

LEANDRO BARBOSA DA SILVEIRA GATTO

**REALIDADE VIRTUAL APLICADA NA AVALIAÇÃO ERGONÔMICA DE SALAS
DE CONTROLE DE PLANTAS NUCLEARES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Nucleares do Instituto de Engenharia Nuclear da Comissão Nacional de Energia Nuclear como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências em Engenharia Nuclear – Acadêmico em Engenharia de Reatores.

Orientadores: Prof. Antônio Carlos de Abreu Mol, D. Sc.
Prof. Isaac José Antônio Luquetti dos Santos, D. Sc.

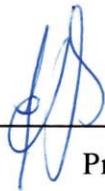
Rio de Janeiro
2012

REALIDADE VIRTUAL APLICADA NA AVALIAÇÃO ERGONÔMICA DE SALAS DE
CONTROLE DE PLANTAS NUCLEARES

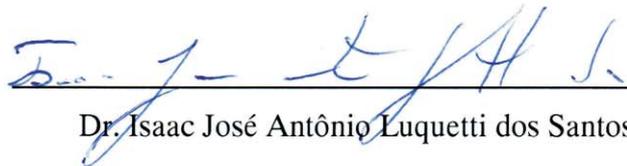
Leandro Barbosa da Silveira Gatto

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA
E TECNOLOGIA NUCLEARES DO INSTITUTO DE ENGENHARIA NUCLEAR DA
COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM
ENGENHARIA NUCLEAR – ACADÊMICO EM ENGENHARIA DE REATORES

Aprovada por:



Prof. Antônio Carlos de Abreu Mol, D. Sc.



Dr. Isaac José Antônio Luquetti dos Santos, D. Sc.



Prof. Paulo Victor Rodrigues de Carvalho, D. Sc.



Prof. Mario Cesar Rodriguez Vidal, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2012

BARB Barbosa da Silveira Gatto, Leandro.

Realidade virtual aplicada na avaliação ergonômica de salas de controle de plantas nucleares / Leandro Barbosa da Silveira Gatto – Rio de Janeiro: CNEN/IEN, 2012.

121 f.

Orientadores: Antônio Carlos de Abreu Mol e Isaac José Antônio Luquetti dos Santos

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Reatores) – Instituto de Engenharia Nuclear – PPGIEN, 2012.

1. Realidade Virtual; 2. Ergonomia; 3. Sala de controle de uma usina nuclear.

AGRADECIMENTOS

- ✓ A Deus;
- ✓ Ao meu pai Antônio Carlos Mello da Silveira Gatto e à minha mãe Neli Leandro Barbosa da Silveira Gatto;
- ✓ Ao Dr. Antônio Carlos de Abreu Mol, pela orientação;
- ✓ Ao Dr. Isaac José Antônio Luquetti dos Santos, pela co-orientação;
- ✓ Ao Dr. Mauro Vitor de Oliveira, do LABIHS, pelas informações úteis sobre a modelagem cognitiva ACT-R 4.0, em que se baseia esta dissertação;
- ✓ A todos os colegas do LabRV (Laboratório de Realidade Virtual), em especial ao André, Pedro e Daniel, pelas grandes ajudas nas simulações;
- ✓ Aos colegas da turma do Mestrado Profissional de 2009;
- ✓ Aos colegas da turma do Mestrado Acadêmico de 2010.

RESUMO

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 sistemas representados através de interfaces gráficas e painéis, que apresentam implicações significativas para a segurança da planta nuclear e influenciam a atividade dos operadores. A realidade da atividade dos operadores em salas de controle exibe 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, e a interação entre os operadores e os grupos de apoio. O principal objetivo deste trabalho é apresentar a modelagem de uma sala de controle de uma planta nuclear, com o auxílio de um núcleo de jogo. Esta ferramenta será usada na avaliação dos aspectos ergonômicos da sala de controle, gerando informações e dados que possibilitarão a adequação das salas de controle às exigências legais do órgão regulador, auxiliando no licenciamento nuclear.

Palavras-chave: Ergonomia, cognição, sala de controle, acidente com perda de refrigerante (LOCA), Realidade Virtual e licenciamento nuclear.

ABSTRACT

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 power plant safety and influence the operator activity. The operator activity presents complexity features and shows a series of mechanisms absent from the 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 operator-system interaction, and interaction between operators and support groups. The main objective of this paper is propose the modeling of a nuclear control room, with the support of a game engine core. This tool will be used in the ergonomic evaluation of nuclear control room, generating information and data that will make possible the adequacy of control rooms features to the legal requirements of the regulating agency, assisting the nuclear licensing.

Keywords: Ergonomy, cognition, control room, loss of coolant accident (LOCA), Virtual Reality and nuclear licensing.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	10
LISTA DE TABELAS.....	12
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	13
CAPITULO 1	
INTRODUÇÃO.....	14
CAPÍTULO 2	
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1 Salas de controle.....	17
2.2 Relatório Final de Análise de Segurança (RFAS).....	19
2.3 Fatores humanos.....	20
2.4 Avaliação ergonômica de salas de controle.....	23
CAPÍTULO 3	
REALIDADE VIRTUAL.....	27
3.1 Realidade Virtual.....	27
3.2 Ambientes virtuais.....	27
3.3 Núcleos de jogos.....	28
3.4 O avatar.....	28
3.5 O núcleo de jogo Unreal Engine.....	29
3.6 A relação custo/benefício.....	31
3.7 UnrealScript.....	31
3.8 O Laboratório de Realidade Virtual (LabRV).....	32

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA.....	35
4.1 Descrição da sala de controle a ser avaliada.....	35
4.2 Escolha do evento e definição das tarefas para o seu tratamento.....	35
4.2.1 Acidentes postulados.....	35
4.2.2 Definição das tarefas.....	36
4.3 A Realidade Virtual aplicada na avaliação ergonômica de salas de controle.....	37
4.3.1 Análise da atividade dos operadores.....	37
4.3.2 Análise das tarefas.....	38
4.3.3 Análise do desempenho dos operadores.....	38
4.3.4 Desenvolvimento do programa de treinamento.....	38
4.4 Modelagem virtual da sala de controle.....	39
4.4.1 Análise das fotos.....	39
4.4.2 Desenhos das plantas da sala de controle.....	39
4.4.3 Modelagem da sala de controle no UnrealEd 2.0.....	40
4.5 Simulação do acidente postulado com a medição dos tempos.....	40
4.6 Análise dos dados obtidos na simulação (comparação dos tempos medidos com os tempos de referência).....	40

CAPÍTULO 5

A SALA DE CONTROLE DA USINA NUCLEAR PWR.....	41
5.1 Descrição da sala de controle da Usina Nuclear PWR.....	41
5.1.1 Sistemas de Alarmes.....	47
5.1.2 Profissionais da sala de controle da usina nuclear PWR.....	51
5.2 Esboço da sala de controle.....	52
5.2.1 Análise das fotos.....	52
5.2.2 Desenho das plantas da sala de controle.....	54
5.2.3 Modelagem da sala de controle no UnrealEd 2.0.....	56
5.3 Descrição do evento a ser analisado - LOCA.....	59
5.3.1 Análise do acidente postulado LOCA do tipo " <i>Small-Break</i> ".....	61
5.4 Levantamento de dados para o roteiro da simulação do acidente postulado.....	62
5.4.1 Pesquisa dos dados referentes ao acidente postulado.....	62

5.4.2	Digitação dos textos para a comunicação entre os funcionários da sala de controle.....	64
5.4.3	Elaboração do roteiro para a simulação do acidente postulado LOCA do tipo “ <i>Small-Break</i> ”	64
5.4.4	Cálculo dos tempos para cada tarefa dos funcionários da sala de controle.....	65
5.5	Gravação da simulação do acidente postulado LOCA do tipo “ <i>Small-Break</i> ”.....	66
5.5.1	Preparação para a gravação da simulação do acidente postulado LOCA do tipo “ <i>Small-Break</i> ”	66
5.5.2	Ensaio geral para a gravação da simulação do acidente postulado LOCA do tipo “ <i>Small-Break</i> ”	66
5.5.3	Gravação da simulação do acidente postulado LOCA do tipo “ <i>Small-Break</i> ”	66
5.5.4	Junção dos vídeos da simulação do acidente postulado LOCA do tipo “ <i>Small-Break</i> ” ...	66
5.6	Análise dos vídeos da simulação.....	67

CAPÍTULO 6

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	68
--------------------------------------	-----------

CAPÍTULO 7

CONCLUSÃO.....	74
-----------------------	-----------

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
--	-----------

ANEXO A - ROTEIRO DA SIMULAÇÃO DO ACIDENTE POSTULADO LOCA DO TIPO “<i>SMALL-BREAK</i>”	80
---	-----------

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1 – <i>Interface</i> do UnrealEd (Unreal Editor)	29
Figura 3.2 (a) – Projetores de tecnologia DLP com os filtros polarizadores; (b) – Tela de projeção anti-relativa.....	32
Figura 3.3 (a) – Óculos com lentes polarizadoras; (b) – Parte do sistema de som tipo “ <i>home theater</i> ”, que é ligado à saída de áudio do computador.....	32
Figura 3.4 (a) – Computador que utiliza uma placa gráfica com duas saídas; (b) – Televisão LED 3D.....	33
Figura 5.1 – Parte dos consoles CWA e CWB.....	42
Figura 5.2 – Console de controle auxiliar.....	44
Figura 5.3 – Disposição dos consoles e dos painéis auxiliares da Sala de Controle da Usina Nuclear PWR, e a localização comum de alguns funcionários que atuam nela.....	45
Figura 5.4 – Algumas classes de alarmes, que estão entre os alarmes convencionais localizados em CWA.....	48
Figura 5.5 – Organização dos Sistemas de Alarmes.....	50
Figuras 5.6 (a), (b), (c), (d), (e) e (f) – Fotos da sala de controle de uma usina nuclear PWR, apresentando os principais ângulos, que foram usados para o desenho das plantas.....	52
Figura 5.7 – Planta baixa da sala de controle da usina nuclear PWR.....	53
Figura 5.8 (a), (b) e (c) – Plantas com a alturas das paredes, dos painéis e de alguns componentes da sala de controle da usina PWR, em determinados ângulos.....	54
Figura 5.9 – Planta do teto da sala de controle da usina nuclear PWR.....	55
Figura 5.10 – Editor UnrealEd 2.0 mostrando a modelagem sala de controle da usina nuclear PWR.....	56
Figura 5.11 (a) – Vista da sala de controle após a modelagem no UnrealEd 2.0, onde aparecem o painel auxiliar esquerdo, o painel auxiliar central, o CWA e o CWB; (b) Vista da sala de controle após a modelagem no UnrealEd 2.0, onde aparecem parte do painel auxiliar central e parte do painel auxiliar direito.....	57
Figura 5.11 (c) – Vista da sala de controle após a modelagem no UnrealEd 2.0, onde aparecem parte do painel auxiliar direito e a porta da sala do supervisor (a menor, à direita); (d) Vista da sala de controle após a modelagem no UnrealEd 2.0, onde aparecem parte do painel auxiliar esquerdo e a porta de acesso à sala de controle (a maior, à esquerda).....	57

Figura 5.11 – Foto da simulação, com a junção dos vídeos.....66

Figura 6.1 (a) – Foto da sala de controle de uma usina nuclear PWR real; Figura 6.1 (b): Sala de controle de uma usina nuclear PWR modelada no Unreal Editor 2.0.....67

LISTA DE TABELAS

Tabela 6.1 – Tabela 6.1: Ações, Tempo do Roteiro, Tempos das Simulações, para cada ação, e o Tempo Médio das Simulações, também para cada ação.....70

Tabela 6.2 – Tabela 6.2: Erro relativo à cada uma destas ações, em função do tempo médio das simulações e do tempo do roteiro.....72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D – Tridimensional

ACT-R – *Adaptive Control of Thought - Rules*

AIEA – Agência Internacional de Energia Atômica

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear

CNEN-NE – Norma Experimental da Comissão Nacional de Energia Nuclear

DLP – *Digital Light Processing*

IEN – Instituto de Engenharia Nuclear

HUD – *Head-Up Display*

ISO – *International Organization for Standardization*

JDH – Sistema de Injeção de Boro Suplementar

JR – Sinal de Proteção do Reator

KTA – Kerntechnischer Ausschuß (*Nuclear Safety Standards Committee*) / Padrão de segurança da Comissão de Padrões de Segurança Nuclear da Alemanha

LABIHS – Laboratório de Interfaces Homem-Sistema, IEN, Brasil

LABRV – Laboratório de Realidade Virtual, IEN, Brasil

LED – *Light Emission Diode*

LOCA – *Loss of Coolant Accident*

NPP – *Nuclear Power Plant*

NUREG 711 – Guia que informa a estrutura e os tópicos necessários para implementação do relatório final sobre análise de segurança e implantação de um programa de fatores humanos no projeto de usinas nucleoeletricas, introduzindo o processo de verificação e validação.

PE – Sistema de Refrigeração de Serviço de Segurança

PJ – Sistema de Refrigeração de Circuito Fechado de Segurança

RFAS – Relatório Final de Análise de Segurança

RV – Realidade Virtual

Unreal 2.0 – Unreal Editor 2.0

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Uma sala de controle contém os sistemas e as instruções necessárias para controle das condições operacionais de uma planta industrial, de modo a assegurar o seu funcionamento e desligamento confiável e seguro, em situações normais e de acidentes (ISO 11064, 2002). As salas de controle de reatores nucleares são constituídas de sistemas que verificam processos nucleares e termodinâmicos para a produção de energia elétrica. Estas salas são controladas pelos operadores, que são capacitados para o monitoramento e controle dos sistemas nela presentes. A interação dos operadores com a sala de controle acontece através de *interfaces* e várias estações de monitoração. As *interfaces* precisam estar dispostas de modo que auxiliem os operadores em seus manuseios, tanto para operações rotineiras quanto para prevenções de acidentes. Os operadores realizam na sala de controle procedimentos relativos à partida e parada do reator nuclear, emergência, sistemas de alarmes, sistemas de comunicação, sistemas de controle, sistemas de segurança, e verificam diagnósticos de falhas. Os sistemas são informatizados, com grande redundância e interconectividade, além do alto grau de confiabilidade.

Segundo a *International Ergonomics Association* (2000), a ergonomia pode ser definida como a adaptação do trabalho ao homem, ou como a aplicação de conhecimentos científicos relativos ao ser humano que são necessários para conceber ferramentas, máquinas e dispositivos para serem utilizados com o máximo de conforto, segurança e eficácia. 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 e técnicas de simulação, obter dados sobre as características humanas. O objetivo é inserir esses dados no projeto de ferramentas, máquinas, sistemas, *interfaces* e equipamentos, para uso efetivo pelo ser humano em condições confortáveis e seguras.

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, adaptando-se assim às exigências legais do

órgão regulador brasileiro de energia nuclear.

Santos (2003) sugere a utilização da metodologia proposta para avaliação de salas de controle, com tecnologias mais avançadas.

Augusto (2007) utiliza a ferramenta de modelagem UnrealEd para a reprodução de cenários de instalações nucleares, que foram feitas cuidadosamente em escala, e mantém as proporções, de forma que a equivalência entre o cenário e o avatar seja a mesma que a proporção entre as instalações e um indivíduo de estatura média (1,70 metros). Este autor também cita a importância da análise de fotos e de plantas com as medidas da instalação, bem como a reprodução dos objetos presentes no ambiente para a realização das simulações e transmissão de realismo aos cenários.

Mol *et al.* (2007) utiliza o UnrealEd para a modelagem de uma instalação nuclear. Nesta instalação, é realizada uma simulação de um plano de evacuação. Para isto, foram feitas modificações no código-fonte do Unreal para a inserção de um contador de tempo, reprogramação da área de colisão do avatar e da sua velocidade, para reprodução fiel da movimentação de um ser humano.

Freitas (2009) apresenta dentro do simulador Unreal uma janela de informação de dose, chamada HUD (*Head-Up Display*). O HUD permite visualizar a dose gama recebida pelo avatar, a uma determinada posição, a potência do reator e a medida do detector de radiação posicionado em um determinado lugar.

Este trabalho apresenta como objetivo geral propor o uso de uma ferramenta de Realidade Virtual na avaliação ergonômica de salas de controle de reatores nucleares.

Considerando o objetivo geral descrito anteriormente, este trabalho apresenta os seguintes objetivos específicos, descritos a seguir:

- Utilizar a ferramenta UnrealEd na modelagem da sala de controle principal de um reator nuclear de potência;
- Propor o uso da ferramenta Unreal na avaliação do *layout* de salas de controle de reatores nucleares, através da observação dos deslocamentos que os operadores realizam durante os procedimentos de emergência, possibilitando a otimização da disposição dos sistemas e mobiliários existentes nestas salas de controle. Utilizando alguns dos tempos da modelagem cognitiva ACT-R 4.0 (Oliveira, 2001), fazer o cálculo do tempo das tarefas de cada um dos operadores durante um cenário de acidente postulado, bem como o cálculo do tempo total para a plena prevenção deste

acidente, o tempo médio de cada ação a tomar durante o acidente, e o erro relativo de cada ação;

- Testar o uso dessa ferramenta.

O assunto apresentado neste trabalho está organizado da forma descrita a seguir:

No capítulo 2, é apresentada uma descrição sobre a fundamentação teórica.

No capítulo 3, é descrito o uso da Realidade Virtual.

No capítulo 4, é discutida a metodologia.

No capítulo 5 é descrita a sala de controle da usina nuclear PWR. Além disso, neste capítulo também constam explicações sobre as etapas da modelagem da sala de controle principal dessa usina, os tempos utilizados para o posterior cálculo das tarefas realizadas, a simulação das ações realizadas pelos operadores durante um acidente postulado do tipo LOCA “*Small-Break*”, e a análise dos vídeos da simulação.

No capítulo 6, são discutidos os resultados.

Finalmente, no capítulo 7, são apresentadas a conclusão e a motivação para trabalhos futuros.

No anexo A, é apresentado o roteiro da simulação do LOCA do tipo “*Small-Break*” na sala de controle, com a contagem dos tempos de cada tarefa, em cada ação.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Salas de controle

Segundo Santos (2003), por centenas de anos, os projetos e construções de utensílios e máquinas realizavam-se seguindo o bom senso dos projetistas. As melhorias eram feitas através do método de tentativa e erro. Por volta do século XVIII surgiu a Revolução Industrial, que caracterizou-se pela passagem da manufatura à indústria mecânica. Houve progresso tecnológico com a invenção de máquinas e mecanismos, que se uniram à força de trabalho humano, causando uma relação produtiva em série. Com o uso intensivo das máquinas, a produção passou a ser em larga escala e abrangeu-se para o mercado mundial. Entre os séculos XVIII e XIX, a tecnologia adquiriu um caráter de ciência aplicada. As descobertas e invenções encontraram rapidamente aplicação prática na indústria ou no desenvolvimento da ciência. Alguns cientistas, que ainda eram na época, autodidatas, transformaram-se em inventores, como Michael Faraday, Lord Kelvin e Benjamin Franklin. A Segunda Guerra Mundial solicitou e produziu máquinas novas e mais complexas, que dependiam muito do potencial humano. Essa dependência exigiu dos militares decisões rápidas e execução de novas atividades em condições complicadas, gerando complexidade e riscos de decisão. Santos (2003) aponta que após a Segunda Guerra Mundial, ocorreu a era espacial, que exigia salas de controle com *interfaces* operador-sistema. Com o surgimento das novas tecnologias e das novas condições de trabalho, o projeto de salas de controle mostrou-se eficiente com os seguintes quesitos: equipamentos, *interfaces*, sistema de trabalho, condições do sistema de trabalho e treinamento.

Segundo Santos e Zamberlam (1992, *apud* De Keyser, 1980), a evolução tecnológica das salas de controle está intimamente ligada à evolução tecnológica dos sistemas de regulação. Santos e Zamberlam (1992) apontam que, há vários anos, os componentes utilizados no sistema de controle eram mecânicos e de grandes dimensões, além de serem pneumáticos e montados fisicamente próximos às tomadas de impulsão. Os operadores tinham como tarefa principal

percorrer as unidades e observar os diversos equipamentos. A localização geográfica das instalações lhes permitia ter sob controle somente um número limitado de variáveis do processo. A centralização das informações ocorria para economizar tempos de percursos pelas instalações e assegurar o controle de diferentes parâmetros simultaneamente. Porém, estes procedimentos forçaram o reagrupamento dos equipamentos de controle mais importantes. Estes reagrupamentos ficavam sobre quadros estrategicamente posicionados. A melhoria das técnicas de transmissão, dentro de salas de controle, conduziu ao agrupamento dos principais aparelhos de regulação, registradores, indicadores, bem como dos equipamentos de comando do processo à distância.

Santos (2003, *apud* Budurka, 1984) define engenharia de sistemas como um processo interativo, onde as necessidades do usuário são entendidas e obtidas por meio da transformação dos requisitos de projeto em requisitos operacionais. Essa transformação inclui o ciclo de vida do sistema, que controla e integra as técnicas referentes a este processo. Este ciclo consiste de fases lógicas e sequenciais, que são passíveis de revisões. Santos (2003) enumerou o ciclo de vida de salas de controle de reatores nucleares do seguinte modo:

1. Identificação das necessidades operacionais – Estudo da implantação de uma nova sala de controle, ou na modernização de uma já existente. Envolve itens como análise da capacidade operacional existente e pretendida, tecnologia disponível e restrições orçamentárias;
2. Projeto conceitual – Análise das situações propostas, visando uma relação custo-benefício, com um bom desempenho e riscos aceitáveis. Análise da implantação da sala de controle;
3. Projeto detalhado e desenvolvimento – Projeto detalhado de todos os sistemas, subsistemas e equipamentos e posterior desenvolvimento;
4. Construção e testes – são construídos e montados todos os subsistemas, equipamentos, *hardwares* e *softwares*;
5. Avaliação integrada da sala de controle – comprova se as funções e tarefas alocadas aos operadores podem ser executadas com segurança;
6. Comissionamento e Operação – são feitos testes referentes à partida do reator e à operação da sala de controle;
7. Desativação – relaciona-se com o descomissionamento da instalação nuclear.

2.2 Relatório Final de Análise de Segurança (RFAS)

O Relatório Final de Análise de Segurança (RFAS) é modelado segundo as normas da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), e contém informações que descrevem a usina apresentando as bases de projeto, os limites de operação e análise de segurança da instalação nuclear, para fins de licenciamento junto à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). A CNEN é uma autarquia do governo federal que se responsabiliza com a fiscalização, orientação, planejamento, supervisão e controle da energia nuclear no Brasil, além de estabelecer normas e regulamentos para a radioproteção. Para uma instalação nuclear, a CNEN exige em sua norma NE-1.04 (Licenciamento de Instalações Nucleares) que sejam preenchidos os seguintes requisitos:

- Resultados dos programas de monitoração ambiental e meteorológica;
- Descrição e análise dos itens e da instalação, para demonstrar que as funções de segurança serão cumpridas;
- Informações sobre o controle de liberação de materiais radioativos;
- Espécies e quantidades de material radioativo que serão produzidos na operação;
- Análise final e avaliação do projeto, que avalie o risco para a saúde e segurança da população;
- Descrição e avaliação dos resultados dos programas do requerente do RFAS e contratados principais, incluindo pesquisa e desenvolvimento, para provar que foram resolvidos quaisquer problemas relativos à segurança;
- Informações referentes à operação da instalação;
- Descrição do Plano de Emergência;
- Especificações técnicas propostas, que são os limites de segurança, valores limites de ajuste de segurança, condições limites de operação, requisitos para inspeções e testes periódicos, características de projeto, tais como materiais de construção e arranjos geométricos (que podem refletir na segurança), controles administrativos, e efluentes radioativos;
- Descrição do Plano de Proteção contra Incêndio.

O Relatório Final de Análise de Segurança (RFAS) é composto de 18 capítulos, mas esta dissertação analisará apenas o capítulo 18, que compreende a engenharia de fatores humanos.

2.3 Fatores humanos

O capítulo 18 do RFAS comprova que a sala de controle seguirá as normas da NUREG 711, um documento emitido pela comissão regulatória de energia nuclear dos Estados Unidos da América, e trata dos fatores humanos relacionados às salas de controle de reatores nucleares.

O NUREG 711 estabelece um programa de engenharia de fatores humanos para salas de controle, que envolve doze elementos:

1. Planejamento do programa de Engenharia de Fatores Humanos – verifica se a empresa possui um projeto de Engenharia de Fatores Humanos dentro de sua organização e composição, para confirmar que o projeto dos fatores humanos está garantido;
2. Revisão da experiência operacional – verifica a existência de uma sala de controle similar, identifica e analisa os problemas relacionados à Engenharia de Fatores Humanos em projetos prévios, similares ao projeto corrente;
3. Análise funcional e Alocação das funções – identifica as principais funções a serem realizadas pela planta nuclear, para satisfazer os objetivos de segurança. A alocação das funções determina as funções a serem realizadas pelos operadores, as compartilhadas e as funções a serem entregues para os sistemas automatizados;
4. Análise das tarefas – analisa as tarefas a serem realizadas pelos operadores, controles e requisitos de suporte de tarefas;
5. Quantificação e qualificação dos operadores – determina a qualificações dos operadores, e o número de operadores necessários para manter a planta em segurança;

6. Análise da confiabilidade humana – analisa os efeitos dos prováveis erros humanos na segurança da operação da planta nuclear;
7. Projeto das *interfaces* homem-sistema – avalia o processo pelo qual os requisitos do projeto são desenvolvidos, identificados e melhorados. A revisão verifica se a sala de controle traduziu os requisitos funcionais e de tarefas para o projeto detalhado de alarmes, mostradores, controles, e outros aspectos definidos na Engenharia de Fatores Humanos;
8. Desenvolvimento dos procedimentos – verifica se os princípios da Engenharia de Fatores Humanos foram aplicados ao longo dos demais requisitos do projeto, para o desenvolvimento dos procedimentos;
9. Desenvolvimento do programa de treinamento – verifica se os objetivos para a operação da sala de controle, através do treinamento dos operadores, foram alcançados;
10. Processo de verificação e validação dos fatores humanos – verifica se os requisitos de fatores humanos foram alocados no ciclo de vida da sala de controle. Através de simulações, observam-se o atendimento aos requisitos referentes ao projeto das salas de controle;
11. Implementação do projeto – verifica se a implementação da sala de controle considera o desempenho dos operadores e se o suporte necessário provê itens relacionados com os procedimentos de segurança;
12. Monitoração do desempenho humano – verifica se a sala de controle tem uma estratégia de monitoração do desempenho humano, para assegurar que nenhum problema relativo à segurança ocorrerá devido às mudanças não autorizadas no projeto da planta nuclear.

De acordo com a NUREG 711, os fatores humanos referem-se às habilidades, limitações e outras características humanas que pertencem ao projeto de um sistema. Estes

fatores foram incluídos em normas e guias nucleares após o acidente de *Three Mile Island*, nos Estados Unidos da América. Nesta época, levavam-se em conta apenas os aspectos antropométricos da sala de controle. Este acidente nuclear ocorreu devido a não atuação correta da válvula do primário, e agravou-se por problemas no projeto dos painéis da sala de controle e da instrumentação, além da falta de coordenação das atividades dos operadores. 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.

Santos *et al.* (2003) ressalta que o projeto de modernização de uma sala de controle consiste de várias fases, isto é, desde o projeto conceitual até a fase de construção. Os requisitos de fatores humanos devem ser incorporados durante todo o ciclo de vida da sala de controle. Estes requisitos englobam itens como *layout*, projeto das interfaces, procedimentos a serem realizados pelos operadores e treinamento a serem realizados por eles.

Atualmente, os conceitos de ergonomia e de fatores humanos são complementares, de modo que em 1993 a Sociedade de Fatores Humanos, *Human Factors Society*, mudou o seu nome para Sociedade de Fatores Humanos e Ergonomia, *Human Factors and Ergonomics Society*. Isto ocorreu porque as definições de ergonomia e de fatores humanos referem-se às atividades de trabalho do ser humano, enfatizando a adaptação do ambiente de trabalho e as melhorias que podem vir a ocorrer. Essas melhorias podem acontecer tanto no ambiente de trabalho, como no sistema do trabalho. Sendo assim, os aspectos relacionados à ergonomia e aos fatores humanos constituem importantes ferramentas para a avaliação de salas de controle de plantas nucleares.

Os objetivos da avaliação de salas de controle, segundo a NUREG 711, são:

1. Verificação da alocação das funções;
2. Verificação da adequação do número e do desempenho dos operadores;
3. Confirmação da adequação dos procedimentos;
4. Verificação da configuração das *interfaces* operador sistema;
5. Averiguação da interação dos operadores com as *interfaces*;
6. Verificação da adequação dos sistemas de comunicação;
7. Averiguação da adequação dos aspectos dinâmicos das *interfaces*.

Rollenhagem *et al.* (1989) apresenta os principais objetivos na avaliação de uma sala de controle:

1. Cumprir as exigências do órgão regulador de energia atômica, fixados em lei;
2. Avaliar o desempenho dos operadores;
3. Avaliar o desempenho dos sistemas da sala de controle;
4. Descobrir situações da rotina de trabalho que podem gerar sobrecarga aos operadores;
5. Identificar áreas com erros em potencial.

2.4 Avaliação ergonômica de salas de controle

Segundo Iida (2000), a ergonomia é o estudo da adaptação do trabalho ao homem, onde o trabalho envolve o ser humano, os sistemas técnicos e a organização de trabalho. Sheridan (2002) descreve que a tarefa humana no controle de processo envolve a definição do objetivo, definição dos parâmetros a serem controlados, monitoração e as devidas ações de correção. Segundo Wisner (1987), uma série de fatores afeta o desempenho humano, dentre eles, as condições do ambiente de trabalho, as condições das práticas de trabalho, o *layout* do mobiliário, *design* dos equipamentos, organização do trabalho, treinamento, política de gerenciamento, política em geral.

As metodologias utilizadas para projeto ergonômico de salas de controle são apresentadas a seguir:

- Análise da atividade futura

Segundo Luquetti e Vidal (2003), 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.

- Análise ergonômica do trabalho

Esta metodologia é constituída de quatro fases principais: análise da demanda, análise da atividade, análise das tarefas e validação.

Na análise da demanda, deve-se analisar a representatividade da demanda, a origem da mesma, os problemas e as perspectivas de ações.

Na análise da atividade, realiza-se uma observação criteriosa da atividade de trabalho, identificando como o trabalho é realmente realizado. Para Santos e Vidal (2003), a ergonomia utiliza a análise da atividade dos operadores para abordar a complexidade do trabalho dos operadores, decompondo esta atividade em aspectos mensuráveis e observáveis como a postura, a exploração visual, a comunicação, os deslocamentos e identificação das atividades paralelas. Essas atividades não são formuladas dentro da estrutura de descrição das tarefas, e são 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. Mumaw (1995) concluiu que a análise da atividade dos operadores pode servir 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, que teve como um dos objetivos destacar as contribuições cognitivas feitas pelos operadores para facilitar a monitoração. 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.

A análise das tarefas compreende o trabalho prescrito e as condições necessárias para realizá-las.

A validação consiste na confrontação dos resultados obtidos com os principais atores do processo de trabalho ou seja, os trabalhadores.

A Ergonomia utiliza métodos e técnicas científicas para observar o trabalho humano, decompondo a atividade de trabalho em indicadores observáveis, tais como: postura, exploração visual e deslocamento. Os deslocamentos dos operadores de salas de controle são registrados a partir do acompanhamento dos percursos realizados pelos operadores em sua jornada de trabalho, de modo a explicar a importância de certas áreas de trabalho. A busca de informações nos painéis de controle está relacionada à exploração de certas informações visuais que são fundamentais para o controle de processo.

As técnicas utilizadas na avaliação de salas de controle podem ser classificadas como objetivas e subjetivas.

As técnicas objetivas consistem no registro das atividades de trabalho ao longo de um período, utilizando ferramentas como gravação em áudio e vídeo. O registro em vídeo possibilita a fusão entre os comportamentos verbais e posturais, a obtenção das frequências de utilização, as transições entre atividades e a evolução temporal das atividades. O registro da direção do olhar dos operadores é utilizado como indicador da solicitação visual da tarefa. A frequência das informações observadas em um painel de controle indica as estratégias que estão sendo utilizadas pelos operadores na detecção de anormalidades e no planejamento das ações a serem realizadas.

As técnicas subjetivas são classificadas como questionários, *check-lists* (listas de verificação) e as entrevistas, podendo fornecer dados a serem utilizados na avaliação ergonômica inicial.

A Norma Regulamentadora NR-17 (ergonomia) estabelece parâmetros que permitem a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar um máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente. Nas condições de trabalho estão incluídos aspectos relacionados ao levantamento, transporte e descarga de materiais, ao mobiliário, aos equipamentos e às condições ambientais do posto de trabalho e à própria organização do trabalho. Para avaliar a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, é necessário realizar a análise ergonômica do trabalho. O mobiliário utilizado pelos operadores de salas de controle devem proporcionar condições de boa postura, visualização e operação, além de ter a altura e as características da superfície de trabalho compatíveis com o tipo de atividade. A distância requerida dos olhos ao campo de trabalho e a altura do assento devem ser compatíveis, facilitando o alcance e visualização pelo operador. Todos os equipamentos que compõem um posto de trabalho, as condições ambientais de trabalho e a organização do trabalho devem estar

adequados às características psicofisiológicas dos operadores e à natureza do trabalho a ser executado.

A organização do trabalho deve levar em consideração:

- O modo operatório;
- A exigência de tempo;
- O ritmo de trabalho;
- O conteúdo das tarefas.

CAPÍTULO 3

REALIDADE VIRTUAL

3.1 Realidade Virtual

A Realidade Virtual (RV) descreve um conjunto de tecnologias, técnicas e modos de *interfaces* que permitem a integração sensitiva entre o usuário, o sistema computacional e a imersão em um ambiente virtual (Burdea e Philippe, 1994).

Esse conjunto remete a sensação de realidade para um ou mais indivíduos (Augusto *et al.*, 2007). A RV abrange uma sensação de um universo fictício, onde existem ícones e símbolos que permeiam o espectador deste universo, dando-lhe a impressão de um universo realista. Normalmente, há uma experiência imersiva e interativa, que se utiliza de gráficos em três dimensões geradas pelo sistema computacional. Três idéias básicas unem a RV:

1. A imersão, que lida com a sensação do usuário de estar dentro do ambiente;
2. A interação, que exhibe a capacidade do ambiente de responder aos comandos do usuário em tempo real;
3. O envolvimento, que determina o grau de motivação do usuário com a atividade.

O início da RV ocorreu na indústria de simulação após a II Grande Guerra Mundial, quando a força aérea dos Estados Unidos iniciou a construção de simuladores de voo. Atualmente, a Realidade Virtual é utilizada em várias áreas do conhecimento humano, e suas apresentações aproximam-se bastante da realidade. A RV é considerada uma tecnologia com grande potencial e aplicabilidade em diversas áreas da Engenharia para visualização, treinamento, estudos ergonômicos, simulações e experimentações virtuais (Francis e Tan, 1999). Diariamente, são descobertos novos empregos para essa técnica imersiva.

3.2 Ambientes virtuais

Os cenários reproduzidos em RV chamam-se ambientes virtuais, onde um avatar pode movimentar-se e interagir com elementos e objetos, além de interagir com outros avatares. A simulação da realidade é feita no ambiente virtual, e nele também são idealizados os cenários

representativos (Stanney, Kay M., 2002). Segundo Augusto *et al.* (2007), o sistema de simulação de um ambiente virtual origina-se por:

- O *software* carrega na memória do computador modelos de cenários tridimensionais, objetos e de avatares, e as posições, orientações e as suas proporções, criando assim, um “mundo virtual” na memória do computador;
- O *software*, em conjunto com um dispositivo homem-máquina especial, como luvas de realidade virtual, permite que o jogador navegue nesse ambiente virtual e interaja com objetos presentes nesse novo mundo, através do controle dos movimentos e ações do avatar inserido no ambiente virtual;
- O *software* simula para os objetos e o avatar algumas leis da Física, como por exemplo, as que enfatizam a colisão entre os sólidos e a gravidade.

3.3 Núcleos de jogos

O núcleo de jogo ou o *game engine* é o componente central do software que compõe os jogos eletrônicos e possa sofrer adaptações, caso o núcleo seja muito sofisticado para as aplicações que precisem de gráficos gerados em tempo real.

O núcleo de jogos é uma boa opção para simulação (Lewis e Jacobson, 2002; Rosenbloom, 2003; Zyda, 2007; Augusto *et al.*, 2007; Trenholme e Smith, 2008). Ele fornece os recursos necessários para a criação de uma simulação, principalmente um núcleo de renderização de gráficos em tempo real, acompanhado de funções de detecção de colisão e/ou um núcleo de Física, além de outros recursos. Para o desenvolvimento, os núcleos modernos acompanham ferramentas integradas de criação e edição de conteúdo, como editores de cenários e interpretadores de *scripts* para a programação de funções para novos jogos e aplicações.

3.4 O avatar

O avatar é o indivíduo dentro do ambiente virtual que interage diretamente com o ambiente e representa a pessoa que o controla no mundo real. Além disso, o avatar é a representação gráfica de um usuário em realidade virtual, que varia desde uma simples imagem

até um sofisticado modelo tridimensional. São normalmente pequenos, aproximadamente 100 *pixels* de altura por 100 *pixels* de largura, para que não ocupem muito espaço na *interface* gráfica, deixando espaço livre para a função principal do site, programa ou jogo. Um avatar pode possuir qualquer forma, mas geralmente é a de um ser humano relacionada com o ambiente onde interage, podendo ser um homem adulto ou uma mulher adulta, que, por exemplo, está em um ambiente que represente uma indústria ou um centro de pesquisa, devidamente uniformizado.

Em softwares de Realidade Virtual, a detecção de colisão entre o avatar, o cenário e os seus objetos é realizada com figuras geométricas. Nos jogos, os ambientes virtuais e os avatares geralmente reproduzem cenas e personagens típicos de obras de ficção e fantasia, sendo voltados para o entretenimento. Em sistemas de RV voltados para aplicações científicas e industriais, geralmente reproduzem cenários e personagens baseados no mundo real, como uma instalação industrial e trabalhadores típicos dela, respectivamente (Augusto *et al.*, 2007).

3.5 O núcleo de jogo Unreal Engine

O programa de ambiente virtual escolhido para cumprir os objetivos nesta dissertação foi o Unreal Engine, da *Epic Games, Inc.*, um núcleo de jogo capaz de ser modificado para adaptar-se ao projeto (Augusto *et al.*, 2007). Este núcleo de jogo foi escolhido devido aos seguintes motivos:

- É gratuito, no caso da versão utilizada nesta dissertação, e deve-se apenas obedecer às normas descritas na licença, como usá-lo apenas para usos educacionais e não-comerciais, e não para criar jogos;
- Possui um núcleo 3D de boa qualidade e desempenho, produzindo ambientes virtuais com realismo o suficiente, e as grandezas físicas são representadas com boa aproximação, como por exemplo, a colisão entre sólidos e a gravidade;
- Acompanha o UnrealEd (Figura 3.1), o programa de modelagem de cenários para o núcleo. O UnrealEd possui algumas características positivas, como uma *interface* amigável, um fácil aprendizado, e a pré-visualização de cenários durante a etapa de modelagem. O UnrealEd permite, através de figuras geométricas como cubos, cilindros e esferas, a criação tanto de cenários (como o interior de uma sala) como de objetos

para estes cenários (como mesas e painéis, por exemplo). O UnrealEd também permite a utilização de modelos gerados em outras ferramentas em modelagem 3D, como por exemplo, o *Autodesk 3ds Max*;

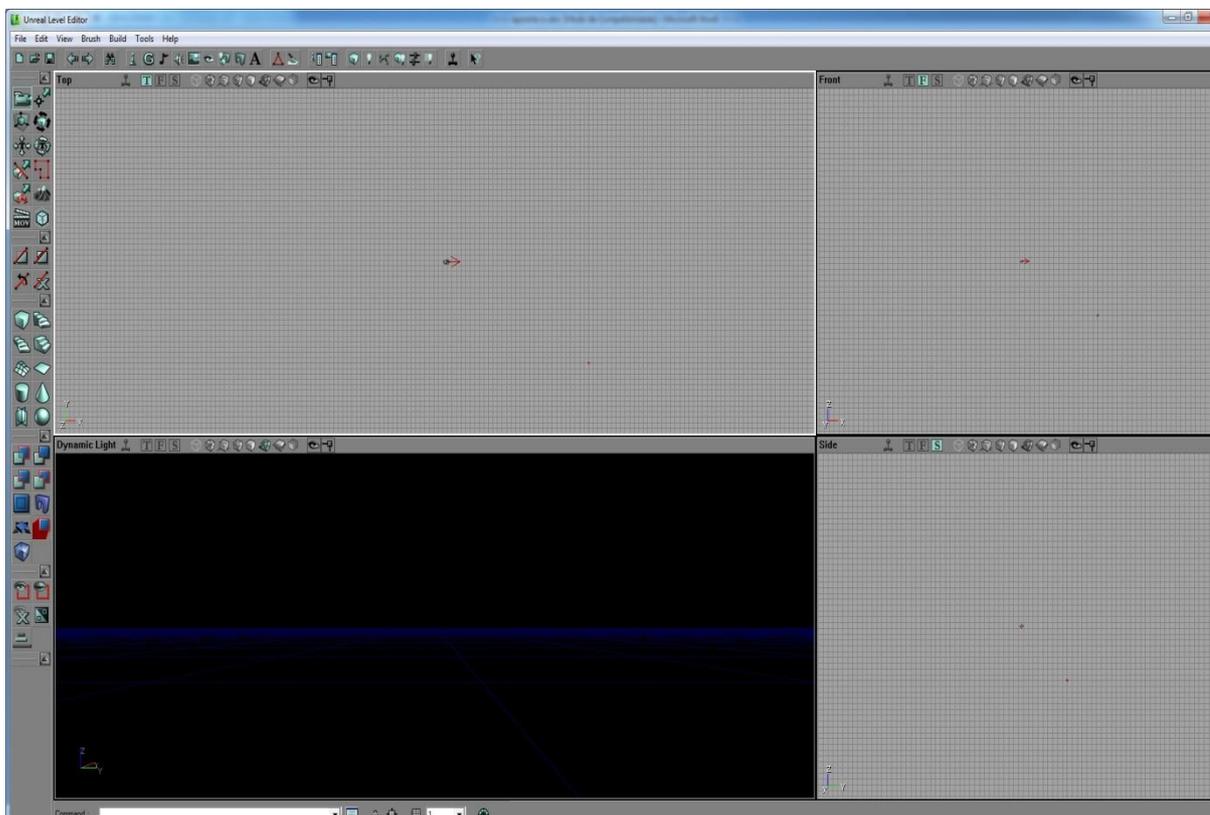


Figura 3.1: *Interface* do UnrealEd (Unreal Editor).

- Utiliza avatares para representar os usuários no ambiente virtual, e permite a utilização destes criados pelos usuários, embora sua criação dependa de outros *softwares* além do Unreal e do UnrealEd;
- Possui um interpretador de uma linguagem de script própria chamada UnrealScript, que é orientada a objeto e similar a Java. O código escrito em UnrealScript compõe grande parte do núcleo e são acessíveis ao usuário. Com isto, o núcleo possui um alto nível de customização, possibilitando modificar funções, ajustar propriedades, e até mesmo acrescentar novas funções. Podem ser acrescentados ao núcleo *scripts* novos para complementar a simulação, ajustar características da simulação do avatar, mudar a *interface* gráfica do Unreal, dentre outras capacidades;

- É popular, por isso fica mais fácil o esclarecimento de dúvidas sobre o *software* pela internet e por outras fontes, como livros, por exemplo.

3.6 A relação custo/benefício

O Unreal Engine é um núcleo de jogo completo, possuindo muitas das características dos sistemas de Realidade Virtual profissionais, cujas licenças possuem valores muito caros, mas pode ser usado livre de custos em aplicações apenas em fins não-comerciais. O Unreal Engine é uma boa opção para o treinamento, o desenvolvimento de testes para novas técnicas em empresas ou mesmo para pesquisas de mestrado ou doutorado. Além disso, a experiência ganha com o uso e desenvolvimento no Unreal Engine podem ser reaproveitados em outros sistemas de realidade virtual.

3.7 UnrealScript

O UnrealScript é um recurso do Unreal Engine que possui uma linguagem de scripts que segue o padrão de orientação a objeto, usando classes, objetos, atributos, métodos, entre outros.

O Unreal Engine, em nível de software que compõe o núcleo, é composto por duas partes:

1 – O código programado na linguagem C++, que é adaptado e compilado para uma plataforma e sistema operacional específicos. Este código realiza a renderização dos gráficos, a alocação de memória, acesso de arquivos, interpretação e execução dos scripts escritos em UnrealScript, comparando-se a uma máquina virtual. Esta parte programada em C++ não é modificável em nível de código do usuário, e somente pode ser configurada através de seus arquivos de configuração, permitindo a flexibilidade de determinados aspectos do núcleo;

2 – Os *scripts* são programados em UnrealScript, uma linguagem exclusiva do núcleo, de alto nível, orientada a objeto e semelhante a Java. Compõe a maior parte do código necessário para a criação de jogos neste núcleo. Nesta linguagem as regras, os eventos e todo o funcionamento do jogo são programados. O usuário pode compilar os *scripts* na forma de *bytecode*, usando o computador UCC, para o núcleo interpretá-los e executá-los. Na forma de *bytecode*, os *scripts* em UnrealScript podem ser convertidos para sua forma anterior, para que

o usuário possa estudá-los. Assim, o usuário pode programar novos *scripts* e modificar e excluir aqueles já existentes, alterando e apropriando o funcionamento do núcleo para novos fins. Esta possibilidade é incentivada pela *Epic Games*, desenvolvedora do Unreal Engine, permitindo que “hobbyistas” aprendam como funcionam várias características do jogo e possam mudá-lo, ou criar novo conteúdo para uso com o núcleo, conservando o interesse do usuário em utilizar o *software*. Um importante ponto de venda para *softwares*, especialmente jogos, é estes manterem em seus usuários o interesse em utilizá-los pelo maior tempo possível. O núcleo já vem acompanhado por uma série de classes necessárias para a construção de jogos, sendo que o Unreal Engine vem acompanhado de um conjunto mais básico. Os jogos comerciais vêm acompanhados de várias classes a mais, que são necessárias. Com a divisão entre o código nativo de plataforma e o UnrealScript, o Unreal Engine está disponível em várias plataformas, como *Windows*, *Mac OS X*, *Linux* e consoles de videogame.

3.8 O Laboratório de Realidade Virtual (LabRV)

O Laboratório de Realidade Virtual do Instituto de Engenharia Nuclear – IEN, o primeiro em seu gênero na área nuclear brasileira, está sendo capacitado para realizar treinamentos, simulações e experimentações relacionadas à área nuclear utilizando um sistema de projeção baseado em estereoscopia, dando a sensação de imersão em um ambiente virtual (Mol *et al.*, 2005).

O sistema de projeção utilizado no laboratório usa estereoscopia passiva de imagens polarizadas. Utilizam-se dois projetores com filtros polarizadores, em que cada um gera separadamente a imagem destinada a cada um dos olhos humanos, e óculos com lentes também polarizadoras, para que cada olho observe somente a imagem destinada a ele. A projeção ocorre atrás da tela de exibição, permitindo que os usuários possam aproximar-se da tela sem produzir sombras na projeção. Neste sistema, são usados:

- Dois projetores de tecnologia DLP (Figura 3.2, item a), para gerar separadamente as imagens destinadas a cada um dos olhos humanos;
- Dois filtros polarizadores, um para cada projetor, orientados em direções perpendiculares entre si (um na “orientação vertical” e outro na “orientação horizontal”);

- Um espelho, para reflexão da imagem dos projetores em direção à tela, com o objetivo de diminuir o espaço necessário para a projeção atrás da tela, porque há uma limitação na abertura das lentes dos projetores e o tamanho da imagem projetada é proporcional à distância entre os projetores e a tela;
- Uma tela de projeção anti-relativa, mostrada na figura 3.2 (b), que realiza uma projeção por trás da tela e mantém a polarização das imagens geradas pelos projetores;



(a)



(b)

Figura 3.2 (a): Projetores de tecnologia DLP com os filtros polarizadores; Figura 3.2 (b): Tela de projeção anti-relativa.

- Óculos com filtros polarizadores distintos para cada vista (Figura 3.3, item a), também orientados perpendicularmente entre si de modo que, combinados com os filtros nos projetores, fazem com que cada vista só consiga enxergar a imagem do projetor que utiliza o filtro orientado na mesma direção que o filtro utilizado na vista;
- Um sistema de som tipo “*home theater*” ligado à saída de áudio do computador (Figura 3.3, item b), com cinco canais de áudio (frontal, frente-esquerda, frente-direita, trás-esquerda, trás-direita) e um canal para os sons graves;



(a)



(b)

Figura 3.3 (a): Óculos com lentes polarizadoras; Figura 3.3 (b): Parte do sistema de som tipo “*home theater*”, que é ligado à saída de áudio do computador.

- Um computador que utiliza uma placa gráfica com duas saídas (Figura 3.4, item a) e gera as imagens, uma para cada projetor;
- Um dispositivo de interface para navegação tridimensional (*spaceball*).
- Uma televisão LED 3D (Figura 3.4, item b), para gerar imagens em estéreo.



(a)



(b)

Figura 3.4 (a): computador que utiliza uma placa gráfica com duas saídas; Figura 3.4 (b): Televisão LED 3D.

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA

A metodologia usada consiste de seis etapas:

1. Descrição da sala de controle a ser avaliada;
2. Escolha do evento e definição das tarefas para o seu tratamento;
3. Aplicação da Realidade Virtual na avaliação ergonômica de salas de controle;
4. Modelagem virtual da sala de controle;
5. Simulação do acidente postulado com a medição dos tempos;
6. Análise dos dados obtidos na simulação (comparação dos tempos medidos com os tempos de referência).

4.1 Descrição da sala de controle a ser avaliada

A sala de controle a ser avaliada em referência é a de uma central nuclear de potência, pois é o local mais apropriado para a simulação de um acidente postulado, e posterior avaliação ergonômica, de acordo com as propostas desta dissertação.

4.2 Escolha do evento e definição das tarefas para o seu tratamento

O evento escolhido insere-se nos acidentes postulados, pois são os mais relevantes numa usina nuclear. O evento motiva a necessidade de utilização da Realidade Virtual para uma avaliação ergonômica em salas de controle de usinas nucleares.

4.2.1 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 de segurança para o controle dos acidentes e a proteção da população. O sistema de limitação do

reator contém dispositivos para impedir que os valores limites de algumas variáveis sejam ultrapassados.

O Sistema de Proteção do Reator tem a finalidade de verificar e processar as variáveis de processo importantes para a segurança da usina, além de iniciar as ações automáticas de proteção para manter a usina em segurança. A escolha das variáveis de processo dependem da análise de acidentes, para reparar os acidentes provenientes de falhas internas no próprio sistema, inundações, incêndios e erros durante o conserto ou a manutenção do Sistema de Proteção do Reator. 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 consequências. Os acidentes mencionados abaixo são os possíveis de ocorrerem em uma usina nuclear:

1. Perturbações de reatividade e falhas de bombas do circuito primário;
2. Acidentes com perda de refrigerante;
3. Falhas em tubos do gerador de vapor;
4. Vazamentos no circuito de vapor e água de alimentação.

4.2.2 Definição das tarefas

Feita a escolha do evento, é necessário definir as tarefas para a avaliação ergonômica da sala de controle. Primeiramente, consultaram-se as bibliografias referentes às tarefas a serem realizadas na ocorrência de um acidente postulado. Depois, utilizaram-se estes dados para a elaboração de um roteiro. Este roteiro deve conter as possíveis conversas que podem ocorrer entre o encarregado e os operadores do primário e do secundário (Carvalho *et al.*, 2009). Ainda de acordo com este autor, o operador de painel não esteve presente nas pesquisas sobre o acidente postulado.

4.3 A Realidade Virtual aplicada na avaliação ergonômica de salas de controle

4.3.1 Análise da atividade dos operadores

A análise da atividade busca observar o comportamento do operador, o conjunto de atividades desenvolvidas durante a operação, e as interações com outros operadores durante uma determinada situação. Os objetivos desta análise buscam obter:

1. Informações a respeito do número de operadores necessários;
2. Informações sobre o treinamento;
3. Informações sobre possíveis erros ocorridos na sala de controle similar à da simulação;
4. Informações sobre os problemas relacionados à operação.

A análise da atividade na RV pode ser utilizada tanto em ações com sequências definidas (procedimentos), como em ações sem sequência definida.

Essa análise pode ser feita, basicamente, de duas maneiras:

- Com gravações de simulações na RV, pode-se realizar observações dos operadores realizando uma sequência de ações definidas em procedimentos;
- Também com gravações de simulações na RV, podem-se interpretar as atividades cognitivas relacionadas às demandas do trabalho, levando-se em conta as limitações da cognição humana, como por exemplo:
 - Reconhecimento dos problemas;
 - Avaliação dos efeitos de determinadas ações;
 - Escolha dos planos de ação.

O usuário do Unreal Engine 2 Runtime, considerando o ponto de vista do operador da sala de controle, observa os aspectos cognitivos relacionados à atenção em uma simulação. Um exemplo disso é a leitura de um texto referente a uma resposta de solicitação do encarregado (a fala do avatar correspondente a um operador). Dessa maneira, o usuário pode identificar as características mais comuns dos operadores, além de descobrir onde os erros ocorrem.

4.3.2 Análise das tarefas

A análise das tarefas estuda as tarefas a serem realizadas pelo operador, os objetivos a trilhar, além dos recursos e condições disponíveis. Costuma ser utilizada para determinar:

- O tempo necessário para a realização das tarefas;
- As condições para a realização das tarefas;
- O número de operadores.

Em relação aos operadores, o usuário do Unreal Engine 2 Runtime obtém as informações requeridas, as informações que estão disponíveis, além das suas respectivas avaliações. Além disso, observam-se as tarefas realizadas, além da frequência e rapidez da realização destas.

4.3.3 Análise do desempenho dos operadores

Nesta análise, o usuário pode observar as tarefas dos operadores ou analisar o resultado das ações tomadas pelos operadores. O indicador de desempenho mais conhecido, que pode ser usado em RV, leva em conta o tempo decorrido desde o anúncio de um evento até o momento que a ação do operador foi realizada. Este indicador chama-se tempo de reação. Um tempo de reação pequeno pode indicar em uma rápida resolução de uma estratégia, mas também pode indicar uma má representação cognitiva de um evento ocorrido, com soluções erradas ou incompletas. As conclusões a retirar desta análise devem referir-se à atenção ou à interpretação.

4.3.4 Desenvolvimento do programa de treinamento

O programa de treinamento na RV deve consistir de testes, avaliações e modificações. Ele é necessário para a confiabilidade e segurança da usina nuclear. O sistema do programa de treinamento elabora:

1. A descrição do trabalho – reconhecimento das tarefas realizadas na sala de controle;
2. O conteúdo do programa de treinamento – análise do comportamento e das condições em que a tarefa deve ser realizada;

3. O desenvolvimento dos métodos de treinamento – exame dos métodos de treinamento a serem utilizados;
4. A preparação do curso – verificação da programação do curso;
5. As avaliações – verifica se o programa de treinamento foi bem aceito na vida real, usando-se avaliações.

4.4 Modelagem virtual da sala de controle

O processo de modelagem virtual da sala de controle ocorre com as seguintes etapas:

1. Análise das fotos;
2. Desenho das plantas da sala de controle;
3. Modelagem da sala de controle no UnrealEd 2.0.

4.4.1 Análise das fotos

Primeiramente, analisaram-se algumas fotos da sala de controle de uma usina nuclear. A análise serve para verificar todos os ângulos da sala de controle em referência, incluindo os seus equipamentos. O objetivo desta análise é estimar as medidas a serem usadas para o desenho das plantas.

4.4.2 Desenhos das plantas da sala de controle

As medidas do entorno da sala, dos seus equipamentos e mobiliários (em unidades de metro e centímetro), serviram de base para o desenho das plantas, que foram separadas por:

- Planta baixa;
- Planta com a altura das paredes;
- Planta do teto.

As plantas servem como base para a modelagem da sala de controle no UnrealEd 2.0.

4.4.3 Modelagem da sala de controle no UnrealEd 2.0

Com o auxílio das plantas, inicia-se a modelagem da sala de controle no UnrealEd 2.0, usando-se figuras geométricas. Para a modelagem da sala de controle e dos seus componentes, utiliza-se basicamente o cubo, que possui medidas em comprimento, largura e altura. As medidas das plantas foram convertidas de metros ou centímetros para Unidades de Unreal (UU), salientando-se que $1 \text{ m} = 52,5 \text{ UU}$ ou $1 \text{ cm} = 0,525 \text{ UU}$. Depois, necessita-se utilizar texturas, que podem ser obtidas de desenhos à mão livre, figuras ou fotos.

4.5 Simulação do acidente postulado com a medição dos tempos

Abaixo, seguem as seguintes etapas para a simulação do acidente postulado:

- A gravação do acidente postulado. Para isto, necessita-se de três pessoas capacitadas no uso do Unreal Engine 2 Runtime para a leitura do roteiro e a movimentação dos avatares "inseridos" na sala de controle (neste caso, o encarregado e os operadores do primário e do secundário). Esta gravação ocorre em rede através do Unreal Engine 2 Runtime;
- A edição dos vídeos que são gravados, de forma que haja uma junção dos três vídeos da simulação (neste caso, o encarregado e os operadores do primário e do secundário). Esta união é necessária para uma melhor visualização da simulação do acidente postulado;
- Após a edição, necessita-se medir os tempos de cada ação, para cada simulação. Os tempos utilizados referem-se à modelagem cognitiva ACT-R 4.0 (Oliveira, 2001).

4.6 Análise dos dados obtidos na simulação (comparação dos tempos medidos com os tempos de referência)

A análise dos dados ocorre com a observação dos vídeos da simulação. Os objetivos da análise são:

1. Calcular o tempo médio de cada ação, para cada simulação;
2. Calcular o erro relativo de cada ação, para cada simulação;
3. Observar os deslocamentos dos avatares na sala de controle.

CAPÍTULO 5

A SALA DE CONTROLE DA USINA NUCLEAR PWR

A sala de controle escolhida para a simulação de um acidente postulado é a de uma central nuclear de potência PWR (*Pressurized Water Reactor*), porque é a predominante até o momento nas usinas nucleares existentes no Brasil, e na maioria das usinas localizadas pelo mundo.

5.1 Descrição da sala de controle da usina nuclear PWR

A sala de controle principal da usina nuclear PWR realiza as seguintes funções:

- Permite a monitoração e o controle da planta nuclear;
- Reconhece os distúrbios que afetam a segurança;
- Inicia as medidas para manter o reator nuclear em condição de segurança;
- Detecta acidentes e adota medidas para desligamento do reator.

As áreas de controle são projetadas para assegurar estabilidade e confiabilidade. Os operadores na área de controle desempenham as seguintes atividades:

- Monitoram a sequência operacional, comparando-os com funções pré-determinadas;
- Verificam as funções individuais e a sua relação com outros sistemas;
- Observam as variáveis representativas do processo;
- Interferem nos níveis de determinadas variáveis, caso ocorram desvios nos valores ajustados;
- Informam-se sobre o processo por meio de medidores, mostradores e monitores de computadores;
- Ajustam o processo por meio de controles.

A sala de controle principal da usina nuclear PWR apresenta-se com as seguintes

áreas:

- Área de Controle Principal;
 - Área de Controle Auxiliar;
 - Área de Comunicação;
 - Área de Obtenção de Dados Através do Computador de Processo;
 - Área da Documentação;
 - Área de Facilidades;
 - Área de Isolação.
-
- Área de Controle Principal

É composta pelo console de controle mestre, identificado por CWA, e pelo console de informações, identificado por CWB. Nesta área localizam-se os sistemas, controles e as informações relacionadas com a partida, subida de potência, operação em potência nominal, desligamento da turbina e desligamento do reator. O console de informação, CWB, apresenta as informações através de cinco monitores que são usados para indicação, registro de alarmes e determinação do *status* do processo.

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

1. Console dos operadores

Possui duas seções: esquerda e direita. A seção esquerda localiza-se na parte esquerda do CWA, e o operador do primário controla as ações nesta região. A seção direita localiza-se à direita do CWA, e é nesta região onde o operador do secundário trabalha.

2. Painel vertical

É formado por medidores e por anunciadores de alarmes. Fica acima do console de controle mestre CWA, na posição vertical. A figura 5.1 mostra uma foto de parte do CWA e do CWB, respectivamente.

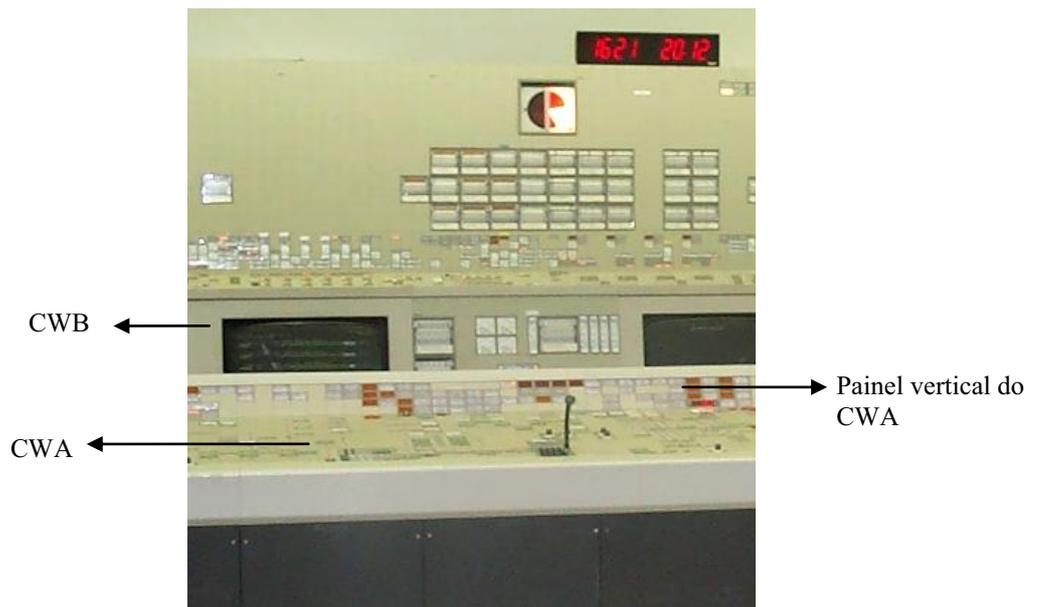


Figura 5.1: Parte dos consoles CWA e CWB.

- 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, e 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 operador dos painéis auxiliares é o responsável pela área. O console de controle auxiliar é dividido em quatro seções e sete painéis laterais. A seção principal deste console é formada pelos painéis CWL, CWM, CWN e CWP. A seção secundária é formada pelos painéis laterais CWF, CWH, CWK, CWJ, CWQ, CWG e CWZ.

O console de controle auxiliar realiza as seguintes funções:

1. Execução de tarefas anteriormente estabelecidas para operação de partida e desligamento programado do reator;
2. Operação de sistemas que não necessitem de um acompanhamento permanente do operador;
3. Testes relacionados com a partida do reator;
4. Operação manual dos componentes da planta que são normalmente conduzidos pela

- operação de alto nível do grupo a partir do console de controle mestre;
5. Inicialização e acompanhamento dos programas de teste.

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

- Na seção CWN estão repetidos alguns controles individuais, do 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 isolamento 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.

A figura 5.2 mostra alguns itens do console de controle auxiliar.

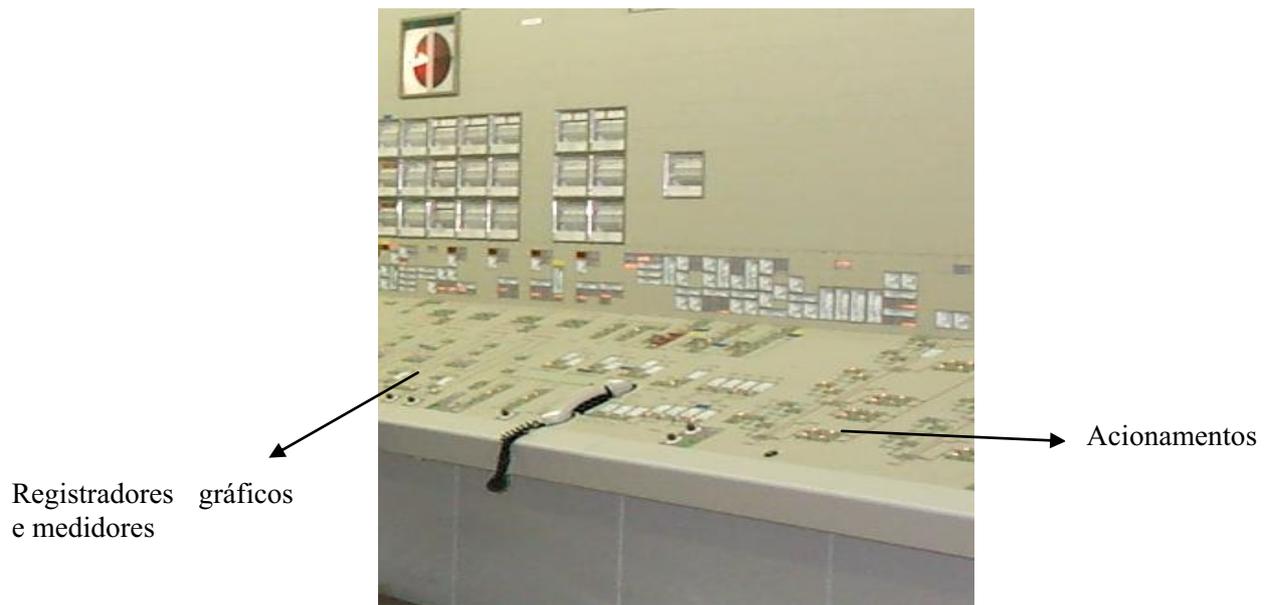
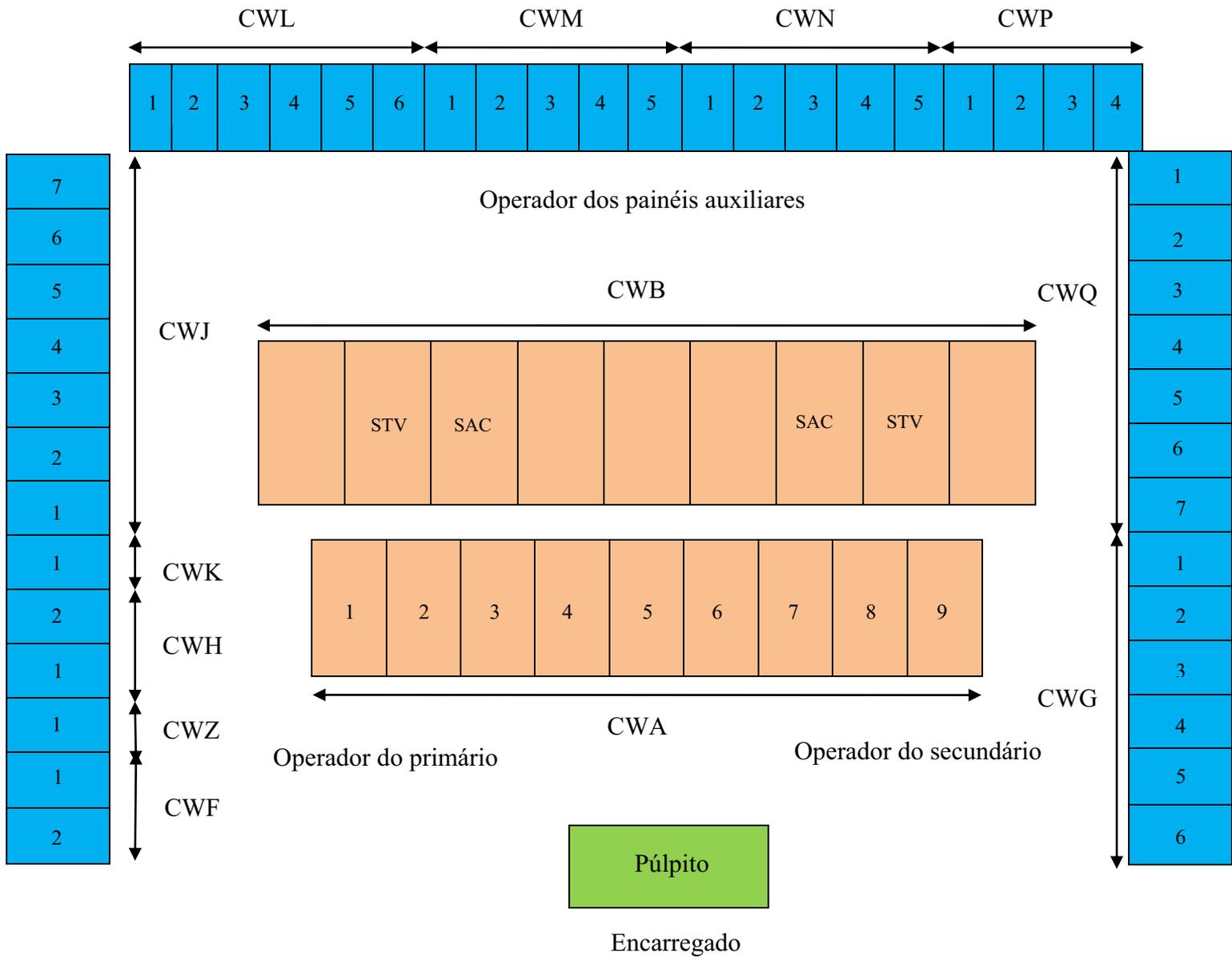


Figura 5.2: Console de controle auxiliar.

A figura 5.3 apresenta a disposição do console de controle mestre CWA, do console de informação CWB e dos painéis auxiliares da sala de controle principal da usina nuclear PWR, além da localização comum de alguns funcionários que nela atuam.



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 5.3: Disposição dos consoles e dos painéis auxiliares da sala de controle da usina nuclear PWR, e a localização comum de alguns funcionários que nela atuam.

- Área de Comunicação

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

- Área de Obtenção de Dados Através do Computador de Processo

Nela localizam-se os computadores que registram eventos e obtém dados referentes ao processo.

- Área da Documentação

Esta área contém as informações de gerenciamento da operação do reator. Ela deve conter manuais de operação, procedimentos de emergência, diagramas esquemáticos, e informações sobre o processo.

- Área de Facilidades

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 incomodar o trabalho dos operadores da sala de controle.

5.1.1 Sistemas de Alarmes

A norma alemã KTA 3501, que é utilizada nos alarmes da usina PWR, apresenta as seguintes classificações:

- Alarme de classe S

São os alarmes que levam 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, e falha do sistema de água de alimentação.

- Alarme de classe 1

O alarme de classe 1 mostra aos operadores a existência de um distúrbio no sistema de segurança do reator, e apresentam-se na cor amarela.

Os sistemas com esses alarmes são os seguintes: 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, e 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.

A figura 5.4 apresenta alarmes convencionais e algumas de suas classes que estão posicionados no console de controle mestre, CWA.

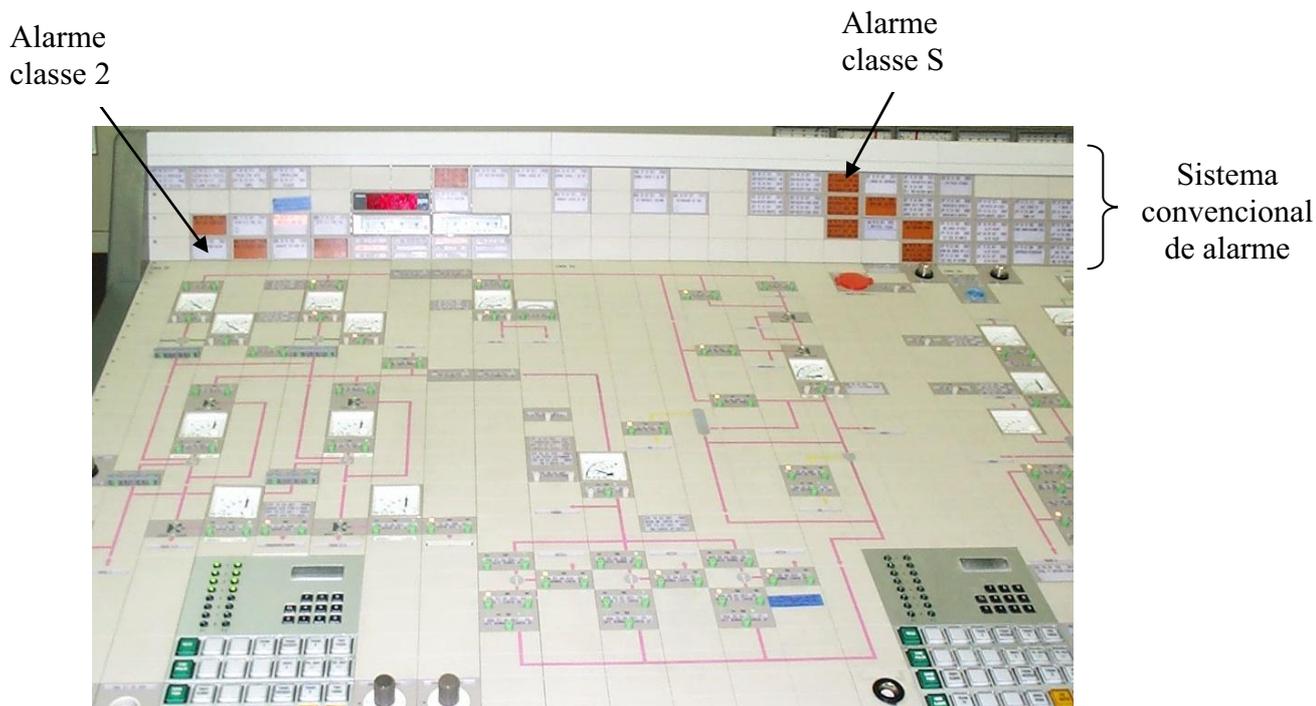


Figura 5.4: Algumas classes de alarmes, que estão entre os alarmes convencionais localizados em CWA.

- Sistema de alarme computadorizado

Neste sistema a informação é transmitida aos operadores através de sinais sonoros e mensagens apresentadas nos monitores de computadores, que aparecem no CWB. Este sistema agrupa as informações obtidas nos diversos sistemas, possibilitando a impressão dos protocolos dos alarmes. No máximo sete indicações de alarmes são apresentadas simultaneamente em cada monitor, e somente as mais antigas serão exibidas, caso não sejam reconhecidas. Estas exibições ocorrem sempre de maneira sequencial, e os alarmes de maior prioridade sempre aparecem antes dos de menor prioridade.

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

As prioridades do sistema referente são:

- Prioridade 1

Neste nível de prioridade estão os alarmes com informações sobre possíveis restrições na geração de energia, ou na sequência da partida ou parada do reator nuclear. Os alarmes que não exijam intervenção manual direta também pertencem a esta prioridade.

- 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.

Caso o sistema computadorizado de alarme falhe, o sistema convencional de alarme possibilita que a planta nuclear seja operada em potência parcial ou total, dando garantindo que o reator seja desligado.

A organização dos alarmes em classes de segurança, com as respectivas cores, é apresentada na figura 5.5.

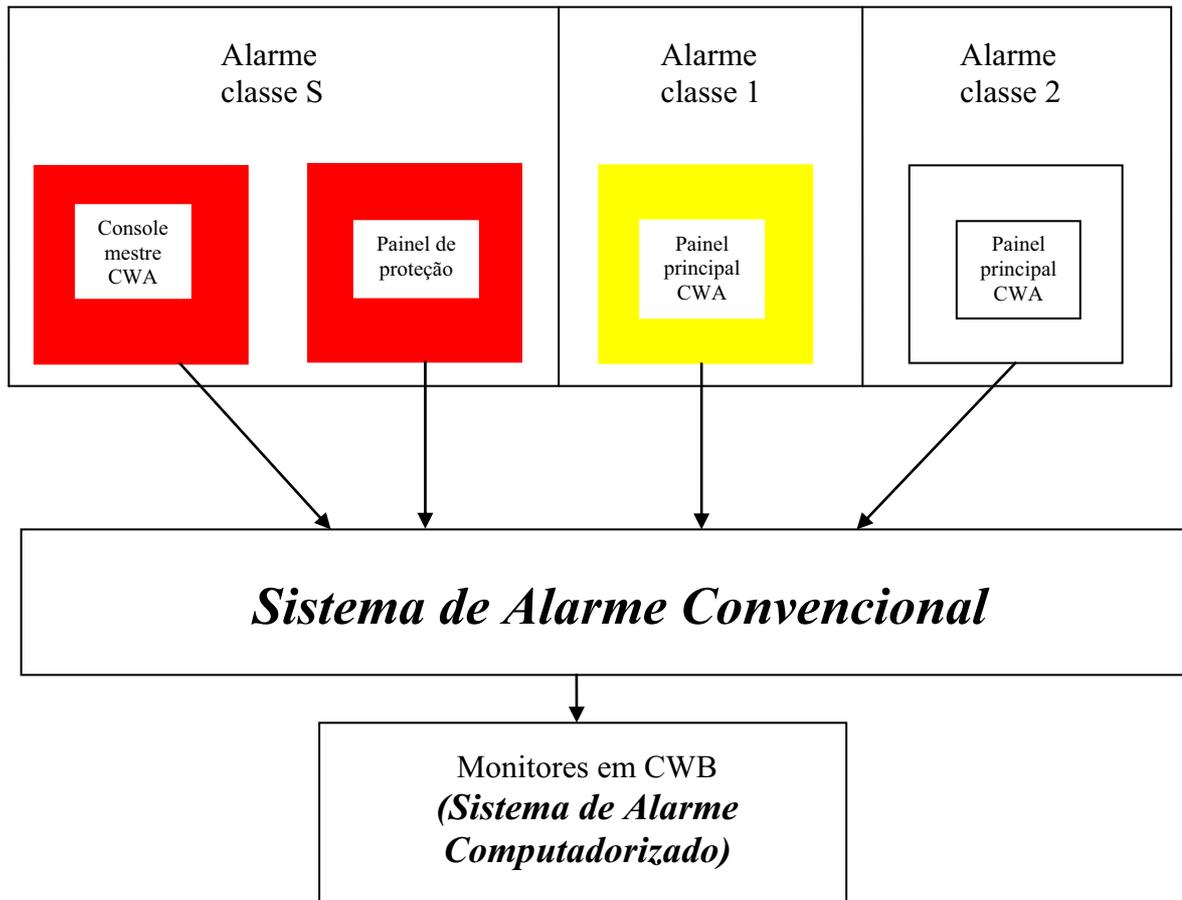


Figura 5.5: Organização dos Sistemas de Alarmes.

5.1.2 Profissionais da sala de controle da usina nuclear PWR

Na sala de controle da usina nuclear PWR atuam os seguintes profissionais:

- Supervisor de turno
É o responsável pela supervisão do trabalho do encarregado e dos operadores da sala de controle.
- Encarregado de turno
É o responsável pela gerência do trabalho dos operadores na sala de controle.

- Operador do reator – primário
É o responsável pela operação e controle do sistema primário.
- Operador do reator – secundário
É o responsável pela operação e controle do sistema secundário.
- Operador dos painéis auxiliares
É o responsável pela operação dos painéis auxiliares.

5.2 Esboço da sala de controle

5.2.1 Análise das fotos

Primeiramente, analisaram-se as fotos da sala de controle de uma usina nuclear PWR. A análise tem o objetivo de estimar as medidas para o desenho das plantas. As figuras 5.6 (a), (b), (c), (d), (e) e (f) mostram as fotos dos principais ângulos da sala de controle.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figuras 5.6 (a), (b), (c), (d), (e) e (f): Fotos da sala de controle de uma usina nuclear PWR apresentando os principais ângulos, que foram usados para o desenho das plantas.

5.2.2 Desenhos das plantas da sala de controle

As medidas do entorno da sala e de seus equipamentos serviram de base para o desenho das plantas, que são separadas por planta baixa, planta com a altura das paredes e planta do teto. A preparação destas plantas serve como base para a modelagem da sala de controle no UnrealEd 2.0. A planta baixa da sala de controle da usina PWR encontram-se na figura 5.2.

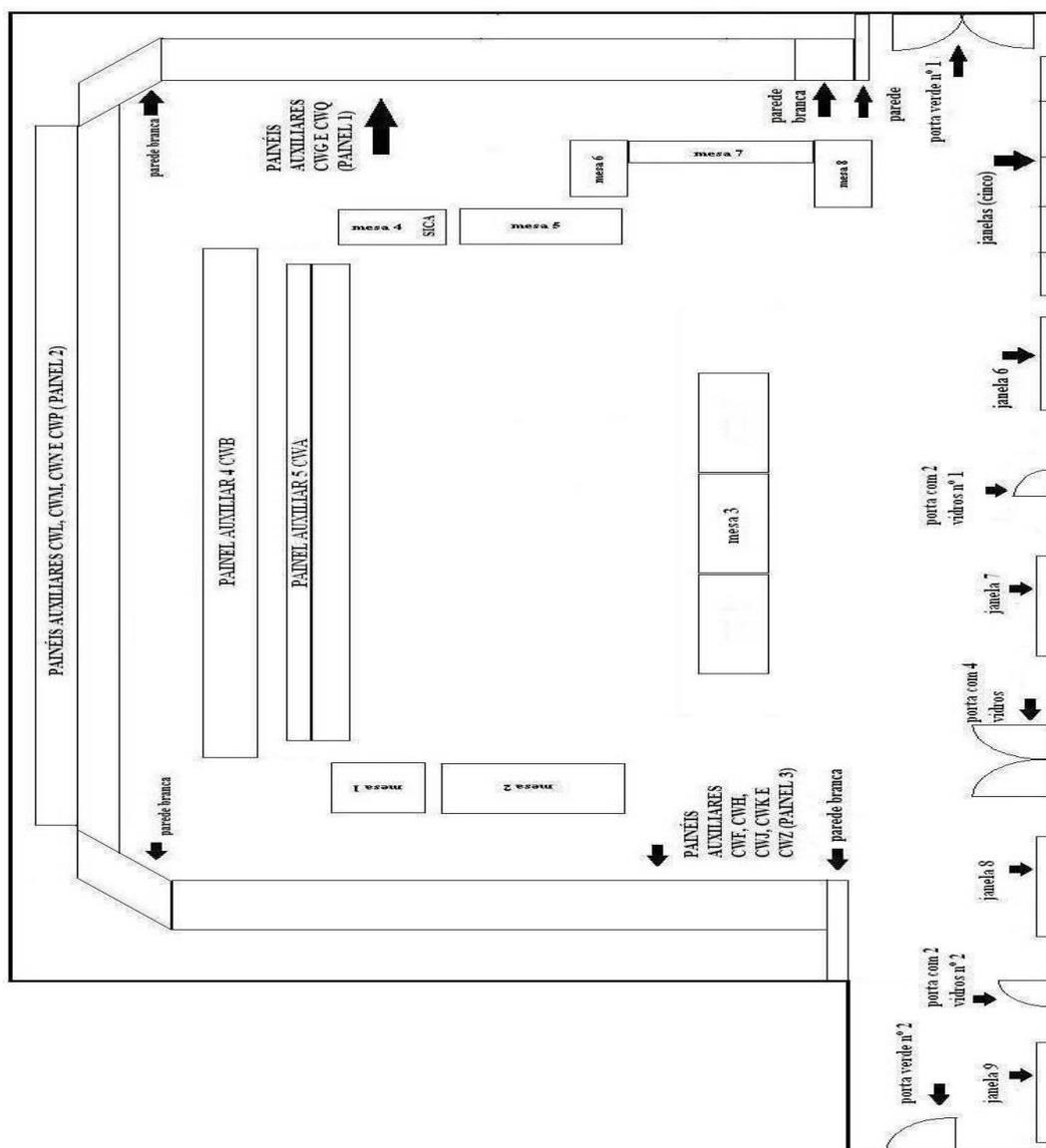
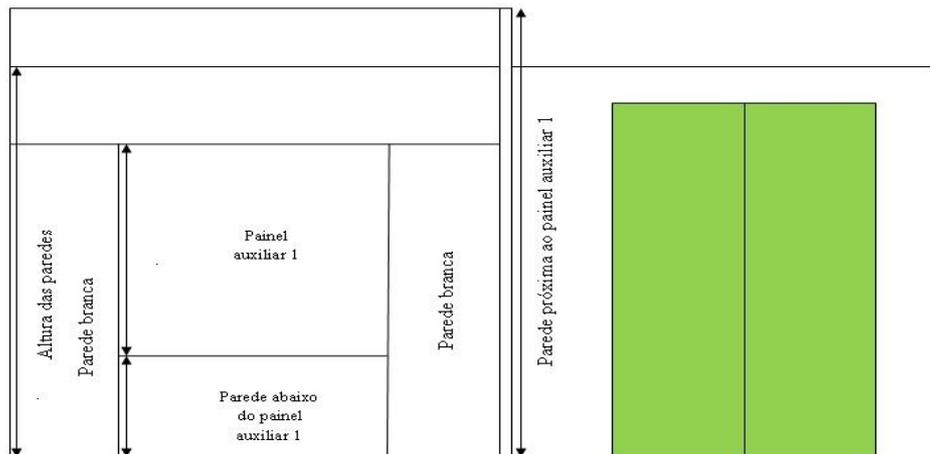
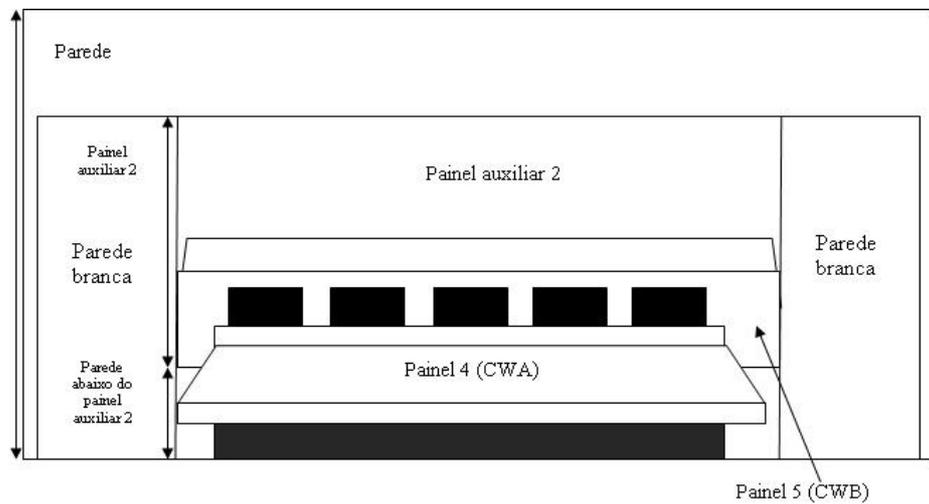


Figura 5.7: Planta baixa da sala de controle da usina nuclear PWR.

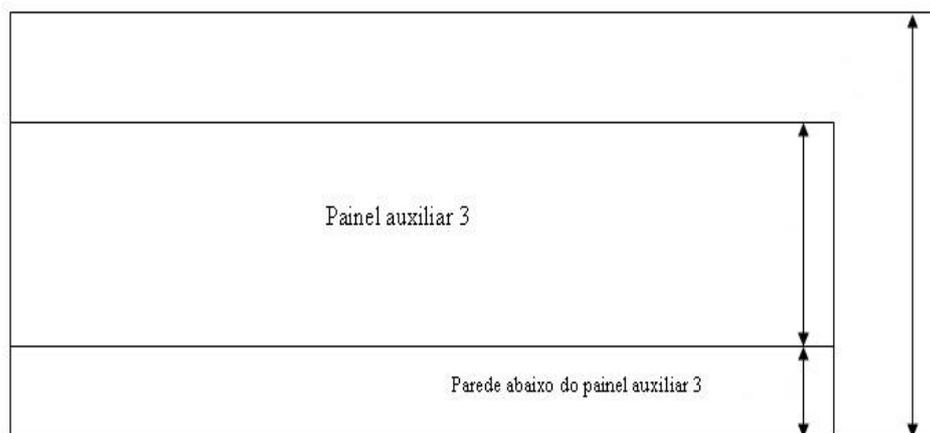
As figuras 5.8 (a), (b) e (c) mostram a planta com a altura das paredes, dos painéis e de alguns componentes da sala de controle da usina PWR, em determinados ângulos.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.8 (a), (b) e (c): Plantas com a alturas das paredes, dos painéis e de alguns componentes da sala de controle da usina PWR, em determinados ângulos.

A figura 5.9 mostra a planta do teto da sala de controle da usina PWR.

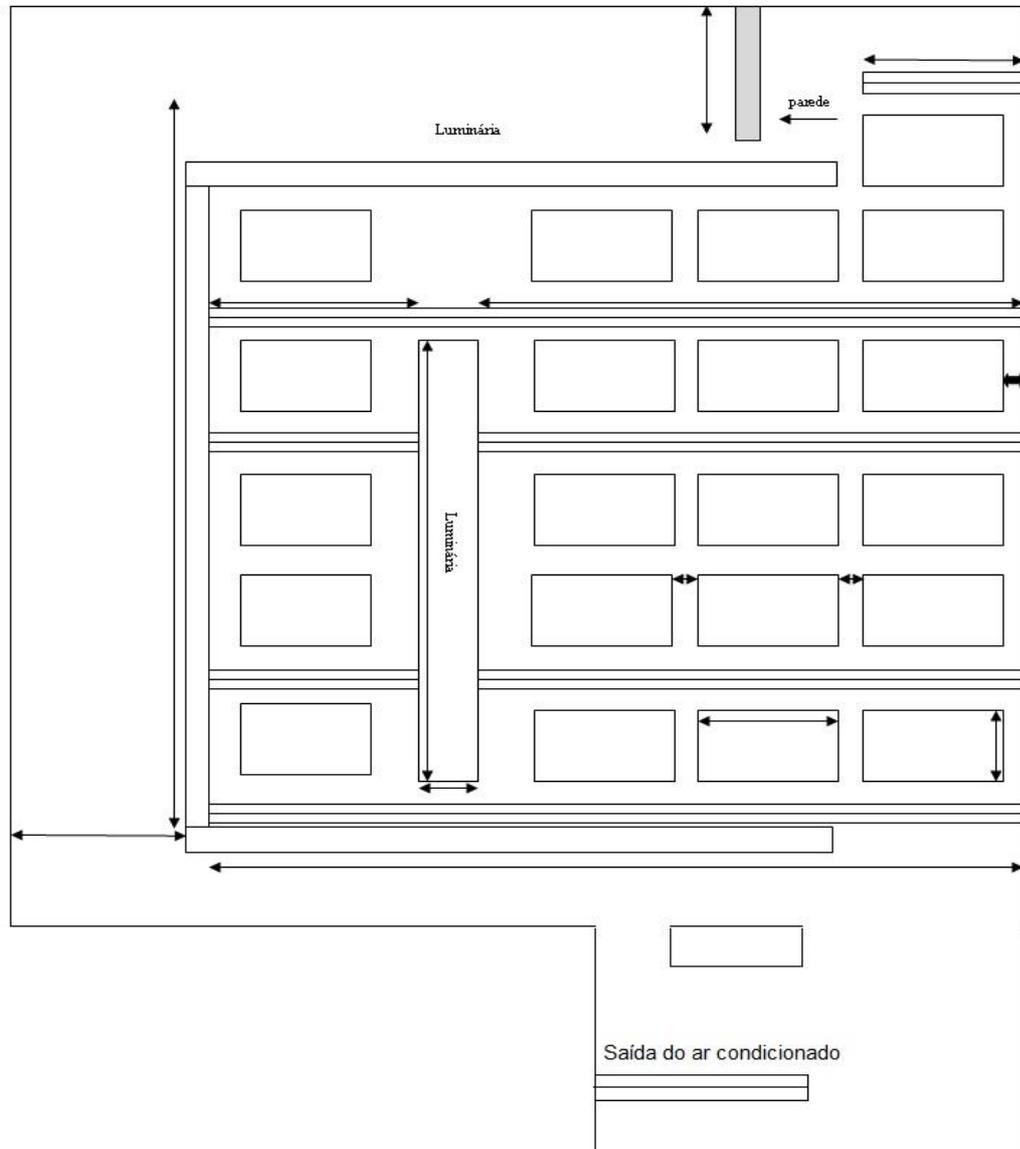


Figura 5.9: Planta do teto da sala de controle da usina nuclear PWR.

5.2.3 Modelagem da sala de controle no UnrealEd 2.0

Com o auxílio das plantas, é possível modelar a sala de controle no UnrealEd 2.0. Para o preenchimento das figuras geométricas usaram-se texturas. Estas baseiam-se em sua maioria,

nas fotos da sala de controle trabalhadas num aplicativo manipulador de imagens. A figura 5.10 mostra a sala de controle modelada no UnrealEd 2.0.

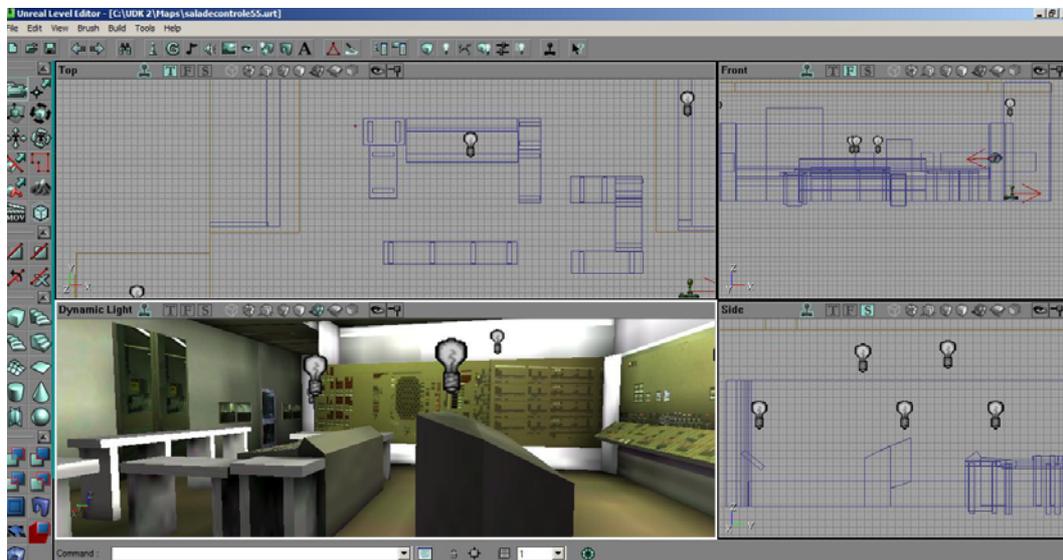


Figura 5.10: Editor UnrealEd 2.0 mostrando a modelagem da sala de controle da usina nuclear PWR.

Após a modelagem no UnrealEd 2.0, pôde-se visualizar a sala de controle com um ou mais avatares, utilizando-se o Unreal Runtime.

As figuras 5.11 (a), 5.11 (b), 5.11 (c) e 5.11 (d) mostram a sala de controle visualizada após a modelagem no UnrealEd 2.0, em todos os seus ângulos.



(a)



(b)

Figura 5.11 (a): Vista da sala de controle após a modelagem no UnrealEd 2.0, onde aparecem o painel auxiliar esquerdo, o painel auxiliar central, o CWA e o CWB; Figura 5.11 (b): Vista da sala de controle após a modelagem no UnrealEd 2.0, onde aparecem parte do painel auxiliar central e parte do painel auxiliar direito.



(c)



(d)

Figura 5.11 (c): Vista da sala de controle após a modelagem no UnrealEd 2.0, onde aparecem parte do painel auxiliar direito e a porta da sala do supervisor (a menor, à direita); Figura 5.11 (d): Vista da sala de controle após a modelagem no UnrealEd 2.0, onde aparecem parte do painel auxiliar esquerdo e a porta de acesso à sala de controle (a maior, à esquerda).

5.3 Descrição do evento a ser analisado - LOCA

O evento a ser analisado é o LOCA (*Loss of Coolant Accident*, ou Acidente de Perda de Refrigerante), que pode referir-se a uma ruptura no tubo do gerador de vapor, ou a uma ruptura no pressurizador. O acidente ocorre dentro da contenção do reator, que opera a 100% de potência e com os critérios de resfriamento de emergência satisfeitos. As diferenças entre os tipos de LOCA são analisadas com base na localização e no tamanho da ruptura. As categorias de acidente são analisadas baseando-se nos seus impactos na planta nuclear, que são:

1. Transiente de pressão na contenção;
2. Pressão do refrigerante;
3. Nível do pressurizador;
4. Contramedidas automáticas iniciadas;
5. Estado final.

O LOCA envolve o evento de liberação de energia, onde uma parte dela é descarregada dentro da contenção, com o escoamento através da ruptura. A outra parte da energia é removida pelos sistemas de remoção de calor (dissipadores de calor do sistema secundário, sistema de remoção de calor residual e inventários do refrigerante frios). Um adequado fornecimento de refrigerante sempre deve ser avaliado pela injeção, dentro do Sistema de Refrigeração do Núcleo nos seguintes casos:

- No caso de vazamento pelas bombas de injeção de segurança;
- Através das bombas “JDH”, acumuladores e bombas de remoção de calor residual em refluxo e/ou modo de recirculação.

O tamanho da ruptura determina a rápida dissipação de energia potencial dentro da contenção com o escapamento do refrigerante, além da rapidez com que isso causa à pressão, ao inventário do refrigerante e à temperatura na contenção. A injeção de segurança e os Sistemas de Refrigeração do Núcleo influenciam estes fenômenos termo-hidráulicos e de dinâmica de fluxo de modo que, com a sequência de ações automáticas completadas, a planta possa estabilizar-se. O objetivo mais importante da segurança é refrigerar o núcleo. Para isso, é preciso que o inventário do refrigerante, a transferência de calor e a pressão no Sistema de

Refrigeração do Núcleo sejam mantidos por todo o tempo. Todas as fases têm sistemas redundantes. As ações do Sistema de Proteção do Reator também são redundantes.

O *German Risk Study*, ou Estudo de Riscos Germânicos, pertencente à empresa *Siemens*, enfatiza que durante o LOCA, a prevenção do derretimento do núcleo pode ser feita por meio de:

- Dois trens de injeção de segurança de alta pressão;
- Dois acumuladores;
- Um trem do Sistema de Remoção de Calor Residual de Baixa Pressão, que opere em refluxo e/ou modo de recirculação do tanque.

As pequenas redundâncias são adequadas na maioria dos casos, dependendo do tamanho da ruptura.

A fase não crítica de um LOCA é controlada pelas ações manuais, garantindo assim:

- O resfriamento do núcleo;
- A operação das bombas de remoção de calor residual;
- A concentração de boro no reservatório da contenção;
- O resfriamento da piscina de combustível gasto;
- A concentração de hidrogênio;
- A retenção de radioatividade dentro da contenção.

Segundo o NPP Angra 2 – *Operating Manual* (1999), existem oito classificações para o LOCA:

1. De grande fuga de refrigerante (ou “*Large Break LOCA*”);
2. De média fuga de refrigerante (ou “*Medium-Break LOCA*”);
3. De pequena fuga de refrigerante (ou “*Small-Break LOCA*”);
4. De pequena fuga de refrigerante no espaço de vapor do pressurizador, ou não-fechamento da válvula de alívio do pressurizador, ou da válvula de segurança do pressurizador (ou “*Small-Break LOCA in the pressurizer steam space or non-closure of a pressurizer relief or safety valve*”);
5. De fuga de refrigerante muito pequena, sem critérios do resfriamento do núcleo de emergência (ou “*Very Small-Break LOCA without Emergency Core Cooling Criteria met*”);

6. Fuga de refrigerante fora da contenção (ou “*Loss of Coolant Accident Outside Containment*”);
7. Fuga de refrigerante do tubo do Gerador de Vapor, sem violação dos Critérios de Resfriamento do Núcleo de Emergência (ou “*Steam Generator Tube Rupture without Violation of MS Activity Limits with ECCM met*”);
8. Fuga de refrigerante do tubo do Gerador de Vapor, sem violação dos Limites de Atividade do Vapor Principal (ou “*Steam Generator Tube Rupture with Violation of Main Steam Activity Limits*”).

5.3.1 Análise do acidente postulado LOCA do tipo "*Small-Break*"

O acidente postulado a ser analisado para a simulação é o LOCA do tipo "*Small-Break*", ou acidente com pequena perda de refrigerante. Possui como característica o escoamento do refrigerante, que pode ocorrer dentro de uma faixa de pressão entre 9 bares e 109 bares. Neste caso, as bombas de injeção de segurança e as bombas de boração, que são possivelmente favorecidas pelos acumuladores, compensam-se no vazamento e pressão de acumulação no Sistema de Resfriamento do Núcleo. Esta compensação ocorre para um nível mais alto do que a queda de pressão de saturação do refrigerante, resultando num resfriamento de 100 Kelvin/hora. Se a pressão do refrigerante é mantida acima de 25 bares, os acumuladores não descarregam. Neste caso, as perdas de calor pela ruptura e pela pressão, que são compostas na contenção, também são muito influentes (a pressão é menor do que 1 bar).

Uma parte do calor é removida pelo sistema secundário em 100 Kelvin/hora porque o Sistema de Resfriamento do Núcleo é preenchido e subresfriado, ocorrendo uma boa transferência de calor do núcleo. Enquanto isso, a recirculação natural (os Sistemas de Resfriamento do Núcleo são desligados) permite boa transferência de calor no sistema secundário. A outra parte do calor (dependendo do tamanho da ruptura) é descarregada através da ruptura. Ocorre somente a influência da pressão (teoricamente, de 1 bar aproximadamente) na contenção. A liberação de radioatividade é finalizada pelo HVAC (*Heating, Ventilating, and Air Conditioning*, ou Calor, Ventilação e Condicionamento) da contenção e pelo isolamento da estrutura.

Com as ações automáticas concluídas, a pressão do refrigerante fica entre 9 e 109 bar, enquanto a temperatura média do refrigerante é determinada pelo resfriamento de 100

Kelvin/hora. O escoamento através da ruptura é compensado pelas bombas de injeção de segurança. Estas bombas são acompanhadas pelas bombas “JDH”, se a pressão do refrigerante cair para menos de 25 bares pelos acumuladores (a fronteira entre um LOCA de média perda de refrigerante e um LOCA de pequena perda de refrigerante).

As ações manuais que foram usadas na simulação do acidente LOCA do tipo "*Small-Break*" referem-se a uma área de fuga de 30 cm² (diâmetro interno de fuga de aproximadamente 60 milímetros), e foram elaboradas considerando-se as seguintes condições de contorno (Carvalho *et al.*, 2009 e Oliveira, 2001):

- Todos os sistemas operam normalmente;
- Não há alimentação elétrica de emergência;
- Todos os sistemas de remoção de calor residual operam normalmente.

5.4 Levantamento de dados para o roteiro da simulação do acidente postulado

5.4.1 Pesquisa dos dados referentes ao acidente postulado

A pesquisa dos dados são feitas em manuais de operação de usinas nucleares, para a análise das prevenções a tomar durante a ocorrência de um LOCA do tipo "*Small-Break*". De acordo com os manuais e referências (Carvalho *et al.*, 2009 e Oliveira, 2001), as prevenções para este acidente são divididas em ações a serem tomadas pelos operadores da sala de controle (ações manuais), na ordem que seguem:

1. Ação 1 – Verificar o estado da planta após 30 minutos (com todas as ações automáticas realizadas);
2. Ação 2 – Verificar se a usina está em alimentação elétrica de emergência;
3. Ação 4 – Verificar a existência do LOCA via pressurizador (válvula de alívio ou ruptura no espaço de vapor);
4. Ação 6 – Verificar se a temperatura de saída do primário está menor que 160 °C, e se a pressão de vapor está menor que 4 bares;
5. Ação 7 – Verificar se há bombas de remoção de calor residual em operação, ou seja, se a pressão caiu abaixo dos 9 bares. Esta ação serve para confirmar se o LOCA é pequeno ou médio-grande;

6. Ação 16 – Verificar se há LOCA via pressurizador (válvula de alívio ou ruptura no espaço de vapor);
7. Ação 18 – Verificar se o nível do pressurizador está menor que 2,28 metros;
8. Ação 19 – Realizam-se as operações de rearme dos seguintes sinais de proteção do reator:
 - JR41 – Sinal de partida para o sistema de boração extraordinária;
 - JR42 – Sinal de abertura para o sistema de boração extraordinária.

Além disso, a memória V do Sistema de Proteção do Reator é rearmada, rearmando-se também os sinais:

- JR43 – Sinal de isolamento do sistema de refrigeração do primário;
 - JR44 – Sinal de desligamento das bombas de refrigeração do reator.
9. Ação 20 – Realizam-se as operações para subir o nível do pressurizador através do *spray* do Sistema de Boração Extraordinária “JDH”;
 10. Ação 21 – Comprova-se que o alarme classe S foi ativado;
 11. Ação 24 – Realizam-se as operações para parar a subida do nível do pressurizador, desconectando o *spray* do Sistema de Boração Extraordinária “JDH”. Além disso, desliga-se uma bomba de boração adicional;
 12. Ação 22 – Realizam-se as operações de rearme do sinal de refrigeração de segurança do Sistema de Proteção do Reator. Rearmando este sinal, rearmam-se os seguintes sinais de proteção do reator:
 - JR23 – Sinal de isolamento da contenção para o sistema de controle de volume;
 - JR31 – Sinal de preparação para refrigeração de emergência;
 - JR32 – Sinal de inundação 1;
 - JR34 – Sinal de partida de injeção de alta pressão;
 - JR95 – Sinal de partida para os sistemas PE/PJ.
 13. Ação 25 – Verificar se a usina está com a alimentação elétrica de emergência;
 14. Ação 27 – Realizam-se as operações para colocar em operação as bombas de remoção de calor residual;
 15. Ação 28 a – Realizam-se as operações para desligar a primeira bomba de injeção de segurança;
 16. Ação 28 b – Realizam-se as operações para desligar a segunda bomba de injeção de segurança;

17. Ação 28 c – Realizam-se as operações para desligar a terceira bomba de injeção de segurança;
18. Ação 28 d – Realizam-se as operações para subir o nível do pressurizador, através do *spray* do Sistema de Boração Extraordinária “JDH”;
19. Ação 28 e – Realizam-se as operações para interromper a subida do nível do pressurizador, desconectando o *spray* do Sistema de Boração Extraordinária “JDH”;
20. Ação 28 f – Realizam-se as operações para desligar a quarta bomba de injeção de segurança.

5.4.2 Digitação dos textos para a comunicação entre os funcionários da sala de controle

Inicialmente, digita-se um fluxograma com os textos provisórios de cada um dos avatares (funcionários da sala de controle, que neste caso são o encarregado, o operador do primário, e o operador do secundário), separando-se todas as ações. Posteriormente, transferiram-se estes textos para o roteiro.

5.4.3 Elaboração do roteiro para a simulação do acidente postulado LOCA do tipo “*Small-Break*”

Os textos do fluxograma são transferidos para o roteiro. Ele apresenta um texto de linguagem acessível para os usuários (as pessoas que controlaram os avatares). Para efeito de localização, um mapa da sala de controle foi desenhado, mostrando os pontos aonde cada avatar deve começar (indicados por setas).

O roteiro mostra o diálogo para todos os avatares. Em relação aos deslocamentos, o roteiro exhibe o mapa da sala de controle, a indicação do setor a chegar (com uma seta), e o nome do operador (primário ou secundário), informando assim para onde ele deve seguir. Apenas os operadores do primário e do secundário se deslocam, porque o encarregado permanece sempre atrás do púlpito, ministrando as ordens. Os operadores, além de caminharem pela sala de controle, respondem às solicitações do encarregado.

5.4.4 Cálculo dos tempos para cada tarefa dos funcionários da sala de controle

Os tempos citados abaixo referem-se à modelagem cognitiva ACT-R 4.0, uma arquitetura que analisa como a cognição humana trabalha, excluindo-se os movimentos perceptuais/motores (Oliveira, 2001). Este modelo é aplicado na modelagem de domínios referentes às capacidades humanas, como: memória, aprendizado, resolução de problemas, tomada de decisões, linguagem, comunicação, percepção, atenção, entre outros.

t1: Tempos de locomoção entre os painéis

t1b: Entre a Mesa Principal de Controle (CWA) e o Painel Auxiliar Esquerdo.....11,0 s

t1c: Entre a Mesa Principal de Controle (CWA) e o Painel Auxiliar Direito.....12,0 s

t1d: Entre a Mesa Principal de Controle (CWA) e o Painel Auxiliar Central.....15,0 s

t2: Tempo para orientação visual através de indicadores, registradores, etc.....1,2 s

t4: Tempo de reação de escolha entre possibilidades (aberto/fechado, etc.).....0,3 s

t9: Tempo de ações de controle (movimento do braço e atuação em um elemento).....0,9 s

t10: Tempo de leitura em voz alta e entendimento (por palavra).....0,3 s

t11: Tempo de leitura em voz alta (componente mais seu valor ou condição).....3,0 s

tmem: Tempo de rearme de uma memória do Sistema de Proteção do Reator.....10,0 s

A console de controle principal (CWA) divide-se em 9 setores. No roteiro, encontram-se alguns deslocamentos entre estes setores. No entanto, estes tempos não constam na referência (Oliveira, 2001). Por isso, necessita-se coletar estes tempos, por meio de estimativas do comprimento do console de controle principal (de acordo com a planta baixa da sala de controle). Depois, analisaram-se os deslocamentos realizados em móveis de comprimento similar. Os tempos estimados são:

1. Tempo de deslocamento entre os setores 1 e 2 ($t_{1,2}$).....1,4 s

2. Tempo de deslocamento entre os setores 1 e 5 ($t_{1,5}$).....5,6 s

3. Tempo de deslocamento entre os setores 1 e 6 ($t_{1,6}$).....7,0 s

4. Tempo de deslocamento entre os setores 2 e 6 ($t_{2,6}$).....5,6 s

5.5 Gravação da simulação do acidente postulado LOCA do tipo “*Small-Break*”

5.5.1 Preparação para a gravação da simulação do acidente postulado LOCA do tipo “*Small-Break*”

Com o roteiro pronto, inicia-se a familiarização dos usuários com a sala de controle modelada no UnrealEd 2.0. Ela foi aberta para um primeiro contato entre os usuários, por meio da ferramenta Unreal Engine 2 Runtime, para a ligação em rede. Os usuários da simulação puderam analisar o roteiro, e estiveram livres para esclarecimentos. A escolha dos avatares ocorreu através de um consenso entre os usuários e logo após, ocorreu o ensaio geral.

5.5.2 Ensaio geral para a gravação da simulação do acidente postulado LOCA do tipo “*Small-Break*”

O ensaio geral para a gravação da simulação ocorre com o objetivo de preparar os usuários para a gravação dos vídeos da simulação. Para o ensaio, os usuários também estiveram ligados em rede, através do Unreal Engine 2 Runtime. A finalidade do ensaio geral foi buscar uma boa interação entre os usuários, tanto nas falas como nos deslocamentos, neste último caso apenas para os operadores do primário e do secundário.

5.5.3 Gravação da simulação do acidente postulado LOCA do tipo “*Small-Break*”

A gravação da simulação do acidente postulado ocorreu em rede, como explicado no itens anteriores. Gravou-se uma ação de cada vez, usando-se um programa de captura de vídeos. No total, foram gravadas cinco simulações.

5.5.4 Junção dos vídeos da simulação do acidente postulado LOCA do tipo “*Small-Break*”

Os vídeos dos avatares são unidos usando-se um programa que realiza essa junção, de forma que a visualização da simulação ficasse mais precisa. Esta junção é apresentada na figura 5.12. O áudio é inserido logo após a junção dos vídeos, de modo que haja uma sincronia.



Figura 5.12: Foto da simulação, com a junção dos vídeos. O primeiro vídeo acima, à esquerda, mostra o operador do primário; o segundo vídeo acima, à direita, mostra o operador do secundário; e o vídeo de baixo mostra a visão do encarregado.

5.6 Análise dos vídeos da simulação

Logo após a junção dos vídeos da simulação, inicia-se a análise dos vídeos para a contagem do tempo total de cada ação (em segundos), durante o acidente postulado LOCA do tipo "*Small-Break*". Para esta contagem, observa-se um relógio localizado no canto inferior esquerdo do vídeo. Após a obtenção desses dados, calcularam-se o tempo médio (em segundos) e o erro relativo (em unidade de porcentagem) para cada uma das ações, em cada simulação. Estes dados são os mais relevantes para as propostas desta dissertação, no tocante à avaliação ergonômica.

CAPÍTULO 6

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A sala de controle da usina nuclear PWR foi modelada usando-se o UnrealEd 2.0. O resultado alcançou as expectativas, quando comparou-se a sala modelada com as fotos utilizadas para o desenho das plantas. A figura 6.1 (a) mostra a sala de controle real e a figura 6.2 (b) apresenta a sala de controle modelada com o Unreal Editor 2.0.

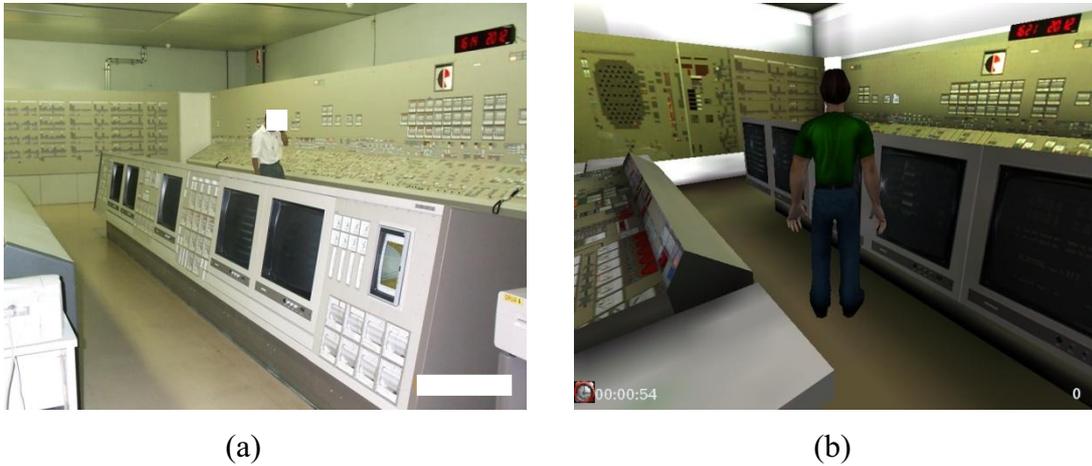


Figura 6.1 (a): Foto da sala de controle de uma usina nuclear PWR real; Figura 6.1 (b): Sala de controle de uma usina nuclear PWR modelada no Unreal Editor 2.0.

Durante a análise dos vídeos, obtiveram-se os tempos para cada ação, em um total de 5 simulações. Para cada simulação, as ações foram gravadas separadamente. A tabela 6.1 apresenta os seguintes itens:

1. Ação;
2. Tempo do Roteiro - tempo referente à cada ação em segundos, de acordo com o roteiro que encontra-se no anexo A. Em cada ação, os tempos em cada uma das tarefas são somados, para o cálculo do tempo total da ação. Ocorre uma exceção apenas para a ação 2, onde os operadores do primário e do secundário saem ao mesmo tempo para o CWA, e por isso, somaram-se apenas o tempo da tarefa do

encarregado (3 s) e do operador do secundário, o último a realizar a tarefa nesta ação (25,5 segundos), totalizando assim, 28,5 segundos;

3. Tempo das Simulações 1, 2, 3, 4 e 5 em segundos;
4. Tempo Médio das Simulações - média do tempo das 5 simulações em segundos, separadas por ação, representado pela seguinte fórmula:

$$\left(\frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5}{5} \right), \text{ onde:}$$

T_1 = tempo da ação na simulação 1 (em segundos);

T_2 = tempo da ação na simulação 2 (em segundos);

T_3 = tempo da ação na simulação 3 (em segundos);

T_4 = tempo da ação na simulação 4 (em segundos);

T_5 = tempo da ação na simulação 5 (em segundos).

Observando-se a tabela 6.1, os tempos totais de todas as simulações ficaram menores que o tempo do roteiro, por causa do tempo de deslocamento (vide tempos referentes a t_1 no item 5.4.4), e dos tempos referentes às observações e à execução das tarefas (vide tempos t_2 , t_4 , t_9 , t_{10} , t_{11} e t_{nem} no item 5.4.4).

O tempo de deslocamento na sala de controle foi reduzido, quando comparado ao tempo de deslocamento t_1 , porque ela foi modelada no UnrealEd 2.0 apenas por análise de fotos da sala de controle de um reator nuclear de potência, e não houve acesso às plantas. Portanto, as medidas da sala de controle tiveram de ser estimadas. O tempo referente às observações e à execução das tarefas (vide tempos t_2 , t_4 , t_9 e t_{nem}) foram afetados pelas limitações dos avatares, pois eles não possuem movimentos de movimentar a cabeça ou o restante do corpo para executarem essas atividades. Portanto, os avatares apenas puderam andar na sala de controle, e quando precisavam executar alguma tarefa referente aos tempos t_2 , t_4 , t_9 e t_{nem} , deveriam permanecer parados em frente ao local determinado.

Tabela 6.1: Ações, Tempo do Roteiro, Tempos das Simulações, para cada ação, e o Tempo Médio das Simulações, também para cada ação.

AÇÃO	TEMPO DO ROTERO (seg)	SIMULAÇÃO 1 (seg)	SIMULAÇÃO 2 (seg)	SIMULAÇÃO 3 (seg)	SIMULAÇÃO 4 (seg)	SIMULAÇÃO 5 (seg)	TEMPO MÉDIO DAS SIMULAÇÕES (seg)
1	805,4	809,2	809,2	810,2	799,2	822,2	810
2	28,5	29,5	28,5	29,5	29,5	27,5	28,9
4	12,9	16	15	15	14	14	14,8
6	41,8	43,2	45,2	44,2	44,2	40,2	43,4
7	31,2	28,5	30,5	28,5	27,5	27,5	28,5
16	27,9	24	26	25	26	25	25,2
18	15,8	16,2	17,2	16,2	16,2	15,2	16,2
19	211,2	188	172	177	220	236	198,6
20	146	136,2	136,2	133,2	136,2	137,2	135,8
21	113,7	111,3	107,3	106,3	106,3	114,3	109,1
22	264,2	250,5	245,5	242,5	247,5	249,5	247,1
24	93,9	75,4	75,4	74,4	71,4	77,4	74,8
25	38,4	40,5	38,5	38,5	37,5	38,5	38,7
27	47,6	40,8	40,8	38,8	38,8	37,8	39,4
28A	464,5	467,9	467,9	459,9	461,9	463,9	464,3
28B	467,1	455,9	443,9	436,9	436,9	442,9	443,3
28C	252,4	252	254	248	253	250	251,4
28D	463,8	456,7	456,7	450,7	449,7	452,7	453,3
28E	362,4	360,7	360,7	350,7	354,7	356,7	356,7
28F	193,3	189,9	190,9	182,9	184,9	187,9	187,3
TOTAL	4082	3992,4	3961,4	3908,4	3955,4	4016,4	3966,8

A tabela 6.2 apresenta os seguintes campos:

1. Ação;
2. Tempo do Roteiro - tempo referente à cada ação em segundos, conforme explicado anteriormente para a tabela 6.1;
3. Tempo Médio das Simulações - média do tempo das 5 simulações, separadas por ação e representado pela seguinte fórmula:

$$\left(\frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5}{5} \right) \text{ , onde:}$$

T_1 = tempo da ação na simulação 1 (em segundos);

T_2 = tempo da ação na simulação 2 (em segundos);

T_3 = tempo da ação na simulação 3 (em segundos);

T_4 = tempo da ação na simulação 4 (em segundos);

T_5 = tempo da ação na simulação 5 (em segundos).

4. Erro Relativo - erro em relação ao Tempo do Roteiro, para cada ação, e o Tempo Médio das Simulações. A unidade deste erro está em unidade de porcentagem. A fórmula usada foi:

$$\left| \left(\frac{T_{\text{médio}} - T_{\text{roteiro}}}{T_{\text{roteiro}}} \right) \times (100\%) \right|$$

Na fórmula acima, $T_{\text{médio}}$ representa o Tempo Médio das Simulações e T_{roteiro} , o Tempo do Roteiro.

Tabela 6.2: Erro relativo à cada uma destas ações, em função do tempo médio das simulações e do tempo do roteiro.

AÇÃO	TEMPO DO ROTERO (seg)	TEMPO MÉDIO DAS SIMULAÇÕES (seg)	ERRO RELATIVO (%)
1	805,4	810	0,57%
2	28,5	28,9	1,40%
4	12,9	14,8	14,73%
6	41,8	43,4	3,83%
7	31,2	28,5	8,65%
16	27,9	25,2	9,68%
18	15,8	16,2	2,53%
19	211,2	198,6	5,97%
20	146	135,8	6,99%
21	113,7	109,1	4,05%
22	264,2	247,1	6,47%
24	93,9	74,8	20,34%
25	38,4	38,7	0,78%
27	47,6	39,4	17,23%
28A	464,5	464,3	0,04%
28B	467,1	443,3	5,10%
28C	252,4	251,4	0,40%
28D	463,8	453,3	2,26%
28E	362,4	356,7	1,57%
28F	193,3	187,3	3,10%
TOTAL (seg)	4082	3966,8	_____

De acordo com a tabela 6.2, as ações com os maiores erros relativos nesta simulação foram a 24 (20,34%), a 27 (17,23%), e a 4 (14,73%). Abaixo, seguem as justificativas:

1. Ação 24 – ocorreram as operações para parar a subida do nível do pressurizador, desconectando o *spray* do Sistema de Boração Extraordinária “JDH”, e para o desligamento de uma bomba de boração adicional.

Justificativa: O movimento do avatar é limitado, pois ele não movimenta os braços para executar a ligação da bomba de boração adicional. Ele apenas ficou parado à frente do local, e deu a resposta em um espaço de tempo menor que o esperado;

2. Ação 27 – Realizaram-se as operações para colocar em operação as bombas de remoção de calor residual.

Justificativa: Pelo mesmo motivo da ação 24, o avatar não movimenta os braços para executar a ligação das 4 bombas de remoção de calor residual. Ele apenas ficou parado à frente do local, e deu a resposta em um espaço de tempo menor que o esperado;

3. Ação 4 – verificou-se a existência do LOCA via pressurizador (válvula de alívio ou ruptura no espaço de vapor).

Justificativa: Os avatares mantiveram-se em seus respectivos locais para a verificação acima, e deram a resposta em um espaço de tempo maior que o esperado.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

Nesta dissertação, apresentou-se uma proposta de avaliação ergonômica de salas de controle de reatores nucleares, elaborando-se uma simulação de um acidente postulado por meio do Unreal. O primeiro objetivo desta simulação foi modelar uma sala de controle de uma central nuclear de potência, utilizando o UnrealEd. Depois, foi proposto o uso da ferramenta Unreal na avaliação do *layout* de salas de controle de reatores nucleares, através da observação dos deslocamentos que os operadores realizam durante os procedimentos de emergência, possibilitando a otimização da disposição dos sistemas e mobiliários existentes nestas salas de controle. Utilizando alguns dos tempos de uma modelagem cognitiva que refere-se às habilidades humanas, calculou-se o tempo das tarefas de cada um dos operadores durante um cenário de acidente postulado, bem como o cálculo do tempo total para a plena prevenção deste acidente, o tempo médio de cada ação a tomar durante o acidente, e o erro relativo de cada ação. Por último, testou-se o uso da ferramenta Unreal.

O processo de modelagem da sala de controle de um reator nuclear de potência ocorreu com a análise das fotos, e a partir delas foram elaboradas plantas com as medidas estimadas. Pelos resultados apresentados na modelagem, o UnrealEd 2.0 mostrou-se útil na modelação de uma sala de controle, com os recursos disponíveis.

Em relação à simulação de uma situação de emergência, surgiram as seguintes observações:

1. O tempo dos deslocamentos entre a mesa principal de controle (CWA) e os painéis foram afetadas com as medidas estimadas da sala de controle. Isto ocorreu porque:
 - Poderiam ocorrer restrições numa possível visita à sala de controle de uma usina nuclear;
 - Não houve acesso às plantas da sala de controle;
 - A grande quantidade de mobiliários obrigou os avatares a realizarem trajetos maiores;

2. Os tempos de realização de algumas tarefas foram afetados, pois os movimentos dos avatares do Unreal Engine 2 Runtime são limitados. Na simulação, eles apenas andaram pela sala de controle, e não puderam:

- Movimentar os braços para fazer ajustes em componentes;
- Movimentar a cabeça ou abaixar o corpo para procurar as indicações, ou ajustar os componentes.

A ferramenta Unreal Engine 2 Runtime cumpriu os propósitos para a verificação de uma modelagem cognitiva referente a um acidente postulado, pois observaram-se poucos erros relativos.

Para os trabalhos futuros, recomendam-se:

1. Uma interação maior entre o avatar e o ambiente virtual para realização de tarefas na sala de controle, como movimentos de operação dos consoles e painéis existentes, de modo que proporcione mais realismo;
2. Comunicações entre os avatares na sala de controle, através da rede;
3. Outras abordagens na avaliação ergonômica de salas de controle, como por exemplo, análise da atividade dos operadores e análise das tarefas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUGUSTO, S. C., MOL, A. C. A., JORGE, C. A. F., *et al.*, 2007, “*Use of virtual reality to estimate radiation dose rates in nuclear plants*”, 2007 *International Atlantic Conference* – INAC 2007, Santos, São Paulo, Brasil, 30 setembro – 5 outubro.
- BUBSY, J., PARRISH, Z., EENWYK, J. V., “*Mastering Unreal Technology – The Art of Level Design*”, Indianapolis, USA: Sams Publishing, 2005. 962 p.
- BURDEA, G., Philippe, C., 1994. “*Virtual Reality Technology*”. John Wiley & Sons, New York, USA.
- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, “**Licenciamento de Instalações Nucleares**”, CNEN-NE-1.04, 2002. 27 p.
- ELETROBRÁS TERMONUCLEAR S/A, “**Curso de Formação de Operadores Licenciáveis – Acidentes com perda de refrigerante**”, Módulo 3, 1998, 70 p.
- ELETROBRÁS TERMONUCLEAR S/A, “*Final Safety Analysis – Human Factors Engineering*”, August 1999, Chapter 18, Brasil.
- FONSECA, R. A., 2009, “**Estudo de uma proposta para a inserção da experiência operacional como ferramenta de suporte no plano de treinamento de usinas nucleares**”, 121 p., Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Nuclear), Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.
- FRANCIS, G. A., TAN, H. S., 1999, “*Virtual Reality as a training instrument*”, *The Temasek Journal* v. 7, pp. 4-15.
- HISTÓRIA DO MUNDO, 2011, “**História da Revolução Industrial**”, disponível no site:

<<http://www.historiadomundo.com.br/idade-moderna/revolucao-industrial.htm>>,
acessado em 04 out. 2011.

IIDA, Itiro, "**Ergonomia – Projeto e Produção**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2005.
614 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, "**ISO 11064 – Design
of Control Centers – Part 1: Principles for the Design of Control Centers**", 2000.

JOSE, R., "**Ergonomia**", 2011, disponível no site
<http://www.ruijose.com/pt/ergonomia.html#Evolucao_historica_da_Ergonomia>,
acessado em 04 out. 2011.

MOL, A. C. A., ALEXANDRE, C., COUTO, P. M., CARVALHO, P. V. R. SANTOS, I. J. A.
L., GRECCO, C. H. S., "**Virtual Environment Simulation as a Tool to Support
Evacuation Planning**". 2007 *International Nuclear Atlantic Conference – INAC 2007*.
Santos, São Paulo, Brasil. 30 setembro – 5 outubro.

MOL, A. C. A., GRECCO, C. H. S., CARVALHO, P. V. R., 2005, "**Implementation of the
Immersive Virtual Reality Laboratory In Nuclear Engineering Institute**". 2005
International Nuclear Atlantic Conference – INAC 2005. Santos, São Paulo, Brasil. 28
agosto – 2 setembro.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. "**Ergonomia**", NR-17, 23 nov. 1990, disponível
no site:
<http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BEFBAD7064803/nr_17.pdf
>acessado em 09 fev. 2012.

MUMAW, R. J., Swatzler, D., Roth, E. M., Win, T., 1995, "**Cognitive Skill Training for
Decision Making**". Washington, DC.

- OLIVEIRA, M. V., “**Modelagem Cognitiva de Operadores de Usinas Nucleares**”, Relatório Técnico – Instituto de Engenharia Nuclear – 40/01, Rio de Janeiro, p. 1-24, novembro, 2001.
- ROLLENHAGEM, C., JACOBSSON, L. e VATTENFALL, A., 1989, “*Control rooms systems evaluation of outage*”, *International Atomic Energy Agency*.
- SANTOS, I. J. A. L., 2003, “**A Ergonomia no Licenciamento e na Avaliação de Salas de Controle de Reatores Nucleares**”, 248 p., Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia de Produção) – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- SANTOS, I. J. A. L. e VIDAL, M. C., 2000a, “**Normas nucleares de fatores humanos aplicadas no projeto de salas de controle de plantas nucleares**”, 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**”, Anais do XII Congresso Internacional de Física de Reatores, Poços de Caldas, Minas Gerais.
- SANTOS, I. J. A. L., GRECCO, C. H. S., CHICRALLA, R., “**Ergonomia e fatores humanos no gerenciamento da segurança de instalações industriais: Contribuições do setor nuclear brasileiro**”, IV Congresso Nacional de Excelência em Gestão, Niterói, Rio de Janeiro, p. 1-24, 2008, disponível no site: <http://www.excelenciaemgestao.org/Portals/2/documents/cneg4/anais/T7_0051_0184.pdf>, acessado em 03 out. 2011.
- SANTOS, V., ZAMBERLAM, M. C., “**Projeto ergonômico de salas de controle**”, *Fundación Mapfre*, São Paulo, 157 p., 1992, disponível em <<http://www.ergonomia.com.br/htm/livros.htm>>, acessado em 17 jun. 2011.

- SHERIDAN, T., 2002, "*Humans and automation: system design and research issues*", John Willey & Sons, New York, USA.
- SIEMENS/ELETRONUCLEAR, NPP Angra 2 – *Operating Manual*, "*Loss of Coolant Accident with Emergency Core Cooling Criteria Met*", August 1999, Part 3, Chapter 3.2.
- STANNEY, K. M., "*Handbook of virtual environments: design, implementation and applications*", New Jersey, USA: Lawrence Erlbaum Associates, 2002. 1232 p.
- 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.
- VIDAL, M. C., CARVALHO, P. V. R., 2008, "**Ergonomia Cognitiva: Raciocínio e decisão no trabalho**", Virtual Científica. 192 p.
- VIEIRA, F. A., 2007, "**Avaliação da confiabilidade do sistema de refrigeração de serviço de segurança de Angra 2 no contexto de eventos externos**", Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Nuclear), Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- WISNER, A., 1987, "*Understanding Problem Buildings: Ergonomic Work Analysis*", v.38, n. 3, pp. 595-605.

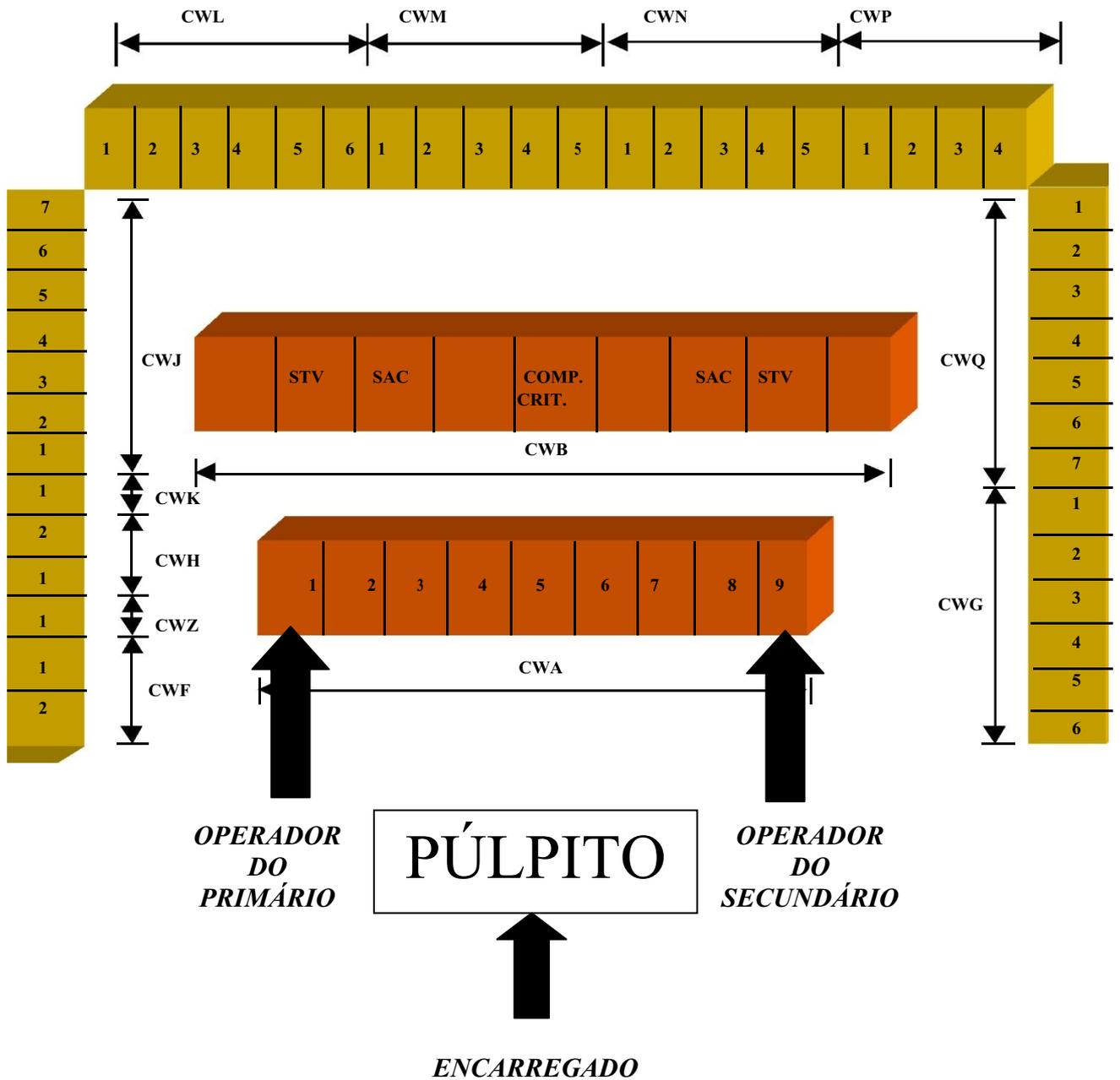
ANEXO A

ROTEIRO DA SIMULAÇÃO DO ACIDENTE POSTULADO LOCA DO TIPO “*SMALL-BREAK*”

Neste anexo, é apresentado o roteiro referente à simulação do acidente postulado que foi analisado nesta dissertação, o LOCA do tipo “*Small-Break*”. Os personagens desta simulação são o encarregado, o operador do primário e o operador do secundário. Neste roteiro encontram-se a fala de todos estes personagens, o cálculo do tempo referente a cada tarefa de cada um destes avatares entre parênteses, além dos locais onde o operador do primário e/ou o operador do secundário deve(m) ir, dependendo da situação.

Início

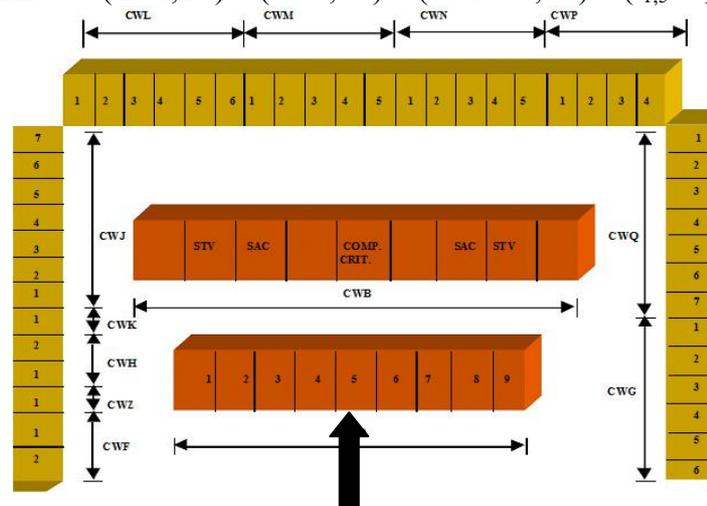
(O ENCARREGADO SEMPRE FICA ATRÁS DO PÚLPITO, E OS OPERADORES INICIAM NO CWA)



AÇÃO 1

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: a *potência do reator* está em ZERO? $(10 * t_{10} = 3 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 6 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (NO CWA, IR À DIREITA, NO NÚMERO 5) *Potência do reator ZERO.* $(t_2 = 1,2 \text{ s}) + (t_4 = 0,3 \text{ s}) + (3 * t_{10} = 0,9 \text{ s}) + (t_{1,5} = 5,6 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 11 \text{ s}$



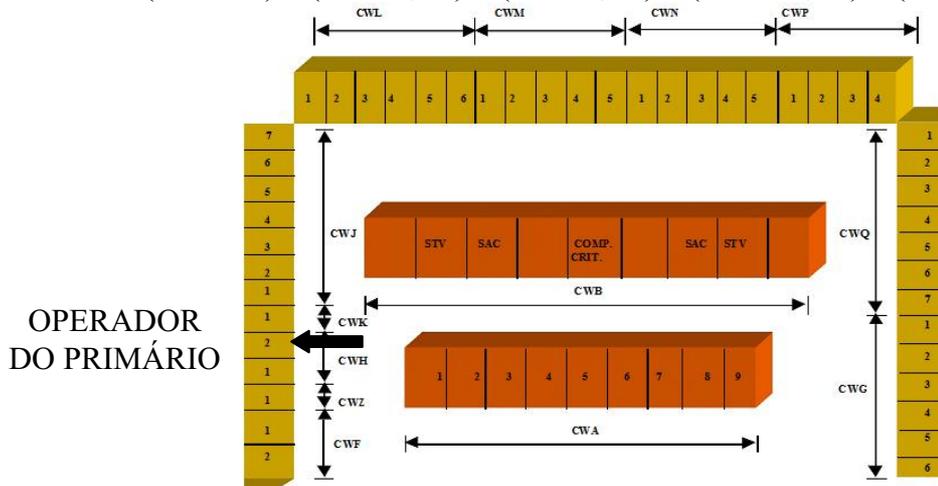
OPERADOR
DO PRIMÁRIO

(ENCARREGADO) OPERADOR DO SECUNDÁRIO, VERIFIQUE: a *potência do gerador* está em ZERO? $(10 * t_{10} = 3 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 6 \text{ s}$

(OPERADOR DO SECUNDÁRIO) (CONTINUAR NO CWA) *Potência do gerador ZERO.* $(t_2 = 1,2 \text{ s}) + (t_4 = 0,3 \text{ s}) + (3 * t_{10} = 0,9 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 5,4 \text{ s}$

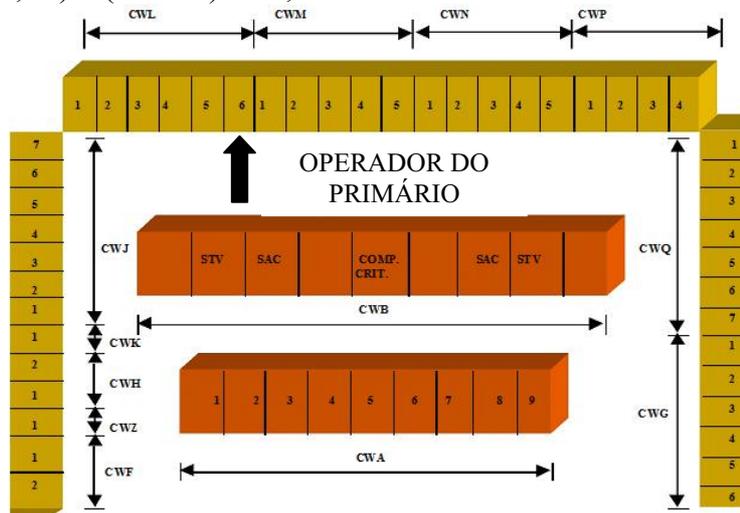
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: todas as barras de controle estão INSERIDAS? $(10 * t_{10} = 3 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 6 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR PARA O CWH) Todas as barras de controle INSERIDAS. $(t1b=11\text{ s}) + (2*2=2,4\text{ s}) + (2*4=0,6\text{ s}) + (5*10=1,5\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 18,5\text{ s}$



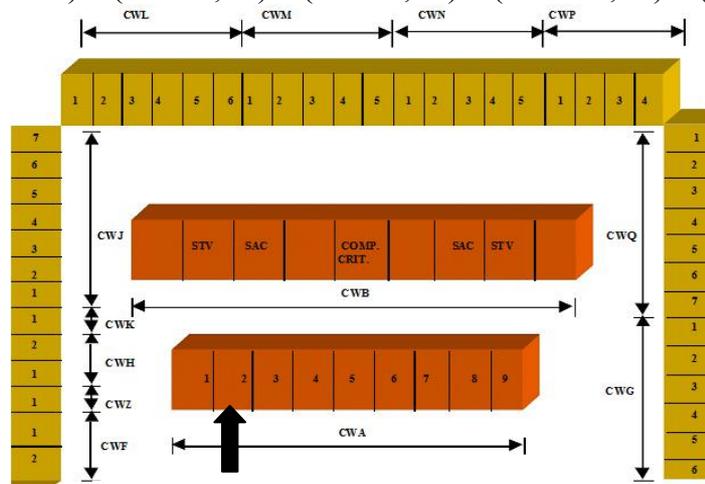
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: a instrumentação de monitoração do ácido bórico marca ZERO? $(12*t10=3,6\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 6,6\text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR AO CWA, DEPOIS IR AO CWL) Instrumentação de monitoração do ácido bórico marcando ZERO. $(t1b=11\text{ s}) + (t1d=15\text{ s}) + (t2=1,2\text{ s}) + (t4=0,3\text{ s}) + (7*t10=2,1\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 32,6\text{ s}$



(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o nível do pressurizador é menor ou igual a 2,28 m? $(13*t10=3,9\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 6,9\text{ s}$

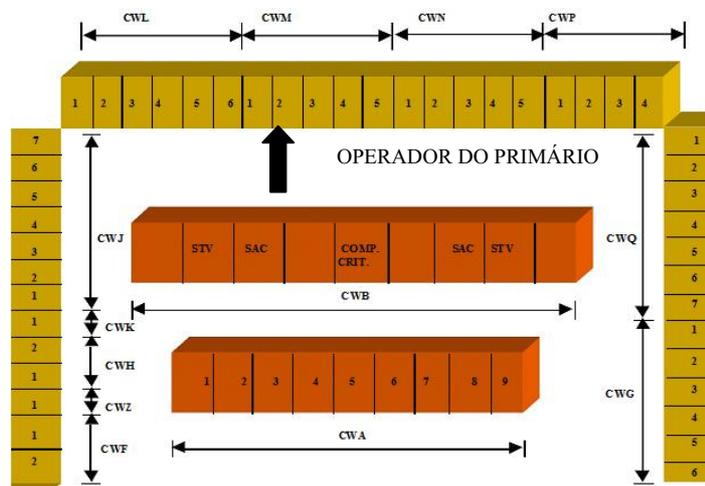
(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR ATÉ O CWA) *Nível do pressurizador menor que 2,28 m.* $(t1d=15\text{ s}) + (2*t2=2,4\text{ s}) + (2*t4=0,6\text{ s}) + (5*t10=1,5\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 22,5\text{ s}$



OPERADOR DO PRIMÁRIO

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, *o nível do vaso de pressão do reator menor que baixo 1 marca DOIS?* $(16*t10=4,8\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 7,8\text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR ATÉ O CWM) *Nível do vaso de pressão do reator menor que baixo 1 marcando DOIS.* $(t1d=15\text{ s}) + (t2=1,2\text{ s}) + (t4=0,3\text{ s}) + (12*t10=3,6\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 23,1\text{ s}$



(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, *o nível do vaso de pressão do reator menor que baixo 2 marca DOIS?* $(16*t10=4,8\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 7,8\text{ s}$

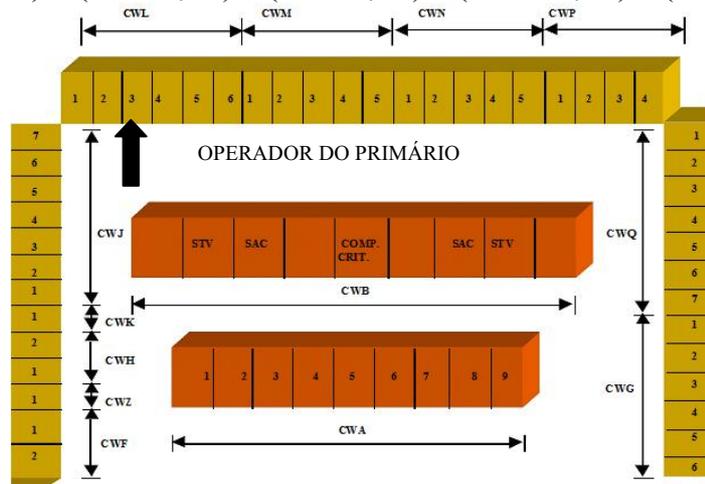
(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWM) *Nível do vaso de pressão do reator menor que baixo 2 marcando DOIS.* $(t2=1,2\text{ s}) + (t4=0,3\text{ s}) + (12*t10=3,6\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 8,1\text{ s}$

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, *o nível do vaso de pressão do reator menor que baixo 3 marca ZERO?* $(16*t10=4,8\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 7,8\text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWM) *Nível do vaso de pressão do reator menor que baixo 3 marcando ZERO.* $(4*t2=4,8 s) + (4*t4=1,2 s) + (12*t10=3,6 s) + (t11=3 s) = 12,6 s$

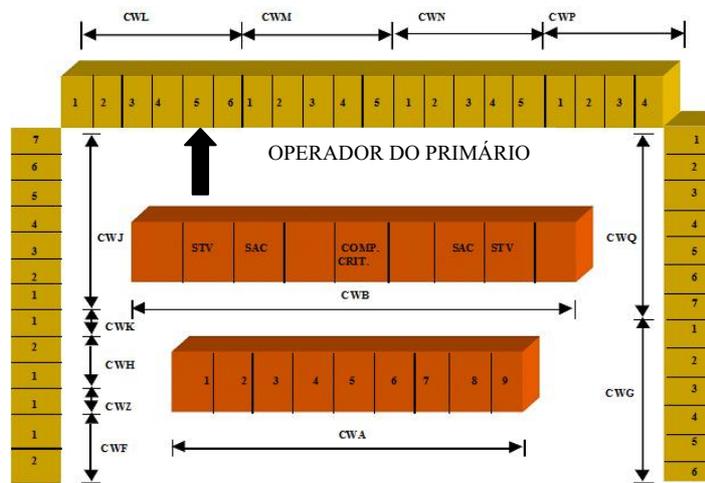
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: *as 2 bombas de injeção de segurança estão LIGADAS?* $(12*t10=3,6 s) + (t11=3 s) = 6,6 s$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR AO CWA, DEPOIS IR AO CWL) *Sim, estão LIGADAS.* $(2*t1d=30 s) + (2*t2=2,4 s) + (2*t4=0,6 s) + (2*t10=0,6 s) + (t11=3 s) = 36,6 s$



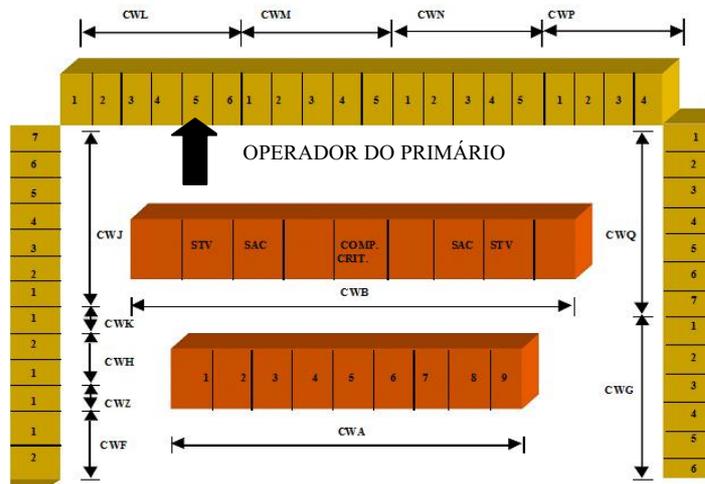
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: *as 2 bombas de boração adicional estão LIGADAS?* $(11*t10=3,3 s) + (t11=3 s) = 6,3 s$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR AO CWA, DEPOIS IR AO CWL) *Sim, as 2 bombas de boração adicional estão LIGADAS.* $(2*t1d=30 s) + (4*t2=4,8 s) + (4*t4=1,2 s) + (8*t10=2,4 s) + (t11=3 s) = 41,4 s$



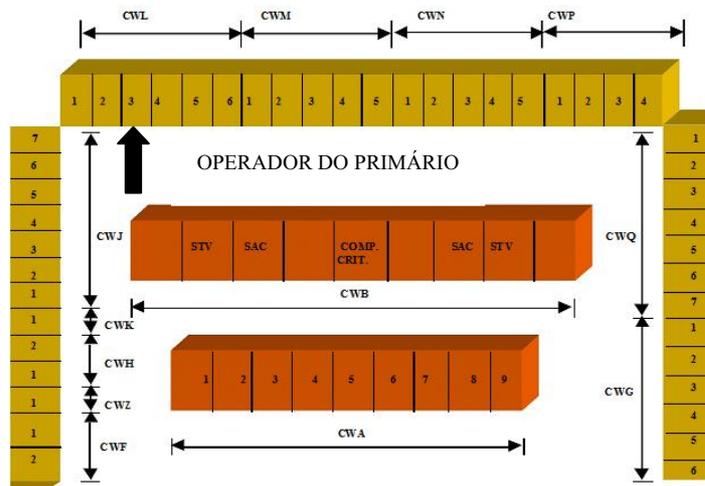
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: *as 4 válvulas de retenção acumuladores quentes estão ABERTAS?* $(12*t10=3,6 s) + (t11=3 s) = 6,6 s$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWL) *Sim, as 4 válvulas de retenção acumuladores quentes estão ABERTAS.* $(4 * t_2 = 4,8 \text{ s}) + (4 * t_4 = 1,2 \text{ s}) + (9 * t_{10} = 2,7 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 11,7 \text{ s}$



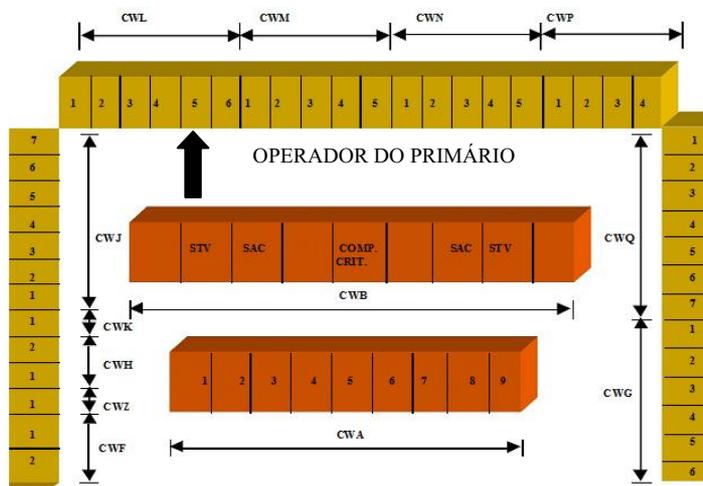
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o nível do poço de contenção marca ZERO? $(11 * t_{10} = 3,3 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 6,3 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR AO CWA, DEPOIS IR AO CWL) *Nível do poço de contenção marcando ZERO.* $(2 * t_{1d} = 30 \text{ s}) + (t_2 = 1,2 \text{ s}) + (t_4 = 0,3 \text{ s}) + (6 * t_{10} = 1,8 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 36,3 \text{ s}$



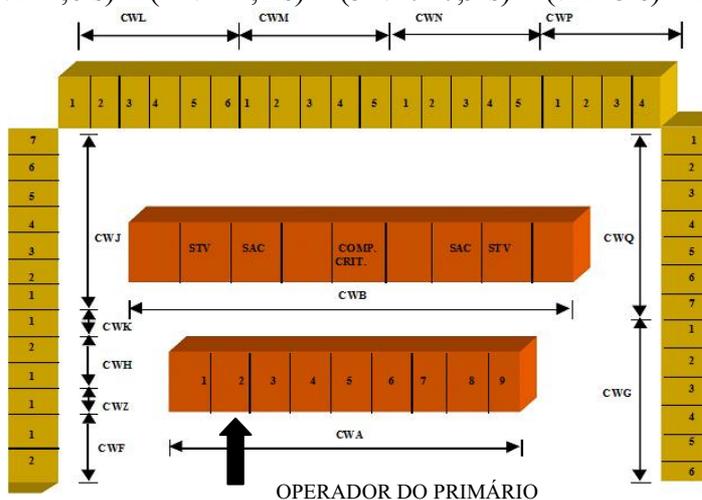
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE se existem mais 2 bombas de injeção de segurança LIGADAS. $(13 * t_{10} = 3,9 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 6,9 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR AO CWA, DEPOIS IR AO CWL) *Sim, há mais 2 bombas de boração adicional LIGADAS.* $(2 * t_{1d} = 30 \text{ s}) + (2 * t_2 = 2,4 \text{ s}) + (2 * t_4 = 0,6 \text{ s}) + (8 * t_{10} = 2,4 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 38,4 \text{ s}$



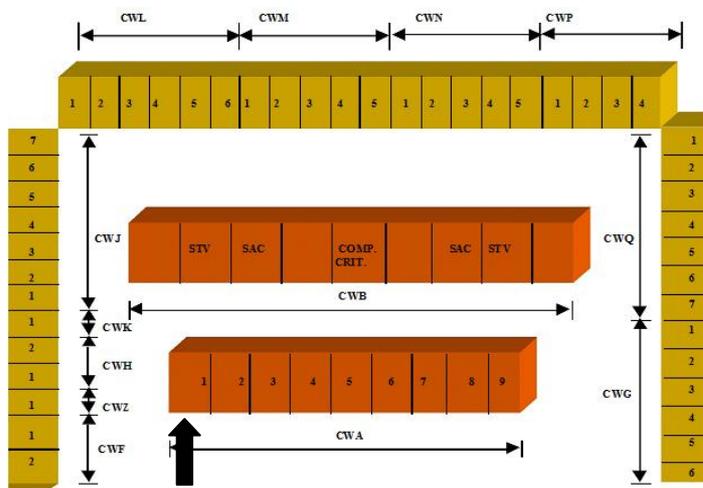
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: a temperatura de entrada do refrigerante é de 260° Celsius? $(12 * t_{10} = 3,6 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 6,6 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR ATÉ O CWA) Temperatura de entrada: 260° Celsius. $(t_{1d} = 15 \text{ s}) + (4 * t_2 = 4,8 \text{ s}) + (4 * t_4 = 1,2 \text{ s}) + (3 * t_{10} = 0,9 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 24,9 \text{ s}$



(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: as bombas de refrigeração do primário estão DESLIGADAS? $(11 * t_{10} = 3,3 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 6,3 \text{ s}$

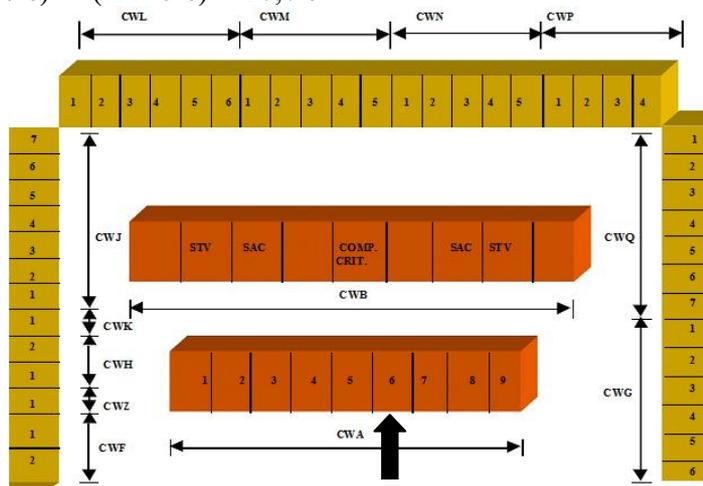
(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (NO CWA, IR À ESQUERDA, NO NÚMERO 1) Sim, as bombas de refrigeração do primário estão DESLIGADAS. $(4 * t_2 = 4,8 \text{ s}) + (4 * t_4 = 1,2 \text{ s}) + (8 * t_{10} = 2,4 \text{ s}) + (t_{1,2} = 1,4 \text{ s}) = 9,8 \text{ s}$



OPERADOR DO PRIMÁRIO

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: as bombas de alimentação principal estão DESLIGADAS? $(10 * t_{10} = 3 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 6 \text{ s}$

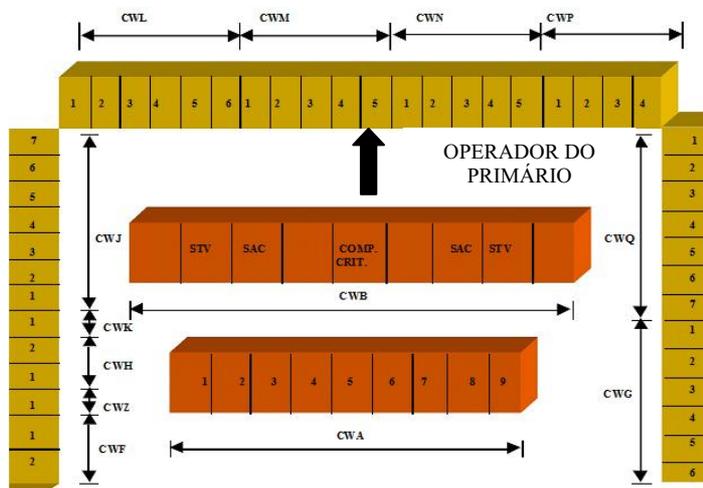
(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (NO CWA, IR À DIREITA, NO NÚMERO 6) Sim, as bombas de alimentação principal estão DESLIGADAS. $(3 * t_2 = 3,6 \text{ s}) + (3 * t_4 = 0,9 \text{ s}) + (7 * t_{10} = 2,1 \text{ s}) + (t_{1,6} = 7 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 16,6 \text{ s}$



OPERADOR DO PRIMÁRIO

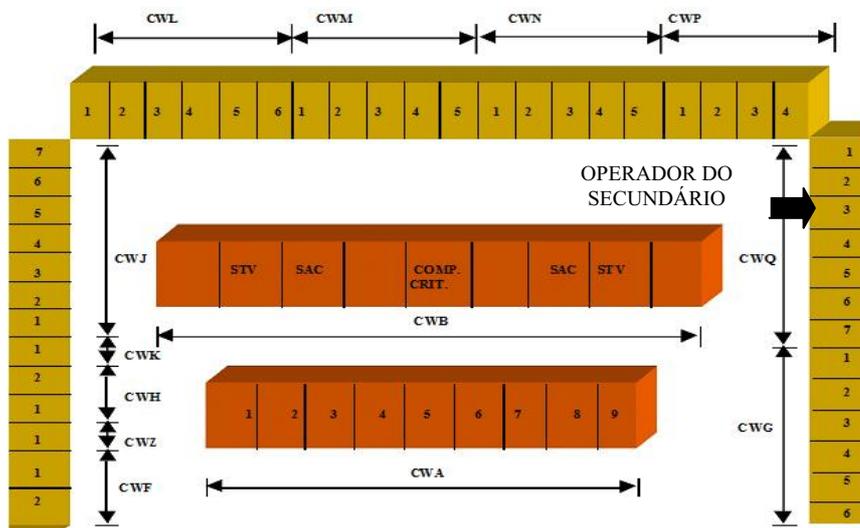
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: as 2 bombas de alimentação partida/parada estão DESLIGADAS? $(12 * t_{10} = 3,6 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 6,6 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR ATÉ O CWM) Sim, as 2 bombas de alimentação partida/parada estão DESLIGADAS. $(t_{1d}=15 \text{ s}) + (2*t_2=2,4 \text{ s}) + (2*t_4=0,6 \text{ s}) + (9*t_{10}=2,7 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 23,7 \text{ s}$



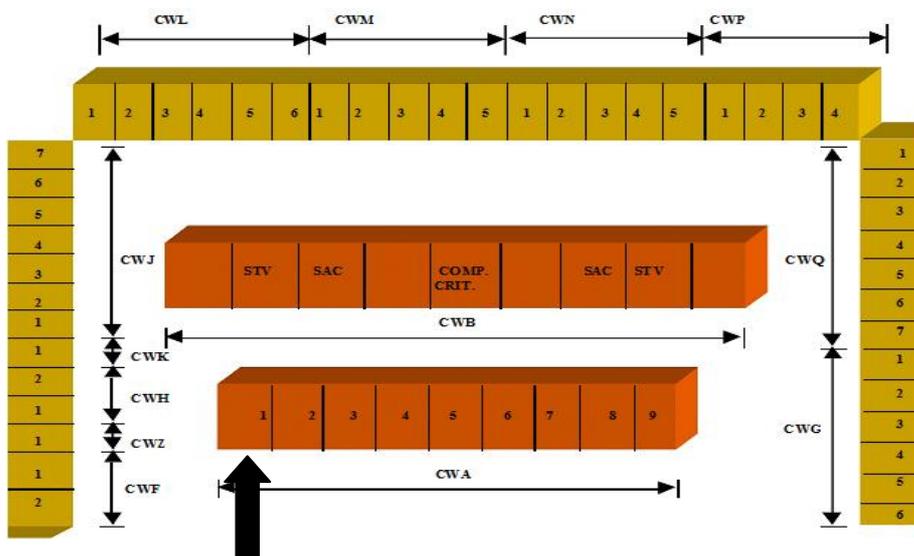
(ENCARREGADO) OPERADOR DO SECUNDÁRIO, VERIFIQUE: os 4 diesels de alimentação de emergência estão LIGADOS? $(12*t_{10}=3,6 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 6,6 \text{ s}$

(OPERADOR DO SECUNDÁRIO) (IR ATÉ O CWQ) Sim, os 4 diesels de alimentação de emergência estão LIGADOS. $(t_{1c}=12 \text{ s}) + (4*t_2=4,8 \text{ s}) + (4*t_4=1,2 \text{ s}) + (9*t_{10}=2,7 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 23,7 \text{ s}$



(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: a pressão do primário é maior ou igual a 9 bares? $(13*t_{10}=3,9 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 6,9 \text{ s}$

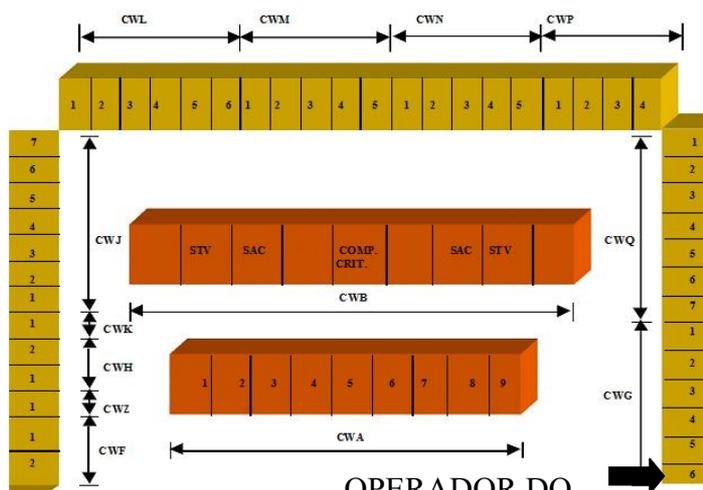
(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR AO CWA) Pressão do primário maior que 9 bares. $(t1d=15\text{ s}) + (t2=1,2\text{ s}) + (t4=0,3\text{ s}) + (5*t10=1,5\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 21\text{ s}$



OPERADOR DO PRIMÁRIO

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: os sinais de atividade beta na contenção são maiores ou iguais a 0,001? $(16*t10=4,8\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 7,8\text{ s}$

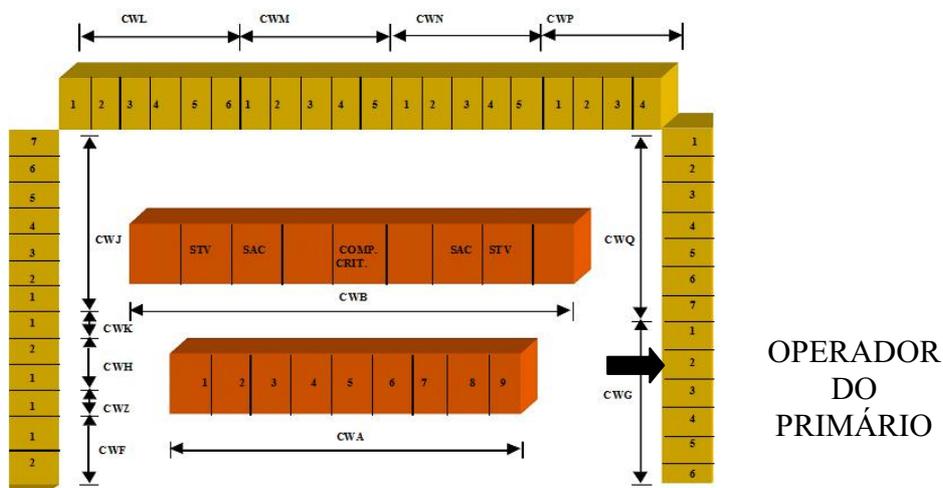
(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR ATÉ O CWG) Os sinais de atividade beta na contenção são maiores que 0,001. $(t1c=12\text{ s}) + (5*t2=6\text{ s}) + (5*t4=1,5\text{ s}) + (10*t10= 3\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 25,5\text{ s}$



OPERADOR DO PRIMÁRIO

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: a variação de pressão na contenção é de 0,03 bar? $(12*t10=3,6\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 6,6\text{ s}$

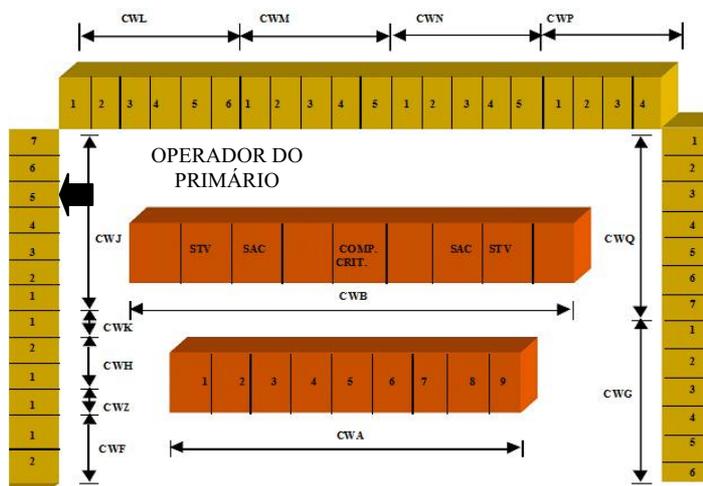
(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR AO CWA, DEPOIS IR AO CWJ) Variação de pressão na contenção de 0,03 bar. $(2*t1c=24\text{ s}) + (2*t2=2,4\text{ s}) + (2*t4=0,6\text{ s}) + (6*t10= 1,8\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 31,8\text{ s}$



(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE se os seguintes sinais estão com 4 redundâncias ativas. $(13*t10=3,9\text{ s})$

(ENCARREGADO) Sinal de isolamento da contenção 1 – Geral JR 21. $(7*t10=2,1\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 5,1\text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR AO CWA, DEPOIS IR AO CWJ) Sinal JR 21 com 4 redundâncias ativas. $(t1c=12\text{ s}) + (t1b=11\text{ s}) + (4*t2=4,8\text{ s}) + (4*t4=1,2\text{ s}) + (5*t10=1,5\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 33,5\text{ s}$



(ENCARREGADO) Sinal de isolamento da contenção para o sistema de ventilação, JR 22. $(10*t10=3\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 6\text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) Sinal JR 22 com 4 redundâncias ativas. $(4*t2=4,8\text{ s}) + (4*t4=1,2\text{ s}) + (5*t10= 1,5\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 10,5\text{ s}$

(ENCARREGADO) Sinal de isolamento da contenção para o sistema de controle de volume, JR 23. $(12 \cdot t_{10} = 3,6 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 6,6 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) Sinal JR 23 com 4 redundâncias ativas. $(4 \cdot t_2 = 4,8 \text{ s}) + (4 \cdot t_4 = 1,2 \text{ s}) + (5 \cdot t_{10} = 1,5 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 10,5 \text{ s}$

(ENCARREGADO) Sinal de isolamento da contenção 2 – Geral JR 25. $(7 \cdot t_{10} = 2,1 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 5,1 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) Sinal JR 25 com 4 redundâncias ativas. $(4 \cdot t_2 = 4,8 \text{ s}) + (4 \cdot t_4 = 1,2 \text{ s}) + (5 \cdot t_{10} = 1,5 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 10,5 \text{ s}$

(ENCARREGADO) Sinal de isolamento do sistema de refrigeração do primário, JR 43. $(9 \cdot t_{10} = 2,7 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 5,7 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) Sinal JR 43 com 4 redundâncias ativas. $(4 \cdot t_2 = 4,8 \text{ s}) + (4 \cdot t_4 = 1,2 \text{ s}) + (5 \cdot t_{10} = 1,5 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 10,5 \text{ s}$

(ENCARREGADO) Sinal de desligamento das bombas de refrigeração do reator, JR 44. $(9 \cdot t_{10} = 2,7 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 5,7 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) Sinal JR 44 com 4 redundâncias ativas. $(4 \cdot t_2 = 4,8 \text{ s}) + (4 \cdot t_4 = 1,2 \text{ s}) + (5 \cdot t_{10} = 1,5 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 10,5 \text{ s}$

(ENCARREGADO) Sinal de desligamento das bombas principais de água de alimentação, JR 61. $(10 \cdot t_{10} = 3 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 6 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) Sinal JR 61 com 4 redundâncias ativas. $(4 \cdot t_2 = 4,8 \text{ s}) + (4 \cdot t_4 = 1,2 \text{ s}) + (5 \cdot t_{10} = 1,5 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 10,5 \text{ s}$

(ENCARREGADO) Sinal de isolamento da alimentação principal, JR 62. $(6 \cdot t_{10} = 1,8 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 4,8 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) Sinal JR 62 com 4 redundâncias ativas. $(4 \cdot t_2 = 4,8 \text{ s}) + (4 \cdot t_4 = 1,2 \text{ s}) + (5 \cdot t_{10} = 1,5 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 10,5 \text{ s}$

(ENCARREGADO) Sinal de abertura da válvula de isolamento da válvula de alívio de vapor, JR 81. $(13 \cdot t_{10} = 3,9 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 6,9 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) Sinal JR 81 com 4 redundâncias ativas. $(4 \cdot t_2 = 4,8 \text{ s}) + (4 \cdot t_4 = 1,2 \text{ s}) + (5 \cdot t_{10} = 1,5 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 10,5 \text{ s}$

(ENCARREGADO) Sinal de resfriamento a 100 Kelvin/h, JR 83. $(8 \cdot t_{10} = 2,4 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 5,4 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) Sinal JR 83 com 4 redundâncias ativas. $(4*t2=4,8\text{ s}) + (4*t4=1,2\text{ s}) + (5*t10=1,5\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 10,5\text{ s}$

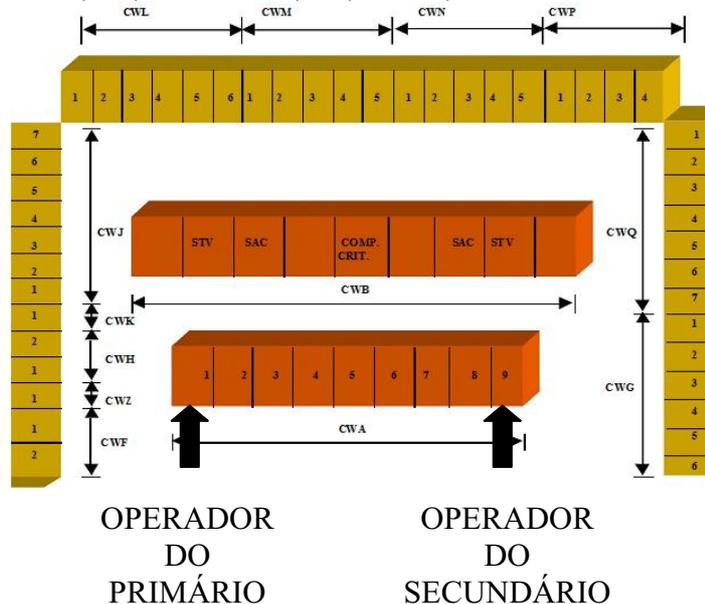
AÇÃO 2

(ENCARREGADO) OPERADORES, VERIFIQUEM: modo de alimentação está na condição de emergência? $(10*t10=3\text{ s})$

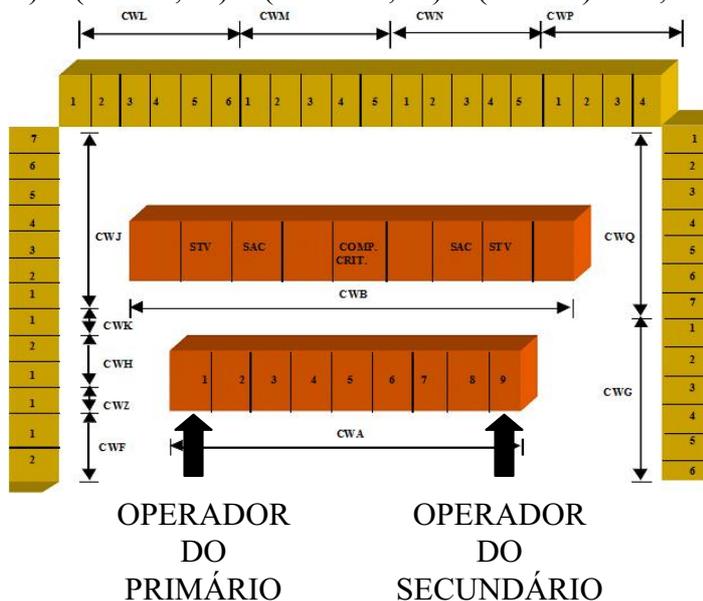
(O OPERADOR DO PRIMÁRIO VAI ATÉ O CWA, E FICA NO LADO ESQUERDO)

(O OPERADOR DO SECUNDÁRIO VAI ATÉ O CWA, E FICA NO LADO DIREITO)

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) NÃO está na condição de emergência. $(t1b=11\text{ s}) + (6*t2=7,2\text{ s}) + (6*t4=1,8\text{ s}) + (5*t10=1,5\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 24,5\text{ s}$



(OPERADOR DO SECUNDÁRIO) NÃO está na condição de emergência.
 $(t_{1c}=12\text{ s}) + (6*t_2=7,2\text{ s}) + (6*t_4=1,8\text{ s}) + (5*t_{10}= 1,5\text{ s}) + (t_{11}=3\text{ s}) = 25,5\text{ s}$

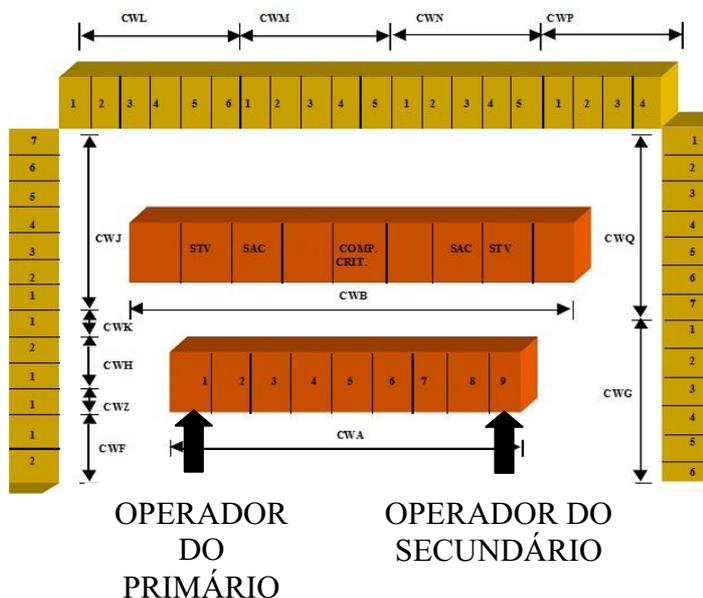


AÇÃO 4

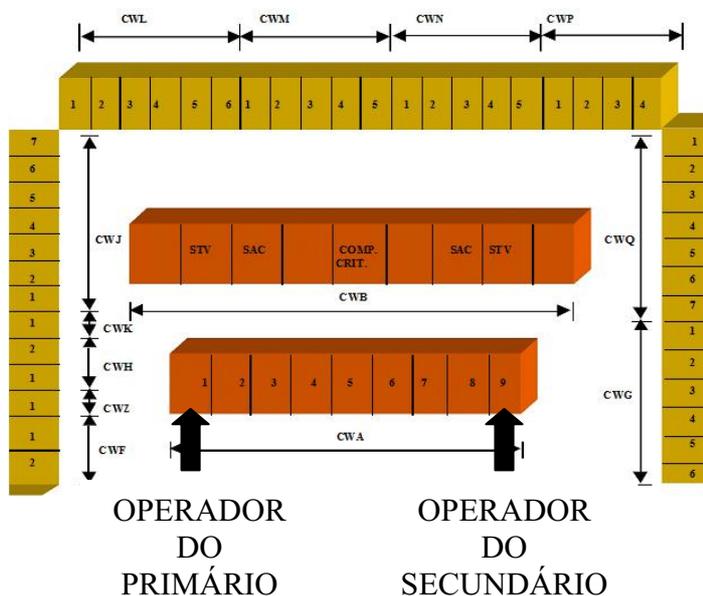
(ENCARREGADO) OPERADORES, VERIFIQUEM: o LOCA ocorre via pressurizador?
 $(7*t_{10}=2,1\text{ s})$

(OS DOIS OPERADORES CONTINUAM NO CWA)

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) NÃO ocorre via pressurizador. $(t_2=1,2\text{ s}) + (t_4=0,3\text{ s}) + (3*t_{10}= 0,9\text{ s}) + (t_{11}=3\text{ s}) = 5,4\text{ s}$



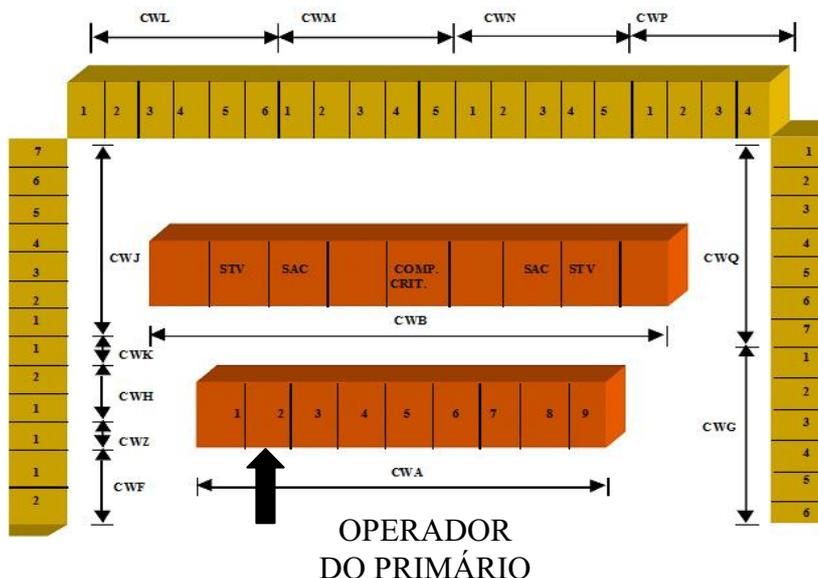
(OPERADOR DO SECUNDÁRIO) NÃO ocorre via pressurizador. ($t_2=1,2$ s) + ($t_4=0,3$ s) + ($3*t_{10}= 0,9$ s) + ($t_{11}=3$ s) = 5,4 s



AÇÃO 6

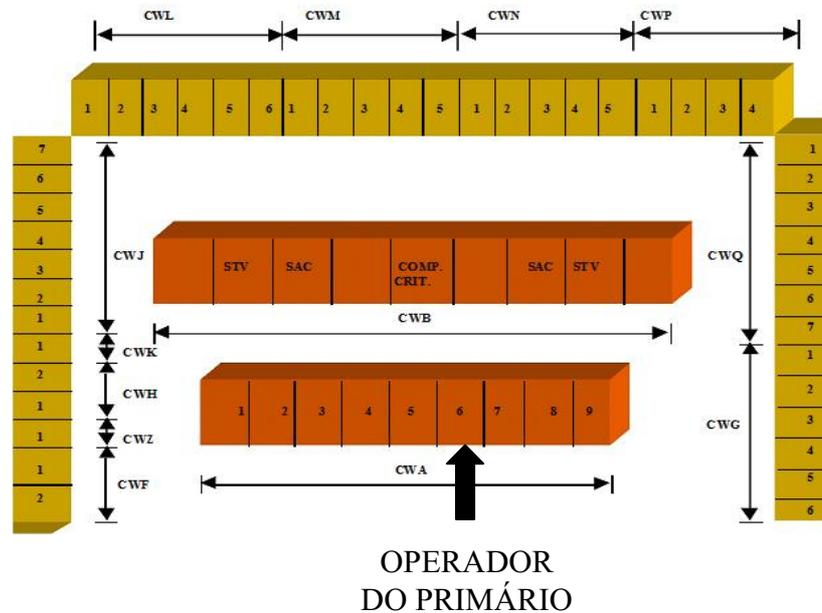
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: a temperatura de saída do refrigerante é menor ou igual a 160° Celsius? ($15*t_{10}=4,5$ s) + ($t_{11}=3$ s) = 7,5 s

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (NO CWA, IR À DIREITA, NO NÚMERO 2) Temperatura menor que 160° Celsius. ($4*t_2=4,8$ s) + ($4*t_4=1,2$ s) + ($3*t_{10}= 0,9$ s) + ($t_{1,2}=1,4$ s) + ($t_{11}=3$ s) = 11,3 s



(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: a pressão do vapor é menor ou igual a 4 bares? $(13 \cdot t_{10} = 3,9 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 6,9 \text{ s}$

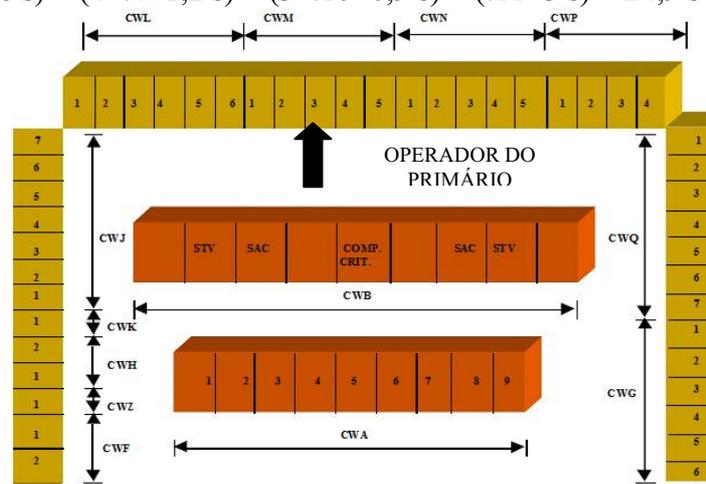
(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (NO CWA, IR À DIREITA, NO NÚMERO 6) Pressão do vapor menor que 4 bares. $(4 \cdot t_2 = 4,8 \text{ s}) + (4 \cdot t_4 = 1,2 \text{ s}) + (5 \cdot t_{10} = 1,5 \text{ s}) + (t_{2,6} = 5,6 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 16,1 \text{ s}$



AÇÃO 7

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: as bombas de remoção de calor residual estão em operação? $(14 \cdot t_{10} = 4,2 \text{ s})$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR ATÉ O CWM) NÃO estão em operação. $(t_{1d} = 15 \text{ s}) + (4 \cdot t_2 = 4,8 \text{ s}) + (4 \cdot t_4 = 1,2 \text{ s}) + (3 \cdot t_{10} = 0,9 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 24,9 \text{ s}$



(ENCARREGADO) O LOCA é do tipo "Small-Break". $(7 \cdot t_{10} = 2,1 \text{ s})$

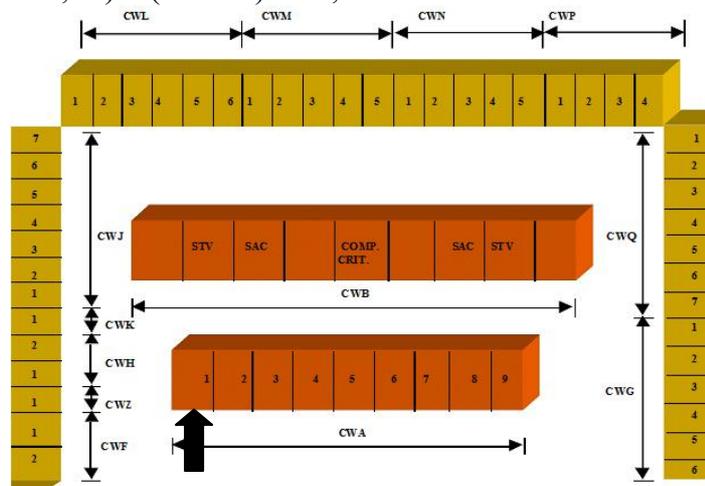
Obs.: Esta verificação está de acordo com a *Operating Manual NPP Nuclear Power Plant*,

AÇÃO 16

(ENCARREGADO) OPERADORES, VERIFIQUEM: o LOCA ocorre via pressurizador?
($7 \cdot t_{10} = 2,1$ s)

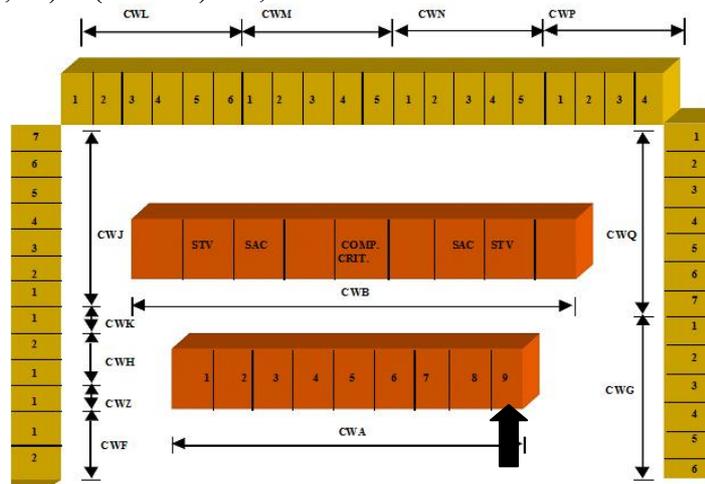
(OS DOIS OPERADORES VÃO PARA O CWA)

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) NÃO ocorre via pressurizador. ($t_{1d} = 15$ s) + ($t_2 = 1,2$ s) + ($t_4 = 0,3$ s) + ($3 \cdot t_{10} = 0,9$ s) + ($t_{11} = 3$ s) = 20,4 s



OPERADOR
DO
PRIMÁRIO

(OPERADOR DO SECUNDÁRIO) NÃO ocorre via pressurizador. ($t_2 = 1,2$ s) + ($t_4 = 0,3$ s) + ($3 \cdot t_{10} = 0,9$ s) + ($t_{11} = 3$ s) = 5,4 s

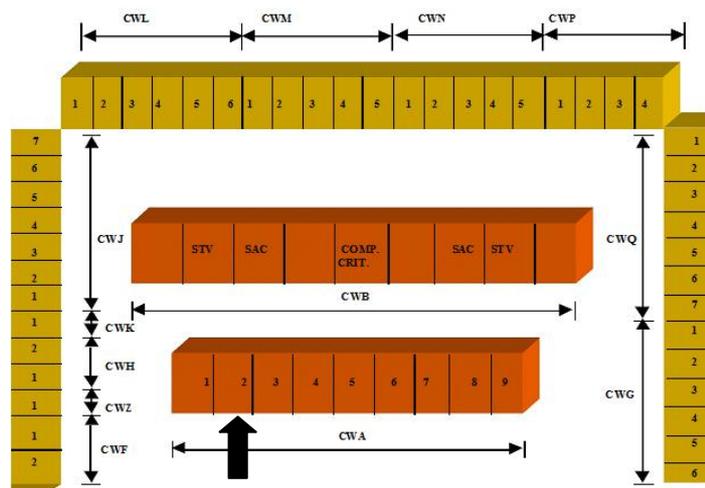


OPERADOR
DO
SECUNDÁRIO

AÇÃO 18

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o nível do pressurizador é menor ou igual a 2,28 m? ($13 \cdot t_{10} = 3,9 \text{ s}$) + ($t_{11} = 3 \text{ s}$) = 6,9 s

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (NO CWA, IR À DIREITA, NO NÚMERO 2) Nível do pressurizador menor que 2,28 m. ($2 \cdot t_2 = 2,4 \text{ s}$) + ($2 \cdot t_4 = 0,6 \text{ s}$) + ($5 \cdot t_{10} = 1,5 \text{ s}$) + ($t_{1,2} = 1,4 \text{ s}$) + ($t_{11} = 3 \text{ s}$) = 8,9 s

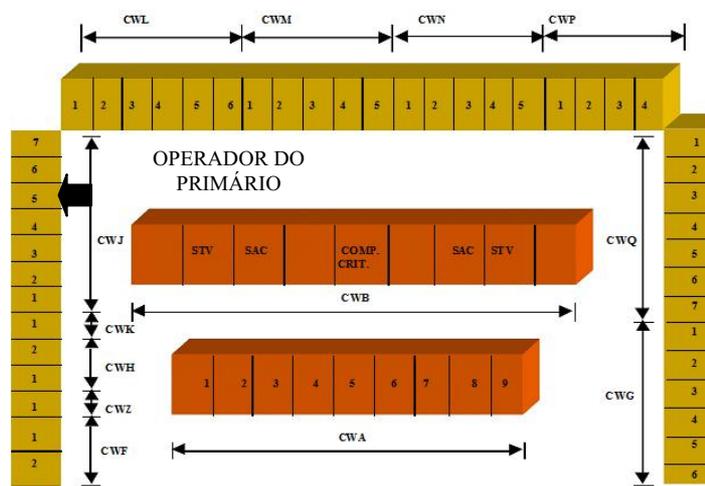


OPERADOR
DO
PRIMÁRIO

AÇÃO 19

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o sinal de partida para o sistema de boração extraordinária, JR 41, está com 4 redundâncias ativas? ($19 \cdot t_{10} = 5,7 \text{ s}$) + ($t_{11} = 3 \text{ s}$) = 8,7 s

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR ATÉ O CWJ) Sinal JR 41 com 4 redundâncias ativas. ($t_{1b} = 11 \text{ s}$) + ($4 \cdot t_2 = 4,8 \text{ s}$) + ($4 \cdot t_4 = 1,2 \text{ s}$) + ($5 \cdot t_{10} = 1,5 \text{ s}$) + ($t_{11} = 3 \text{ s}$) = 21,5 s



(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o sinal de abertura para o sistema de boração extraordinária, JR 42, está com 4 redundâncias ativas? $(19*t_{10}=5,7 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 8,7 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) Sinal JR 42 com 4 redundâncias ativas. $(4*t_2=4,8 \text{ s}) + (4*t_4=1,2 \text{ s}) + (5*t_{10}= 1,5 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 10,5 \text{ s}$

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o sinal de isolamento do sistema de refrigeração do primário, JR 43, está com 4 redundâncias ativas? $(19*t_{10}=5,7 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 8,7 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) Sinal JR 43 com 4 redundâncias ativas. $(4*t_2=4,8 \text{ s}) + (4*t_4=1,2 \text{ s}) + (5*t_{10}= 1,5 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 10,5 \text{ s}$

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o sinal de desligamento das bombas de refrigeração do reator, JR 44, está com 4 redundâncias ativas? $(19*t_{10}=5,7 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 8,7 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) Sinal JR 44 com 4 redundâncias ativas. $(4*t_2=4,8 \text{ s}) + (4*t_4=1,2 \text{ s}) + (5*t_{10}= 1,5 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 10,5 \text{ s}$

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, rearme a memória V do Sistema de Proteção do Reator. $(12*t_{10}=3,6 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 6,6 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) Memória V rearmada. $(4*t_2=4,8 \text{ s}) + (4*t_4=1,2 \text{ s}) + (2*t_{10}=0,6 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) + (4*t_{mem}=40 \text{ s}) = 49,6 \text{ s}$

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, rearme o sinal de partida para o sistema de boração extraordinária, JR 41. $(14*t_{10}=4,2 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 7,2 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) Sinal JR 41 rearmado. $(4*t_2=4,8 \text{ s}) + (4*t_4=1,2 \text{ s}) + (2*t_{10}=0,6 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 9,6 \text{ s}$

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, rearme o sinal de abertura para o sistema de boração extraordinária, JR 42. $(14*t_{10}=4,2 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 7,2 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) Sinal JR 42 rearmado. $(4*t_2=4,8 \text{ s}) + (4*t_4=1,2 \text{ s}) + (2*t_{10}=0,6 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 9,6 \text{ s}$

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, rearme o sinal de isolamento do sistema de refrigeração do primário, JR 43. $(14*t_{10}=4,2 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 7,2 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) Sinal JR 43 rearmado. $(4*t_2=4,8 \text{ s}) + (4*t_4=1,2 \text{ s}) + (2*t_{10}=0,6 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 9,6 \text{ s}$

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, rearme o sinal de desligamento das bombas de refrigeração do reator, JR 44. $(14 * t_{10} = 4,2 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 7,2 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) Sinal JR 44 rearmado. $(4 * t_2 = 4,8 \text{ s}) + (4 * t_4 = 1,2 \text{ s}) + (2 * t_{10} = 0,6 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 9,6 \text{ s}$

AÇÃO 20

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o sinal de partida para o sistema de boração extraordinária, JR 41, está sem redundância ativa? $(18 * t_{10} = 5,4 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 8,4 \text{ s}$

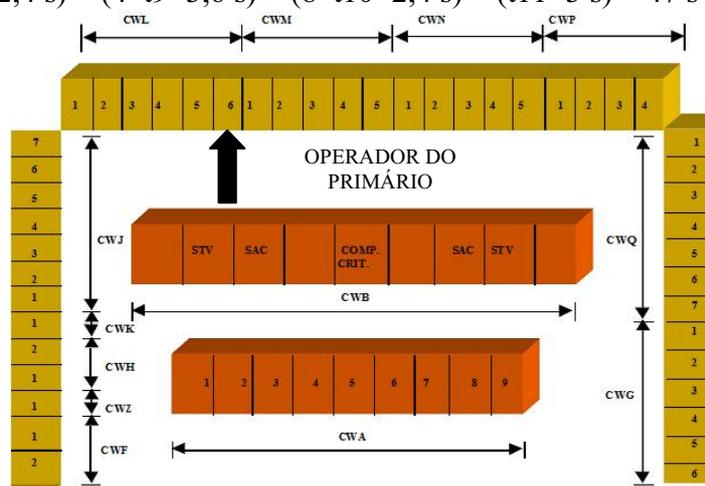
(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) Sinal JR 41 sem redundância ativa. $(4 * t_2 = 4,8 \text{ s}) + (4 * t_4 = 1,2 \text{ s}) + (4 * t_{10} = 1,2 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 10,2 \text{ s}$

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o sinal de desligamento das bombas de refrigeração do reator, JR 44, está sem redundância ativa? $(18 * t_{10} = 5,4 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 8,4 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) Sinal JR 44 sem redundância ativa. $(4 * t_2 = 4,8 \text{ s}) + (4 * t_4 = 1,2 \text{ s}) + (4 * t_{10} = 1,2 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 10,2 \text{ s}$

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, ABRA a válvula de sucção dos tanques de ácido bórico, JDH10-40AA005. $(12 * t_{10} = 3,6 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 6,6 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR AO CWA, DEPOIS IR ATÉ O CWL) Válvula de sucção dos tanques de ácido bórico, JDH10-40AA005, ABERTA. $(t_{1b} = 11 \text{ s}) + (t_{1d} = 15 \text{ s}) + (8 * t_2 = 9,6 \text{ s}) + (8 * t_4 = 2,4 \text{ s}) + (4 * t_9 = 3,6 \text{ s}) + (8 * t_{10} = 2,4 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 47 \text{ s}$



(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, FECHER a válvula de sucção dos tanques de água borada, JDH10-40AA003. $(12 \cdot t_{10} = 3,6 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 6,6 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWL) Válvula de sucção dos tanques de água borada JDH10-40AA003 FECHADA. $(8 \cdot t_2 = 9,6 \text{ s}) + (8 \cdot t_4 = 2,4 \text{ s}) + (4 \cdot t_9 = 3,6 \text{ s}) + (8 \cdot t_{10} = 2,4 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 21 \text{ s}$

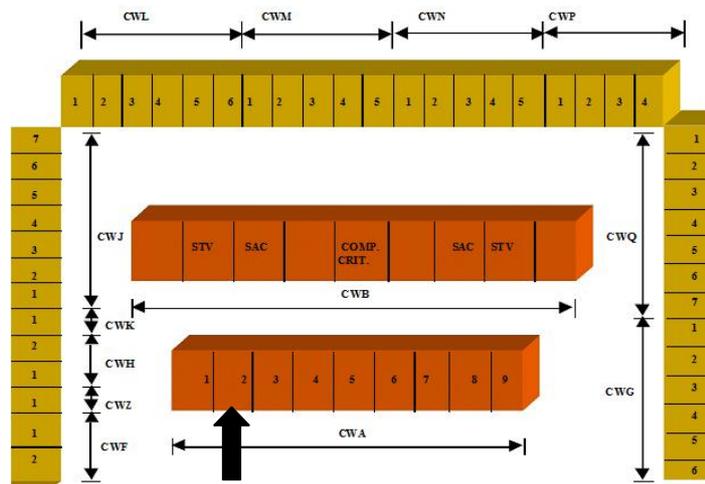
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, ABRA a válvula de 3 vias para spray do PRESSURIZADOR JDH10-40AA013. $(12 \cdot t_{10} = 3,6 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 6,6 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWL) Válvula de 3 vias para spray do PRESSURIZADOR JDH10-40AA013 ABERTA. $(8 \cdot t_2 = 9,6 \text{ s}) + (8 \cdot t_4 = 2,4 \text{ s}) + (4 \cdot t_9 = 3,6 \text{ s}) + (8 \cdot t_{10} = 2,4 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 21 \text{ s}$

AÇÃO 21

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: a temperatura de saída do refrigerante é menor ou igual a $160^{\circ} \text{ Celsius}$? $(15 \cdot t_{10} = 4,5 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 7,5 \text{ s}$

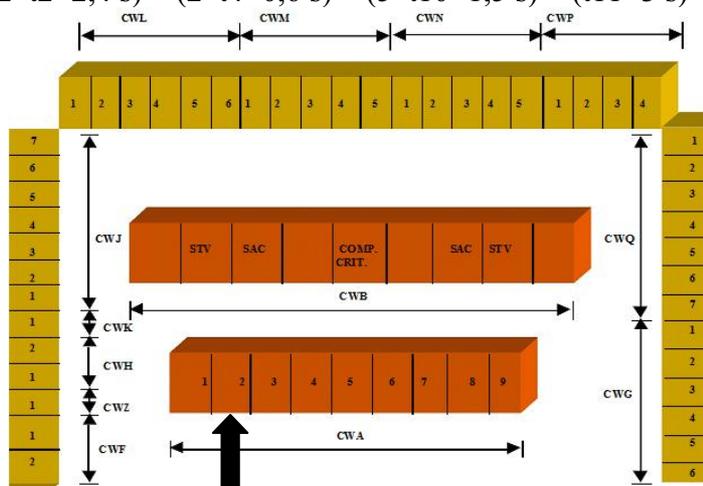
(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR ATÉ O CWA) Temperatura de saída do refrigerante menor que $160^{\circ} \text{ Celsius}$. $(t_{1d} = 15 \text{ s}) + (2 \cdot t_2 = 2,4 \text{ s}) + (2 \cdot t_4 = 0,6 \text{ s}) + (7 \cdot t_{10} = 2,1 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 23,1 \text{ s}$



OPERADOR DO PRIMÁRIO

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o nível do pressurizador está maior ou igual a $2,28 \text{ m}$? $(13 \cdot t_{10} = 3,9 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 6,9 \text{ s}$

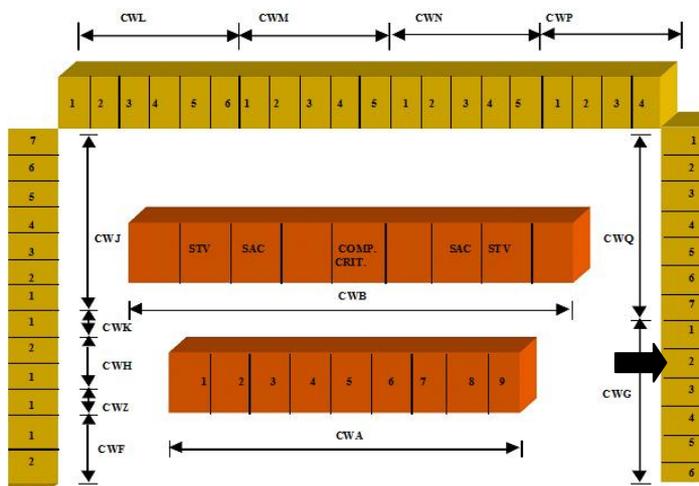
(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWA) *Nível do pressurizador maior que 2,28 m. $(2*t2=2,4\text{ s}) + (2*t4=0,6\text{ s}) + (5*t10=1,5\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 7,5\text{ s}$*



OPERADOR DO PRIMÁRIO

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: *a variação de pressão na contenção é maior ou igual a 0,03 bar? $(15*t10=4,5\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 7,5\text{ s}$*

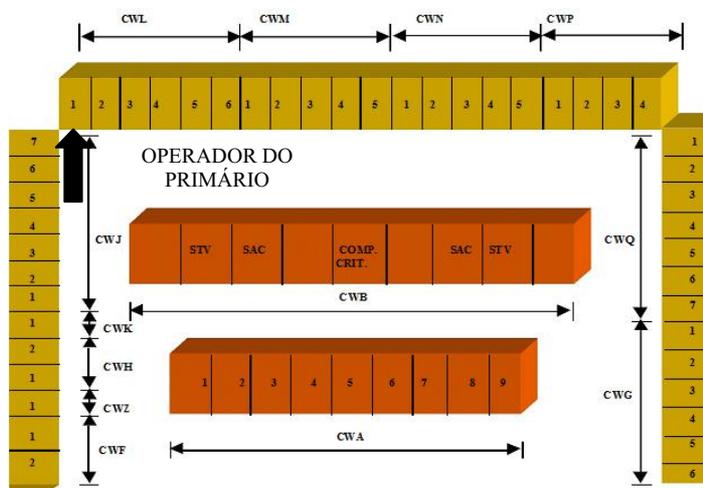
(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR ATÉ O CWG) *A variação de pressão na contenção é maior que 0,03 bar. $(t1c=12\text{ s}) + (2*t2=2,4\text{ s}) + (2*t4=0,6\text{ s}) + (9*t10=2,7\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 20,7\text{ s}$*



OPERADOR DO PRIMÁRIO

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: *o sinal de classe S está ATIVADO? $(9*t10=2,7\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 5,7\text{ s}$*

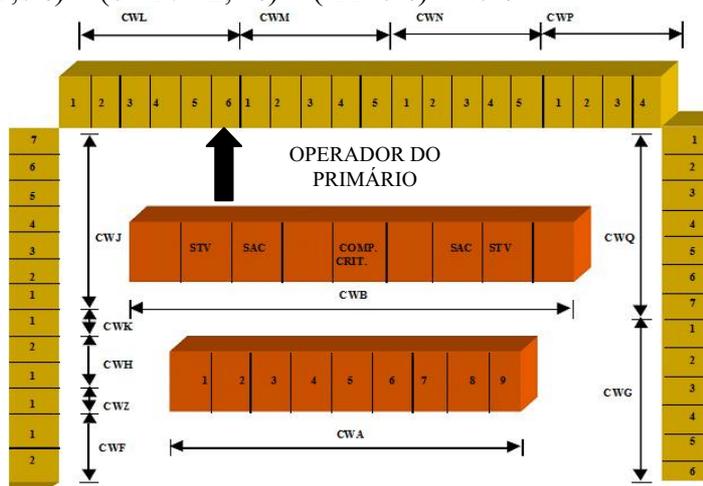
(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR AO CWA, DEPOIS IR AO CWL) *Sinal de classe S ATIVADO.* ($t_{1c}=12\text{ s}$) + ($t_{1d}=15\text{ s}$) + ($2*t_2=2,4\text{ s}$) + ($2*t_4=0,6\text{ s}$) + ($t_9=0,9\text{ s}$) + ($3*t_{10}=0,9\text{ s}$) + ($t_{11}=3\text{ s}$) = 34,8 s



AÇÃO 24

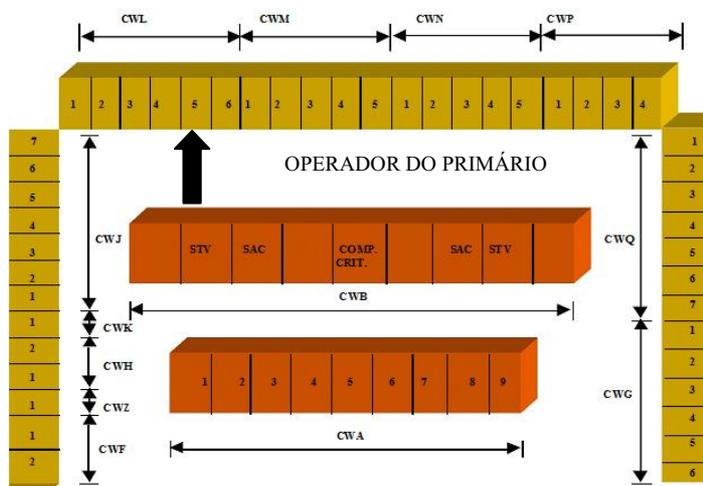
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, ABRA a válvula de 3 vias para spray do pressurizador, JDH10-40AA013. ($12*t_{10}=3,6\text{ s}$) + ($t_{11}=3\text{ s}$) = 6,6 s

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR AO CWA, DEPOIS IR AO CWL) *Válvula de 3 vias para spray do pressurizador, JDH10-40AA013, ABERTA.* ($2*t_{1d}=30\text{ s}$) + ($4*t_2=4,8\text{ s}$) + ($4*t_4=1,2\text{ s}$) + ($4*t_9=3,6\text{ s}$) + ($8*t_{10}=2,4\text{ s}$) + ($t_{11}=3\text{ s}$) = 45 s



(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, DESLIGUE 1 bomba de boração adicional. ($8*t_{10}=2,4\text{ s}$) + ($t_{11}=3\text{ s}$) = 5,4 s

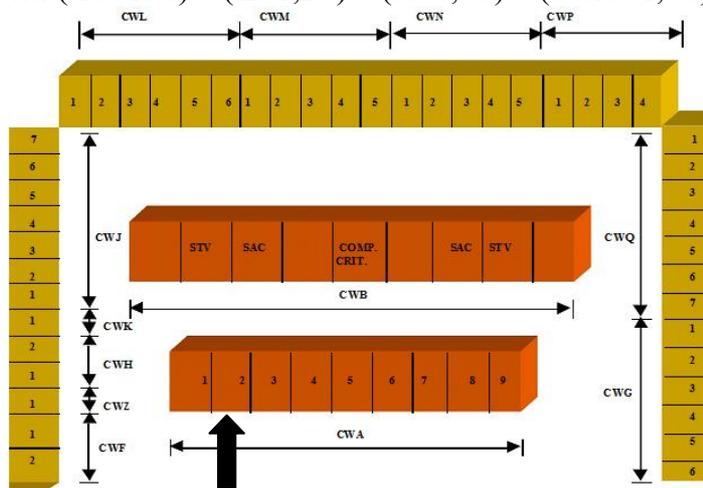
(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR AO CWA, DEPOIS IR AO CWL) DESLIGADA 1 bomba de boração adicional. $(2*t1d=30\text{ s}) + (t2=1,2\text{ s}) + (t4=0,3\text{ s}) + (t9=0,9\text{ s}) + (5*t10=1,5\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 36,9\text{ s}$



AÇÃO 22

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o nível do pressurizador está maior ou igual a 8 m? $(13*t10=3,9\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 6,9\text{ s}$

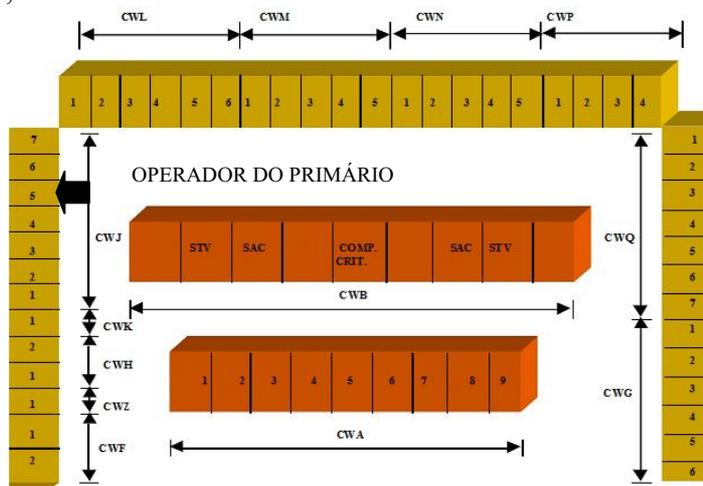
(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR ATÉ O CWA) O nível do pressurizador marca aproximadamente 8 m. $(t1d=15\text{ s}) + (t2=1,2\text{ s}) + (t4=0,3\text{ s}) + (6*t10=1,8\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 21,3\text{ s}$



OPERADOR DO
PRIMÁRIO

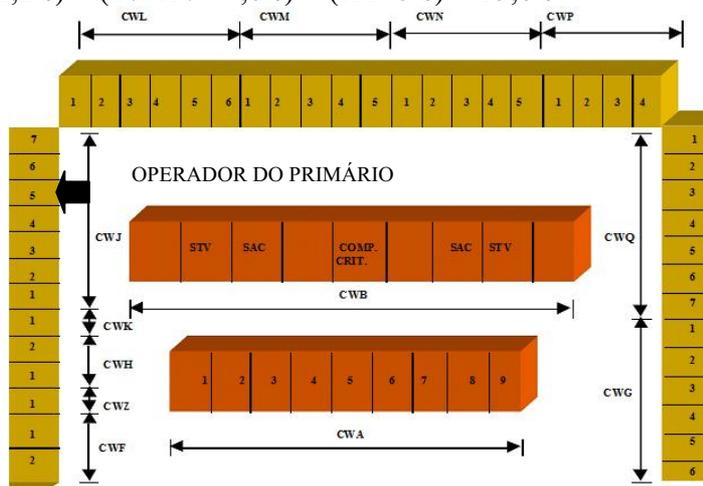
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, ATIVE o sinal de *bypass* da refrigeração de emergência possível, JR 20. $(12*t10=3,6\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 6,6\text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR ATÉ O CWJ) Sinal de *bypass* da refrigeração de emergência possível, *JR 20, ATIVADO*. ($t_{1b}=11\text{ s}$) + ($3*t_2=3,6\text{ s}$) + ($3*t_4=1,2\text{ s}$) + ($8*t_{10}=2,4\text{ s}$) + ($t_{11}=3\text{ s}$) = 21,2 s



(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o sinal de isolamento da contenção para o sistema de controle de volume, *JR 23*, está com 4 redundâncias ativas? ($22*t_{10}=6,6\text{ s}$) + ($t_{11}=3\text{ s}$) = 9,6 s

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) Sinal de isolamento da contenção para o sistema de controle de volume, *JR 23*, com 4 redundâncias ativas. ($4*t_2=4,8\text{ s}$) + ($4*t_4=1,2\text{ s}$) + ($16*t_{10}=4,8\text{ s}$) + ($t_{11}=3\text{ s}$) = 13,8 s



(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o sinal de preparação para refrigeração de emergência, *JR 31*, está com 4 redundâncias ativas? ($17*t_{10}=5,1\text{ s}$) + ($t_{11}=3\text{ s}$) = 8,1 s

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) O Sinal de preparação para refrigeração de emergência, *JR 31*, está com 4 redundâncias ativas. ($4*t_2=4,8\text{ s}$) + ($4*t_4=1,2\text{ s}$) + ($13*t_{10}=3,9\text{ s}$) + ($t_{11}=3\text{ s}$) = 12,9 s

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o sinal de inundação 1, JR 32, está com 4 redundâncias ativas? $(14*t_{10}=4,2 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 7,2 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) O Sinal de inundação 1, JR 32, está com 4 redundâncias ativas. $(4*t_2=4,8 \text{ s}) + (4*t_4=1,2 \text{ s}) + (10*t_{10}=3 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 12 \text{ s}$

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o sinal de partida de injeção de alta pressão, JR 34, está com 4 redundâncias ativas? $(18*t_{10}=5,4 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 8,4 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) O Sinal de partida de injeção de alta pressão, JR 34, está com 4 redundâncias ativas. $(4*t_2=4,8 \text{ s}) + (4*t_4=1,2 \text{ s}) + (14*t_{10}=4,2 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 13,2 \text{ s}$

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o sinal de partida para os sistemas PE/PJ, JR 95, está com 4 redundâncias ativas? $(16*t_{10}=4,8 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 7,8 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) O Sinal de partida para os sistemas PE/PJ, JR 95, está com 4 redundâncias ativas. $(4*t_2=4,8 \text{ s}) + (4*t_4=1,2 \text{ s}) + (12*t_{10}=3,6 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 12,6 \text{ s}$

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o sinal de isolamento da contenção para o sistema de controle de volume, JR 23, está sem redundâncias ativas? $(21*t_{10}=6,3 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 9,3 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) Sinal de isolamento da contenção para o sistema de controle de volume, JR 23, sem redundâncias ativas. $(4*t_2=4,8 \text{ s}) + (4*t_4=1,2 \text{ s}) + (15*t_{10}=4,5 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 13,5 \text{ s}$

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o sinal de preparação para refrigeração de emergência, JR 31, está sem redundâncias ativas? $(16*t_{10}=4,8 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 7,8 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) O Sinal de preparação para refrigeração de emergência, JR 31, está sem redundâncias ativas. $(4*t_2=4,8 \text{ s}) + (4*t_4=1,2 \text{ s}) + (12*t_{10}=3,6 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 12,6 \text{ s}$

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o sinal de inundação 1, JR 32, está sem redundâncias ativas? $(13*t_{10}=3,9 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 6,9 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) O Sinal de inundação 1, JR 32, está sem redundâncias ativas. $(4*t_2=4,8 \text{ s}) + (4*t_4=1,2 \text{ s}) + (9*t_{10}=2,7 \text{ s}) + (t_{11}=3 \text{ s}) = 11,7 \text{ s}$

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o sinal de partida de injeção de alta pressão, JR 34, está sem redundâncias ativas? $(17 \cdot t_{10} = 5,1 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 8,1 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) O Sinal de partida de injeção de alta pressão, JR 34, está sem redundâncias ativas. $(4 \cdot t_2 = 4,8 \text{ s}) + (4 \cdot t_4 = 1,2 \text{ s}) + (13 \cdot t_{10} = 3,9 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 12,9 \text{ s}$

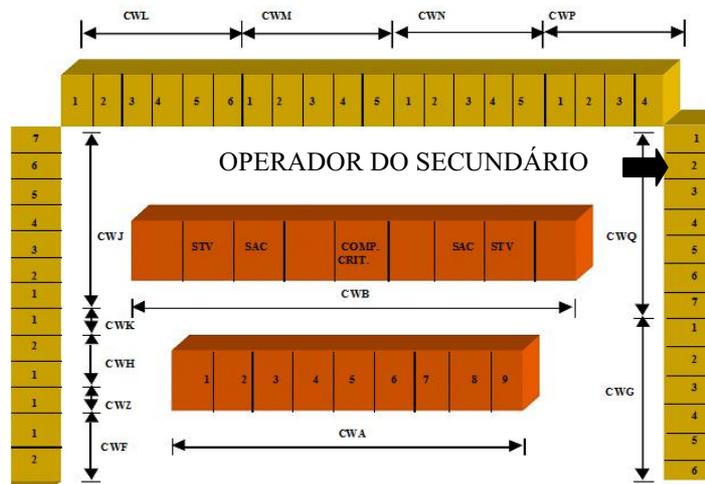
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o sinal de partida para os sistemas PE/PJ, JR 95, está sem redundâncias ativas? $(15 \cdot t_{10} = 4,5 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 7,5 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWJ) O Sinal de partida para os sistemas PE/PJ, JR 95, está sem redundâncias ativas. $(4 \cdot t_2 = 4,8 \text{ s}) + (4 \cdot t_4 = 1,2 \text{ s}) + (11 \cdot t_{10} = 3,3 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 12,3 \text{ s}$

AÇÃO 25

(ENCARREGADO) OPERADOR DO SECUNDÁRIO, VERIFIQUE: é necessário inicializar a alimentação de emergência? $(11 \cdot t_{10} = 3,3 \text{ s})$

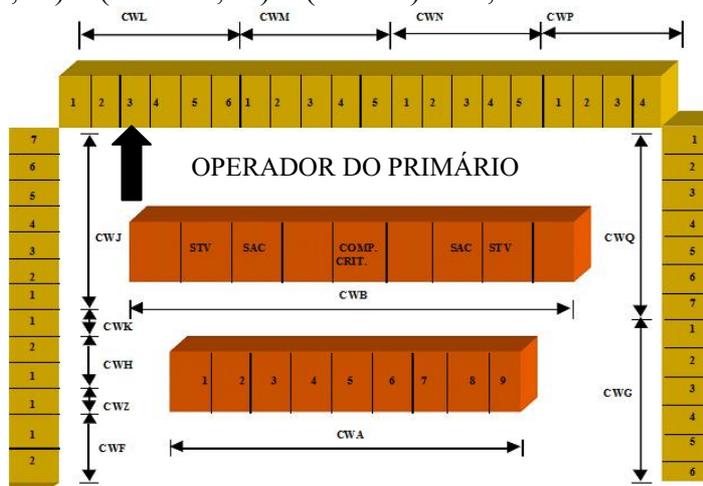
(OPERADOR DO SECUNDÁRIO) (IR ATÉ O CWQ) NÃO é necessário inicializar a alimentação de emergência. $(t_{1c} = 12 \text{ s}) + (12 \cdot t_2 = 14,4 \text{ s}) + (12 \cdot t_4 = 3,6 \text{ s}) + (7 \cdot t_{10} = 2,1 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 35,1 \text{ s}$



AÇÃO 27

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, LIGUE as 4 bombas de remoção de calor residual. $(11 \cdot t_{10} = 3,3 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 6,3 \text{ s}$

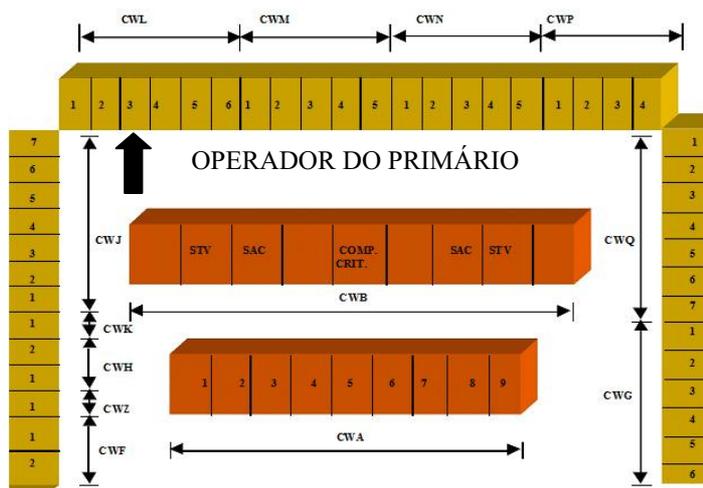
(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR AO CWA, DEPOIS IR AO CWL) As 4 bombas de remoção de calor residual estão LIGADAS. $(t1b=11\text{ s}) + (t1d=15\text{ s}) + (4*t2=4,8\text{ s}) + (4*t4=1,2\text{ s}) + (4*t9=3,6\text{ s}) + (9*t10=2,7\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 41,3\text{ s}$



AÇÃO 28 A

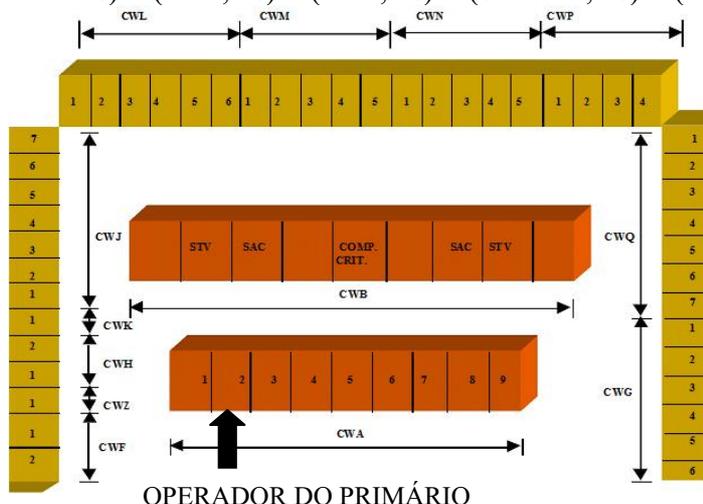
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: as 4 bombas de injeção de segurança estão LIGADAS? $(12*t10=3,6\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 6,6\text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWL) As 4 bombas de injeção de segurança estão LIGADAS. $(4*t2=4,8\text{ s}) + (4*t4=1,2\text{ s}) + (8*t10=2,4\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 11,4\text{ s}$



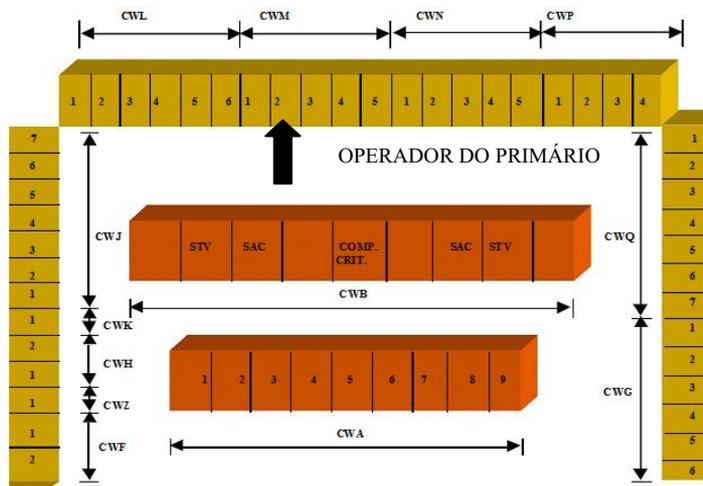
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o nível do pressurizador está maior ou igual a 8 m? $(13*t10=3,9\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 6,9\text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR ATÉ O CWA) O nível do pressurizador está maior do que 8 m. $(t1d=15\text{ s}) + (t2=1,2\text{ s}) + (t4=0,3\text{ s}) + (8*t10=2,4\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 21,9\text{ s}$



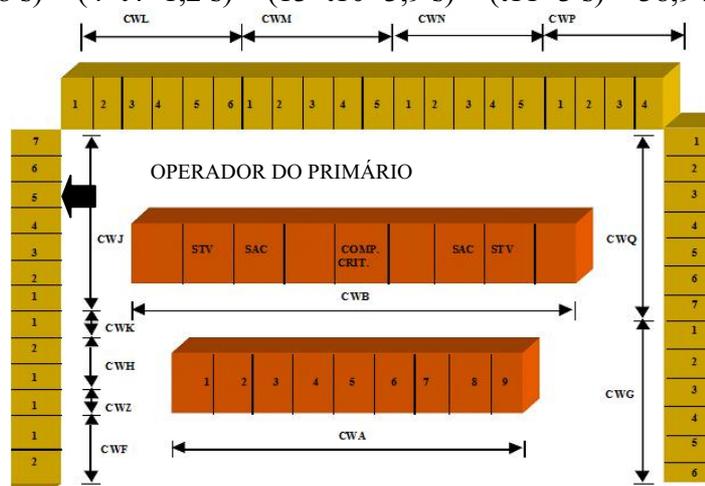
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o nível do vaso de pressão NÃO está abaixo de baixo 3? $(15*t10=4,5\text{ s})$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR ATÉ O CWM) O nível do vaso de pressão NÃO está abaixo de baixo 3. $(t1d=15\text{ s}) + (4*t2=4,8\text{ s}) + (4*t4=1,2\text{ s}) + (11*t10=3,3\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 27,3\text{ s}$



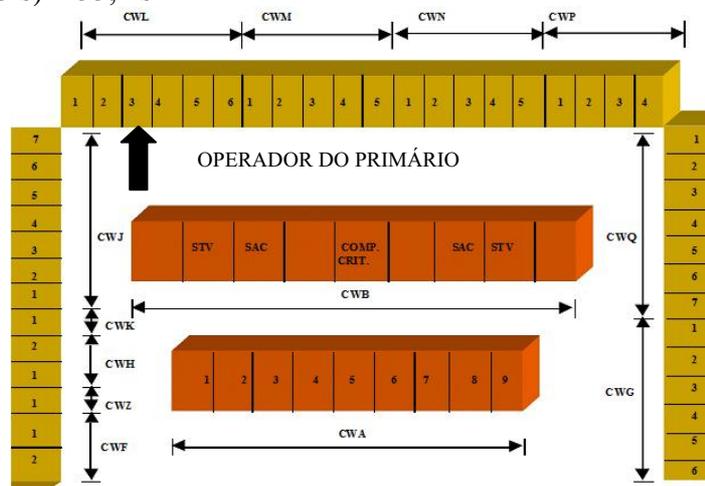
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o sinal de partida de injeção de alta pressão, JR 34, está sem redundâncias ativas? $(17*t10=5,1\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 8,1\text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR AO CWA, DEPOIS IR AO CWJ) O sinal de partida de injeção de alta pressão, JR 34, está sem redundâncias ativas. $(t1b=11\text{ s}) + (t1d=15\text{ s}) + (4*t2=4,8\text{ s}) + (4*t4=1,2\text{ s}) + (13*t10=3,9\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 38,9\text{ s}$



(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, DESLIGUE 1 bomba de injeção de segurança. $(9*t10=2,7\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 5,7\text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR AO CWA, DEPOIS IR AO CWL) DESLIGADA 1 bomba de injeção de segurança. $(t1b=11\text{ s}) + (t1d=15\text{ s}) + (t2=1,2\text{ s}) + (t4=0,3\text{ s}) + (t9=0,9\text{ s}) + (6*t10=1,8\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 33,2\text{ s}$

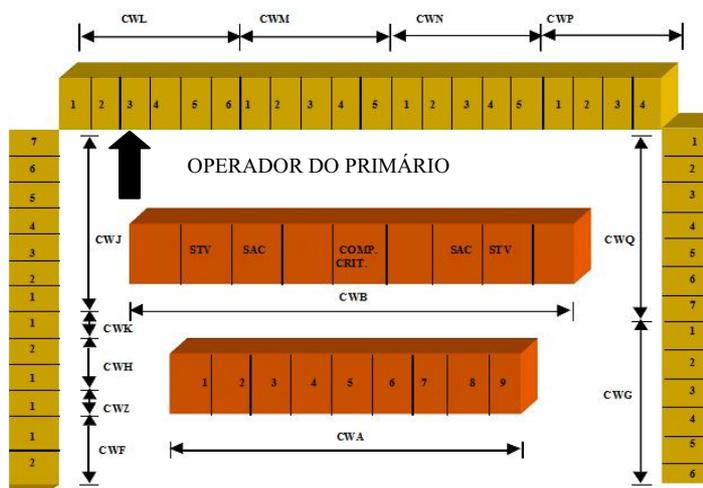


(TODOS ESPERAM 5 MINUTOS PARA VERIFICAÇÃO)

AÇÃO 28 B

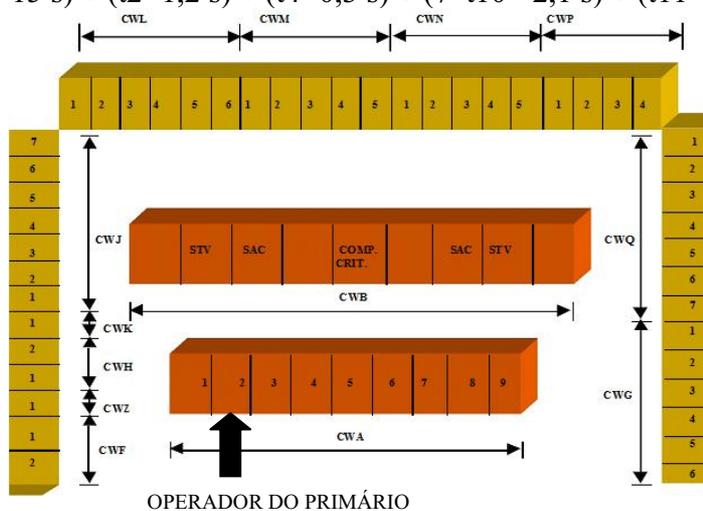
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: as 3 bombas de injeção de segurança estão LIGADAS? $(12*t10=3,6\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 6,6\text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWL) As 3 bombas de injeção de segurança estão LIGADAS. $(4 \cdot t_2 = 4,8 \text{ s}) + (4 \cdot t_4 = 1,2 \text{ s}) + (8 \cdot t_{10} = 2,4 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 11,4 \text{ s}$



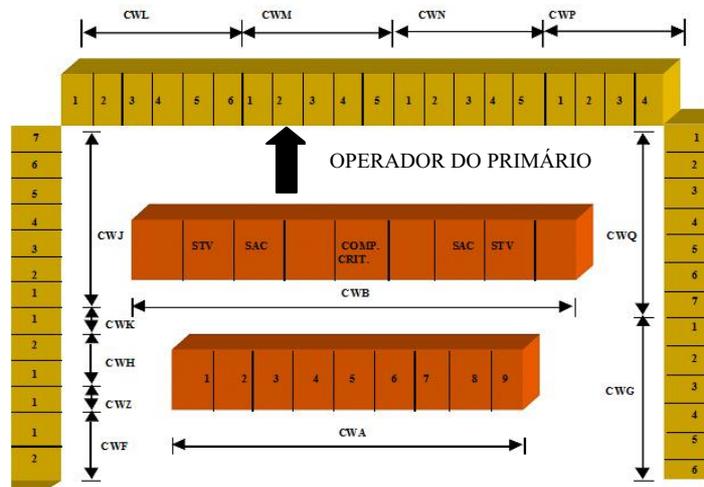
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o nível do pressurizador está maior ou igual a 8 m? $(13 \cdot t_{10} = 3,9 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 6,9 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR ATÉ O CWA) O nível do pressurizador está maior que 8 m. $(t_{1d} = 15 \text{ s}) + (t_2 = 1,2 \text{ s}) + (t_4 = 0,3 \text{ s}) + (7 \cdot t_{10} = 2,1 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 21,6 \text{ s}$



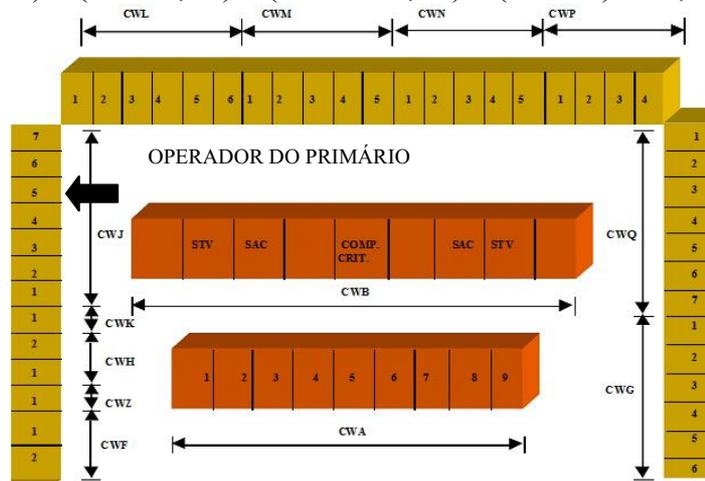
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o nível do vaso de pressão NÃO está abaixo de baixo 3? $(15 \cdot t_{10} = 4,5 \text{ s}) + (t_{11} = 3 \text{ s}) = 7,5 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR ATÉ O CWM) *Nível do vaso de pressão NÃO está abaixo de baixo 3.* $(t1d=15\text{ s}) + (4*t2=4,8\text{ s}) + (4*t4=1,2\text{ s}) + (10*t10= 3\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 27\text{ s}$



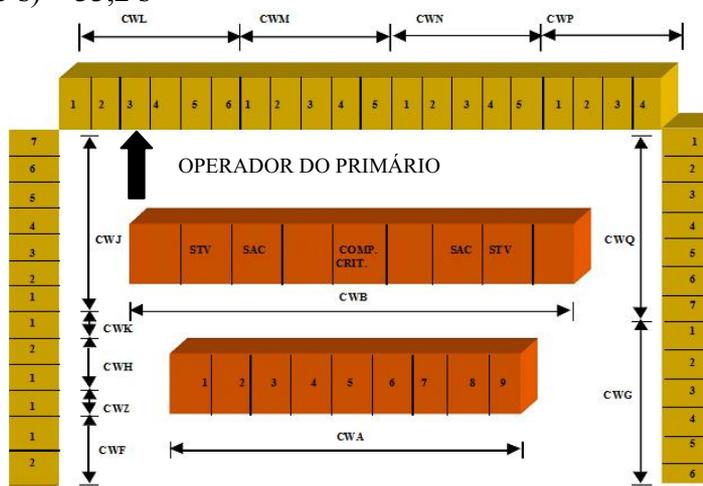
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o sinal de partida de injeção de alta pressão, *JR 34*, está sem redundâncias ativas? $(17*t10=5,1\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 8,3\text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR AO CWA, DEPOIS IR AO CWJ) O sinal de partida de injeção de alta pressão, *JR 34*, está sem redundâncias ativas. $(t1d=15\text{ s}) + (t1b=11\text{ s}) + (4*t2=4,8\text{ s}) + (4*t4=1,2\text{ s}) + (13*t10= 3,9\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 38,9\text{ s}$



(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, DESLIGUE 1 *bomba de injeção de segurança.* $(9*t10=2,7\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 5,7\text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR AO CWA, DEPOIS IR AO CWL) **DESLIGADA 1 bomba de injeção de segurança.** ($t_{1b}=11\text{ s}$) + ($t_{1d}=15\text{ s}$) + ($t_2=1,2\text{ s}$) + ($t_4=0,3\text{ s}$) + ($t_9=0,9\text{ s}$) + ($6*t_{10}=1,8\text{ s}$) + ($t_{11}=3\text{ s}$) = 33,2 s

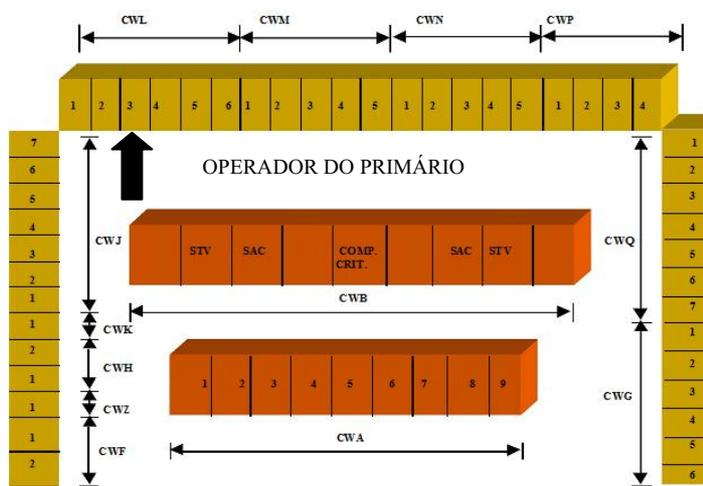


(TODOS ESPERAM 5 MINUTOS PARA VERIFICAÇÃO)

AÇÃO 28 C

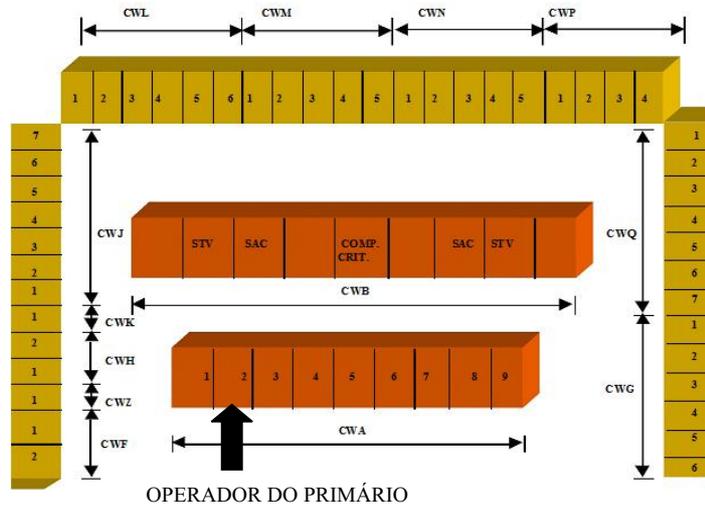
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: *as 2 bombas de injeção de segurança estão LIGADAS?* ($12*t_{10}=3,6\text{ s}$) + ($t_{11}=3\text{ s}$) = 6,6 s

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWL) *As 2 bombas de injeção de segurança estão LIGADAS.* ($4*t_2=4,8\text{ s}$) + ($4*t_4=1,2\text{ s}$) + ($8*t_{10}=2,4\text{ s}$) + ($t_{11}=3\text{ s}$) = 11,4 s



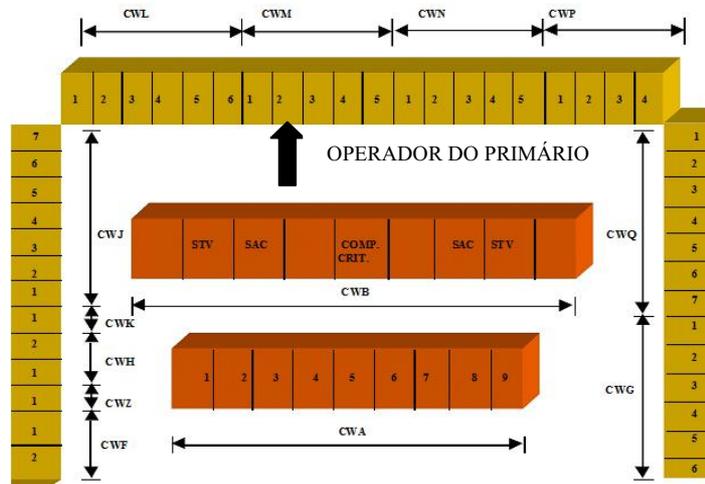
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: *o nível do pressurizador está maior ou igual a 8 m?* ($13*t_{10}=3,9\text{ s}$) + ($t_{11}=3\text{ s}$) = 6,9 s

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR ATÉ O CWA) Nível do pressurizador está maior que 8 m. $(t1d=15\text{ s}) + (t2=1,2\text{ s}) + (t4=0,3\text{ s}) + (6*t10=1,8\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 21,3\text{ s}$



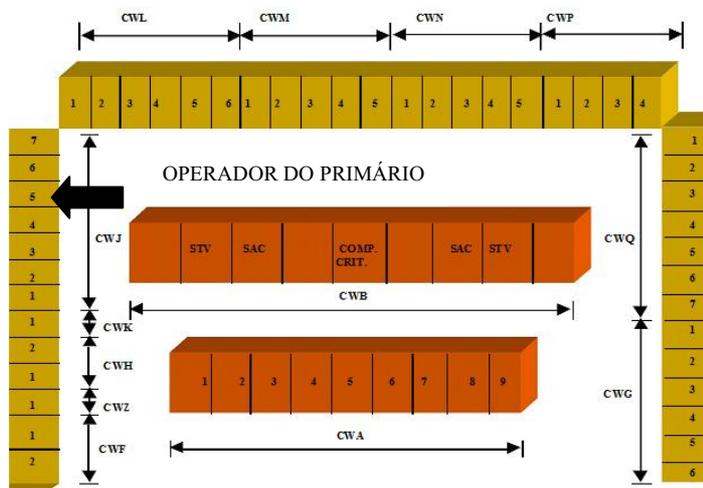
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, o nível do vaso de pressão NÃO está abaixo de baixo 3? $(14*t10=4,2\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 7,2\text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR ATÉ O CWM) Nível do vaso de pressão NÃO está abaixo de baixo 3. $(t1d=15\text{ s}) + (4*t2=4,8\text{ s}) + (4*t4=1,2\text{ s}) + (10*t10= 3\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 27\text{ s}$



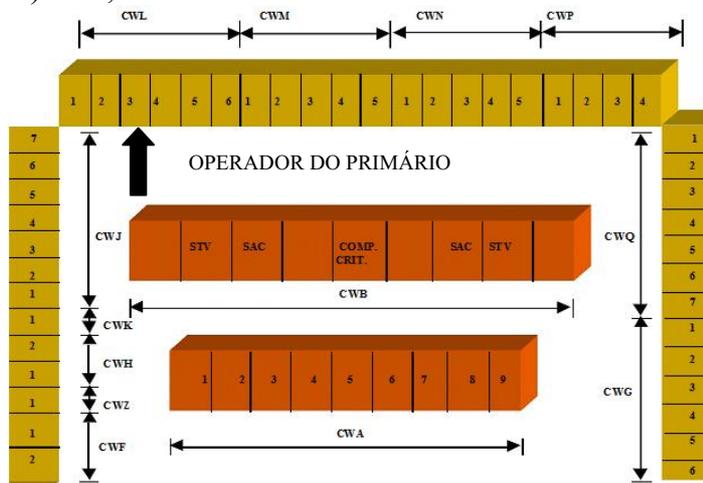
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o sinal de partida de injeção de alta pressão, JR 34, está sem redundâncias ativas? $(17*t10=5,1\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 8,1\text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR AO CWA, DEPOIS IR AO CWJ) Sinal de partida de injeção de alta pressão, JR 34, está sem redundâncias ativas. $(t1d=15\text{ s}) + (t1b=11\text{ s}) + (4*t2=4,8\text{ s}) + (4*t4=1,2\text{ s}) + (12*t10=3,6\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 38,6\text{ s}$



(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, DESLIGUE 1 bomba de injeção de segurança. $(9*t10=2,7\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 5,7\text{ s}$

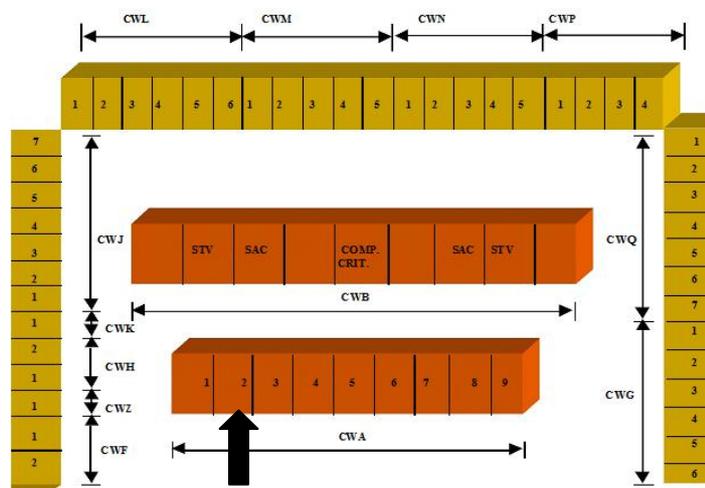
(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR AO CWA, DEPOIS IR AO CWL) DESLIGADA 1 bomba de injeção de segurança. $(t1b=11\text{ s}) + (t1d=15\text{ s}) + (t2=1,2\text{ s}) + (t4=0,3\text{ s}) + (t9=0,9\text{ s}) + (6*t10=1,8\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 33,2\text{ s}$



(TODOS ESPERAM 1 MINUTO PARA O NÍVEL DO PRESSURIZADOR CAIR)

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o nível do pressurizador marca 6 m? $(9*t10=2,7\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 5,7\text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR ATÉ O CWA) Nível do pressurizador marcando 6 m. $(t1d=15\text{ s}) + (t2=1,2\text{ s}) + (t4=0,3\text{ s}) + (4*t10=1,2\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 20,7\text{ s}$

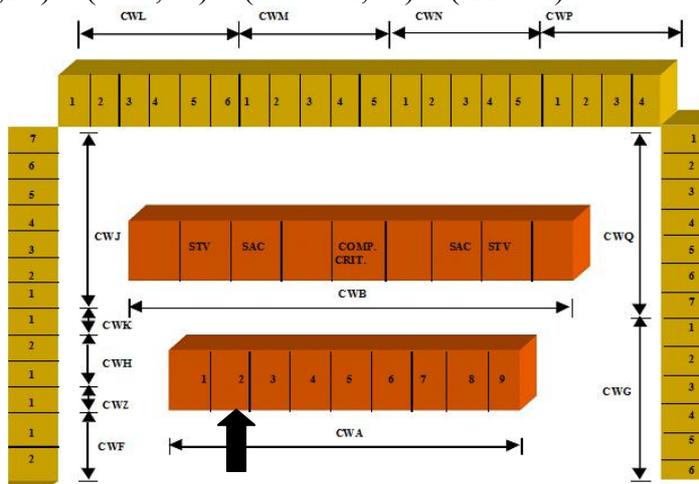


OPERADOR DO PRIMÁRIO

AÇÃO 28 D

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o nível do pressurizador está menor ou igual a 8 m? $(13*t10=3,9\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 6,9\text{ s}$

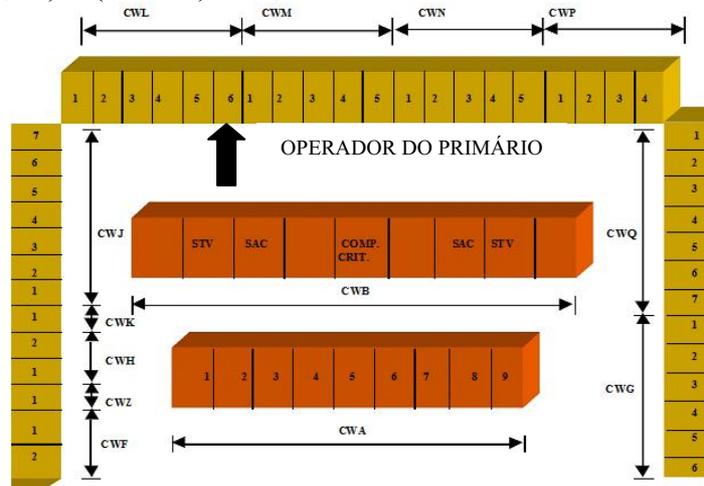
(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWA) Nível do pressurizador menor que 8 m. $(t2=1,2\text{ s}) + (t4=0,3\text{ s}) + (5*t10=1,5\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 6\text{ s}$



OPERADOR DO PRIMÁRIO

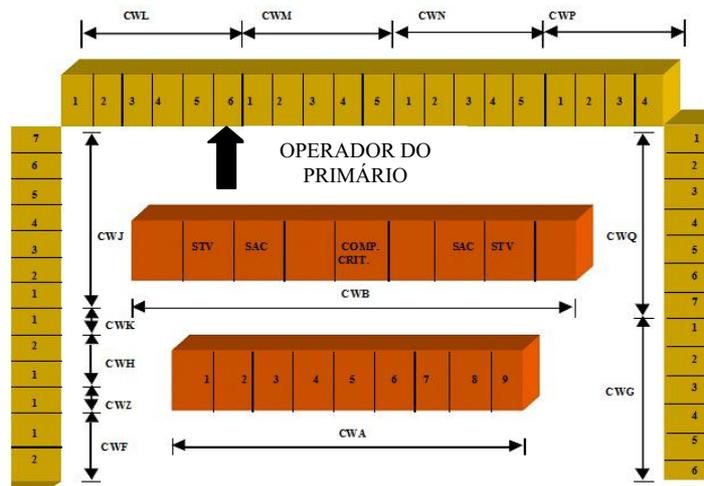
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: a válvula de 3 vias para spray do pressurizador, JDH10-40AA013, está FECHADA? $(14*t10=4,2\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 7,2\text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR ATÉ O CWL) *Válvula de 3 vias para spray do pressurizador JDH10-40AA013 FECHADA.* ($t_{1d}=15$ s) + ($3*t_2=3,6$ s) + ($3*t_4=0,9$ s) + ($3*t_9=2,7$ s) + ($8*t_{10}=2,4$ s) + ($t_{11}=3$ s) = 27,6 s



(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, ABRA a *válvula de 3 vias para spray do pressurizador JDH10-40AA013.* ($12*t_{10}=3,6$ s) + ($t_{11}=3$ s) = 6,6 s

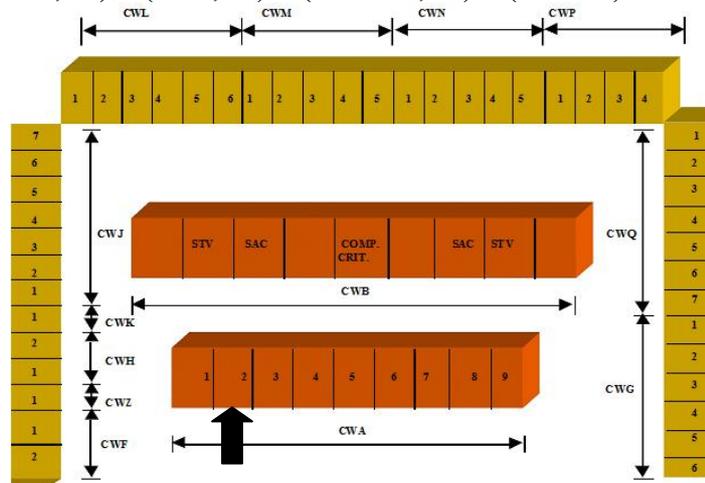
(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (CONTINUAR NO CWL) *Válvula de 3 vias para spray do pressurizador JDH10-40AA013 ABERTA.* ($t_2=1,2$ s) + ($t_4=0,3$ s) + ($t_9=0,9$ s) + ($8*t_{10}=2,4$ s) + ($t_{11}=3$ s) = 7,8 s



(TODOS ESPERAM 6 MINUTOS PARA VERIFICAÇÃO)

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: *o nível do pressurizador marca 8,1 m?* ($9*t_{10}=2,7$ s) + ($t_{11}=3$ s) = 5,7 s

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR ATÉ O CWA) O nível do pressurizador marca 8,1 m. $(t1d=15\text{ s}) + (t2=1,2\text{ s}) + (t4=0,3\text{ s}) + (5*t10=1,5\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 21\text{ s}$

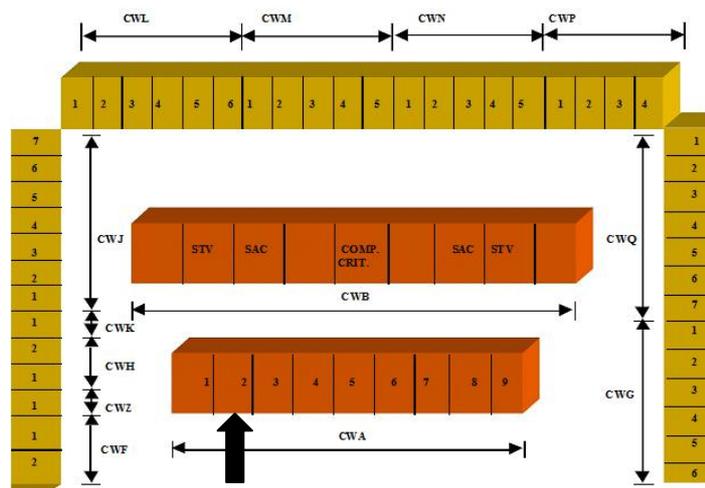


OPERADOR DO PRIMÁRIO

AÇÃO 28 E

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o nível do pressurizador está maior ou igual a 8 m? $(13*t10=3,9\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 6,9\text{ s}$

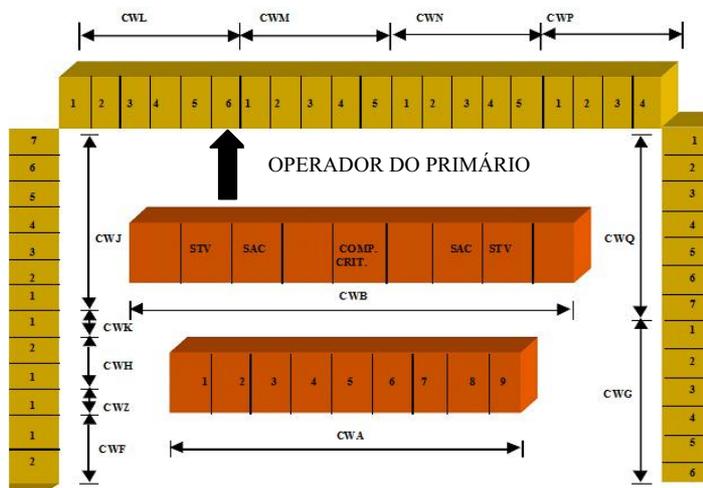
(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR ATÉ O CWA) Nível do pressurizador está maior que 8 m. $(t1d=15\text{ s}) + (t2=1,2\text{ s}) + (t4=0,3\text{ s}) + (6*t10=1,8\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 21,3\text{ s}$



OPERADOR DO PRIMÁRIO

(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, FECHÉ a válvula de 3 vias para spray do pressurizador, JDH10-40AA013. $(12*t10=3,6\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 6,6\text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR ATÉ O CWL) Válvula de 3 vias para spray do pressurizador, JDH10-40AA013, FECHADA. $(t1d=15 \text{ s}) + (3*t2=3,6 \text{ s}) + (3*t4=0,9 \text{ s}) + (3*t9=2,7 \text{ s}) + (8*t10=2,4 \text{ s}) + (t11=3 \text{ s}) = 27,6 \text{ s}$

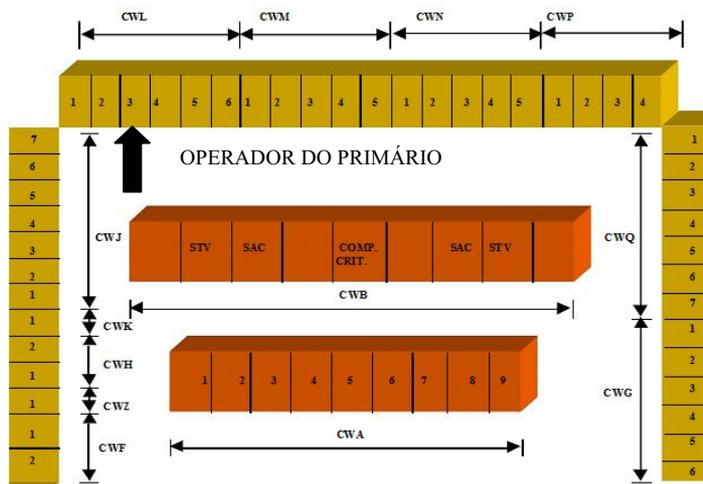


(TODOS ESPERAM 5 MINUTOS PARA VERIFICAÇÃO)

AÇÃO 28 F

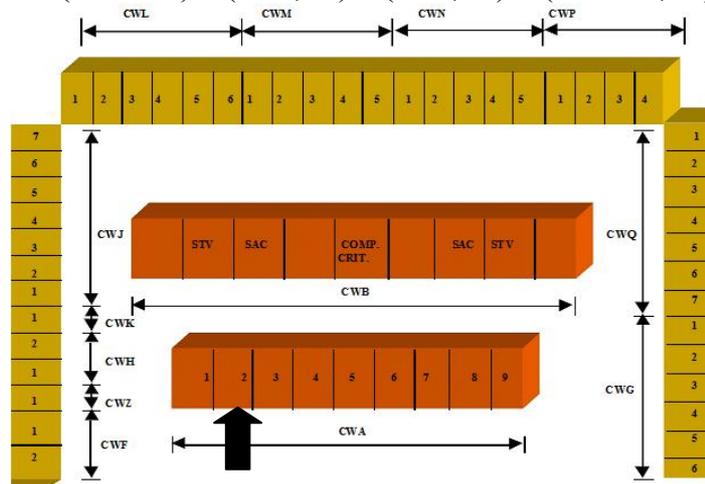
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: há 1 bomba de injeção de segurança LIGADA? $(11*t10=3,3 \text{ s}) + (t11=3 \text{ s}) = 6,3 \text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR AO CWA, DEPOIS IR AO CWL) 1 bomba de injeção de segurança LIGADA. $(2*t1d=30 \text{ s}) + (4*t2=4,8 \text{ s}) + (4*t4=1,2 \text{ s}) + (6*t10=1,8 \text{ s}) + (t11=3 \text{ s}) = 40,8 \text{ s}$



(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: O nível do pressurizador está maior ou igual a 8 m? ($13 \cdot t_{10} = 3,9 \text{ s}$) + ($t_{11} = 3 \text{ s}$) = 6,9 s

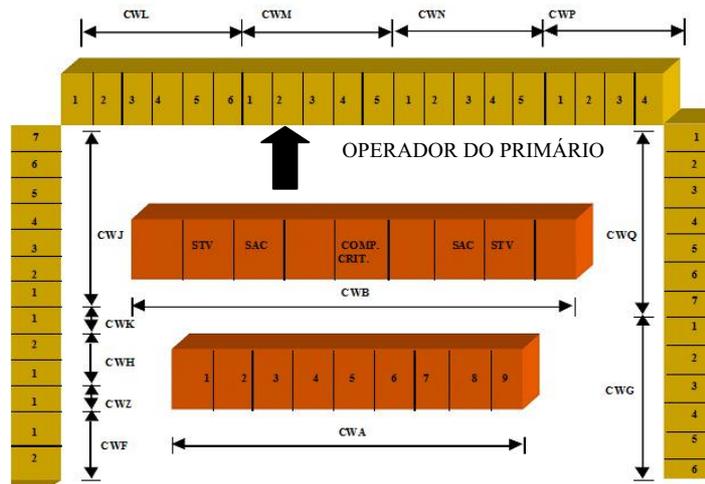
(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR ATÉ O CWA) O nível do pressurizador marca aproximadamente 8 m. ($t_{1d} = 15 \text{ s}$) + ($t_2 = 1,2 \text{ s}$) + ($t_4 = 0,3 \text{ s}$) + ($6 \cdot t_{10} = 1,8 \text{ s}$) + ($t_{11} = 3 \text{ s}$) = 21,3 s



OPERADOR DO PRIMÁRIO

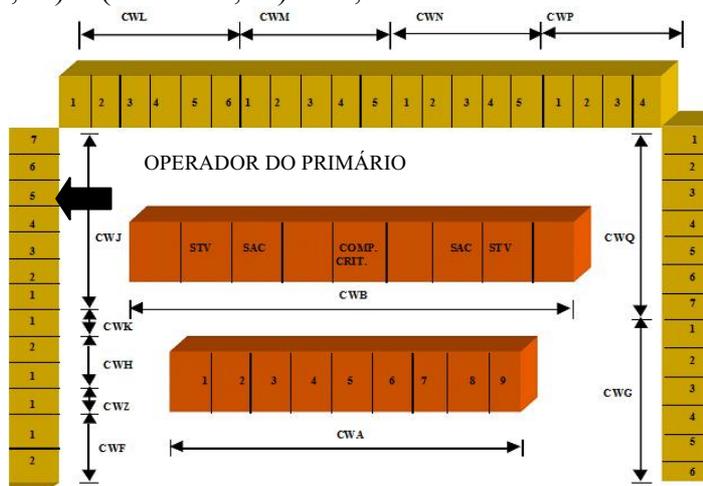
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: O nível do vaso de pressão NÃO está abaixo de baixo 3? ($15 \cdot t_{10} = 4,5 \text{ s}$) + ($t_{11} = 3 \text{ s}$) = 7,5 s

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR ATÉ O CWM) O nível do vaso de pressão NÃO está abaixo de baixo 3. ($t_{1d} = 15 \text{ s}$) + ($4 \cdot t_2 = 4,8 \text{ s}$) + ($4 \cdot t_4 = 1,2 \text{ s}$) + ($11 \cdot t_{10} = 3,3 \text{ s}$) + ($t_{11} = 3 \text{ s}$) = 27,3 s



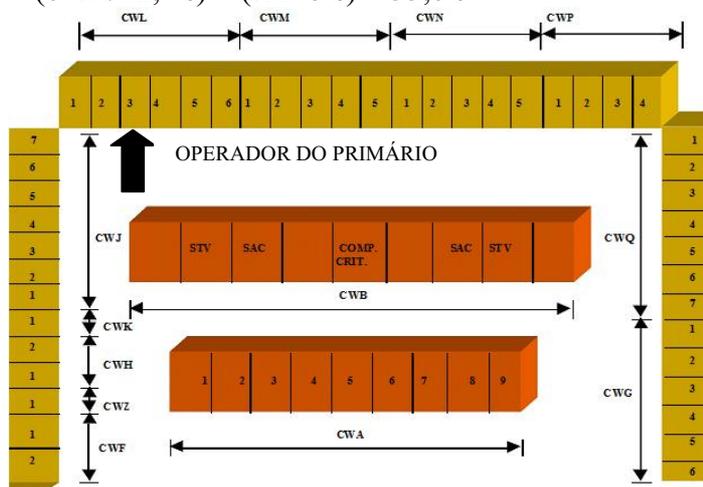
(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, VERIFIQUE: o sinal de partida de injeção de alta pressão, JR 34, está sem redundâncias ativas? ($17 \cdot t_{10} = 5,1 \text{ s}$) + ($t_{11} = 3 \text{ s}$) = 8,1 s

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR AO CWA, DEPOIS IR AO CWJ) Sinal de partida de injeção de alta pressão, JR 34, sem redundâncias ativas. $(t1b=11\text{ s}) + (t1d=15\text{ s}) + (4*t2=4,8\text{ s}) + (4*t4=1,2\text{ s}) + (11*t10=3,3\text{ s}) = 35,3\text{ s}$



(ENCARREGADO) OPERADOR DO PRIMÁRIO, DESLIGUE a última bomba de injeção de segurança. $(10*t10=3\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 6\text{ s}$

(OPERADOR DO PRIMÁRIO) (IR AO CWA, DEPOIS IR AO CWL) A última bomba de injeção de segurança foi DESLIGADA. $(t1b=11\text{ s}) + (t1d=15\text{ s}) + (t2=1,2\text{ s}) + (t4=0,3\text{ s}) + (t9=0,9\text{ s}) + (8*t10=2,4\text{ s}) + (t11=3\text{ s}) = 33,8\text{ s}$



FIM