sistema computadorizado de apresentação de tendência das variáveis, do sistema de alarme convencional e computadorizado, dos controles e medidores existentes nos console e painéis de controle, mas a sua operação é em paralelo com os sistemas citados anteriormente.

A concepção do subsistema de funções críticas de segurança é fundamentada na monitoração em tempo real de um conjunto de funções, as funções críticas de segurança. O objetivo é fornecer ao operador uma avaliação contínua do estado de segurança da usina nuclear, priorizar as ações a serem executadas pelos operadores em situações de emergência, fornecer elementos que auxiliem o operador no cumprimento das tarefas estipuladas nos procedimentos, acompanhando em tempo real os efeitos de suas ações sobre os diversos parâmetros da usina.

- FONTE: NUREG/CR-5908, Vol. 2 (5.1.11; 5.1.13; 5.1.14; 5.1.15; 5.1.16; 5.1.17)

INFORMAÇÕES: O nível de detalhe das informações apresentadas no sistema de auxílio ao operador, deve estar sob o controle do operador. O sistema de auxílio ao operador deve alertar ao operador, quando um problema ou situação está além de sua capacidade. O sistema de auxílio ao operador deve ser capaz de graficamente representar os sistemas e o processo. O sistema de auxílio ao operador deve atualizar as informações consideradas relevantes. O sistema de auxílio ao operador deve ser capaz de registrar a evolução de um evento, memorizá-lo e diagnosticar a solução. O operador deve ser capaz de requisitar uma cópia impressa dos dados, dos gráficos, dos eventos e soluções apresentadas.

COMENTÁRIOS: A navegação em um sistema computacional corresponde a forma na qual o operador tem acesso as informações contidas no sistema. No SICA, o operador interage com o sistema através de um teclado dedicado e um mouse. Na tela principal o operador tem acesso a todas as funções do SICA, ou seja: sistema de controle ambiental, meteorologia, diagrama de barras, fluxogramas, funções críticas, gráficos, tendências.

Existem também outras formas alternativas para acessar as telas do SICA. Na caixa de diálogo do menu principal, o operador deve digitar o código da tela desejada. É importante lembrar, que o operador tem a opção de acionar a tela pelo *mouse* ou diretamente no teclado.

O tempo de aquisição das variáveis do processo, ou seja, temperatura, pressão, nível, radiação, vazão, deve ser bem dimensionado para que o sistema possa fornecer ao operador a tendência do parâmetro, evitando tempos de aquisição muito grandes e sem sobrecarregar o sistema.

No SICA foi feita uma análise da variação dos principais parâmetros, que consiste em estabelecer o menor tempo em que cada um dos parâmetros tenha uma variação do fundo de escala do instrumento, por exemplo: com base no transiente que fornece a maior taxa de variação no tempo da variável pressão, determina-se o tempo aproximado que proporcione uma variação máxima de 10% do fundo de escala.

A distribuição em módulos das telas que formam o sistema tem como objetivo agrupar as telas que possuem características comuns. Foram definidos os seguintes módulos:

- módulo de diagrama em barras: constituído de nove telas que apresentam, em cada uma, no máximo sete parâmetros em forma de barras. Cada conjunto contém informações suficientes para detectar qualquer desvio das condições normais de operação, permitindo que o operador acompanhe a tendência dos parâmetros apresentados.
- módulo de gráficos: apresenta os dezesseis gráficos mais usados durante a operação normal, incluindo os solicitados durante emergências pelos procedimentos de restauração das funções críticas de segurança.
- módulo de histórico: apresenta a variação de um conjunto de parâmetros no tempo, possibilitando ao operador verificar o comportamento destes parâmetros através de gráficos e listas de dados.
- módulo de tendências: apresenta a variação de um conjunto de parâmetros em relação ao tempo, a partir do momento de solicitação. Este módulo permite ao operador acompanhar a evolução destes parâmetros.
- módulo de fluxogramas: apresenta os diagramas dos sistemas mais importantes em operação normal e dos sistemas necessários durante a operação de emergência.
- módulo das árvores de estado das funções críticas de segurança: apresenta telas de monitoração de um grupo de parâmetros essenciais para a segurança da usina, cuja normalidade garante a integridade das barreiras de proteção contra a liberação da radioatividade.

Para fazer uma cópia na impressora, de qualquer tela do SICA, o operador tem de pressionar a tecla *print screen*, localizada na parte superior do teclado dedicado.

- FONTE: FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (5.1.1; 5.1.2; 5.1.3; 5.1.4; 5.1.5; 5.1.6; 5.1.9; 5.1.11; 5.1.12; 5.2.1; 5.2.2; 5.2.3; 5.2.4)

INFORMAÇÕES: Os parâmetros e as variáveis relacionadas com a segurança do processo devem ser facilmente visualizadas pelos operadores. O sistema deve apresentar informações sobre os acidentes severos. Estas informações devem ser apresentadas de maneira concisa. O sistema mantém o operador informado sobre o *status* corrente da planta nuclear.

Cada variável crítica deve ser apresentada com informações detalhadas, permitindo que o operador possa discriminar entre as condições normais e aquelas que afetam a segurança da planta nuclear.

Os parâmetros e as funções críticas de segurança devem ser monitorados continuamente.

Quando os modos de operação da planta nuclear impõem diferentes demandas, devem ser geradas telas separadas para cada modo de operação.

O sistema deve alertar o operador, quando os valores dos parâmetros críticos estão fora da condição normal. Este alerta pode ser gerado através de sinais sonoros ou visuais.

Caso o operador esteja monitorando uma tela secundária, o sistema deve gerar um sinal visual ou sonoro, alertando o operador para retornar para a tela primária, caso uma informação apresentada requeira sua atenção.

A interação do operador com o sistema não deve implicar em um aumento da carga de trabalho.

A utilização do sistema não deve interferir na posição normal dos operadores no console de controle, não deve obstruir a visualização de outros sistemas.

O sistema deve ser identificado e facilmente diferenciado de outros sistemas.

COMENTÁRIOS: O módulo das árvores de estado das funções críticas de segurança apresenta telas de monitoração de um grupo de parâmetros essenciais para a segurança da usina, cuja normalidade garante a integridade das barreiras de proteção contra a liberação da radioatividade.

O módulo de fluxogramas apresenta os diagramas dos sistemas mais importantes em operação normal e dos sistemas necessários durante a operação de emergência.

O módulo de diagrama em barras apresenta em cada tela sete parâmetros em forma de barras. Cada conjunto contém informações suficientes para detectar qualquer desvio das condições normais de operação, permitindo que o operador acompanhe a tendência dos parâmetros apresentados. Cada conjunto

de variáveis possui valores máximos e mínimos, que compõem os limites em que as variáveis são consideradas válidas. No SICA, o alarme é evidenciado através da mudança da cor do diagrama em barra. Quando a variável está dentro dos limites, o diagrama em barra é apresentado na cor verde. Se o valor da variável atingir o limite de alarme muito alto ou muito baixo, a cor do diagrama em barra torna-se vermelha.

O módulo de tendências apresenta a variação de um conjunto de parâmetros em relação ao tempo, a partir do momento de solicitação. Este módulo permite ao operador acompanhar a evolução destes parâmetros. A utilização do SICA não interfere na posição normal dos operadores no console de controle, não obstruindo a visualização de outros sistemas considerados importantes para a segurança.

A.6 Sistema de Comunicação

- FONTE: IAEA-TECDOC 812 (3.7)

INFORMAÇÕES: O projeto do sistema de comunicação influencia na eficiência da troca de informações, que ocorre entre os membros do grupo de operação. A troca de informações entre os operadores da sala de controle principal e os operadores de campo, o grupo de manutenção, instrumentistas, setor administrativo é de vital importância. Essa troca de informações auxilia os operadores na construção de um modelo representativo do processo. Essa troca de informações deve ser realizada sem distorções.

O sistema típico de comunicação em uma sala de controle deve ser constituído de telefones convencionais, telefones sem fio, comunicação via rádio, *paggers*, redes de computadores.

COMENTÁRIOS: O sistema de comunicação da sala de controle avaliada é formado pelo sistema telefônico, pelo sistema de comunicação do console de controle e pelo sistema de comunicação eletroacústico. Um computador é utilizado para recebimento e envio de *E-Mails*. Existe também um *fax*. Estes sistemas estão localizados na sala de controle principal, possibilitando a comunicação entre os diversos setores internos e setores externos, durante a operação em plena carga, parada, partida, carregamento do núcleo do reator e em casos de emergência.

O sistema de comunicação eletroacústico é um sistema que gera alarmes para toda a planta nuclear. Os alto-falantes estão localizados nos vários edifícios do reator e em áreas externas. O sistema de comunicação do console de controle é um sistema localizado na sala de controle principal e com várias estações remotas dentro da planta nuclear. O sistema telefônico é um sistema automático privado (PABX) com capacidade suficiente para permitir ligações telefônicas com outra central nuclear, com linhas telefônicas da Telemar, com linhas privadas da Embratel, para transmissão de dados. A figura 48 mostra o sistema telefônico.



Figura 48: Sistema de Comunicação

- FONTE: IEC 964 (4.9)

INFORMAÇÕES: Os sistemas de comunicação na sala de controle principal devem facilitar a segurança e a eficiência da operação em condições normais de operação ou em situações de emergência. Deve ser previsto na sala de controle principal um sistema de comunicação através de telefones, com outros setores localizados dentro e fora da planta nuclear. Para a comunicação em situação normal de operação, deve ser instalado um sistema de comunicação via telefone com um número suficiente de extensões. Para a comunicação em caso de acidente, um sistema de comunicação específico via telefone, deve ser instalado na sala de controle principal. Um sistema público de telefone deve estar disponível na sala de controle principal possibilitando a comunicação com o público em geral, autoridades e instituições governamentais. Durante a manutenção, teste e reparos pode ser usado um sistema de comunicação via rádio na sala de controle principal. Neste caso, devem ser considerados aspectos relacionados com a geração de interferências na instrumentação e a faixa de frequência utilizada para a comunicação.

COMENTÁRIOS: O sistema de comunicação da sala de controle avaliada é formado pelo sistema telefônico, pelo sistema de comunicação do console de controle e pelo sistema de comunicação eletroacústico. Existem o sistema de alarme de emergência, sistema de comunicação geral com vários prédios da usina, linhas telefônicas da Telemar, linhas privadas da Embratel, linhas diretas utilizadas em situações de emergência para comunicação com o coordenador de emergência, diretoria da empresa, chefe de plantão de outra central nuclear, inspetor residente do órgão fiscalizador, escritório no Rio de Janeiro do órgão fiscalizador e grupo de emergência. Na sala de controle avaliada não é utilizado um sistema de comunicação via rádio, devido aos problemas de interferência com a instrumentação eletrônica.

- FONTE: IEC 964 (4.9.1)

INFORMAÇÕES: O sistema de comunicação via telefone deve estar localizado em uma mesa especial ou em um painel com extensão para o console de controle principal.

COMENTÁRIOS: O sistema de comunicação geral está instalado na mesa de comunicação, posicionada ao lado dos painéis auxiliares, e no lado primário e secundário do console de controle mestre. No console de controle mestre e nos painéis auxiliares também estão instalados telefones, que possibilitam a comunicação com os operadores de campo, quando estes estão nas suas respectivas salas. No campo existem algumas cabines telefônicas, que possibilitam a comunicação dos operadores de campo com os operadores da sala de controle principal, caso os operadores estejam no campo realizando suas tarefas. A figura 49 mostra a cabine telefônica instalada no campo.

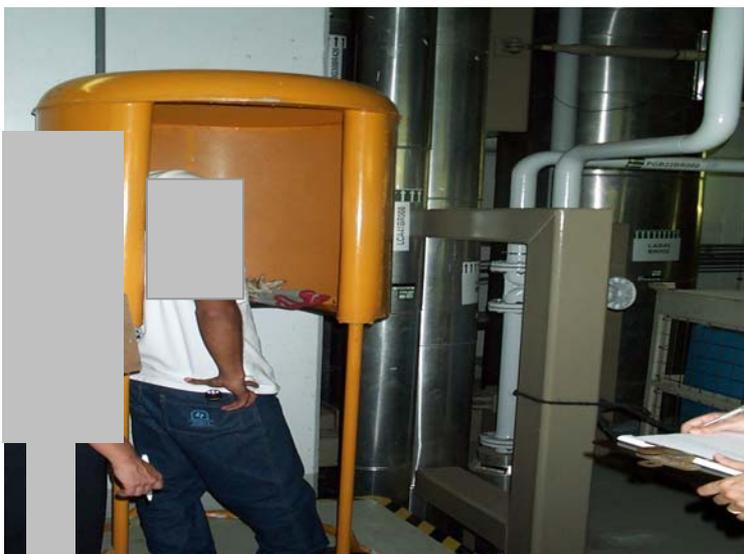


Figura 49: Cabine Telefônica Instalada no Campo

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (10.1.1; 10.1.2; 10.1.3; 10.1.4; 10.1.5); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (6.1.1; 6.1.2; 6.1.3; 6.1.4; 6.1.5)

INFORMAÇÕES: Os equipamentos de comunicação devem ser acessíveis do local de trabalho dos operadores. Instruções devem estar disponíveis para cada sistema de comunicação, incluindo alternativas caso o sistema fique inoperante. Prioridades devem ser estabelecidas para transmissão de mensagens de emergência da sala de controle principal. Procedimentos devem ser estabelecidos para o uso do sistema de comunicação durante emergências. Estes procedimentos devem ser conhecidos por todos os operadores.

COMENTÁRIOS: Os operadores do primário e do secundário acessam o sistema de comunicação com os operadores de campo, através de telefones e microfones colocados nos consoles de controle mestre. A comunicação com setores externos e internos da usina é feita através da mesa de comunicação.

O sistema de comunicação eletroacústico é um sistema que gera alarmes para toda a planta nuclear. Os alto-falantes estão localizados nos vários edifícios do reator e em áreas externas. Em uma situação de emergência, um sinal de alarme será emitido através dos alto-falantes colocados na parte externa e interna do reator. Instruções serão emitidas para todos os funcionários da usina.

O manual de operação é o documento oficial que contém todas as instruções de operação e de segurança para os operadores. Essas instruções são necessárias para a operação normal da planta e atenuação das conseqüências de acidentes. O capítulo três desse manual descreve as regras e medidas para conduta dos trabalhadores em caso de evento anormal, de acidente ou outros incidentes que possam constituir perigo para a usina, para os trabalhadores e para as cercanias da usina. É descrito a organização dos primeiros socorros, rotas de transporte, modos para condução, estações de socorro internas e externas, equipamentos de emergência disponíveis e documentação requerida.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (10.2.1.2); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (6.2.2)

INFORMAÇÕES: Equipamentos de comunicação podem ser projetados, de modo a permitir a operação com as mãos livres.

COMENTÁRIOS: Na mesa de comunicação são utilizados telefones comuns. Nos consoles de controles são utilizados microfones fixos e telefones comuns. A figura 50 mostra o microfone fixo.



Figura 50: Microfone Fixo

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (10.2.1.11; 10.2.1.13; 10.2.2.1; 10.2.2.2; 10.2.2.6); NUREG/CR-5908, Vol. 2 (6.2.11);

INFORMAÇÕES: Devem estar disponíveis e acessíveis os controles de ganho ou volume para cada canal de recepção. Testes periódicos devem ser realizados em todos os sistemas de comunicação, assegurando que as mensagens permaneçam inteligíveis. A forma e tamanho dos telefones devem ser compatíveis com as dimensões das mãos dos operadores e também em relação à distância entre o ouvido e a boca do operador. A posição e a localização dos telefones no console de controle, facilita o seu uso e não obstrui os medidores e controles.

COMENTÁRIOS: Os controles de volume e ganho dos sistemas de comunicação estão disponíveis. Testes periódicos são realizados nos sistemas de comunicação. São utilizados telefones com dimensões padronizadas. Os telefones e microfones, posicionados no console de controle, estão próximos dos operadores e não obstruem os medidores. A figura 51 mostra esse telefone.

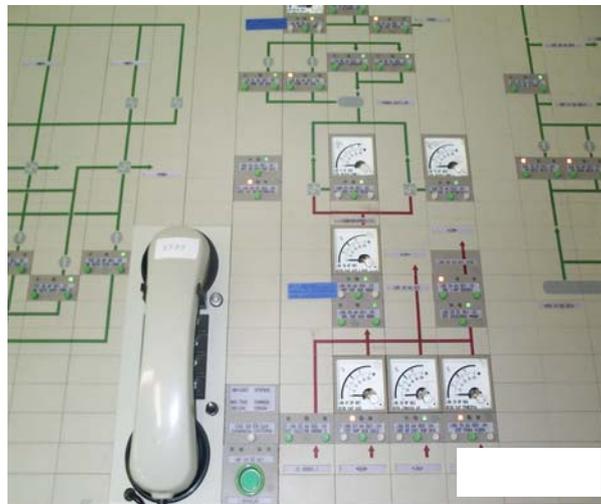


Figura 51: Telefone Instalado no Console de Controle

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (10.2.2.7; 10.2.2.8; 10.2.2.9; 10.2.2.10)

INFORMAÇÕES: Os telefones na mesa de comunicação devem ser corretamente identificados. Deve ser possível o manuseio dos telefones, utilizando a mão esquerda ou direita. O volume do sinal de recepção e transmissão dos telefones deve ser ajustável.

COMENTÁRIOS: Os telefones posicionados na mesa de comunicação são identificados adequadamente. Os telefones podem ser manuseados por pessoas destros ou canhotos. O volume do sinal de recepção e transmissão é ajustável.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (10.2.5.1; 10.2.5.3; 10.2.6.2)

INFORMAÇÕES: O sistema geral de transmissão deve possibilitar o anúncio de mensagens inteligíveis para todas as áreas relacionadas com a operação. Os alto-falantes devem estar posicionados em todas as áreas de operação.

COMENTÁRIOS: O sistema geral de transmissão possibilita o anúncio de mensagens para todas as áreas relacionadas com a operação.

Os alto-falantes estão posicionados em todas as áreas vinculadas com a operação.

A.7 Local de Trabalho

- FONTE: IAEA-TECDOC 812 (5.3.1)

INFORMAÇÕES: A sala de controle principal é o local onde o processo nuclear é controlado e monitorado com segurança, em todos os modos operacionais e considerando as condições de acidentes postulados. A sala de controle principal fornece aos operadores informações e dados referentes ao *status* operacional dos equipamentos e sistemas.

COMENTÁRIOS: A sala de controle principal da central nuclear avaliada é formada pelas seguintes áreas funcionais: área de controle principal, área de controle auxiliar, área de comunicação, área de obtenção de dados do processo, área de documentação, área de facilidades e área de isolamento.

As funções desempenhadas pelos operadores na sala de controle principal 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. O operador obtém informações do processo através de medidores, mostradores, monitores de computadores e ajusta o processo através de controles. As áreas de controle são projetadas com o objetivo de possibilitar uma operação estável, eficiente e confiável. Os operadores na área de controle realizam as seguintes atividades:

- monitoração das variáveis representativas do processo;
- monitoração da seqüência operacional;
- verificação de funções individuais e a sua relação com outros sistemas;
- interferem nos níveis de determinadas variáveis, caso ocorram desvios nos valores ajustados.

- FONTE: IAEA-TECDOC 812 (3.2)

INFORMAÇÕES: Os painéis da sala de controle principal são subdivididos em sistemas. Os principais sistemas são: sistemas auxiliares do primário e secundário, sistema de monitoração da radiação, sistema de segurança e sistemas elétricos. Os consoles de controle são formados da seguinte maneira:

- console de controle principal: usado na operação com potência nominal, controle da potência após um desligamento, partida e parada do reator, operação do sistema primário, após um acidente.
- console de controle da turbina: usado na partida e parada da turbina e na operação do sistema secundário, após um acidente.

COMENTÁRIOS: As áreas de controle e monitoração da sala de controle avaliada são formadas pela área de controle principal e área de controle auxiliar. A área de controle principal é formada pelo console de controle mestre, CWA e pelo console de informações, CWB. Nesta área estão os sistemas, controles e as informações relacionadas com a partida, subida de potência, operação em potência nominal, desligamento da turbina e desligamento do reator.

Na área de controle auxiliar estão os sistemas e funções que não são constantemente monitorados e atuados durante a operação em potência nominal. Contém todos os medidores e controles relativos à monitoração da radiação, ventilação, núcleo do reator, sistemas de proteção, sistemas auxiliares do primário e secundário, sistemas auxiliares de energia.

- FONTE: IAEA-TECDOC 812 (3.5.1)

INFORMAÇÕES: O grupo de operação da sala de controle principal de um reator nuclear de potência é formado por dois operadores do reator (RO), um operador sênior (SRO) e um supervisor técnico de turno (STA). Os operadores do reator são os responsáveis pela monitoração e controle dos painéis de controle, pela manipulação dos controles que mudam o estado de operação e estabilizam a planta, durante eventos não antecipados. Normalmente, existem dois operadores de reator por turno: o operador do circuito primário e o operador do circuito secundário. O operador sênior (SRO), chamado também de encarregado, é o responsável por todas as atividades realizadas na sala de controle principal, durante um turno. Além de auxiliar os operadores do reator, o operador sênior deve manter uma consciência total sobre o *status* do processo, incluindo a monitoração dos sistemas de segurança e utilização dos procedimentos de operação. O supervisor técnico do turno tem como função aconselhar e auxiliar o operador sênior em caso de transientes anormais da planta nuclear, incidentes ou condições de acidente.

Seis grupos podem ser os responsáveis pela operação da sala de controle principal. Três grupos cobrem o período de vinte e quatro horas, ou seja, oito horas para cada grupo de operação. Um grupo deve estar realizando treinamento, um grupo deve estar realizando testes ou estar de vigilância e um grupo deve estar de férias. Esta formação é adotada na maioria dos países, reduzindo a carga de trabalho dos operadores e permitindo uma melhoria no treinamento e formação dos operadores.

COMENTÁRIOS: O grupo de operação da sala de controle principal avaliada é formado por um supervisor de turno com licença sênior de operador de reator, um encarregado de turno com licença sênior de operador de reator, um operador de reator licenciado, um operador de painel secundário licenciado e um operador de painel auxiliar não licenciado. O supervisor de turno tem a responsabilidade pela correta designação de pessoal para os turnos, pela perfeita rendição do pessoal dentro dos turnos e pela efetivação das instruções. É o responsável pelo comando da sala de controle, pela segurança da operação e por seguir os requisitos especificados pelo órgão licenciador. Em caso de acidente ou emergência, é o responsável pela determinação da severidade da situação e pela notificação da emergência para o chefe da operação. Durante sua ausência, um operador com licença válida de operador sênior de reator pode ser designado para assumir a função de comando da sala de controle.

O encarregado do turno é o responsável pela supervisão das ações realizadas pelos operadores do primário, secundário e do painel, pelo uso correto dos procedimentos, por propor alterações nos procedimentos, pela coordenação das tarefas de manutenção e testes realizadas durante seu turno e por iniciar ações em situações de emergência, até que receba auxílio do supervisor.

O operador do primário controla o reator e atua nos sistemas de proteção, de maneira confiável e de acordo com os procedimentos. O operador do secundário controla os sistemas do secundário e a turbina. O operador do painel controla os sistemas auxiliares.

O relatório final de análise de segurança, capítulo 16, determina que uma cobertura adequada do turno deve ser mantida, sem o uso constante de horas extras excessivas. O objetivo é manter os operadores trabalhando no máximo oito horas por dia. Entretanto, eventos inesperados, longos períodos de parada do reator, grandes manutenções, modificações substanciais nos principais sistemas, podem implicar na necessidade de horas extras. Neste caso, os operadores não devem trabalhar mais de doze horas contínuas, excluindo o tempo de passagem de turno e devem ter folga de pelo menos doze horas, entre períodos de trabalho, incluindo o tempo para passagem do turno.

No período de avaliação da sala de controle, a operação era realizada por cinco grupos de operadores. Os operadores licenciados trabalhavam em turno de doze horas. O fato persistiu até que novos operadores terminassem o curso de formação e treinamento e fossem incorporados ao grupo de operação como operadores licenciados.

- FONTE: IEC 964 (4.3.1)

INFORMAÇÕES: A sala de controle deve possuir espaço suficiente, permitindo que o grupo de operação realize todas as ações necessárias, minimizando os movimentos e deslocamentos dos operadores, durante situações de emergência.

COMENTÁRIOS: A sala de controle avaliada possui espaço suficiente, permitindo que o grupo de operação realize todas as ações necessárias. A área da sala de controle principal é de 180 metros quadrados.

- FONTE: IEC 964 – Anexo A (A.4.1.3)

INFORMAÇÕES: As seguintes capacidades visuais e auditivas humanas devem ser consideradas no projeto da sala de controle principal:

Auditivas:

- faixa de frequência: 200 Hz a 5000 Hz.
- faixa de frequência principal: 500 Hz a 3000 Hz.
- níveis de intensidade sonora: entre 60 dB (A) e 90dB (A).
- ruído máximo no ambiente: 45 dB (A).
- intensidade do sinal de emergência: 90 dB (A) a 100 dB (A).

Visuais:

- nível mínimo de iluminação: 200lux
- nível máximo de iluminação: 750 lux

COMENTÁRIOS: O capítulo 18 do relatório final de análise de segurança especifica que o nível de iluminação médio na sala de controle principal é de 800 lux. O capítulo 9 do relatório final de análise de segurança especifica que o sistema de emergência de iluminação fornece no mínimo 120 lux e que o sistema de segurança de iluminação fornece no mínimo 1 lux. O capítulo 18 do relatório final de análise de segurança especifica que o nível sonoro normal na sala de controle principal é maior que 30 dB(A) e menor que 55 dB(A). A intensidade sonora dos sinais de alarmes é pelo menos de 10 dB(A) a 20 dB(A) acima do nível sonoro normal da sala de controle principal. O nível máximo de ruído é de 70 dB(A).

- FONTE: IEC 964 – Anexo A (A.4.2.1; A.4.2.3)

INFORMAÇÕES: Como um requisito de segurança, as características do projeto da sala de controle principal impedem que um vazamento radioativo ou um incêndio se propague no seu interior. O acesso e a retirada dos operadores da sala de controle principal, em caso de emergência, é facilitado. Os dutos de ventilação devem ser equipados com monitores de radiação e gases tóxicos. Caso seja necessário, o sistema de ventilação da sala de controle principal pode ser isolado. A sala de controle deve se equipada com um sistema de detecção e combate de incêndios.

COMENTÁRIOS: Os sistemas que possibilitam a habitabilidade da sala de controle principal avaliada são formados pelos seguintes sistemas e equipamentos: blindagem da radiação, monitores de radiação, filtros de ar, sistemas de ventilação, sistema de iluminação normal, sistema de iluminação de emergência, sistema de iluminação de segurança, procedimentos administrativos, portas de proteção contra fogo, sistema de detecção de fogo, sistema de detecção de gases tóxicos, sistema de atuação contra incêndios, extintores de incêndio, facilidades sanitárias, equipamentos de proteção individual, medicamentos, alimentação e sistemas de proteção contra eventos externos, tais como, terremotos, ondas de choque provocadas por explosões.

Esses sistemas asseguram que os operadores possam permanecer na sala de controle principal, realizando ações para manter a planta nuclear em segurança, após um acidente, ou seja, manter a planta nuclear em uma condição subcrítica fria, assegurando a remoção do calor residual. O capítulo 9 do relatório final de análise de segurança especifica os sistemas de ventilação, ar condicionado e sistema de iluminação normal, de emergência e de segurança. O sistema de iluminação de emergência possibilita que determinadas áreas de trabalho, por razões de segurança, continuem iluminadas com pelo menos 120 lux. O sistema de iluminação de segurança possibilita que rotas de fuga, continuem iluminadas com pelo menos 1 lux. O capítulo 15 do mesmo relatório especifica os sistemas de monitoração da radiação. O capítulo 3 do mesmo relatório apresenta as rotas de fugas para os operadores e trabalhadores da usina e o acesso para a sala de controle de emergência.

- FONTE: IEC 964 – Anexo A (A.4.2.2)

INFORMAÇÕES: Com o objetivo de manter o ambiente confortável da sala de controle principal, permitindo que os operadores realizem suas tarefas com segurança, os seguintes requisitos devem ser satisfeitos:

- Iluminação: no projeto do sistema de iluminação deve ser dada atenção especial com relação a uniformidade, sombras e reflexos na sala de controle principal. Um sistema de iluminação de emergência deve continuamente gerar a iluminação necessária para a realização das tarefas, em caso de falha do sistema de iluminação normal.
- Ventilação: A sala de controle deve ter um sistema de ar condicionado.
- Condições sonoras: Devem ser consideradas as capacidades auditivas humanas.

COMENTÁRIOS: O capítulo 9 do relatório final de análise de segurança especifica que o sistema de iluminação é formado pelo sistema de iluminação normal, de emergência e de segurança. O projeto do sistema de iluminação possibilita uniformidade na iluminação, evitando reflexos na leitura e boa visualização das informações apresentadas nos medidores e monitores de vídeo. O sistema de iluminação de emergência possibilita que determinadas áreas de trabalho, por razões de segurança, continuem

iluminadas com pelo menos 120 lux. O sistema de iluminação de segurança possibilita que rotas de fuga, continuem iluminadas com pelo menos 1 lux.

O capítulo 9 do relatório final de análise de segurança específica o sistema de ventilação, cujo objetivo principal é manter a ventilação, remover o calor, gases e fumaças da sala de controle principal, caso ocorram acidentes.

O capítulo 18 do relatório final de análise de segurança específica que o nível sonoro normal na sala de controle principal é maior que 30 dB(A) e menor que 55 dB(A). A intensidade sonora dos sinais de alarme é de 10 dB(A) a 20 dB(A) acima do nível sonoro normal da sala de controle principal. O nível máximo de ruído é de 70 dB(A).

- FONTE: IEC 964 – Anexo A (A.4.3.1)

INFORMAÇÕES: Áreas de trabalho utilizadas continuamente devem ser projetadas considerando os operadores sentados e utilizando cadeiras adequadas. Também é necessário considerar os operadores na posição em pé. Deve ser previsto um espaço adequado para acesso aos manuais, espaço para escrita, espaço para armazenamento dos manuais.

COMENTÁRIOS: O arranjo funcional da sala de controle principal é formado pela área de controle principal e pela área de controle auxiliar. A área de controle principal é formada pelo console de controle mestre, CWA, e pelo console de informações, CWB. O projeto do console de controle mestre permite que os operadores do primário e secundário tenham acesso aos controles e acionamentos. No caso de uma emergência, com o desligamento rápido do reator, é necessário que o operador do primário altere sua posição, ou seja, esteja em pé. A figura 52 mostra o operador do secundário sentado em frente ao console de controle mestre, CWA.

No console de controle auxiliar estão diversos painéis formando uma área de controle em U. O console é dividido em quatro seções e sete painéis laterais. A seção principal deste console permite que o operador auxiliar realize sua atividade sentado ou em pé. A figura 53 mostra o operador de painel sentado, monitorando os painéis auxiliares.



Figura 52: Operador do Secundário no Console de Controle Mestre



Figura 53: Operador Auxiliar em Frente ao Console Auxiliar

Os procedimentos são colocados em um púlpito posicionado em frente do console de controle mestre, CWA. A figura 54 mostra este púlpito. A figura 55 mostra o encarregado utilizando um procedimento, colocado neste púlpito. No console de controle mestre não são previstos espaços especiais, para realizar anotações.



Figura 54: Púlpito Usado pelo Encarregado



Figura 55: Encarregado no Púlpito

A figura 56 mostra o espaço disponível no console de informações, CWB, utilizado para leitura dos diagramas esquemáticos.



Figura 56: Diagramas Esquemáticos no Console de Informações

A figura 57 mostra os armários onde são armazenados os manuais e procedimentos.



Figura 57: Armários com Manuais e Procedimentos

- FONTE: IEC 964 – Anexo A (A.4.3.2)

INFORMAÇÕES: A sala de controle principal deve ser dividida em áreas de operação, onde cada operador tem acesso aos controles e medidores. A configuração da sala de controle deve minimizar a interferência entre as tarefas, que estão sendo realizadas pelos operadores.

O arranjo dos painéis e consoles de controle deve facilitar o acesso imediato dos operadores às informações relacionadas com suas tarefas. O arranjo dos painéis e consoles de controle deve facilitar o deslocamento dos operadores, facilitar a comunicação e coordenação entre os operadores.

COMENTÁRIOS: O arranjo funcional da sala de controle principal é formado pela área de controle principal e pela área de controle auxiliar. A área de controle principal é formada pelo console de controle mestre, CWA, e pelo console de informações, CWB. No console de controle mestre estão os controles e as informações relacionadas com a partida, subida de potência, operação em potência nominal, desligamento da turbina e desligamento do reator. Os medidores e alarmes associados com os controles citados anteriormente, estão localizados no painel superior de CWA. O projeto do console de controle mestre permite que os operadores do primário e secundário tenham fácil acesso aos controles e acionamentos. No caso de uma emergência, com o desligamento rápido do reator, é necessário que o operador do primário altere sua posição, ou seja, esteja em pé.

No console de informações, CWB, estão localizados medidores, registradores gráficos e os monitores coloridos para anunciação de alarmes e apresentação da tendência das variáveis.

A área de controle auxiliar é formada pelo console de controle auxiliar. Neste console estão diversos painéis formando uma área de controle em U. O console é dividido em quatro seções e sete painéis laterais. A seção principal deste console permite que o operador auxiliar realize sua atividade sentado ou em pé.

- FONTE: IEC 964 – Anexo A (A.4.5.3)

INFORMAÇÕES: A identificação utilizada na sala de controle principal deve ser consistente com a identificação utilizada nas outras áreas da planta nuclear. Os critérios utilizados na identificação são os seguintes:

- as palavras, termos e abreviações devem ser consistentes e facilmente compreendidas;
- a identificação deve transmitir uma descrição funcional idêntica à utilizada nos diagramas esquemáticos e manual de operação.

COMENTÁRIOS: Todos os sistemas, equipamentos e componentes apresentam terminologia padronizada baseada no sistema de identificação KKS (*Kraftwerk Kennzeichensystem*). As exigências básicas para o desenvolvimento do KKS incluíram a identificação detalhada e padronizada para todos os

sistemas, equipamentos e componentes, de acordo com as suas funções no processo, com a identificação dos locais de instalação, com a identificação das estruturas, áreas externas, salas e áreas de incêndios.

- FONTE: IEC 964 – Anexo A (A.4.6.1)

INFORMAÇÕES: É preferível acomodar os visitantes em uma sala separada ao invés de deixá-los na área de visão dos operadores.

COMENTÁRIOS: Não existe uma área reservada para os visitantes. Entretanto, não é permitido que os visitantes entrem na área primária de operação.

- FONTE: IEC 964 – Anexo A (A.4.6.1)

INFORMAÇÕES: Deve existir um número adequado de impressoras na sala de controle principal ou em salas adjacentes, permitindo a impressão dos valores das principais variáveis envolvidas no processo.

COMENTÁRIOS: A impressora localizada ao lado do console de controle mestre imprime os alarmes apresentados nos monitores do sistema computadorizado de alarmes, localizados no console de informações, CWB. Na sala do computador de processo estão instaladas três impressoras, que imprimem os dados do processo, dados dos eventos, registro da tendência das variáveis.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (11.1.1.1)

INFORMAÇÕES: A altura dos consoles, com ou sem painéis anunciadores de alarme, não deve exceder 147 centímetros, quando é necessário que o operador esteja em pé para monitorar seus painéis.

COMENTÁRIOS: A altura do console de controle mestre, CWA, é de 86,5 centímetros. A altura do console de informações é de 116 centímetros.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (11.1.2.8; 11.2.1.9; 11.2.1.10)

INFORMAÇÕES: A distância para uma boa visão das informações apresentadas nos monitores de computadores é de 33 a 80 centímetros, considerando os operadores sentados. A melhor distância é de 46 a 61 centímetros. Deve ser considerado o tamanho dos monitores, tamanho das letras e a resolução do monitor. Todos os controles e medidores devem estar posicionados ao alcance dos operadores. Deve existir espaço suficiente entre a cadeira do operador e o console de controle mestre, CWA, para que os operadores possam posicionar seus pés e suas pernas com conforto.

COMENTÁRIOS: A distância da visão dos operadores, sentados, do console de controle mestre até os monitores posicionados no console de informações é de 223 centímetros.

Todos os controles e medidores posicionados no console de controle mestre, CWA, estão ao alcance dos operadores do primário e secundário.

Existe espaço suficiente entre a cadeira do operador e o console de controle, CWA.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (11.1.2.11; 11.1.2.12)

INFORMAÇÕES: Deve ser prevista uma área no console de controle, caso os operadores tenham necessidade de utilizá-la como espaço para escrever. Deve ser prevista uma área no console de controle, para utilização dos procedimentos e manuais.

COMENTÁRIOS: No console de controle mestre, CWA, não são previstos espaços especiais para que o operador possa realizar anotações. A figura 25 mostra como o operador do secundário utiliza o console de controle mestre para fazer anotações. A figura 57 mostra o espaço utilizado no console de informações, CWB, para colocação de diagramas esquemáticos.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (11.1.3.1; 11.1.3.2)

INFORMAÇÕES: Os operadores devem se alternar nas posições em pé e sentado, quando necessitam de mobilidade para monitorar determinadas áreas dos painéis. Os operadores devem estar sentados para executar seqüências precisas de uma tarefa. Os operadores devem utilizar cadeiras móveis, cuja altura não dificulte ou interfira na monitoração dos valores apresentados nos monitores e medidores.

COMENTÁRIOS: Os operadores do primário e secundário, durante a execução de uma seqüência de ações, estão na posição sentado. A figura 52 mostra o operador do secundário sentado. A figura 53 mostra o operador auxiliar sentado. Durante a monitoração ou mesmo durante ações de emergência, os operadores podem estar na posição em pé. A figura 58 mostra os operadores do primário e secundário em pé.



Figura 58: Operadores do Primário e Secundário em Pé

Os operadores utilizam cadeiras móveis. A figura 59 mostra uma das cadeiras utilizadas.



Figura 59: Cadeiras Móveis Usadas pelos Operadores

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (11.1.2.2)

INFORMAÇÕES: Os controles e os medidores localizados nos consoles de controles devem ser colocados em uma altura entre 76 e 94 centímetros, acima do nível do chão. Os anunciadores de alarmes localizados nos consoles de controles devem ser colocados em uma altura acima de 92 centímetros, em relação ao nível do chão.

COMENTÁRIOS: Os controles e medidores localizados no console de controle mestre, CWA, estão colocados em uma altura de 79 centímetros, acima do nível do chão. Os anunciadores de alarmes posicionados no console de controle mestre, CWA, estão em uma altura de 98 centímetros.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (11.1.4.1; 11.1.4.2)

INFORMAÇÕES: Os controles localizados nos painéis auxiliares verticais devem ser colocados em uma altura 76 e 193 centímetros, acima do nível do chão. Medidores posicionados nos painéis auxiliares verticais devem ser colocados em uma altura entre 104 e 178 centímetros, acima do nível do chão.

COMENTÁRIOS: Os controles localizados nos painéis auxiliares verticais estão posicionados em uma altura entre 84 e 116 centímetros, acima do nível do chão.

Os medidores, registradores gráficos localizados nos painéis auxiliares verticais estão posicionados em uma altura acima de 116 centímetros e abaixo de 220 centímetros, acima do nível do chão.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (11.1.5.1; 11.1.5.2; 11.1.5.3; 11.1.6.1; 11.1.6.3; 11.1.6.4; 11.1.6.6)

INFORMAÇÕES: As mesas de trabalho devem ter espaço suficiente para acomodar todos os materiais utilizados durante a execução das tarefas. As mesas de trabalho devem ter espaço adequado, possibilitando que as cadeiras móveis possam ser posicionadas em diferentes posições. As cadeiras devem ser giratórias e móveis. As cadeiras devem ter descanso para os braços, caso os operadores tenham que permanecer sentados durante um longo período. Deve ser possível o ajuste da altura da cadeira.

COMENTÁRIOS: As mesas de trabalho têm espaço suficiente para posicionar as cadeiras e para acomodar alguns materiais consultados durante a execução das tarefas. As cadeiras utilizadas são giratórias, móveis, com ajuste da altura e com descanso para os braços. A figura 60 mostra as mesas de trabalho e as cadeiras.



Figura 60: Mesas de Trabalho

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (12.1.1.1.1; 12.1.1.1.2; 12.1.1.2.2; 12.1.1.2.3)

INFORMAÇÕES: Os operadores não devem deixar a área de operação primária para monitorar sistemas, localizados em painéis laterais, durante uma seqüência operacional em que a monitoração contínua no console de controle mestre seja crítica.

Quando é necessário a participação de um grupo externo na sala de controle principal, as tarefas devem ser planejadas.

Deve ser limitado o acesso de pessoas não essenciais, mas autorizadas, em determinadas áreas da sala de controle principal.

COMENTÁRIOS: Durante etapas consideradas críticas na parada e partida programada do reator, os operadores do primário e secundário permanecem nos consoles de controle mestre, CWA. A monitoração dos painéis auxiliares é feita pelo operador de painel. Durante a parada e partida programada do reator, o setor de planejamento determina as tarefas que devem ser realizadas pelo grupo de operação, pelo setor de manutenção, setor químico e instrumentação. A figura 61 mostra o cronograma definido pelo setor de planejamento, durante a parada e partida programada do reator.

Durante a parada programada, após o desligamento do reator, não foi limitado o acesso de trabalhadores dos setores de manutenção e instrumentação, na sala de controle principal. A figura 17 mostra esta situação.



Figura 61: Cronograma Definido pelo Setor de Planejamento

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (12.1.1.3.1; 12.1.1.3.2)

INFORMAÇÕES: A posição das cadeiras nos consoles de controle deve facilitar a monitoração, o controle e a comunicação entre os operadores na área de operação primária.

COMENTÁRIOS: As cadeiras utilizadas pelos operadores são cadeiras giratórias, móveis, permitindo que os operadores alterem sua posição, facilitando a operação e a comunicação.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (12.1.1.3.3; 12.1.1.3.4; 12.1.1.3.5; 12.1.1.3.6; 12.1.1.3.7)

INFORMAÇÕES: O operador deve ser capaz de se deslocar na área primária de operação, sem que seja necessário transpor obstáculos. O *layout* da sala de controle deve facilitar os movimentos e a comunicação entre os operadores. Deve existir um espaço adequado atrás do operador do primário e secundário, sentados em cadeira no console, de modo que eles possam se movimentar facilmente. As partes traseiras dos painéis e equipamentos devem ser protegidas e fechadas, evitando a introdução de objetos indesejáveis.

COMENTÁRIOS: Não existem obstáculos que dificultem os deslocamentos dos operadores na área primária de operação.

O *layout* da sala de controle principal, formando uma área de controle em U, facilita os deslocamentos dos operadores.

Existe espaço suficiente para os operadores se deslocarem com facilidade.

As partes traseiras dos painéis e equipamentos são protegidas e fechadas.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (12.1.1.4.1; 12.1.1.4.2; 12.1.1.4.3; 12.1.1.4.4; 12.1.1.4.5; 12.1.1.4.6)

INFORMAÇÕES: Todos os documentos, manuais e procedimentos utilizados durante a operação, devem ser mantidos na sala de controle principal em locais de fácil acesso. Os documentos, manuais e procedimentos devem ser protegidos. Etiquetas de identificação devem ser colocadas em todos os documentos, manuais e procedimentos. Deve ser possível manusear com facilidade os documentos, manuais e procedimentos. Grupos de procedimentos devem ser armazenados separadamente. Os documentos e procedimentos devem ser colocados em estantes e armários.

COMENTÁRIOS: Os procedimentos e o manual de operação estão colocados em estantes, localizadas na sala de controle principal. Estas estantes estão próximas da área primária de operação. Todos os procedimentos e o manual de operação possuem capas de proteção e são facilmente manuseados. Todos os procedimentos e o manual de operação estão corretamente identificados. Grupos de procedimentos estão separados de outros documentos. As figuras 57 e 62 mostram as estantes com os procedimentos e os armários utilizados para os diagramas esquemáticos.



Figura 62: Armário Para os Diagramas Esquemáticos

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (12.1.1.6.1; 12.1.1.6.2)

INFORMAÇÕES: A localização da sala do supervisor deve facilitar o rápido acesso na sala de controle principal, em operação normal e situações de emergência. Devem existir meios de comunicação entre a área de operação primária e a sala do supervisor, quando esta sala não estiver dentro dos limites da sala de controle principal.

COMENTÁRIOS: A sala do supervisor está localizada nas cercanias da área de operação primária. O supervisor tem uma visão da sala de controle, através de uma janela envidraçada. Em caso de acidente ou situações anormais, o acesso à sala de controle principal é feito através de uma porta. A figura 26 mostra a sala do supervisor.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (12.1.2.1)

INFORMAÇÕES: O sistema de controle de temperatura deve ser capaz de manter a temperatura na sala de controle principal entre 20°C e 24°C no inverno e entre 23°C e 26°C no verão, com uma umidade relativa entre 30% e 60%.

COMENTÁRIOS: A temperatura da sala de controle principal é de 24°C ± 1°C. A umidade relativa na sala de controle principal é 45% ± 8%

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (12.1.2.2.1)

INFORMAÇÕES: O sistema de ventilação deve ser capaz de introduzir ar na sala de controle principal com uma vazão de no mínimo 0,0094 metros cúbico por segundo.

COMENTÁRIOS: O ar entra na sala de controle principal com uma vazão de 2,61 metros cúbico por segundo.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (12.1.2.3.1; 12.1.2.3.3)

INFORMAÇÕES: O nível de iluminação nos painéis auxiliares e na área de operação primária deve variar de 215 lux até 538 lux. O nível de iluminação em toda sala de controle principal deve variar de 215 lux até 1076 lux. Luzes auxiliares devem ser providenciadas, quando o grupo de operação estiver realizando tarefas visuais em áreas onde a iluminação não é adequada.

COMENTÁRIOS: O nível de iluminação médio na sala de controle principal é 800 lux. O sistema de iluminação é formado pelo sistema de iluminação normal, de emergência e de segurança. O sistema de iluminação de emergência possibilita que determinadas áreas de trabalho, por razões de segurança, continuem iluminadas com pelo menos 120 lux. O sistema de iluminação de segurança possibilita que rotas de fuga, continuem iluminadas com pelo menos 1 lux.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (12.1.2.4.1; 12.1.2.4.2; 12.1.2.4.3)

INFORMAÇÕES: O sistema de iluminação de emergência da sala de controle principal deve ser automaticamente ativado, quando falhar o sistema de iluminação normal. Falhas no sistema de iluminação normal da sala de controle principal, não podem degradar a operacionalidade do sistema de iluminação de emergência.

O sistema de iluminação de emergência deve ser projetado para fornecer um nível de iluminação mínimo de 107 lux em todos os consoles localizados na área primária de operação.

COMENTÁRIOS: O sistema de iluminação da sala de controle principal é formado pelo sistema de iluminação normal, de emergência e de segurança. Todos sistemas são independentes.

Os sistemas de iluminação de emergência e de segurança são ativados automaticamente ou através de interruptores localizados na sala de controle principal e em outras áreas da planta nuclear.

O sistema de iluminação de emergência possibilita que determinadas áreas de trabalho, por razões de segurança, continuem iluminadas com pelo menos 120 lux. O sistema de iluminação de segurança possibilita que rotas de fuga, continuem iluminadas com pelo menos 1 lux.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (12.1.2.5.1; 12.1.2.5.2; 12.1.2.5.3; 12.1.2.5.4)

INFORMAÇÕES: O projeto acústico da sala de controle principal deve assegurar que a comunicação entre os operadores não seja prejudicada, que os sinais sonoros sejam facilmente detectados, que a distração, irritação e fadiga dos operadores, causada pelo nível de ruído no ambiente, sejam minimizadas. O ruído no ambiente da sala de controle não deve prejudicar a comunicação verbal entre os operadores. O ruído no ambiente da sala de controle não deve exceder 65 dB(A).

COMENTÁRIOS: O projeto acústico da sala de controle principal assegura a comunicação entre os operadores, evitando que o nível de ruído prejudique esta troca de informação. O capítulo 18 do relatório final de análise de segurança específica que o nível sonoro normal na sala de controle principal é maior que 30 dB(A) e menor que 55 dB(A). A intensidade sonora dos sinais de alarmes é pelo menos de 10 dB(A) a 20 dB(A) acima do nível sonoro normal da sala de controle principal. O nível máximo de ruído é de 55 dB(A), em um período de avaliação de oito horas.

- FONTE: NUREG 700 Revisão 2, Cap.1 (12.1.1.10.2; 12.1.1.10.3)

INFORMAÇÕES: Deve existir uma sala de repouso, um banheiro e uma cozinha nos limites da sala de controle principal. Deve ser facilitado o acesso do grupo de operação nestas áreas.

COMENTÁRIOS: Nas cercanias da sala de controle principal existem uma cozinha, um banheiro e uma área de descanso. O acesso para o banheiro, para a sala de descanso e a cozinha é feito a partir da sala de controle principal, entrando na sala ocupada pelo setor de planejamento e abrindo quatro portas corta fogo. A figura 31 mostra a cozinha com a área de descanso.

ANEXO B - Avaliação Utilizando Listas de Verificação

B.1 Lista de Verificação do Console de Controle Mestre, CWA

1. As informações apresentadas no sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis são lidas sem dificuldade pelos operadores, ou seja, estão na área ótima de visão, considerando os operadores na posição normal de operação.
() SIM (X) NÃO
2. As informações apresentadas no sistema de alarme computadorizado são lidas sem dificuldade pelos operadores, ou seja, estão na área ótima de visão, considerando os operadores na posição normal de operação.
() SIM (X) NÃO
3. As características dos sinais sonoros e visuais facilitam a localização das áreas onde a atenção do operador é necessária.
(X) SIM () NÃO
4. As características dos sinais sonoros não interferem com a comunicação verbal entre os operadores.
(X) SIM () NÃO
5. O sinal de alarme é facilmente distinguido do sinal de emergência e é usado para indicar uma condição que requer atenção do operador, mas não necessariamente uma ação imediata.
(X) SIM () NÃO
6. Sinal de alarme e sinal de emergência são acompanhados de sinais visuais.
(X) SIM () NÃO
7. As fontes geradoras de sinais sonoros, alto-falantes, sirenes, direcionam o som para o centro da área primária de operação.
(X) SIM () NÃO
8. Sinal de alarme e sinal de emergência são audíveis em toda a sala de controle principal.
(X) SIM () NÃO
9. Os controles frequentemente utilizados são visíveis e de fácil acesso pelo operador, em sua posição normal de trabalho.
(X) SIM () NÃO
10. Nos medidores com escalas circulares, os valores das variáveis aumentam com o deslocamento do ponteiro no sentido horário.
(X) SIM () NÃO
11. Nos medidores com escalas verticais, os valores das variáveis aumentam com o deslocamento do ponteiro de baixo para cima.
(X) SIM () NÃO
12. Nos medidores com escalas horizontais, os valores das variáveis aumentam com o deslocamento do ponteiro da esquerda para a direita.
(X) SIM () NÃO
13. São usadas lâmpadas com filamentos duplos nos indicadores luminosos.
(X) SIM () NÃO
14. O *status* de um equipamento ou de um sistema é verificado através de uma indicação luminosa e nunca pela falta dessa indicação.
(X) SIM () NÃO

15. Os procedimentos para introdução de dados são consistentes com relação às indicações no console de controle.
(X) SIM () NÃO
16. As ações realizadas para introdução de dados são simples e compatíveis com a expectativa do operador, sendo que as mudanças refletem as ações realizadas pelo operador.
(X) SIM () NÃO
17. Os dispositivos de entrada de dados e os medidores correspondentes estão localizados na área primária de operação.
(X) SIM () NÃO
18. Os controles e medidores estão posicionados em grupos funcionais.
(X) SIM () NÃO
19. Os controles e medidores são posicionados próximos, quando são monitorados e atuados em uma seqüência específica.
(X) SIM () NÃO
20. Os controles e medidores usados mais freqüentemente são posicionados na área central da visão e de atuação do operador.
(X) SIM () NÃO
21. A atuação de um controle não é dificultada pela posição do controle adjacente.
(X) SIM () NÃO
22. A atuação de um controle não resulta em uma atuação acidental do controle adjacente.
(X) SIM () NÃO
23. O controle usado por um operador não interfere com o controle usado por outro operador.
(X) SIM () NÃO
24. Os controles e medidores estão corretamente identificados.
(X) SIM () NÃO
25. Um sistema de identificação padronizado é utilizado no console de controle.
(X) SIM () NÃO
26. As etiquetas de identificação adjacentes são separadas por um espaço suficiente, evitando um erro na leitura.
(X) SIM () NÃO
27. As etiquetas de identificação são orientadas horizontalmente, possibilitando uma leitura fácil e rápida, da esquerda para a direita.
(X) SIM () NÃO
28. As etiquetas de identificação não interferem na leitura das escalas e dos dados.
(X) SIM () NÃO
29. As etiquetas de identificação são visíveis para o operador durante uma ação de controle.
(X) SIM () NÃO
30. Símbolos, palavras, abreviações usados na identificação dos sistemas e componentes têm um significado comum para todos os operadores.
(X) SIM () NÃO
31. Não existe qualquer discrepância entre a nomenclatura usada nos procedimentos e a usada nas etiquetas de identificação.
(X) SIM () NÃO

32. A direção do movimento dos controles do tipo rotativo está identificada.
(X) SIM () NÃO
33. A posição dos controles é visível durante a operação.
(X) SIM () NÃO
34. As etiquetas de identificação temporárias e não fixas identificam os componentes e equipamentos que estão fora de serviço.
(X) SIM () NÃO
35. As etiquetas de identificação temporárias e não fixas não escondem as etiquetas de identificação permanentes.
(X) SIM () NÃO
36. A colocação das etiquetas de identificação temporárias e não fixas é bem definida
(X) SIM () NÃO
37. O uso de etiquetas de identificação temporárias é controlado administrativamente
(X) SIM () NÃO
38. As linhas de demarcação utilizadas nos consoles e painéis de controles são usadas para agrupar controles e medidores relacionados funcionalmente.
(X) SIM () NÃO
39. As linhas de demarcação são contrastantes com a cor dos painéis.
(X) SIM () NÃO
40. Se uma chave ou tecla realiza uma determinada função em um dado contexto de uma tarefa, então a mesma chave ou tecla realiza a mesma função em outro contexto da tarefa.
(X) SIM () NÃO
41. Em um acionamento duplo a relação lógica entre as funções de cada acionamento é consistente em todos os painéis.
(X) SIM () NÃO
42. O movimento dos controles está de acordo com os estereótipos da população.
(X) SIM () NÃO
43. Os controles que realizam as mesmas funções em diferentes sistemas têm o mesmo tamanho.
(X) SIM () NÃO
44. As cores dos controles contrastam com a cor do console.
(X) SIM () NÃO
45. Controles que realizam funções similares estão localizados na mesma posição de um console ou de um painel em relação a outro console ou painel.
(X) SIM () NÃO
46. A posição dos controles e medidores associados não atrapalha com a leitura das variáveis.
(X) SIM () NÃO
47. Os controles e medidores associados estão claramente identificados.
(X) SIM () NÃO
48. Múltiplos controles e medidores relacionados com a mesma função são posicionados próximos.
(X) SIM () NÃO
49. A configuração preferida é com o medidor posicionado acima de cada controle.
(X) SIM () NÃO

50. Duas ou mais filas de medidores são posicionadas acima de uma fila de controles.
(X) SIM () NÃO
51. Múltiplos controles são posicionados abaixo do medidor associado.
(X) SIM () NÃO
52. Múltiplos controles são agrupados em linha.
(X) SIM () NÃO
53. Múltiplos medidores são posicionados acima do controle associado.
(X) SIM () NÃO
54. Múltiplos medidores são agrupados em linha.
(X) SIM () NÃO
55. Quando existir uma seqüência normal de uso, os múltiplos medidores são lidos da esquerda para a direita ou de cima para baixo.
(X) SIM () NÃO
56. A manipulação dos controles não impede a leitura dos valores apresentados nos medidores.
(X) SIM () NÃO
57. Os controles do tipo rotativo são acionados no sentido horário.
(X) SIM () NÃO
58. O formato dos controles do tipo rotativo é facilmente identificado pelos operadores
(X) SIM () NÃO
59. Os dispositivos de entrada de dados numéricos são equipados com um teclado numérico.
(X) SIM () NÃO
60. Os *pushbuttons* são posicionados em uma seqüência lógica relacionada com as ações dos operadores.
(X) SIM () NÃO
61. As identificações dos *pushbuttons* são facilmente lidas pelos operadores na posição normal de trabalho.
(X) SIM () NÃO
62. O movimento no sentido horário do controle do tipo rotativo:
- aciona os ponteiros nos medidores associados com escala linear da esquerda para a direita ou de baixo para cima;
- aumenta progressivamente os valores apresentados nos mostradores digitais associados;
- aciona os ponteiros nos medidores circulares associados no sentido horário.
(X) SIM () NÃO
63. Os controles acionados por chaves estão no estado desligado ou seguro, quando essas chaves estão na posição vertical.
(X) SIM () NÃO
64. Os controles acionados por chaves estão claramente identificados.
(X) SIM () NÃO
65. O operador na sua posição normal de trabalho lê com facilidade os valores apresentados nos *thumbwheels*.
(X) SIM () NÃO
66. A altura do console, com ou sem painéis anunciadores de alarme, é menor que 147 centímetros quando é necessário que o operador alterne de posição de trabalho.
(X) SIM () NÃO

67. Existe uma área reservada no console de 40 centímetros de profundidade e 61 centímetros de largura para o operador usá-la para anotações.
() SIM (X) NÃO
68. Existe uma área reservada no console para o operador consultar os procedimentos e manuais, enquanto realiza as tarefas.
() SIM (X) NÃO
69. Quando o operador necessita de mobilidade para monitorar os painéis de controle, a posição de trabalho pode ser em pé ou sentada. Quando o operador necessita realizar uma seqüência precisa de ações, a posição normal de trabalho é sentada.
(X) SIM () NÃO
70. Os controles e os medidores localizados nos consoles de controles estão colocados em uma altura entre 76 e 94 centímetros, acima do nível do chão.
(X) SIM () NÃO
71. Os anunciadores de alarmes localizados nos consoles de controles devem ser colocados em uma altura acima de 92 centímetros, em relação ao nível do chão.
(X) SIM () NÃO

B.2 Lista de Verificação do Console de Informações, CWB

1. Nos medidores com escalas circulares, os valores das variáveis aumentam com o deslocamento do ponteiro no sentido horário.
(X) SIM () NÃO
2. Nos medidores com escalas verticais, os valores das variáveis aumentam com o deslocamento do ponteiro de baixo para cima.
(X) SIM () NÃO
3. Nos medidores com escalas horizontais, os valores das variáveis aumentam com o deslocamento do ponteiro da esquerda para a direita.
(X) SIM () NÃO
4. Lâmpadas de filamento duplo são usadas nos indicadores luminosos posicionados no console e painéis de controle.
(X) SIM () NÃO
5. Medidores e registradores gráficos são posicionados juntos, quando são monitorados em uma seqüência específica.
(X) SIM () NÃO
6. Medidores e registradores gráficos relacionados funcionalmente são posicionados juntos.
(X) SIM () NÃO
7. A disposição dos grupos de medidores é consistente em todo o console.
(X) SIM () NÃO
8. São usadas etiquetas para identificar os medidores agrupados no console.
() SIM (X) NÃO
9. São usadas etiquetas para identificar os registradores gráficos agrupados no console.
() SIM (X) NÃO
10. O acesso aos painéis traseiros do console é identificado.
(X) SIM () NÃO

11. As etiquetas de identificação temporária e não fixas são usadas para identificar os componentes e equipamentos, que estão fora de serviço.
(X) SIM () NÃO
12. O uso de etiquetas de identificação temporária é controlado administrativamente.
(X) SIM () NÃO
13. A posição dos medidores e registradores gráficos associados não atrapalha a leitura dos parâmetros de operação.
(X) SIM () NÃO
14. Múltiplos medidores são agrupados horizontalmente.
(X) SIM () NÃO
15. Quando existir uma seqüência normal de uso, os múltiplos medidores são lidos da esquerda para a direita ou de cima para baixo.
(X) SIM () NÃO
16. A altura do console é menor que 147 centímetros.
(X) SIM () NÃO
17. Os medidores são posicionados em uma altura entre 76 e 94 centímetros, acima do nível do chão.
(X) SIM () NÃO

B.3 Lista de Verificação dos Painéis de Controle Auxiliares

1. As características dos sinais sonoros e visuais facilitam a localização das áreas, onde a atenção do operador é necessária.
(X) SIM () NÃO
2. As características dos sinais sonoros não interferem com a comunicação verbal entre os operadores.
(X) SIM () NÃO
3. O sinal de alarme é facilmente distinguido do sinal de emergência e é usado para indicar uma condição que requer atenção do operador, mas não necessariamente uma ação imediata.
(X) SIM () NÃO
4. Sinal de alarme e sinal de emergência são acompanhados de sinais visuais.
(X) SIM () NÃO
5. As fontes geradoras de sinais sonoros, alto-falantes, sirenes, direcionam o som para o centro da área primária de operação.
(X) SIM () NÃO
6. Sinal de alarme e sinal de emergência são audíveis em toda a sala de controle principal.
(X) SIM () NÃO
7. Os controles freqüentemente utilizados são visíveis e de fácil acesso pelo operador, em sua posição normal de trabalho.
(X) SIM () NÃO
8. Nos medidores com escalas circulares, os valores das variáveis aumentam com o deslocamento do ponteiro no sentido horário.
(X) SIM () NÃO
9. Nos medidores com escalas verticais, os valores das variáveis aumentam com o deslocamento do ponteiro de baixo para cima.
(X) SIM () NÃO

10. Nos medidores com escalas horizontais, os valores das variáveis aumentam com o deslocamento do ponteiro da esquerda para a direita.
(X) SIM () NÃO
11. Lâmpadas de filamentos duplos são usadas nos indicadores luminosos.
(X) SIM () NÃO
12. O *status* de um equipamento, sistema é verificado através de uma indicação luminosa e nunca pela falta dessa indicação.
(X) SIM () NÃO
13. Os procedimentos para controle são consistentes com relação às indicações apresentadas nos painéis auxiliares.
(X) SIM () NÃO
14. As ações realizadas são simples e compatíveis com a expectativa do operador, sendo que as mudanças refletem as ações realizadas pelo operador.
(X) SIM () NÃO
15. O posicionamento dos controles e medidores é realizado em grupos funcionais.
(X) SIM () NÃO
16. Controles e medidores são posicionados próximos, quando são observados e atuados em uma seqüência específica.
(X) SIM () NÃO
17. Controles e medidores usados freqüentemente são posicionados na área central de visão e de atuação do operador.
(X) SIM () NÃO
18. A atuação de um controle não é dificultada pela posição do controle adjacente.
(X) SIM () NÃO
19. A atuação de um controle não resulta em uma atuação acidental do controle adjacente.
(X) SIM () NÃO
20. Controles e medidores estão corretamente identificados
(X) SIM () NÃO
21. Um sistema de identificação padronizado é utilizado nos painéis de controle auxiliares.
(X) SIM () NÃO
22. As etiquetas de identificação adjacentes são separadas por um espaço suficiente, evitando um erro na leitura.
(X) SIM () NÃO
23. As etiquetas de identificação são orientadas horizontalmente, possibilitando uma leitura fácil e rápida, da esquerda para a direita.
(X) SIM () NÃO
24. As etiquetas de identificação não interferem na leitura das escalas e das informações.
(X) SIM () NÃO
25. As etiquetas de identificação são visíveis para o operador durante uma ação de controle.
(X) SIM () NÃO
26. Símbolos, palavras, abreviações usadas na identificação dos sistemas, componentes têm um significado comum para todos os operadores.
(X) SIM () NÃO

27. Não existe qualquer discrepância entre a nomenclatura usada nos procedimentos e a usada nas etiquetas de identificação.
(X) SIM () NÃO
28. A direção do movimento dos controles do tipo rotativo é identificada.
(X) SIM () NÃO
29. A posição dos controles do tipo rotativo é visível durante a operação.
(X) SIM () NÃO
30. As etiquetas de identificação temporária e não fixas identificam os componentes e equipamentos, que estão fora de serviço.
(X) SIM () NÃO
31. As etiquetas de identificação temporária e não fixas não ocultam as etiquetas de identificação permanentes.
(X) SIM () NÃO
32. O uso de etiquetas de identificação temporária é controlado administrativamente.
(X) SIM () NÃO
33. As linhas de demarcação são usadas nos consoles e painéis para agrupar controles e medidores relacionados funcionalmente.
(X) SIM () NÃO
34. As linhas de demarcação são contrastantes com a cor dos painéis.
(X) SIM () NÃO
35. Se uma chave ou tecla realiza uma determinada função em um dado contexto de uma tarefa, então a mesma tecla ou chave realiza a mesma função em outro contexto da tarefa.
(X) SIM () NÃO
36. Em um acionamento duplo, a relação lógica entre as funções de cada acionamento é consistente em todos os painéis.
(X) SIM () NÃO
37. O movimento dos controles está de acordo com os estereótipos da população.
(X) SIM () NÃO
38. Os controles usados para realizar as mesmas funções, em diferentes sistemas, têm o mesmo tamanho.
(X) SIM () NÃO
39. As cores dos controles contrastam com a cor dos painéis.
(X) SIM () NÃO
40. Controles que realizam funções similares estão localizados na mesma posição de um painel em relação ao outro.
(X) SIM () NÃO
41. A posição dos controles e medidores associados não atrapalha com a leitura das variáveis.
(X) SIM () NÃO
42. Os controles e medidores associados estão claramente identificados.
(X) SIM () NÃO
43. Múltiplos controles e medidores relacionados com a mesma função são posicionados próximos.
(X) SIM () NÃO

44. A configuração preferida é com o medidor posicionado acima de cada controle.
(X) SIM () NÃO
45. Duas ou mais filas de medidores são posicionadas acima de uma fila de controles.
(X) SIM () NÃO
46. Múltiplos controles são posicionados abaixo do medidor associado.
(X) SIM () NÃO
47. Múltiplos controles são agrupados em linha.
(X) SIM () NÃO
48. Múltiplos medidores são posicionados acima do controle associado.
(X) SIM () NÃO
49. Múltiplos medidores são agrupados em linha.
(X) SIM () NÃO
50. Quando existir uma seqüência normal de uso, os múltiplos medidores são lidos da esquerda para a direita ou de cima para baixo.
(X) SIM () NÃO
51. A manipulação dos controles não impede a leitura dos valores apresentados nos múltiplos medidores.
(X) SIM () NÃO
52. Os controles do tipo rotativo são acionados no sentido horário.
(X) SIM () NÃO
53. O formato dos controles do tipo rotativo é visualmente identificado pelos operadores.
(X) SIM () NÃO
54. Os *pushbuttons* são posicionados em uma seqüência lógica relacionada com as ações dos operadores.
(X) SIM () NÃO
55. As identificações dos *pushbuttons* são facilmente lidas pelos operadores na posição normal de trabalho.
(X) SIM () NÃO
56. O movimento no sentido horário do controle do tipo rotativo:
- aciona os ponteiros nos medidores associados com escala linear da esquerda para a direita ou de baixo para cima;
- aumenta progressivamente os valores apresentados nos mostradores digitais associados;
- aciona os ponteiros nos medidores circulares associados no sentido horário.
(X) SIM () NÃO
57. Os controles acionados por chaves estão no estado desligado ou no estado seguro, quando essas chaves estão na posição vertical.
(X) SIM () NÃO
58. Os controles acionados por chaves estão claramente identificados.
(X) SIM () NÃO
59. O operador da sua posição normal de trabalho lê com facilidade os valores apresentados nos *thumbwheels*.
(X) SIM () NÃO

60. A altura do console, com ou sem painéis anunciadores de alarme, é menor que 147 centímetros, quando é necessário que o operador alterne de posição de trabalho.
(X) SIM () NÃO

61. Quando o operador necessita de mobilidade para monitorar os painéis de controle, a posição de trabalho pode ser em pé ou sentada. Quando o operador necessita realizar uma seqüência precisa de ações, a posição de trabalho do operador deve ser sentada.
(X) SIM () NÃO

62. Os controles e medidores são posicionados em uma altura entre 86 centímetros e 135 centímetros, acima do nível do chão.
(X) SIM () NÃO

B.4 Lista de Verificação do Sistema de Comunicação

1. Os operadores na sua posição normal de trabalho têm acesso aos equipamentos de comunicação.
(X) SIM () NÃO

2. As instruções para uso dos sistemas de comunicação estão disponíveis na sala de controle principal.
(X) SIM () NÃO

3. Existem procedimentos que definem as prioridades para transmissão de mensagens de emergência.
(X) SIM () NÃO

4. Existem procedimentos que definem o uso dos sistemas de comunicação durante uma emergência.
(X) SIM () NÃO

5. O projeto dos equipamentos de comunicação permite uma fácil operação e um rápido manuseio.
(X) SIM () NÃO

6. Testes periódicos são realizados nos sistemas de comunicação.
(X) SIM () NÃO

7. O sistema convencional de telefones está localizado em uma mesa de trabalho, sendo que cada telefone está identificado, de acordo com a sua função.
(X) SIM () NÃO

8. O sistema de comunicação através de telefones sem fio está disponível na sala de controle principal.
(X) SIM () NÃO

9. *Walk-talks* são utilizados durante a operação normal ou em caso de emergência, como uma alternativa ao sistema de telefones sem fio.
() SIM (X) NÃO

10. O sistema de comunicação geral transmite mensagens para todas as áreas fora da sala de controle principal, onde estão os trabalhadores do grupo de operação.
(X) SIM () NÃO

11. Os alto-falantes do sistema de comunicação geral estão posicionados na sala de controle principal.
() SIM (X) NÃO

12. Os alto-falantes do sistema de comunicação geral estão posicionados na sala de descanso, sala de refeição e banheiro, utilizados pelo grupo de operação.
(X) SIM () NÃO

13. Procedimentos estão disponíveis e providências são geradas, assegurando uma comunicação total interna e externa durante emergências.
(X) SIM () NÃO

B.5 Lista de Verificação do Local de Trabalho

1. As mesas de trabalho têm espaço suficiente para colocar todos os materiais necessários para a realização das tarefas.
() SIM (X) NÃO
2. Estão disponíveis cadeiras com a altura do assento ajustada, com braços para descanso, giratórias e não fixas.
(X) SIM () NÃO
3. As atividades relacionadas com a parada e partida programada do reator nuclear são planejadas.
(X) SIM () NÃO
4. Providências são estabelecidas para limitar o acesso e movimento de pessoas não essenciais, mas autorizadas, em determinadas áreas da sala de controle principal.
() SIM (X) NÃO
5. A posição das mesas e consoles facilita a comunicação entre os operadores, quando estão sentados e monitorando os parâmetros do processo.
(X) SIM () NÃO
6. Os operadores são capazes de se deslocar para qualquer console, sem que seja necessário ultrapassar obstáculos, equipamentos em manutenção, estantes.
(X) SIM () NÃO
7. Existe espaço suficiente entre os operadores, entre o operador e o console, entre o operador e as mesas posicionadas atrás da sua cadeira, permitindo que o operador se movimente com facilidade.
(X) SIM () NÃO
8. Todos os procedimentos, manual de operação e documentos necessários à operação são mantidos na sala de controle principal, em locais onde possam ser facilmente localizados e alcançados.
(X) SIM () NÃO
9. Todos os procedimentos, manual de operação e documentos necessários à operação são claramente identificados.
(X) SIM () NÃO
10. Os documentos necessários à operação, manual de operação e procedimentos são manuseados sem dificuldades.
(X) SIM () NÃO
11. Os documentos necessários à operação, manual de operação e procedimentos possuem capas de proteção.
(X) SIM () NÃO
12. Um grupo específico de procedimentos é armazenado separadamente.
(X) SIM () NÃO
13. A localização da sala do supervisor permite um rápido acesso na sala de controle.
(X) SIM () NÃO
14. A temperatura na sala de controle principal no inverno é de 20°C até 24°C, no verão é de 23°C até 26°C e a umidade relativa entre 30% e 60%
(X) SIM () NÃO
15. O sistema de ventilação é capaz de introduzir ar na sala de controle principal com uma vazão de pelo menos 0,0093 metros cúbico por segundo.
(X) SIM () NÃO

16. O nível de iluminação na sala de controle principal é de 538 lux até 1076 lux.
(X) SIM () NÃO
17. O nível de ruído na sala de controle principal é menor que 70 dB(A)
(X) SIM () NÃO
18. Existe uma cozinha, um banheiro e uma sala de repouso dentro dos limites da sala de controle principal.
(X) SIM () NÃO
19. Existe uma área reservada, para que o encarregado possa consultar os procedimentos, enquanto realiza as tarefas
(X) SIM () NÃO

B.6 Lista de Verificação do Sistema de alarme

1. O sistema de alarme:
- alerta o operador, que existe um desvio no processo ou no sistema;
- informa ao operador sobre a prioridade e a natureza do desvio;
- auxilia o operador para a resposta ao desvio;
- confirma, se a ação realizada pelo operador corrigiu o desvio.
(X) SIM () NÃO
2. Os seguintes objetivos estão associados com os sistemas de alarmes:
- avaliar as funções críticas de segurança;
- evitar danos as pessoas;
- evitar a perda de equipamentos relacionados com as funções de segurança;
- monitorar pontos de decisão incluídos nos procedimentos de emergência.
(X) SIM () NÃO
3. Os alarmes e os níveis de decisão, *setpoints*, são escolhidos de modo a evitar que os alarmes sejam ativados em condições normais de operação.
(X) SIM () NÃO
4. O sistema de processamento de alarme assegura que os alarmes que requerem uma ação imediata do operador ou indicam uma ameaça para as funções críticas de segurança, sejam apresentados de maneira que suportem uma rápida detecção pelos operadores.
(X) SIM () NÃO
5. As mensagens que indicam o *status* dos sistemas da usina nuclear, mas que não pretendem alertar o operador para a necessidade de uma ação, não são apresentadas no sistema de alarme computadorizado.
(X) SIM () NÃO
6. As mensagens de alarme são apresentadas para os operadores em níveis de prioridades.
(X) SIM () NÃO
7. As mensagens de alarme indicam os sistemas que requerem uma atuação imediata dos operadores.
() SIM (X) NÃO
8. O número de níveis de prioridades não é maior do que quatro.
(X) SIM () NÃO
9. Quando a supressão de alarmes é usada, o operador é capaz de acessar a informação sobre o alarme que não está sendo apresentada.
(X) SIM () NÃO

10. O sistema de alarme computadorizado auxilia o operador no discernimento sobre:
- os níveis de prioridades das mensagens de alarmes;
 - os estados distintos dos alarmes: novo alarme, reconhecimento do alarme e desativação do alarme;
 - os alarmes relacionados com o desligamento rápido do reator;
 - a necessidade de obter outras informações, para verificar ou confirmar o estado do alarme;
- (X) SIM () NÃO
11. A codificação, através de cores, utilizada no sistema computadorizado de alarmes e no sistema convencional de alarmes é igual.
- (X) SIM () NÃO
12. A apresentação dos alarmes mais importantes prevalece sobre a apresentação dos alarmes de menor importância.
- (X) SIM () NÃO
13. Para a apresentação de alarmes não dedicados especialmente, como as listas de mensagens de alarmes, há espaço suficiente para a visualização simultânea dos alarmes de maior prioridade.
- (X) SIM () NÃO
14. Novos alarmes são indicados por sinais sonoros e visuais.
- (X) SIM () NÃO
15. Depois que o operador pressionou o botão de conhecimento de um alarme, o alarme muda para um estado distinto e o sinal de alerta cessa.
- (X) SIM () NÃO
16. O retorno de um parâmetro, que está em uma faixa anormal, para uma faixa normal de operação, é indicado por um sinal visual.
- (X) SIM () NÃO
17. Uma mensagem de alarme é constituída por:
- título ou legenda do alarme;
 - fonte do alarme, ou seja, sensor ou grupo de sensores que geraram o alarme;
 - prioridade do alarme;
 - nível de comparação e valores dos parâmetros;
 - ações do operador que são necessárias e imediatas;
 - referência aos procedimentos
- () SIM (X) NÃO
18. Se uma condição de alarme requer uma verificação, antes que uma ação seja realizada, os limites de comparação são incluídos nas informações apresentadas pelo sistema.
- (X) SIM () NÃO
19. As mensagens de alarme apresentadas no vídeo do sistema computadorizado e na impressora são iguais.
- (X) SIM () NÃO
20. Um sinal sonoro é usado para alertar o operador sobre a existência de um novo alarme, ou qualquer outra condição que requer atenção imediata do operador.
- (X) SIM () NÃO
21. O operador é capaz de rapidamente direcionar sua atenção para a área funcional do console de controle, que originou o sinal de alarme, através das características do sinal sonoro e visual de alarme.
- (X) SIM () NÃO
22. A intensidade do sinal sonoro de alarme possibilita que o operador faça a distinção deste sinal em relação ao ruído da sala de controle.
- (X) SIM () NÃO

23. A quantidade e a posição dos alto-falantes na sala de controle tornam o sinal sonoro de alarme audível em qualquer posição da sala de controle.
(X) SIM () NÃO
24. Para alarmes continuamente visíveis e dedicados espacialmente, como as janelas de alarme, os alarmes são agrupados por grupo funcionais.
(X) SIM () NÃO
25. Para alarmes continuamente visíveis e dedicados espacialmente, como as janelas de alarme, os grupos de alarmes funcionais são visualmente distintos e identificados um do outro, de modo que os operadores possam facilmente determinar quais sistemas possuem alarmes que não foram ainda desativados e que sistemas foram afetados por um novo alarme.
(X) SIM () NÃO
26. Para alarmes continuamente visíveis e dedicados espacialmente, como as janelas de alarme, se os alarmes são posicionados de uma maneira em um painel, então eles também são posicionados da mesma maneira em outro painel.
(X) SIM () NÃO
27. Para alarmes continuamente visíveis e dedicados espacialmente, como as janelas de alarme, cada grupo de alarme é facilmente identificado.
(X) SIM () NÃO
28. Para mensagens de alarmes apresentadas em um monitor do sistema computadorizado, as mensagens além de serem apresentadas considerando o nível de prioridade, também podem ser apresentadas considerando a ordem cronológica de chegada e status, ou seja, alarme não reconhecido, alarme reconhecido/ativo, alarme reconhecido/desativado.
(X) SIM () NÃO
29. Para listas de mensagens de alarmes apresentadas em um monitor do sistema computadorizado, uma mensagem de alarme é separada de outra mensagem por uma linha em branco.
(X) SIM () NÃO
30. Para listas de mensagens de alarmes apresentadas em um monitor de computador, as mensagens de alarmes que não possam ser apresentadas na primeira página, devido à falta de espaço na tela do computador, devem ser colocadas nas páginas subsequentes.
(X) SIM () NÃO
31. Os controles do alarme são separados, ou seja, existe um controle para silenciar, reconhecer, desativar e testar um alarme.
(X) SIM () NÃO
32. Os controles do alarme são identificados, facilitando a localização.
(X) SIM () NÃO
33. Cada grupo de controle de alarme apresenta as mesmas funções na mesma posição, em cada console e painel de operação.
(X) SIM () NÃO
34. Se o sistema de alarme é formado por janelas de alarmes e mensagens de alarmes, cada tipo de alarme tem seu próprio grupo de controle.
(X) SIM () NÃO
35. É possível silenciar um sinal sonoro de alarme, de qualquer respectivo grupo de controle, localizado na área primária de operação.
(X) SIM () NÃO
36. Sinais de alarmes podem silenciados manualmente pelos operadores do primário e secundário, a não ser que isto interfira com outras ações críticas que estejam sendo realizadas.
(X) SIM () NÃO

37. O controle de reconhecimento termina com o piscar da lâmpada do alarme, mantendo-a acesa continuamente, até que o alarme seja desativado.
(X) SIM () NÃO
38. Para listas de mensagens de alarmes apresentadas em um monitor do sistema computadorizado, os alarmes somente são reconhecidos quando as mensagens estão na tela do computador.
(X) SIM () NÃO
39. O controle de desativação coloca o alarme em um estado não alarmado.
(X) SIM () NÃO
40. Os operadores têm acesso imediato ao livro de resposta aos alarmes.
() SIM (X) NÃO
41. O livro de resposta aos alarmes tem as seguintes informações:
- o grupo funcional ao qual pertence o alarme;
 - o texto do alarme;
 - a fonte geradora do alarme, ou seja, o sensor, incluindo a lógica de validação do sinal que gerou o alarme;
 - os níveis de comparação do alarme;
 - os níveis de prioridade;
 - as causas potenciais do alarme;
 - as ações imediatas do operador, incluindo as ações que o operador tem de realizar para confirmar a existência do alarme;
 - as ações que acontecem automaticamente e que devem ser verificadas pelo operador;
 - as ações que se sucedem
- () SIM (X) NÃO
42. Os alarmes e os controles correspondentes ao desligamento rápido do reator estão localizados próximos um do outro.
(X) SIM () NÃO
43. Os alarmes e os controles relacionados com o desligamento rápido do reator estão posicionados no console de controle mestre.
(X) SIM () NÃO
44. Os alarmes e os controles relacionados com o desligamento rápido do reator estão claramente identificados no console de controle mestre.
(X) SIM () NÃO

B.7 Lista de Verificação do Sistema Integrado de Computadores de Processo

1. O sistema integrado de computadores de processo, o SICA, monitora os parâmetros críticos da planta nuclear e apresenta as informações de modo a dar uma visão sistemática do *status* de segurança da planta nuclear, especialmente em condições de acidente.
(X) SIM () NÃO
2. Caso ocorra a não disponibilidade do SICA, os métodos usuais de monitoração continuam disponíveis.
(X) SIM () NÃO
3. O SICA é um sistema de auxílio ao operador, que apresenta e monitora funções relacionadas com o processo, mas não faz parte dos sistemas de controle.
(X) SIM () NÃO

4. O SICA fornece informações integradas e estruturadas, sob forma gráfica de um conjunto de parâmetros, do processo e do funcionamento dos principais sistemas. O SICA atualiza e apresenta as mudanças no *status* dos principais sistemas.
(X) SIM () NÃO
5. O SICA fornece uma cópia impressa dos dados, dos gráficos e das informações apresentadas no monitores coloridos, posicionados em cima do console de controle mestre.
(X) SIM () NÃO
6. As informações e dados apresentados pelo SICA são facilmente visualizados pelo operador, considerando sua posição normal de trabalho no console de controle mestre, ou seja, sentado.
(X) SIM () NÃO
7. O SICA alerta o operador, através de cores, quando os valores das variáveis estão fora da condição normal de operação.
(X) SIM () NÃO
8. As cores que determinam o *status* das principais variáveis são consistentes com a codificação utilizada pelo sistema de alarme.
(X) SIM () NÃO
9. A localização do SICA não interfere nos deslocamentos dos operadores, nem obstrui a visualização das informações apresentadas nos consoles e painéis de controle.
(X) SIM () NÃO
10. As informações apresentadas pelo SICA estão sob o controle do operador.
(X) SIM () NÃO
11. A introdução de dados e comandos é realizada com um número mínimo de ações.
(X) SIM () NÃO
12. Existe indicação de que o sistema recebeu e processou os comandos.
(X) SIM () NÃO
13. Cada operador interage com um SICA, ou seja, no console de controle mestre existe um SICA no lado do primário e outro SICA no lado do secundário.
(X) SIM () NÃO
14. As opções do menu são ordenadas e agrupadas logicamente, com o objetivo de guiar os operadores através da estrutura hierárquica dos sistemas.
(X) SIM () NÃO
15. As siglas apresentadas nos menus também são usadas para acessar a tela desejada.
(X) SIM () NÃO
16. Os operadores realizam ações simples para retornar para o menu principal.
(X) SIM () NÃO
17. O sistema apresenta ao operador uma resposta específica para uma determinada informação.
(X) SIM () NÃO
18. As mensagens do sistema aparecem em uma localização padrão e têm uma terminologia consistente e familiar para os operadores.
(X) SIM () NÃO
19. Quando uma entrada de dados é inválida ou está inoperante, aparece na tela uma mensagem de aviso. Esta mensagem permanece na tela até que o erro seja corrigido. Os operadores são capazes de obter informações mais detalhadas sobre os erros.
(X) SIM () NÃO

20. As telas apresentam informações, que possibilitam aos operadores navegarem entre elas.
(X) SIM () NÃO
21. As telas possibilitam aos operadores realizarem as ações desejadas.
(X) SIM () NÃO
22. As opções de controle estão claramente e apropriadamente indicadas.
(X) SIM () NÃO
23. Quando os dados requisitados excedem a capacidade da tela, são providos meios para que os dados sejam apresentados em outras telas.
(X) SIM () NÃO
24. O sistema possibilita uma atualização automática dos dados apresentados.
(X) SIM () NÃO
25. A organização das telas reflete uma lógica baseada nos requisitos das tarefas.
(X) SIM () NÃO
26. Todas as telas possuem um espaço dedicado ao título, que se encontra no extremo superior da tela.
(X) SIM () NÃO
27. O tamanho e a forma da apresentação inicial de tela é consistente com seu conteúdo, ou seja, com o número de informações apresentadas, com os menus e campo de dados.
(X) SIM () NÃO
28. A ativação ou fechamento de uma tela é realizado através de ações simples.
(X) SIM () NÃO
29. As ações de controle são consistentes de uma tela para outra.
(X) SIM () NÃO
30. O processo para identificação inicial do operador e acesso ao sistema é feito através de uma senha.
(X) SIM () NÃO
31. O processo de identificação é acompanhado por uma mensagem de aviso, apresentando o *status* e a disponibilidade do sistema.
(X) SIM () NÃO
32. O operador interage com o sistema através de um teclado dedicado e um mouse existente em cada monitor.
(X) SIM () NÃO

B.8 Lista de Verificação do Sistema Computadorizado de Apresentação da Tendência das Variáveis

1. O sistema apresenta informações que são necessárias para os operadores atuarem em operação normal e em condições de acidente.
(X) SIM () NÃO
2. Os principais usuários do sistema computadorizado de apresentação da tendência das variáveis são os operadores do primário e secundário.
(X) SIM () NÃO
3. A falha do sistema não implica na paralisação das ações relacionadas com a operação.
(X) SIM () NÃO
4. O número de cores utilizadas no sistema é menor do que dez.
(X) SIM () NÃO

5. A localização do sistema leva em consideração o nível de operação pretendido e a determinação da responsabilidade operacional.
(X) SIM () NÃO
6. A localização do sistema leva em consideração à distância do operador em relação ao sistema e o ângulo de visão dos operadores, proximidade dos controles.
() SIM (X) NÃO
7. A organização das telas é consistente, auxiliando o operador na localização das funções. Determinadas áreas nas telas devem ser reservadas para o título, identificação dos sistemas, das variáveis e de suas unidades.
(X) SIM () NÃO
8. Determinadas áreas das telas são separadas por espaços em branco, linhas ou outra forma de demarcação visual.
(X) SIM () NÃO
9. A tela contém um título ou uma identificação na parte superior, descrevendo o conteúdo da tela. Deve existir uma linha em branco entre o título e o conteúdo da tela apresentada.
(X) SIM () NÃO
10. As informações e dados apresentados na tela são visualmente distintos, através de cores.
(X) SIM () NÃO
11. As variáveis e os sistemas são identificados através de um sistema de identificação padronizado.
(X) SIM () NÃO
12. O sistema apresenta os valores normais das principais variáveis do processo, de modo que os operadores percebam com maior facilidade desvios na operação normal.
(X) SIM () NÃO
13. São utilizados sinais sonoros e visuais para chamar a atenção dos operadores, quando ocorrem mudanças no *status* dos principais sistemas.
(X) SIM () NÃO
14. Os operadores são capazes de obter uma cópia impressa das informações apresentadas na tela.
(X) SIM () NÃO
15. As informações e os dados apresentados na tela são organizados de maneira lógica, facilitando a assimilação.
(X) SIM () NÃO
16. A ordenação e a forma de apresentação dos dados são iguais para todas as telas do sistema.
(X) SIM () NÃO
17. Cada gráfico em barra é identificado pelo sistema e a variável que está sendo monitorada.
(X) SIM () NÃO
18. Os valores normais e anormais das principais variáveis do processo são definidos através de cores.
(X) SIM () NÃO
19. O deslocamento do gráfico em barra, da esquerda para a direita, está associado com o aumento do valor da variável.
(X) SIM () NÃO
20. As escalas dos gráficos em barras são consistentes com os valores das variáveis.
(X) SIM () NÃO

21. A condição de normalidade dos valores das variáveis nos gráficos em barra é apresentada através da cor verde.
(X) SIM () NÃO
22. A condição de anormalidade dos valores das variáveis nos gráficos em barra é destacada através da cor vermelha e de um sinal sonoro.
(X) SIM () NÃO
23. Os operadores do primário e do secundário navegam entre as várias telas que compõem o sistema, através de dispositivos de controles padronizados e posicionados no console de controle mestre. Cada operador atua em um dispositivo de controle distinto.
(X) SIM () NÃO
24. As informações fornecidas pelo sistema são apresentadas em monitores coloridos posicionados em uma localização determinada.
(X) SIM () NÃO
25. Cada operador visualiza os dados apresentados pelo sistema, em um monitor colorido distinto.
(X) SIM () NÃO
26. Os controles do sistema estão claramente e apropriadamente indicados.
(X) SIM () NÃO
27. Os valores das variáveis, apresentados no gráfico em barra, aumentam de acordo com os estereótipos da população.
(X) SIM () NÃO
28. São gerados sinais visuais e sonoros, quando ocorrem alterações nos valores normais das variáveis.
(X) SIM () NÃO
29. Os dispositivos de controle estão posicionados na estação de trabalho dos operadores, próximos dos operadores, ocupando um mínimo espaço, permitindo uma livre movimentação dos operadores, caso seja necessário que eles realizem outras tarefas.
(X) SIM () NÃO