



**AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO**

**ANÁLISE DOS PROCEDIMENTOS DE PARTIDA DO
REATOR IEA-R1
- UMA APLICAÇÃO DA TÉCNICA HAZOP -**

MARIA EUGÊNIA LAGO JACQUES SAUER

**Dissertação apresentada como parte
dos requisitos para obtenção do Grau
de Mestre em Ciências na Área de
Reatores Nucleares de Potência e
Tecnologia do Combustível Nuclear.**

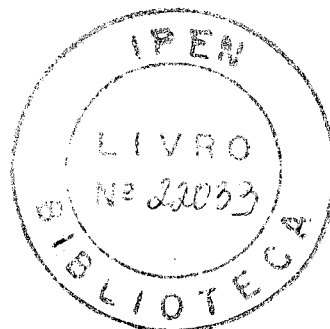
**Orientador:
Dr. José Messias de Oliveira Neto**

**São Paulo
2000**

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia Associada à Universidade de São Paulo

ANÁLISE DOS PROCEDIMENTOS DE PARTIDA DO REATOR IEA-R1
- UMA APLICAÇÃO DA TÉCNICA HAZOP -

MARIA EUGÊNIA LAGO JACQUES SAUER

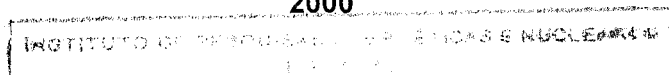


Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências na Área de Reatores Nucleares de Potência e Tecnologia do Combustível Nuclear.

Orientador: Dr. José Messias de Oliveira Neto

SÃO PAULO

2000



Aos meus pais.
À minha filha, Luísa.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Messias de Oliveira Neto, pela dedicada orientação e valorização do trabalho.

Ao Prof. Dr. Francisco Corrêa, pela contribuição e oportunidade de convivência.

Às Equipes de Operação e de Proteção Radiológica do Reator IEA-R1, especialmente ao Berretta, Carlos Alberto, Thadeu e Toninho, que tornaram possível a realização deste trabalho.

Ao IPEN-CNEN/SP, à Diretoria de Reatores, ao chefe da área de Análise Probabilística de Segurança e Integração de Sistemas, Eng. Arivaldo Vicente Gomes, MSc., e ao Prof. Dr. Eduardo Lobo Lustosa Cabral, pelo apoio.

À Maria Tereza, pelo imprescindível auxílio na bibliografia.

Aos meus amigos e colegas Gaianê, Leslie, Mai, Margaret e Pedro, pelo inestimável apoio.

Ao Antonio e Patrícia, amigos de muitos anos e sempre companheiros, pela imensa demonstração de solidariedade e apreço.

À Rosane, pela grande amizade e valioso auxílio na revisão dos originais.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e educação.

Aos meus irmãos pelo carinho, amizade e cumplicidade.

Ao Ildo e Luísa por existirem e pela compreensão dos momentos de convivência que deixamos de compartilhar.

A todos aqueles que, mesmo indiretamente, colaboraram para que esta dissertação pudesse ser realizada.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE ABREVIATURAS	vii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos do Trabalho	2
1.2 Organização do Trabalho	2
2. A TÉCNICA HAZOP	3
2.1 Apresentação e Resumo Histórico	3
2.2 O Uso do HazOp	4
2.2.1 Indústria de Processos Químicos	5
2.2.2 Indústria Nuclear	8
2.2.3 Outras Aplicações do HazOp	11
2.2.4 Tendências do HazOp	13
2.3 Descrição Geral do Método HazOp	15
2.3.1 Características Principais do Método HazOp	15
2.3.2 Terminologia do Estudo de HazOp	16
2.3.3 Descrição Geral do Procedimento de um Estudo de HazOp	20
2.4 Equipe Técnica do Estudo de HazOp	24

3. HAZOP DOS PROCEDIMENTOS DE PARTIDA DO REATOR IEA-R1	27
3.1 Descrição Geral do Reator IEA-R1	27
3.2 Processo de Partida do Reator IEA-R1	28
3.2.1 Condições para a Aplicação das Rotinas de Partida do Reator IEA-R1	40
3.2.2 Processo de Criticalização do Reator IEA-R1	41
3.3 Preparação do Estudo de HazOp	45
3.4 Aplicação da Técnica HazOp aos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1	48
3.4.1 Considerações do Estudo de HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1.....	50
3.4.2 Estudo de HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1	51
3.5 Resultados e Discussão	115
4. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	122
4.1 Conclusão	122
4.2 Recomendações para Continuidade do Trabalho	123
4.3 Recomendações para Trabalhos Futuros.....	123
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	124

LISTA DE TABELAS

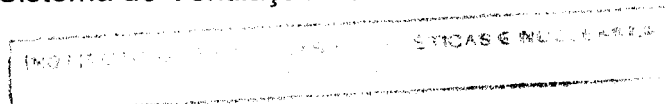
Tabela 1 - Exemplos de Palavras-Guias do HazOp e Significados	17
Tabela 2 - Palavras-Guias e Exemplos de Desvios de Variáveis de Processo ou de Intenções de Projeto	19
Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até de 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)	52
Tabela 4 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operações em Potências Superiores a 200 kW	86
Tabela 5 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operações em Potências até 200 kW	107

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Procedimento Sequencial de um Estudo de HazOp.....	22
Figura 2 - Lista de Verificação Inicial do Reator IEA-R1	30
Figura 3 - Mesa de Controle do Reator IEA-R1	32
Figura 4 - <i>Lay-out</i> da Sala de Controle do Reator IEA-R1	33
Figura 5 - Quadros de Sinalização e Alarme do Reator IEA-R1	34
Figura 6 - Botoeiras do Mecanismo de Acionamento das Barras de Segurança e Controle do Reator IEA-R1	35
Figura 7 - Painel Auxiliar B.....	36
Figura 8 - Painéis Auxiliares C1 e C2	37
Figura 9 - Painéis Auxiliares D1 e D2	38
Figura 10 - Painéis Auxiliares D3 e D4	39
Figura 11 - Folha de Previsão de Criticalidade	42
Figura 12 - Formato Padrão da Folha de Estudo de HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1	47

LISTA DE ABREVIATURAS

AICHe	<i>American Institute of Chemical Engineers</i>
APR	Avaliação Probabilística de Risco
ARCO	<i>Atlantic Refining Company</i>
BAPCO	<i>Bahrain Petroleum Company</i>
BH	<i>Beam Holes</i> (tubos de irradiação)
CFR	<i>Code of Federal Regulations</i>
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
HazOp	<i>Hazard and Operability Study</i>
ICI	<i>Imperial Chemical Industries</i>
INP	Indústria Nuclear de Potência
IPEN	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
IPQ	Indústria de Processos Químicos
MC-1	Mesa de Controle do Reator IEA-R1
OR	Operador de Reator
OSHA	<i>Occupational Safety and Health Administration</i> (U.S. Department of Labor)
OSR	Operador Senior de Reator
PE	Pessoal da Experimentação
P&ID	<i>Piping and Instrumentation Diagram</i>
PR	Proteção Radiológica
ROI	Divisão de Operação do Reator IEA-R1
SPP	Serviço de Proteção de Pessoal do Reator IEA-R1
SVAC	Sistema de Ventilação e Ar Condicionado



THORP	<i>Thermal Oxide Reprocessing Plant</i>
U.S. DOE	<i>United States Department of Energy</i>
U.S. EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
WIPP	<i>Waste Isolation Pilot Plant</i>

ANÁLISE DOS PROCEDIMENTOS DE PARTIDA DO REATOR IEA-R1 - UMA APLICAÇÃO DA TÉCNICA HAZOP -

Maria Eugênia Lago Jacques Sauer

RESUMO

Uma análise dos eventos tecnológicos catastróficos ocorridos neste século mostra que a falha humana e a vulnerabilidade de programas de gerenciamento de risco são contribuintes significativos para a concretização de acidentes potenciais. Em plantas e sistemas complexos nos quais a interface homem-máquina é grande, a possibilidade de falhas tende a ser maior. Deste modo, o conhecimento profundo dos perigos dos processos é de fundamental importância no treinamento de operadores, assim como na concepção e prática de planos mais eficazes de prevenção e gerenciamento dos riscos dos empreendimentos. Para o estudo dos procedimentos de partida do reator de pesquisa IEA-R1, utilizou-se a metodologia de Análise de Perigos de Processos *Hazard and Operability Study* (HazOp). A abordagem analítica qualitativa multidisciplinar do HazOp ofereceu meios de realizar uma revisão exaustiva do processo de partida do reator, contribuindo para melhorar o entendimento dos perigos associados aos possíveis desvios na execução desta rotina. O trabalho inclui um resumo histórico e uma descrição detalhada da técnica HazOp, exemplos da sua utilização na indústria de processos e de programas computacionais que estão sendo desenvolvidos para automatizar a aplicação do método. Foram analisadas 53 atividades dos procedimentos de partida, resultando em 25 recomendações de mudanças, abrangendo aspectos do projeto, operação e da segurança do reator, das quais 11 foram implementadas.

ANALYSIS OF THE IEA-R1 REACTOR START-UP PROCEDURES - AN APPLICATION OF THE HAZOP METHOD -

Maria Eugênia Lago Jacques Sauer

ABSTRACT

An analysis of technological catastrophic events that took place in this century shows that human failure and vulnerability of risk management programs are the main causes for the occurrence of accidents. As an example, plants and complex systems where the interface man-machine is close, the frequency of failures tends to be higher. Thus, a comprehensive knowledge of how a specific process can be potentially hazardous is a *sine qua non* condition to the operators training, as well as to define and implement more efficient plans for loss prevention and risk management. A study of the IEA-R1 research reactor start-up procedures was carried out, based upon the methodology *Hazard and Operability Study* (HazOp). The analytical and qualitative multidisciplinary HazOp approach provided means to a comprehensive review of the reactor start-up procedures, contributing to improve the understanding of the potential hazards associated to deviations on performing this routine. The present work includes a historical summary and a detailed description of the HazOp technique, as well as case studies in the process industries and the use of expert systems in the application of the method. An analysis of 53 activities of the IEA-R1 reactor start-up procedures was made, resulting in 25 recommendations of changes covering aspects of the project, operation and safety of the reactor. Eleven recommendations have been implemented.

1. INTRODUÇÃO

O reator nuclear de pesquisa IEA-R1 do IPEN-CNEN/SP entrou em atividade em 1957 e, desde a primeira criticalidade, tem operado sem nenhum registro de incidente que tenha causado qualquer prejuízo à saúde dos operadores e pesquisadores do reator, do público em geral ou ao meio ambiente.

O projeto da instalação incorpora características de proteção e segurança que visam manter os limites de exposição à radiação dos operadores e dos indivíduos do público abaixo dos limites definidos na norma CNEN NE 3.01, em condições normais de operação, e a proteção dos indivíduos, da sociedade e do meio ambiente contra a liberação acidental de radiação (IPEN, 1996a). Para minimizar a frequência de ocorrência de falhas de equipamentos e sistemas, o reator IEA-R1 conta com procedimentos de operação, manutenção e testes periódicos específicos. A provisão de treinamento técnico-operacional, por sua vez, está centrado na capacitação teórica e prática necessárias à execução correta e satisfatória das atividades previstas, visando a melhoria da confiabilidade dos operadores do reator. Contudo, sabe-se que a despeito do nível de treinamento, experiência ou habilidades individuais dos responsáveis pela condução da operação de qualquer planta, sempre existe a possibilidade de serem cometidos erros.

A caracterização do erro humano raramente é simples e direta, estando geralmente associada a uma identificação clara do comportamento ou do resultado esperado do indivíduo em relação a uma referência previamente estabelecida, como procedimentos padronizados, por exemplo. Quando as consequências de desvios nestes padrões são conhecidas e indesejáveis, é possível buscar meios de eliminar as suas causas ou ainda criar mecanismos de proteção para evitar a sua ocorrência. Partindo-se destas considerações, surgiu a motivação para realizar um estudo dos procedimentos de partida do reator IEA-R1.

A análise foi realizada seguindo-se o método *Hazard and Operability Study*, conhecido pela sigla HazOp, que é uma técnica qualitativa de Análise de Perigos de Processos (*Process Hazard Analysis – PHA*) criada em meados da década de 60 na *Imperial Chemical Industries* (ICI), no Reino Unido (KLETZ (1992); NOLAN (1994)). Trata-se de um método simples, estruturado, sistemático e detalhado de

análise, que tem se destacado pelas contribuições significativas na melhoria do projeto, operação e da segurança dos mais variados tipos de processos, motivos que também contribuíram na sua escolha para o desenvolvimento do tema ora proposto.

O início deste trabalho coincidiu com a revisão do projeto do reator IEA-R1 para o aumento da potência de 2 MW para 5 MW. Deste modo, a análise foi realizada com base nos procedimentos de partida do reator vigentes na época, ou seja, para 2MW de potência.

1.1 Objetivos do Trabalho

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Desenvolver um estudo de HazOp para antever as conseqüências indesejáveis, do ponto de vista operacional e da segurança da instalação, que podem ser geradas por possíveis desvios na execução das rotinas de partida do reator IEA-R1; e
- Avaliar a eficácia do estudo de HazOp, quando aplicado na análise de procedimentos.

1.2 Organização do Trabalho

O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica contendo um resumo histórico da técnica HazOp, exemplos da sua utilização na indústria de processos e os avanços que vêm sendo obtidos com projetos de automatização do método. Estão, também, incluídos neste capítulo os fundamentos teóricos, estrutura e procedimentos gerais do estudo de HazOp.

O Capítulo 3 reúne as informações utilizadas no desenvolvimento do trabalho, descreve as etapas de preparação que antecedem a realização do estudo, apresenta a aplicação do HazOp na análise dos procedimentos de partida do reator IEA-R1 e discute os resultados obtidos.

O Capítulo 4 está reservado às conclusões e recomendações resultantes do desenvolvimento do trabalho.

2. A TÉCNICA HAZOP

2.1 Apresentação e Resumo Histórico

O Estudo de Perigos e da Operação (Kletz, 1992) (mundialmente conhecido pela sigla HazOp, do inglês *Hazard and Operability Study*) é um método de Análise de Perigos de Processos que foi desenvolvido em meados da década de 60, no Reino Unido, quando a Divisão de Química Orgânica Pesada - mais tarde Petroquímica - da *Imperial Chemical Industries (ICI) Ltd.* estava projetando uma planta para a produção de fenol e acetona a partir do isopropilbenzeno. Como a empresa estava passando por um período de contenção de despesas, foram eliminados todos os itens do projeto da planta de fenol considerados não essenciais, gerando críticas por parte de alguns técnicos do Departamento de Produção da empresa que consideraram excessivos os cortes realizados no projeto.

O gerente de produção, K. W. Gee, decidiu então que deveria ser feito um estudo da planta que revelasse deficiências no projeto e indicasse a melhor maneira de se utilizar qualquer recurso financeiro extra que pudesse ser disponibilizado.

Na época, a técnica de análise de projetos mais utilizada na ICI chamava-se investigação crítica, que tinha por objetivo gerar alternativas de projeto, a partir de um questionamento sucessivo de um processo.

Para o estudo da planta de fenol foi formada uma equipe composta pelo o gerente de comissionamento (J.A. Wade), o gerente da planta (A. Barkes) e um especialista em estudo de métodos e investigação crítica (G.B. Harron).

Em 1964, a equipe reuniu-se durante 4 meses (288 horas) para examinar detalhadamente todos os diagramas de linha da planta de fenol. Porém, durante o estudo, o princípio da investigação crítica, que se baseava em encontrar alternativas de projeto foi alterado de tal modo que foram identificados desvios no processo. Como resultado, foram descobertos muitos perigos potenciais e problemas de operação que não haviam sido previstos no projeto. A nova abordagem deu origem ao Estudo de Perigos e da Operação (*HazOp Study*), como é atualmente conhecido.

O novo método, na ocasião denominado Investigação de Perigos, foi além de uma análise pura e simples do projeto da planta, buscando as causas de problemas no processo, investigando se as conseqüências resultantes poderiam colocar em perigo os operadores, a planta ou o produto e propondo, ainda, recomendações visando a melhoria do projeto da planta, da segurança do processo e a eliminação dos perigos identificados.

Logo o HazOp passou a ser utilizado em outras unidades da ICI.

Segundo Kletz (1992), o primeiro uso da técnica fora da ICI ocorreu em 1967, quando R.E. Knowlton conduziu um estudo para a Ilford Ltd., e a primeira publicação sobre HazOp foi um artigo de H.G. Lawley, de 1974, apresentado no *American Institute of Chemical Engineers Loss Prevention Symposium*, na Filadélfia, um ano antes (1973). Gradualmente, outras companhias adotaram o HazOp.

2.2 O Uso do HazOp

Apesar de originalmente desenvolvido na indústria química, o método HazOp logo passou a ser aplicado aos mais variados tipos de processos.

Atualmente, o HazOp é uma das técnicas de identificação de perigos mais bem aceitas por autoridades reguladoras - por exemplo, a *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) e o *U.S. Department of Energy* (U.S. DOE), ambos dos Estados Unidos, *German Disturbance Law* (Alemanha), *Dutch Safety Report* (Holanda), *United Kingdom Atomic Energy Authority* (Reino Unido) etc. (KNOWLTON (1992), GARCIA et al. (1994), PARRY (1988)) -, assim como pelas indústrias e órgãos financiadores. O Banco Mundial, por exemplo, tem financiado mais facilmente projetos que foram submetidos a estudos de HazOp. Ainda segundo KNOWLTON (1992), as companhias seguradoras estão reduzindo os prêmios para os seus clientes ou mesmo renegociando os valores das coberturas do seguro para plantas de alto risco que tenham sido submetidas a estudos de HazOp.

Algumas das qualidades do HazOp que têm justificado a sua escolha como ferramenta de análise são a simplicidade, versatilidade na aplicação e a uniformidade de abordagem que o método proporciona aos mais diferentes tipos

de instalações, o que facilita o processo de revisão da análise e diminui os custos da sua realização (MCGUISAN & RICHARDS, 1991).

Os resultados dos estudos de HazOp são também comumente utilizados para delinear cenários acidentais e na avaliação de alternativas de melhoria da operacionalidade e/ou segurança dos processos, incluindo procedimentos e outras atividades previstas.

Os itens a seguir ilustram variados campos de aplicação da técnica, retirados de algumas publicações de estudos já realizados e apontam alguns avanços obtidos na implementação de sistemas de automatização do método.

2.2.1 Indústria de Processos Químicos

A indústria química convencional, em especial, enfrenta o árduo desafio de atingir a produtividade do projeto, mantendo altos padrões de segurança em uma planta que seja fácil de operar. Esta tarefa é difícil, pois, embora as plantas sejam projetadas com extremo cuidado, ainda existem mais perigos e dificuldades operacionais do que se desejaria que existissem. Algumas das razões disso são:

- Os processos químicos são consideravelmente diversificados (refinarias, processamento de gás, produtos farmacêuticos, fabricação de explosivos, fabricação de inseticidas etc.), o que confere a cada tipo de processo características de perigo específicas.
- O manuseio de muitas substâncias químicas diferentes- cada qual com suas características de toxicidade, inflamabilidade etc. intrínsecas- em um único processo, bem como condições extremas de pressão e temperatura do processo, aumenta o número de ocorrências potenciais de falhas catastróficas.
- Os processos são geralmente complexos, podendo envolver a interação de dezenas de unidades. Por conseguinte, um distúrbio em uma parte do processo geralmente tende a se propagar para todas as outras partes, numa dinâmica que nem sempre é totalmente compreendida.

Estes aspectos podem tornar a identificação de perigos um exercício difícil e complicado, embora esta etapa seja de fundamental importância em um programa de prevenção de acidentes e de melhoria operacional de qualquer processo que ofereça algum tipo de perigo. Foi assim que a indústria de processos químicos (IPQ) tornou-se líder no desenvolvimento e uso de uma ampla variedade de técnicas centradas nesta finalidade. Exemplos incluem a Análise Preliminar de Perigos, o método *What-if?* e a Análise de Árvore de Falhas Qualitativa (AIChE, 1985). Porém, o método mais utilizado é consagrado na IPQ é o HazOp.

O HazOp foi pioneiro na IPQ, quando a ICI reconheceu os benefícios de se fundir os interesses da identificação de perigos com a melhoria da operacionalidade do processo. Desde o seu surgimento “formal”, com a publicação de LAWLEY, em 1974 (KLETZ, 1992), os estudos de HazOp se expandiram e evoluíram para se constituir num método padrão e muito utilizado, visando a melhoria da segurança da IPQ.

Algumas atividades que tem se beneficiado com a aplicação, incluem:

- O desenvolvimento e gerenciamento de grandes empreendimentos de empresas, como é o caso da *ARCO Chemical* (SWEENEY, 1993).
- A conceituação de projetos (MULVIHILL (1988); SHAFAGHI & COOK (1988)).
- A operacionalização do comissionamento e descomissionamento de plantas industriais (KNOWLTON, 1992).

Porém, o benefício mais significativo está relacionado a mudanças de ordem comportamental dentro da empresa, que podem advir da realização de um estudo de HazOp. Um exemplo disso, é o parecer emitido por CARLING apud KLETZ (1992), que descreveu o uso do método na *Bahrain Petroleum Co.* (BAPCO), da qual fazia parte em 1987, da seguinte maneira: “Os benefícios obtidos com a aplicação do HazOp foram muito além de uma simples lista de recomendações para tornar a planta mais segura. A interação entre os membros da equipe causou uma profunda mudança nas atitudes dos departamentos e dos indivíduos. O corpo técnico da empresa passou a buscar uma outra forma de discutir as possíveis conseqüências das mudanças de projeto propostas; os problemas foram discutidos mais abertamente, as barreiras e as rivalidades entre os departamentos diminuíram. Os perigos de se trabalhar isoladamente e as

conseqüências de um mal julgamento e de ações precipitadas passaram a ser melhor compreendidas. O conhecimento, as idéias e a experiência passaram a ser melhor compartilhadas para o benefício dos indivíduos e da companhia”.

A ARCO (*Atlantic Refining Company*) é uma empresa norte americana de grande porte, que atua na área petroquímica em diversos países do mundo como Venezuela, Reino Unido, Indonésia e Alasca, onde é dona de 21,3% da *Trans Alaska Pipeline System*. Uma das empresas, a *ARCO Chemical Company*, conduziu o seu primeiro estudo em 1979. A partir de então, os HazOps tornaram-se a espinha dorsal do Programa de Revisão de Perigos de Processos da companhia, passando a ser rotineiramente utilizados durante a elaboração de grandes projetos, nos processos de fabricação e em instalações de pesquisa e desenvolvimento da *ARCO Chemical* no mundo todo (SWEENEY, 1993).

Entre 1979 e 1986 foram realizados mais de 60 estudos de HazOp. A experiência adquirida pela companhia deixou evidente que é necessário existir um sistema gerencial de apoio à ferramenta para que se possa colher os benefícios da sua aplicação. Citando uma frase apresentada no documento *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*, citada por KLETZ (1992): "O sucesso dos estudos de HazOp ocorre como produto de um sistema de gerenciamento bem projetado que supervisiona e direciona o comprometimento e os recursos de uma organização".

Inicialmente os estudos da *ARCO Chemical* centralizaram-se em novos grandes projetos, enquanto que a atenção às instalações de fabricação existentes se seguiram gradualmente. Estes estudos resultaram em número substancial de recomendações, sendo implementado um número significativo de medidas preventivas e melhorias operacionais. Os teores substanciais dos estudos iniciais conduzidos pela companhia sustentaram o uso expandido da técnica. Em 1986, os gerentes de projeto já reconheciam o valor adicional que estes estudos representaram para a melhoria da engenharia do processo e do projeto como um todo. Depois disso, ocorreu uma transição similar entre as gerências da planta, que reconheceram o teor substancial dos HazOps, o que resultou no comprometimento das instalações de fabricação da *ARCO Chemical Company* em completar as revisões de HazOp, a serem conduzidas de uma maneira organizada no decorrer de muitos anos. Estes primeiros passos das revisões estavam completos para todas as fábricas da *ARCO Chemical Company* no final da década de 80.

A NOVACOR Chemical Ltd., localizada em Deer, Alberta, reconheceu que, desde 1984, quando o uso do HazOp foi institucionalizado, não houve um único incidente relacionado à segurança do processo durante o comissionamento ou a partida das unidades. Para a empresa, o estudo de HazOp elimina as condições do processo que resultam em incidentes inesperados. A NOVACOR Chemical Ltd. é uma das maiores indústrias de produção comercial de hidrogênio do mundo (KNOWLTON, 1992).

Para a ESSO Resources, em Calgary, o HazOp foi considerado um método excelente na identificação de perigos dos projetos de suas indústrias (KNOWLTON, 1992), especialmente por se concentrar em ocorrências não usuais, que não costumam ser tratadas durante a fase de desenvolvimento do projeto.

MULVIHILL (1988), que aplicou o HazOp na análise do projeto conceitual de uma plataforma de processamento de gás, avalia que os métodos de análise qualitativa (HazOp, Análise de Árvore de Falhas) são os mais úteis para a avaliação dos conceitos do projeto, modos de operação, e manutenção; eles são úteis também na definição dos perigos e na construção das seqüências de eventos perigosos. Estas seqüências de eventos podem ser estudadas, posteriormente, por meio de métodos quantitativos.

2.2.2 Indústria Nuclear

O método de análise de riscos tradicionalmente utilizado na indústria nuclear de potência é a Avaliação Probabilística de Risco (APR), que ficou conhecida com a publicação do Relatório WASH-1400, em 1975. Embora a APR tenha surgido aproximadamente na mesma época do método HazOp (1974), o seu uso na indústria convencional se difundiu mais lentamente do que o HazOp (SUTTON, 1990).

De modo similar ao que ocorreu na IPQ, o HazOp passou a ser adotado na análise de processos nucleares, abrangendo:

- A conceituação de grandes empreendimentos, como a usina de reprocessamento de urânio, *Thermal Oxide Reprocessing Plant* (THORP), no

Reino Unido (CLEMSON & SUNMAN, 1992), e o projeto do reator PIUS-600, nos Estados Unidos (FULLWOOD et al., 1993).

- Atividades de encapsulamento e estocagem de combustível irradiado, realizadas em plantas de isolamento de rejeitos radioativos, tais como a *Waste Isolation Pilot Plant* (WIPP) em Carlsbad, no Novo México, que é administrada pelo *United States Department of Energy* (U.S. DOE) (GERSTNER et al., 1996), e as instalações de estocagem provisória de combustível irradiado do Reator N, em Hanford, nos Estados Unidos (STRICKLAND, 1994).
- Sistemas de manuseio de rejeitos radioativos, como o processo de transferência de rejeitos radioativos líquidos de alta atividade para rejeitos derivados das atividades de produção de materiais bélicos (BOTT & SASSER, 1996) e os processos de manuseio de materiais químicos e radioativos presentes nos rejeitos radioativos transurânicos (GARCIA et al., 1994), ambos em Hanford, Estados Unidos.
- Licenciamento de unidades laboratoriais e de pesquisa em Harwell, no Reino Unido, envolvendo o uso de quantidades moderadas de material radioativo (MCGUISAN & RICHARDS, 1991).

Os reatores nucleares de potência operam segundo um conjunto de padrões já consolidado, como, por exemplo, normas de projeto, critérios e métodos de análise, procedimentos operacionais, testes etc. Os projetos e processos não têm sido inovados e já foram exaustivamente analisados sendo, portanto, bem conhecidos. Isto talvez justifique a aplicação dos estudos de HazOp apenas aos processos e atividades do setor nuclear, onde ainda os perigos e cenários acidentais não são totalmente conhecidos, como os exemplos anteriormente citados de inovações de projeto, processamento, manuseio e estocagem de combustível nuclear irradiado etc. Tais plantas e atividades são, em muitos casos, comparáveis àquelas encontradas na indústria de processos químicos convencional, como a diversidade e a complexidade dos processos e, também, a margem de segurança operacional, que é mais estreita.

Assim, muitas plantas que lidam com o manuseio, estocagem e/ou o processamento de materiais radioativos tem se beneficiado dos estudos de HazOp em aspectos relacionados ao melhor entendimento dos sistemas / projetos do processo, à identificação dos perigos e cenários acidentais resultantes de falhas de sistemas, erros de procedimento (GERSTNER et al.

(1996), STRICKLAND (1994)), incêndios, liberação de substâncias inflamáveis, explosivas, tóxicas e/ou radioativas dentro ou fora das instalações (GERSTNER et al. (1996), BOTT & SASSER (1996), CLEMSON & SUNMAN (1992)), identificação de pontos fracos de projeto/sistemas (FULLWOOD (1993), CLEMSON & SUNMAN (1992)), assim como o estabelecimento de medidas de remediação (modificação de projeto, instruções de operação e/ou de emergência etc.) para cenários de falha com consequências consideradas inaceitáveis, seja em razão da liberação de radioatividade como da probabilidade de ocorrência do evento (MCGUISAN & RICHARDS, 1991), identificação de condições anormais nos sistemas e atividades (GERSTNER et al. (1996), excursões de criticalidade (CLEMSON & SUNMAN (1992); MCGUISAN & RICHARDS (1991) etc.

A experiência de NAYAK & KHILNANEY (1994) com o estudo de HazOp realizado para uma planta de produção de água pesada em Manuguru, Índia, mostrou que embora o método seja sistemático e bem estruturado, quando se trata de sistemas de grandes dimensões o ideal é dividi-lo em partes menores, sendo fundamental que cada parte tenha suas intenções de projeto claramente definidas. Sistemas menores evitam a consideração de falhas múltiplas simultâneas, especialmente quando se está analisando a interação entre sistemas conectados, facilitando a visualização do provável cenário de falhas.

A IPQ e a indústria nuclear de potência (INP) compartilham muitas similaridades técnico-operacionais e, por isso, é natural que se possa incorporar um método desenvolvido em uma indústria na outra, adaptando-os às suas necessidades específicas (RIMINGTON, 1988). Para que isto seja feito com sucesso, é necessário, porém, que as similaridades, assim como as diferenças entre as duas indústrias sejam examinadas e bem entendidas. Algumas dessas diferenças são as seguintes:

- Os acidentes catastróficos na INP estão relacionados especificamente com o impacto da liberação de radioatividade (ou fusão do núcleo do reator). A IPQ, por sua vez, lida freqüentemente com uma quantidade ampla e variada de cenários de acidentes com consequências potencialmente sérias para os trabalhadores da planta e comunidade local, em função de uma mesma instalação geralmente envolver um número grande de processos, com diferentes substâncias perigosas.

- A ampla variedade de processos químicos existentes torna difícil a construção de um banco de dados de confiabilidade de equipamentos equivalente àqueles encontrados para a INP.
- As INP e a maioria das plantas químicas são complexas, consistindo de um número grande de equipamentos, instrumentos e procedimentos de operação. As plantas químicas chegam a ser mais complicadas do que as plantas nucleares, pois costumam operar com diversos circuitos, onde diferentes processos ocorrem simultaneamente, envolvendo muitas etapas que, em geral, não são completamente entendidas. Um dos principais fatores que tornou o método HazOp tão adequado à IPQ foi o seu potencial de identificar perigos de processos onde o conhecimento dos riscos associados é limitado ou inexistente.
- A INP e a IPQ operam segundo normas e legislação específicas, sendo que as exigências legais e cobranças sociais com relação às atividades nucleares são muito mais rigorosas do que em qualquer outra atividade industrial. Como resultado disso, são menores os casos em que os programas de gerenciamento de riscos na IPQ são obrigatórios.
- Uma planta química típica possui menos equipamentos de reserva (redundantes) e sistemas/instrumentação de segurança do que as instalações nucleares. Ao contrário do que ocorre nas plantas nucleares, isto resulta em um número maior de falhas simples com potencial de gerar consequências catastróficas.

2.2.3 Outras Aplicações do HazOp

Além dos processos químicos, petroquímicos e nucleares, a disseminação do HazOp tem ocorrido nos mais diferentes segmentos de atividades, como:

- Projetos de equipamentos mecânicos, tal como a aplicação do HazOp a um equipamento de condicionamento de ar residencial (SHAFAGHI & COOK, 1988).
- Indústria alimentícia (KLETZ, 1992), cuja ênfase é dada à identificação dos modos pelos quais é possível ocorrer contaminação dos alimentos produzidos.

- Mineração (KNOWLTON, 1992).
- Engenharia genética, como por exemplo na fabricação de produtos geneticamente modificados. Neste campo de aplicação, foi proposto um HazOp modificado, conhecido como GENHAZ, para a identificação dos modos pelos quais os organismos geneticamente modificados podem afetar o meio ambiente (KLETZ, 1992).
- Estudos para a aplicação do método à análise de segurança de *softwares* (MCDERMID et al. apud LAWRENCE & GALLAGHER, 1997) e *hardwares* (REDMILL et al. (1997); HEBBRON & FENELON (1997)).
- Agricultura, para a qual foram avaliadas a estocagem, transferência e aplicação da amônia anidra utilizada em adubação do solo (SPENCER & GRESSEL, 1993).
- Área médica, onde o HazOp foi utilizado para demonstrar os benefícios e restrições do emprego de um sistema de microscopia semi-automático para citologia cervical (CHUDLEIGH, 1994). O sistema de gerenciamento de informações que acompanha as operações laboratoriais do *West Middlesex University Hospital*, no Reino Unido, foi remodelado a partir dos resultados do estudo de HazOp de todas as atividades realizadas em seus laboratórios (FINK, 1994).

KENNEDY & KIRVAN (1998) desenvolveram uma proposta interessante de uma metodologia denominada SCHAZOP, destinada à identificação de vulnerabilidades nos processos de gerenciamento de segurança de instalações e atividades potencialmente perigosas, tais como plantas de geração nucleoe elétrica e de reprocessamento do combustível nuclear. As principais razões da escolha do HazOp como técnica de análise foram:

- Os problemas comportamentais estão relacionados a experiências subjetivas. A abordagem baseada no desenvolvimento do trabalho em grupo possibilita a inclusão de opiniões, atitudes e experiência de mais de um nível hierárquico da empresa.
- Os resultados são detalhados.
- O método é indutivo e, portanto, permite o tratamento de dados subjetivos.

2.2.4 Tendências do HazOp

As plantas químicas modernas estão ficando extremamente complexas. A complexidade dos processos, por sua vez, aumenta a vulnerabilidade dos equipamentos a falhas, aumentando, portanto, o risco de acidentes nas instalações e tornando a realização dos estudos de HazOp mais difícil, trabalhosa, demorada e, conseqüentemente, dispendiosa.

Paralelamente, a regulamentação está cada vez mais restritiva para as atividades potencialmente perigosas. Nos Estados Unidos, por exemplo, o governo federal, através da *Environmental Protection Agency* (U.S. EPA) e da *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) respondeu às preocupações crescentes do público com a segurança dos processos, com uma regulamentação que torna mandatória a análise dos perigos de processo para a maior parte das plantas químicas americanas (SRINIVASAN, 1996). O estudo de HazOp, que é uma das mais amplamente utilizadas e preferidas técnicas de análise de IPQ é citada na lista de métodos recomendados para a análise de perigos de processos da norma *40 CFR part 68: Chemical Accident Prevention Provisions*, promulgada pela EPA (U.S. EPA, 1999).

Tendo em vista estas considerações, estão surgindo diversos projetos de automatização do método, que têm como objetivo principal reduzir o tempo e, por conseguinte, o custo das análises por HazOp. Um estudo de HazOp típico pode consumir de 1 a 8 semanas para ser realizado, com custos em torno de US\$ 10.000 por semana (VAIDHYANATHAN et al., 1996).

SRINIVASAN & VENKATASUBRAMANIAN (1996) estão desenvolvendo o programa computacional *Batch HazOpExpert*, destinado à análise de processos que operam em regime de bateladas. Uma primeira versão deste programa foi testada em uma das etapas do processo de produção de uma droga utilizada no tratamento do câncer (Gencitamina), que é fabricada pela indústria farmacêutica *Eli Lilly Co.* Os autores pretendem aperfeiçoar este programa computacional, ampliando a sua abrangência para uso em sistemas mais complexos, incluindo a capacidade de incorporação de variáveis de controle e intertravamentos do processo de fabricação do produto.

VAIDHYANATHAN & VENKATASUBRAMANIAN (1996) também estão desenvolvendo um outro programa computacional (sistema especialista),

denominado *HazOpExpert*. Este protótipo foi aplicado a um processo industrial de desacidificação de água e os resultados deste estudo foram comparados aos obtidos por uma equipe de estudo de HazOp, obtendo-se o seguinte:

- O *HazOpExpert* analisou 734 desvios das variáveis de processo, produzindo, segundo os autores do artigo, um resultado muito extenso. Uma análise completa de HazOp, considerando todos estes possíveis desvios pode ser realizada em cerca de 1 hora no modo automatizado do *HazOpExpert*.
- A equipe de HazOp considerou um total de 12 nós, para os quais foram gerados 135 desvios das variáveis de processo, identificadas 32 causas e 32 consequências indesejáveis. Embora o número de desvios seja consideravelmente menor do que o obtido pelo programa computacional, todos estes resultados estão contidos naqueles gerados pelo *HazOpExpert*.

Sendo considerado pelos autores um programa rápido e bastante fácil de usar e atualizar, eles estão avançando no projeto no sentido de incluir informações quantitativas, visando uma triagem dos resultados e a classificação das consequências identificadas pelo *HazOpExpert*. O objetivo subsequente é disponibilizar o sistema como um produto comercial.

É importante comentar que, apesar do mercado não dispor, ainda, de sistemas computacionais que atendam as necessidades da indústria de processos como um todo, o consumo de tempo dos HazOps convencionais é compensado pelos benefícios que o seu uso tem trazido para as companhias. Um exemplo disso é a economia de projeto, uma vez que o custo das modificações na fase de projeto é menor, o processo pode ser otimizado, evitando-se gastos desnecessários com equipamentos que eventualmente podem ser substituídos ou eliminados, e os procedimentos podem ser elaborados, analisados e melhorados.

Atualmente existem também diversas ferramentas computacionais de apoio ao desenvolvimento de estudos de HazOp. Algumas destas ferramentas são as seguintes:

- DNV-Pro e o HAZSEC, da DNV Technica - DNV Software Products Division. O HAZSEC foi utilizado na análise do projeto do reator PIUS-600 (FULLWOOD et al., 1993).

- PHA-Pro 3.0, da *AcuTech Software Products*.
- HazOp Plus, da *Item Software (USA) Inc.*
- HazOp^{Plus}, da *IsographDirect*.
- PHA Leader 3.0, *ABS Group Inc.- Risk & Reliability Division*.
- HAZOP WIN, da *ITSEMAP*.
- HazOp-PC- *Version 3.0, PrimaTech*.
- Master Guide, da *Princípia – Engenharia de Confiabilidade e Informática*.

2.3 Descrição Geral do Método HazOp

O HazOp é um método de análise qualitativa concebido para orientar o exame detalhado das consequências ocasionadas por desvios nos padrões estabelecidos em projeto para as variáveis de um processo. As consequências destes desvios podem ser acidentes nas diferentes áreas da instalação, perdas na produção em razão de descontinuidade da operação, além de problemas que possam contribuir para a redução da qualidade operacional da instalação, danos à saúde e ao meio ambiente.

Apesar de se tratar de uma técnica estruturada e sistemática, não existe uma padronização quanto ao uso do método e à apresentação dos resultados dos estudos de HazOp, os quais podem variar consideravelmente, de acordo com as necessidades específicas do trabalho de interesse.

A base conceitual, estrutura e procedimentos gerais do método HazOp descritos nos itens a seguir baseiam-se, principalmente, nas abordagens apresentadas por KLETZ (1992), NOLAN (1994), PARRY (1986) e na publicação *Guidelines for Hazard Evalution Procedures* da AIChE (1985).

2.3.1 Características Principais do Método HazOp

Originalmente, o HazOp foi desenvolvido para antecipar problemas de operação e perigos em tecnologias onde a experiência anterior seja limitada ou inexistente.

O método pode ser usado em qualquer estágio da vida de uma instalação (AIChE, 1985). Porém, a melhor época para conduzir um HazOp é na fase final de projeto. Nesta fase, o projeto está suficientemente bem definido para a obtenção de respostas mais precisas às questões criadas na revisão do processo, além de possibilitar a introdução de modificações no projeto sem custos maiores.

Quando conduzido na fase conceitual de um projeto, o HazOp fica limitado ao estudo de aspectos de segurança. Para aplicação em um estágio de projeto detalhado, o método permite a identificação de todos os desvios no processo que podem causar impacto negativo na segurança e/ou na operação da instalação.

Nos estudos de modificações de plantas ou processos existentes, a técnica é particularmente útil quando existem registros de sua aplicação para o projeto original. Neste caso, o trabalho adicional necessário para considerar as implicações da modificação tende a ser menor.

A eficácia demonstrada pelo método, desde que foi utilizado pela primeira vez, tornou o HazOp uma das técnicas de identificação de perigos e prevenção de perdas mais utilizadas e bem aceitas mundialmente na indústria de processos (PARRY, 1986 & SCHLECHTER, 1996).

2.3.2 Terminologia do Estudo de HazOp

A estrutura do HazOp está fundamentada em um conjunto de conceitos básicos sistematicamente utilizados durante a aplicação da técnica. A familiaridade com os conceitos a seguir apresentados é essencial para a aplicação precisa e disciplinada do método.

Nós de Estudo - Localizações ou partes da planta (ou do processo) ou atividades nas quais são examinados os desvios hipotéticos impostos às suas variáveis de projeto.

Intenção de Projeto - Define a expectativa operacional da planta (ou processo) na ausência de desvios nos nós de estudo. Isto pode estar representado das mais variadas formas, podendo ser tanto descritiva quanto diagramática. Por exemplo, fluxogramas de processo, fluxogramas de engenharia (P&IDs), procedimentos operacionais etc.

Variáveis (ou parâmetros) de Processo – São fatores ou itens que definem a intenção de projeto em cada nó de estudo. Podem estar relacionadas a materiais, grandezas físicas do processo (por exemplo: temperatura, vazão, pressão, tempo), assim como a procedimentos ou atividades operacionais (ligar, transferir, adicionar, levantar etc.).

Palavras-Guias - São palavras simples, previamente definidas, usadas para qualificar a intenção de projeto, a fim de orientar e estimular o raciocínio na descoberta dos desvios das variáveis de processo. O uso de todas as palavras-guias pode gerar todos os possíveis desvios hipotéticos do processo. As palavras-guias mostradas na Tabela 1, acompanhadas de seus significados, são algumas das mais usadas em estudos de HazOp.

Tabela 1 - Exemplos de Palavras-Guias do HazOp e Significados

Palavras-Guias	Significado
Não, Nenhum	Negação da intenção de projeto
Menos	Diminuição quantitativa
Mais	Aumento quantitativo
Parte de	Diminuição qualitativa
Bem como / Mais do que	Aumento qualitativo
Reverso	Oposição lógica à intenção
Outra / Diferente de	Substituição completa

Em certos casos, a aplicação de uma palavra-guia a uma variável de processo pode gerar mais de um desvio ou mais de um significado para o mesmo desvio. Por exemplo, o desvio "Mais Reação", gerado pela combinação da palavra-guia "Mais" com a variável "Reação" pode significar que: (1) a reação está ocorrendo em uma velocidade maior; ou (2) uma quantidade maior de reagentes está reagindo. Notar que as duas condições resultam em maior quantidade de produto.

Existem também situações nas quais alguns desvios potenciais podem ser eliminados devido às limitações físicas das variáveis do processo. Por exemplo, para a intenção de projeto de um nó de processo, com relação à temperatura e/ou pressão, as combinações "mais" ou "menos" podem ser as únicas possibilidades.

Para determinadas variáveis de processo, a modificação de palavras-guias pode ser conveniente para facilitar o seu uso na definição dos desvios, como por exemplo:

- ANTES (MAIS CEDO) ou DEPOIS (MAIS TARDE) em substituição a DIFERENTE DE, quando se considera o tempo.
- EM OUTRO para DIFERENTE DE, quando se considera posição, fontes ou destinação, lugar.
- MAIS ALTO ou MAIS BAIXO no lugar de MAIS ou MENOS, para elevações, temperaturas ou pressões.

Quando se está lidando com intenções de projeto que envolvam um conjunto complexo de variáveis de processo inter-relacionadas - por exemplo, taxa de reação, composição, temperatura, pressão - pode ser mais adequado o uso de uma seqüência completa de palavras-guias para cada variável individualmente, ao invés de se aplicar cada palavra-guia ao conjunto de variáveis como um todo. Também quando se trata da análise de um conjunto de frases ou sentenças, como é o caso de procedimentos operacionais, podem ser obtidos melhores resultados quando se aplica uma seqüência de palavras-guias a cada palavra ou frase separadamente, iniciando-se com a palavra-chave da frase que descreve a atividade (normalmente verbos ou advérbios). Estas palavras-chaves da sentença estão relacionadas aos impactos sobre as variáveis do processo. Por exemplo, na sentença "O operador inicializa o fluxo A com a abertura da válvula X, quando atingida a pressão B". As palavras-guias podem ser aplicadas, por exemplo, da seguinte maneira:

- Fluxo A (nenhum, mais, menos etc.).
- Quando atingida a pressão B (antes, depois etc.).
- Abertura da válvula X (antes, depois, não (abre)).

Desvios - São as fugas da intenção de projeto a serem analisadas e que são impostas ao processo por meio da aplicação sistemática de palavras-guias. A composição de uma variável de processo com uma palavra-guia caracteriza um desvio hipotético de uma intenção de projeto. Por exemplo, Palavra-guia = “não”; Variável de Processo = “abrir”; Desvio = “Não abre”.

A Tabela 2 apresenta alguns desvios de variáveis de processo gerados com a aplicação de palavras-guias.

Tabela 2 - Palavras-Guias e Exemplos de Desvios de Variáveis de Processo ou de Intenções de Projeto

Palavra-Guia	Desvio
Não / Nenhum	Não abre, Nenhum fluxo, Não transfere Não agita, Não seca, Não neutraliza
Mais / Maior / Alta / Demais / Longo	Alta pressão, Alta temperatura, Maior fluxo Maior agitação, Alta concentração Nível alto, Adição de material em demasia Longo período de alimentação
Menos / Menor / Baixo / De menos / Pouco	Baixa pressão, Baixa temperatura Baixo fluxo, Menos agitação Baixa concentração, Nível baixo Adição de muito pouco material Curto período de alimentação
Reverso	Fluxo reverso, Fluxo não programado
Parte de	Composição do sistema diferente do que deveria ser, p.ex., mudança na relação entre os componentes, componente faltando etc.
Bem como / Mais do que	Adição do material X bem como do material Y Mais componentes presentes no sistema do que deveriam haver, p.ex., fase extra presente (vapor, sólido), impurezas (ar, água, ácido, produtos de corrosão) etc.
Outro / Diferente de	Tudo aquilo que pode acontecer além da operação normal do sistema, p.ex., partida, desligamento, operação alternativa, falha de utilidades, manutenção, mudança de catalisador etc.

Existem muitas combinações lógicas entre palavras-guias e variáveis de processo que podem ser adotadas para produzirem maior variedade e flexibilidade de análise em relação às comumente utilizadas. Assim, cabe àqueles que estiverem desenvolvendo um estudo de HazOp estabelecer quais as combinações que são significativas e quais não produzem efeitos no sistema.

Causas - São as razões pelas quais os desvios podem ocorrer. Uma vez que um desvio possua uma causa crível, ele pode ser tratado como um desvio significativo. Estas causas podem ser falhas de equipamento (*hardware*), erros humanos, um estado de processo não previsto (por exemplo, mudança na composição), interrupções externas (por exemplo, perda de energia elétrica) etc.

Conseqüências - São os resultados que os desvios podem gerar. Por exemplo: perdas (interrupção de negócios, atividades, danos à propriedade etc.); ferimentos em pessoas; contaminação ambiental; efeitos nocivos à saúde; dificuldades operacionais; manutenção excessiva, liberação de materiais tóxicos. Conseqüências insignificantes, com relação aos objetivos do estudo, são geralmente ignoradas.

Perigos - São as possíveis situações que, se concretizadas, podem ter a capacidade de causar danos a equipamentos e/ou efeitos nocivos à saúde e ao meio ambiente.

2.3.3 Descrição Geral do Procedimento de um Estudo de HazOp

O estudo de HazOp consiste na revisão de um processo em uma série de reuniões, durante as quais uma equipe multidisciplinar, conduzida por um líder, discute o projeto de uma planta em busca de perigos e problemas operacionais, seguindo uma estrutura pré-estabelecida.

A equipe concentra-se em pontos específicos do processo, denominados nós de estudo, que são, normalmente, indicados pelo líder da equipe de analistas, durante as reuniões.

O exame de cada nó é feito a partir da imposição de desvios hipotéticos às variáveis de controle a ele associadas. Os desvios são introduzidos de maneira ordenada e sistemática, assegurando a cobertura exhaustiva de todos os desvios

de processo em todos os nós. O líder da equipe, geralmente um profissional com experiência em estudos de HazOp, orienta os demais especialistas durante o exame do processo, usando um conjunto de palavras-guias. A composição de palavras-guias com variáveis do processo produz os desvios dos padrões operacionais associados a cada nó. Cada desvio é minuciosamente analisado quanto às suas causas e conseqüências. A partir das conseqüências, a equipe decide se os desvios são insignificantes, se configuram problemas operacionais ou constituem um perigo potencial. Quando as causas e conseqüências são indesejáveis e não existem provisões de projeto (sistemas ou intervenções do operador) para evitar ou limitar tais agentes e efeitos do desvio, a equipe propõe ações visando a melhoria do processo e/ou da segurança.

Durante a revisão do processo, deve-se evitar a centralização de esforços em tentativas de encontrar soluções que não sejam muito aparentes, porque o objetivo principal do HazOp é a identificação de problemas. Quando a equipe identifica a causa de um desvio, mas desconhece os seus efeitos, deve recomendar a realização de estudos posteriores para a determinação das possíveis conseqüências (AIChE, 1985).

Tendo examinado completamente um nó do processo e registrado todos os perigos potenciais ou considerações específicas a ele associados, o estudo avança para focalizar a atenção no próximo nó. O exame é repetido do mesmo modo até que todos os nós do processo tenham sido revisados.

O fluxograma apresentado na Figura 1 ilustra a seqüência de desenvolvimento de um estudo de HazOp.

O registro do estudo é feito em uma tabela, cujo formato padrão é, em geral, definido pelo líder da equipe antes da realização do HazOp, segundo os objetivos específicos do estudo.

A revisão em equipe do processo oferece condições de induzir os membros participantes (especialistas em segurança, operadores, projetistas etc.) a uma contribuição conjunta com a experiência de cada um sobre a operação da planta e perigos específicos, favorecendo, deste modo, a realização de um estudo variadamente amplo e aprofundado, e o aproveitamento da experiência técnica disponível.

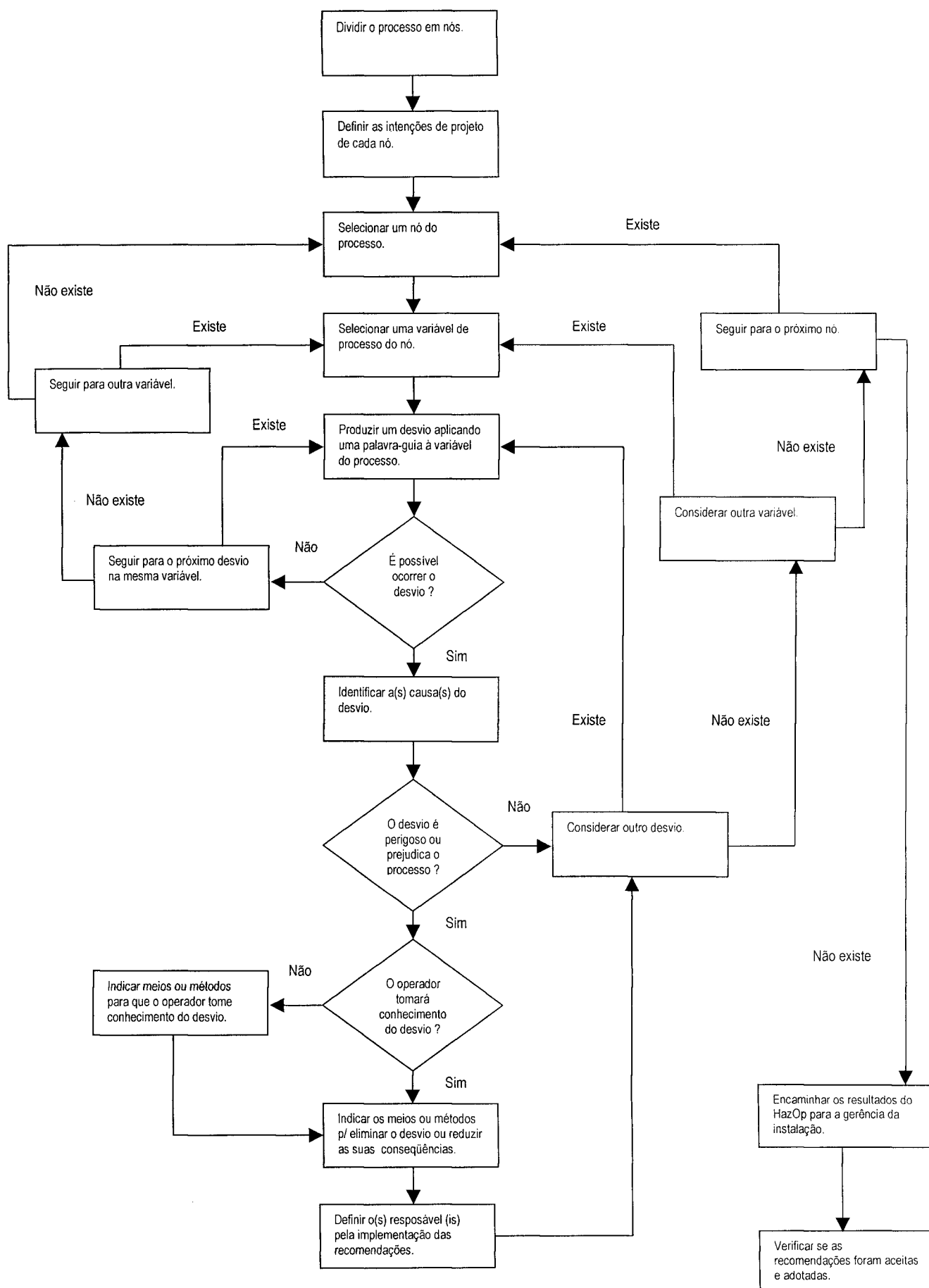


Figura 1 - Procedimento Sequencial de um Estudo de HazOp

A lista de palavras-guias estimula o pensamento lógico dos analistas para detectar virtualmente todas as anormalidades concebíveis do processo.

O método pode ser aplicado a qualquer tipo de planta ou operação, independente do nível de complexidade, desde que a lista de palavras-guias seja adequadamente escolhida. Existem muitas variações destas listas de palavras-guias. Algumas estão voltadas para situações específicas e as palavras-guias refletirão isto.

A técnica tende, inevitavelmente, a gerar muitos desvios hipotéticos e seu sucesso ou falha dependerá de fatores como:

1. Experiência do líder da equipe na aplicação do método.
2. Completeza e precisão de desenhos e outros dados usados como base na revisão.
3. Familiaridade dos integrantes da equipe com o projeto e a operação da planta ou de unidades de processo similares.
4. Profundidade de abordagem do processo adotada pela equipe e o grau de especificidade alcançado no estudo.
5. Perícia da equipe para usar o método como um auxílio à sua imaginação na visualização dos desvios, causas e conseqüências.
6. Capacidade da equipe para concentrar-se nos problemas mais sérios identificados.

Em um estudo de HazOp a operação é tão importante quanto a identificação dos perigos. Na maioria dos estudos, são detectados muito mais problemas operacionais do que identificados perigos. A eliminação de problemas operacionais, por sua vez, diminui a freqüência dos erros humanos e, conseqüentemente, os perigos.

Existem diferentes tipos de estudos, com diferentes objetivos, que podem ser feitos em diferentes estágios do projeto. O nível de detalhe e a composição da equipe de análise deverão ser escolhidos de acordo com a meta estabelecida.

2.4 Equipe Técnica do Estudo de HazOp

O estudo de HazOp é realizado por uma equipe formada por um líder e por profissionais com experiência nas áreas relacionadas ao processo a ser analisado.

O número de integrantes do grupo varia de acordo com os objetivos do estudo e a complexidade do processo. Quando as equipes são pequenas o suficiente, ou seja, contemplam as áreas de conhecimento necessárias para garantir a integridade e completeza do estudo, a interação entre os seus participantes tende a ser maior, tornando a condução das reuniões mais fácil, e, por conseguinte, aumentando a produtividade do trabalho. Segundo alguns especialistas em HazOp (NOLAN (1994); KLETZ (1992); PARRY (1986); AIChE (1985)) o ideal é reunir, no máximo 6 ou 7 pessoas de áreas de conhecimento diferentes.

NOLAN (1994) e KLETZ (1992) recomendam que o líder da equipe possua nível de engenheiro ou equivalente, devendo ser um especialista na técnica HazOp. Em outras palavras, o profissional deve ter recebido treinamento especializado para aplicar o método e ter conduzido, pelo menos, um ou dois estudos reais de HazOp.

A função principal do líder é garantir que o grupo siga os procedimentos do método e que se preocupe em identificar os perigos e problemas operacionais, mas não necessariamente resolvê-los, a menos que as soluções sejam óbvias. Esta pessoa deve ter experiência em liderar equipes e deve ter como característica principal a capacidade de prestar atenção meticulosa aos detalhes da análise.

O líder do estudo dirige as reuniões e tem a responsabilidade de assegurar que elas sejam eficazes. Como a eficácia do estudo depende do aproveitamento do tempo disponível para a identificação dos perigos, é importante que discussões alheias à análise sejam minimizadas. O líder do estudo poderá encerrar uma reunião no momento em que esta se torna improdutiva e poderá excluir qualquer membro da equipe que esteja de algum modo comprometendo a eficiência ou eficácia do estudo (REDMILL, 1997).

Todos os membros da equipe devem estar intimamente familiarizados com o tipo de processo a ser analisado. Porém, o ideal é que nem todos estejam diretamente envolvidos no projeto da instalação. Isto permite-lhes conferir um aspecto independente ao processo de revisão.

Tipicamente, uma equipe de estudo de HazOp inclui representantes das seguintes áreas (NOLAN (1994); PARRY (1986); AIChE (1985)):

- Operação da Instalação;
- Projeto, Processo, Treinamento;
- Manutenção Mecânica, incluindo testes de equipamentos e sistemas;
- Elétrica, Instrumentação e Controle, incluindo manutenção e testes; e
- Engenharia de Segurança.

Em certas ocasiões pode ser necessário o auxílio de especialistas em outras atividades. Na área nuclear, pode-se citar como exemplo a Proteção Radiológica e Análise de Acidentes.

Assim, os requisitos da equipe técnica para estudos de HazOp variam com a complexidade do processo (DOE-HDBK-1100-96). O tempo e custo, por sua vez, são proporcionais à dimensão do processo que está sendo analisado e à experiência do líder e dos membros da equipe (DOE-HDBK-1100-96 (1996); AIChE (1985)).

Segundo o DOE-HDBK-1100-96 (1996), SWEENEY (1993) e KLETZ (1992), por exemplo, o ideal é que as reuniões tenham duração limitada entre 9 e 12 horas semanais, para evitar o cansaço mental dos membros da equipe.

Com exceção do líder, não é necessário que os demais analistas estejam treinados em estudos de HazOp, uma vez que o método pode ser aprendido pelos participantes da equipe ao longo do desenvolvimento dos trabalhos. Porém, é fundamental que tais pessoas sejam competentes em suas funções e peritos no processo que está sendo analisado, pois nenhum método, por melhor que seja, substitui a competência técnica de um profissional.

Quando uma parcela significativa da equipe desconhece o HazOp, o líder faz, em uma primeira reunião, uma explanação do método aos demais integrantes do grupo.

Ao líder, cabem as seguintes responsabilidades:

1. Definir o escopo do estudo;
2. Obter e analisar os dados necessários;
3. Planejar e preparar o estudo (inclui plano de trabalho, definição das intenções de projeto, estimativa de duração do estudo, recursos materiais e humanos necessários, formatação da tabela de HazOp);
4. Escolher a equipe técnica de analistas;
5. Planejar e organizar as reuniões (local, data e duração); e
6. Conduzir as reuniões técnicas e documentar o estudo.

No estudo de um mesmo processo, o ideal é contar sempre com a participação da mesma equipe. Ausências freqüentes, assim como eventuais substituições comprometem a produtividade e a qualidade do trabalho.

Também é importante que o grupo tenha autonomia suficiente para decidir sobre a maioria das alterações propostas, sem necessitar de referendos externos. O andamento do estudo torna-se lento se toda alteração tiver que ser relatada a alguém que não esteja presente e não faça parte do grupo de trabalho.

Um requisito fundamental para o sucesso de um estudo de HazOp é que todos os membros da equipe contribuam nas discussões produzidas pelos questionamentos impostos ao processo pela aplicação da técnica, uma vez que troca de informações estimula a geração de idéias. Assim, o HazOp oferece uma oportunidade aos especialistas de trazerem à luz o conhecimento e experiência adquiridos durante a sua vida profissional.

Esta dinâmica de grupo deve ser garantida pelo líder de equipe. O líder atua também como facilitador, propondo as palavras-guias a serem aplicadas às variáveis do processo, e como mediador, quando há necessidade de reconduzir o estudo para o tópico central em análise, ou orientar possíveis discussões quanto aos diferentes pontos de vista apresentados para cada item do processo.

3. HAZOP DOS PROCEDIMENTO DE PARTIDA DO REATOR IEA-R1

3.1 Descrição Geral do Reator IEA-R1

O reator nuclear de pesquisas IEA-R1 do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) está localizado no Campus da Universidade de São Paulo na Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira, em São Paulo, SP (IPEN, 1996a).

O reator é do tipo piscina, projetado pela *Babcock & Wilcox Company*, tendo atingido sua primeira criticalidade em 16 de Setembro de 1957.

As finalidades do reator são:

- Produção de radioisótopos para aplicações na medicina, indústria, agricultura e para pesquisas;
- Servir como uma fonte intensa de nêutrons em experimentos científicos de física nuclear, química, engenharia e biologia;
- Treinamento do corpo científico do IPEN-CNEN/SP em física de reatores, projetos, desenvolvimento de instrumentação nuclear e segurança de reatores;
- Treinamento e formação de operadores de reator; e
- Análise radioquímica de amostras pelo do método de análise por ativação.

Durante os três primeiros anos de operação, a potência do reator foi de até 1 MW. De 1960 a 1995, o regime de operação do reator foi de 2 MW de segunda a sexta-feira, das 8:00h às 17:00h, com uma parada a cada 15 dias, nas segundas-feiras, para manutenção preventiva e corretiva. A partir de Novembro de 1995, o reator teve seu regime de operação modificado para 64 h ininterruptas visando a produção de ^{153}Sm e o atendimento ao corpo científico do IPEN. A crescente demanda e o surgimento de novas aplicações de radioisótopos para o uso em medicina tais como ^{153}Sm , ^{125}I e o ^{99}Mo , tornou necessária a alteração do regime de operação e o aumento da potência do reator para 5 MW. Ainda no ano de 1995, foi dado início ao projeto de adequação da instalação para o aumento de potência, visando este novo ritmo de trabalho.

3.2 Processo de Partida do Reator IEA-R1

A partida do reator IEA-R1 caracteriza-se pela passagem do reator da condição de desligado para a condição de crítico, tendo assim condições para elevação de potência. Este processo dá-se por meio da realização de atividades definidas na rotina de partida do reator, que também determina os responsáveis pela sua condução.

A responsabilidade pelo cumprimento dos procedimentos de partida do reator é das equipes de Operação e de Proteção Radiológica do IEA-R1.

A rotina de partida do reator consiste basicamente de uma Lista de Verificação Inicial (IPEN, 1991a), onde constam o número e a data da operação do reator, o número do arranjo dos elementos combustíveis correspondente à operação que será iniciada e um conjunto de instruções elaboradas e reunidas numa seqüência pré-estabelecida, que deve ser sistematicamente seguida, para assegurar o controle do processo de partida.

A Lista de Verificação Inicial mostrada na Figura 2 é composta de itens que vão sendo rubricados pelo operador de reator, à medida que vão sendo executados.

As atividades de partida do reator consistem basicamente em:

- Ativar a mesa de comando do reator e testar todos os circuitos elétricos e eletrônicos e dispositivos de controle e segurança nela instalados. Por exemplo: canais de partida e de segurança do reator, mecanismos de acionamento de barras, atuação do circuito lógico de desligamento automático do reator e sistema de alarmes a ele associado, lâmpadas, indicadores, registradores, chaves/botões de acionamento etc.; e
- Acionar e verificar a operacionalidade de outros conjuntos auxiliares (sistemas e dispositivos) necessários ao funcionamento e controle do reator.

Após terem sido realizados todos os testes de calibração, correções e verificações necessários, o operador ajusta a instrumentação do reator para operar no nível de demanda de potência desejado, e inicia a fase de movimentação de barras de segurança e controle, até se atingir a criticalidade.

A conclusão de todos os itens desta lista, correspondentes à potência de operação prevista, habilita o aumento da potência do reator. Os participantes desta verificação colocam, então, o seu nome, rubrica e função em local apropriado da lista. O operador senior de reator (OSR) faz uma última verificação de todos os itens rubricados e assina. Há, no final dos itens de verificação, um local reservado para observações.

A partida do reator é conduzida e controlada na mesa de controle ilustrada na Figura 3, localizada na Sala de Controle do Reator, cujo *lay-out* é apresentado na Figura 4. Alguns detalhes da mesa de controle do reator são destacados nas Figuras 5 e 6. Os painéis auxiliares B, C e D indicados, respectivamente, nas Figuras 7, 8, 9 e 10 são também utilizados para a monitoração de algumas variáveis utilizadas como referência no processo de partida (IPEN, 1996b).

LISTA DE VERIFICAÇÃO INICIAL		REN - REATOR IEA-R1
OPERAÇÃO Nº:	DATA:	CONFIGURAÇÃO:
ETAPAS DE PROCEDIMENTO	DESCRIÇÃO DAS ETAPAS	RUBRICA
01. Programa de Operação APROVADO pelo Supervisor da ROI		(.....)
02. Programa de Operação APROVADO pelo Supervisor da SPP		(.....)
03. Ligar CHAVE "C.B.I".		(.....)
04. Ligar CHAVE "POWER ON"		(.....)
05. Ligar CHAVE "MAGNET POWER"		(.....)
06. Ligar REGISTRADOR LOG/LINEAR anotando: data, operação e horário		(.....)
07. Ligar SISTEMA DE ALARME DE RADIAÇÃO		(.....)
08. Ligar SISTEMA DE MONITORAÇÃO DE PORTAS		(.....)
09. Ligar MONITOR DE CIRCUITO INTERNO DE T.V.		(.....)
10. Ligar AMPLIFICADOR DE SOM.		(.....)
11. Testar LÂMPADAS DO PAINEL (lamp test)		(.....)
12. Testar LÂMPADAS DOS "BEAM HOLES" (lamp test)		(.....)
13. Testar "MAGNET C.K.T. TROUBLE"		(.....)
14. Testar "PERIOD LOG" em mais três segundos		(.....)
15. Testar POTENCIÔMETROS "TRIPS" em 10% e 110% da potência		(.....)
16. Testar "SAFETIES" 1, 2 e 3 nas posições "zero" e "calibrate"		(.....)
17. Testar "REACTOR POWER" nas posições "zero" e "calibrate" e posicionar na escala adequada		(.....)
18. Verificar se o SISTEMA DE VENTILAÇÃO está em operação		(.....)
19. Verificar se o SISTEMA DE ALARME DE INCÊNDIO está ligado		(.....)
20. Verificar se a CHAVE "MODE SELECTOR" está em manual e posicionar na porcentagem adequada		(.....)
21. Verificar se os MECANISMOS DAS BARRAS estão inseridos		(.....)
22. Verificar se o CANAL LOG está indicando contagem		(.....)
23. Verificar as seis posições de calibração do MEDIDOR LOG		(.....)
24. Verificar se os "BEAM HOLES" FECHADOS estão com luzes verdes acesas sem "by pass" (n ^{os})		(.....)
25. Verificar se os "BEAM HOLES" ABERTOS estão em "by pass" com conhecimento da SPP (n ^{os})		(.....)
26. Verificar se os INDICADORES DE CONDUTIVIDADE estão ligados		(.....)
27. Verificar se os MONITORES DE RADIAÇÃO DE AR E ÁREA estão ligados		(.....)
28. Verificar o NÍVEL DE ÁGUA da piscina		(.....)
29. Inspeccionar o NÚCLEO DO REATOR		(.....)

Se em operação que EXIJA o funcionamento do sistema de refrigeração do reator

30. Ligar REGISTRADOR DE TEMPERATURA anotando: operação e horário	(.....)
31. Ligar REGISTRADOR DE VAZÃO, N-16, ΔP	(.....)
32. Ligar CHAVE DO N-16.....	(.....)
33. Verificar se o ALARME DE NÍVEL DE ÁGUA DAS TORRES DE REFRIGERAÇÃO não está acionado (painel da mesa de controle)	(.....)
34. Verificar se existe PRESSÃO NO COMPRESSOR DE AR COMPRIMIDO (manômetro na sala de controle).....	(.....)
35. Manter em condições de operar os VENTILADORES DA TORRE DE REFRIGERAÇÃO	(.....)

Figura 2 - Lista de Verificação Inicial do Reator IEA-R1 (folha1/2) (IPEN, 1991a)

36. Manter em condições de operar o SISTEMA PNEUMÁTICO DE IRRADIAÇÕES.....	(.....)
37. Conferir o posicionamento dos ELEMENTOS DE IRRADIAÇÃO	(.....)
38. Abrir a válvula VP-1 e VP-9 na sala de máquinas	(.....)
39. Drenar "BEAM HOLES".....	(.....)
40. Levantar "HEADER" e ligar a(s) BOMBA(S) DO CIRCUITO PRIMÁRIO	(.....)
41. Ligar a(s) BOMBA(S) DO CIRCUITO SECUNDÁRIO	(.....)
42. Corrigir as CONDIÇÕES DE "SCRAM"	(.....)
43. Subir as BARRAS DE SEGURANÇA e de CONTROLE 50 divisões	(.....)
44. SIMULAR e em seguida CORRIGIR um tipo qualquer de "SCRAM"	(.....)
45. Fazer as PREVISÕES DAS POSIÇÕES DAS BARRAS para criticalidade	(.....)
46. Trancar a PORTA DA SALA DE MÁQUINAS e levar a CHAVE para a sala de controle.....	(.....)

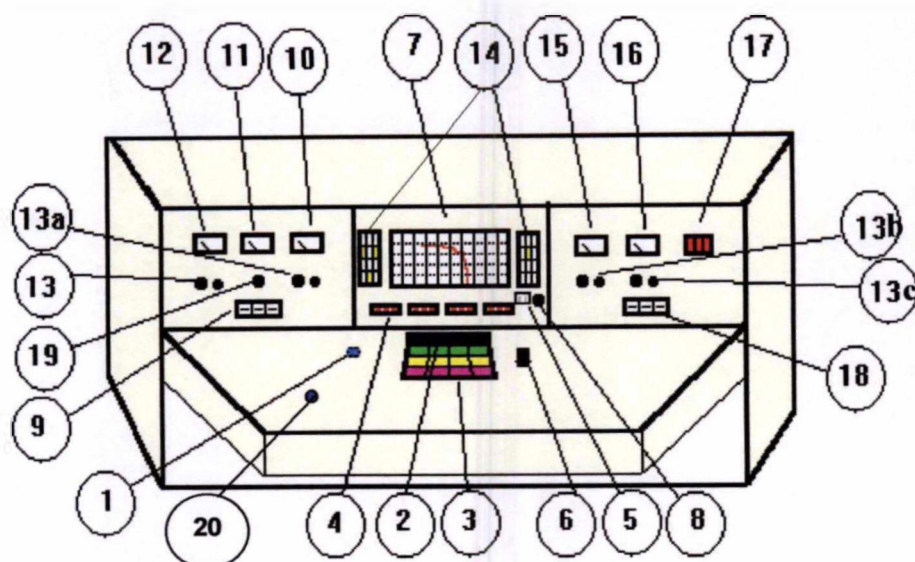
Se em operação que NÃO EXIJA o funcionamento do sistema de refrigeração do reator

30. Acionar "BY PASS" DO CIRCUITO PRIMÁRIO	(.....)
31. Acionar "BY PASS" DO ΔP	(.....)
32. Acionar "BY PASS" DO "HEADER".....	(.....)
33. Corrigir as CONDIÇÕES DE "SCRAM"	(.....)
34. Subir a BARRA DE CONTROLE 50 divisões.....	(.....)
35. Subir as BARRAS DE SEGURANÇA 50 divisões.....	(.....)
36. SIMULAR e em seguida CORRIGIR um tipo qualquer de "SCRAM"	(.....)
37. Fazer as PREVISÕES DAS POSIÇÕES DAS BARRAS para criticalidade	(.....)

EXECUTOR (NOME LEGÍVEL)	RUBRICA	FUNÇÃO

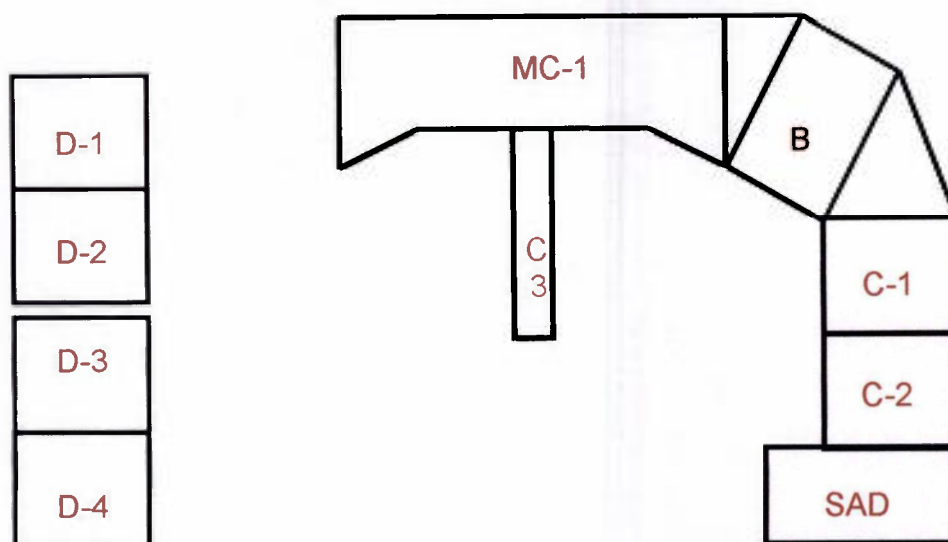
OBSERVAÇÕES: _____ _____ _____ _____ _____ _____

Figura 2 - Lista de Verificação Inicial do Reator IEA-R1 (folha 2/2)) (IPEN, 1991a)



1. Chave da Mesa de Controle.
2. Alavanca de *Scram*.
3. Botões para energizar magnetos (botões luminosos: *CONT/ON* (luzes azul e amarela, respectivamente) e movimentar barras (*UP*, *DOWN*)).
4. Indicadores de posição das barras.
5. Chave *FLUX CONTROL* (também chamada *MODE SELECTOR*): Seleção AUTOMÁTICO / MANUAL.
6. Chave *REACTOR POWER*: chave de escalas do canal linear com 15 posições no intervalo 0,3 MW a 30 MW.
7. Registrador de potência (registro duplo: linear e logarítmico).
8. Dial de *DEMANDA DE POTÊNCIA (% DEMAND)*.
9. Anunciadores de *TRIP* do Canal de Partida e do Canal de Segurança 1.
10. Indicador *PERIOD SECONDS*: indicador de período do canal de faixa ampla.
11. Indicador *PERCENT POWER*: indicador logarítmico de potência (canal Campbell), com escala 10^{-8} até 100.
12. Indicador *PERCENT POWER*: indicador de % de potência do Canal de Segurança 1, com escala 0 até 110.
13. Chaves *ZERO/OPERATE/CALIBRATE* (à esquerda) e *TRIP TEST* do Canal de Segurança 1 (*SAFETY CHANNEL 1*).
- 13a. Chaves *ZERO/OPERATE/CALIBRATE* à esquerda) e *TRIP TEST* do Canal de Segurança 2 (*SAFETY CHANNEL 2*).
- 13b. Chaves *ZERO/OPERATE/CALIBRATE* (à esquerda) e *TRIP TEST* do Canal de Segurança 3 (*SAFETY CHANNEL 3*).
- 13c. Chaves de teste *PERIOD LOG* de seis posições (à esquerda) e *TRIP TEST* (à direita).
14. Quadro anunciador de alarmes (à direita) e quadro anunciador de *SCRAM* (à esquerda).
15. Indicador *PERCENT POWER*: indicador de % de potência do Canal de Segurança 2, com escala 0 até 110.
16. Indicador *PERCENT POWER*: indicador de % de potência do Canal de Segurança 3, com escala 0 até 110.
17. Indicador desativado.
18. Anunciadores de *TRIP* relacionados aos Canais de Segurança 2 e 3.
19. Chave *AUDIO RANGE*: chave para seleção de áudio.
20. Chave *MAGNET POWER*.

Figura 3 - Mesa de Controle do Reator IEA-R1 (IPEN, 1996b)



Legenda:

- MC-1** : Mesa de Controle.
- B** : Painel Auxiliar B.
- C-1/2** : Painéis Auxiliares C1 e C2.
- C-3** : Painel de Comunicação.
- D-1/2/3/4** : Painéis Auxiliares D1, D2, D3 e D4.
- SAD** : Sistema de Aquisição de Dados.

Figura 4 - Lay-out da Sala de Controle do Reator IEA-R1 (IPEN, 1996b).

RAD LVL POOL	BRIDGE LOCK	MANUAL SCRAM
RAD LVL BEAM ROOM	PRIMARY FLOW	PRIMARY FLOW
	A BY-PASS	B BY PASS
BEAM DOOR	ΔP CORE	INLET TEMP A
MAN RESET	HEADER UP	INLET TEMP B

Quadro anunciador de *SCRAM*
(variáveis de processo)
(item 14 da Figura 3)

AREA MONITOR	A TOWER	POOL LEVEL
	LEVEL B	
THERMAL COLUMN	Tratamento	MACHINE ROOM OPEN
	Retratamento	
1º AIR MONITOR	SEC FLOW A	SEC FLOW B
		BY-PASS
LAMP TEST	ALARM ACK	MAGNETIC CKT TROUBLE TEST

Quadro anunciador de alarmes
(variáveis de processo)
(item 14 da Figura 3)

SAFETY	LOW
1	C/R
10%	SCRAM

SAFETY	SAFETY
1	1
SCRAM	HV

PERIOD	HV2
SCRAM	LOW

Anunciador de alarmes e *SCRAM* dos Canais de Partida e de Segurança 1
(item 9 da Figura 3)

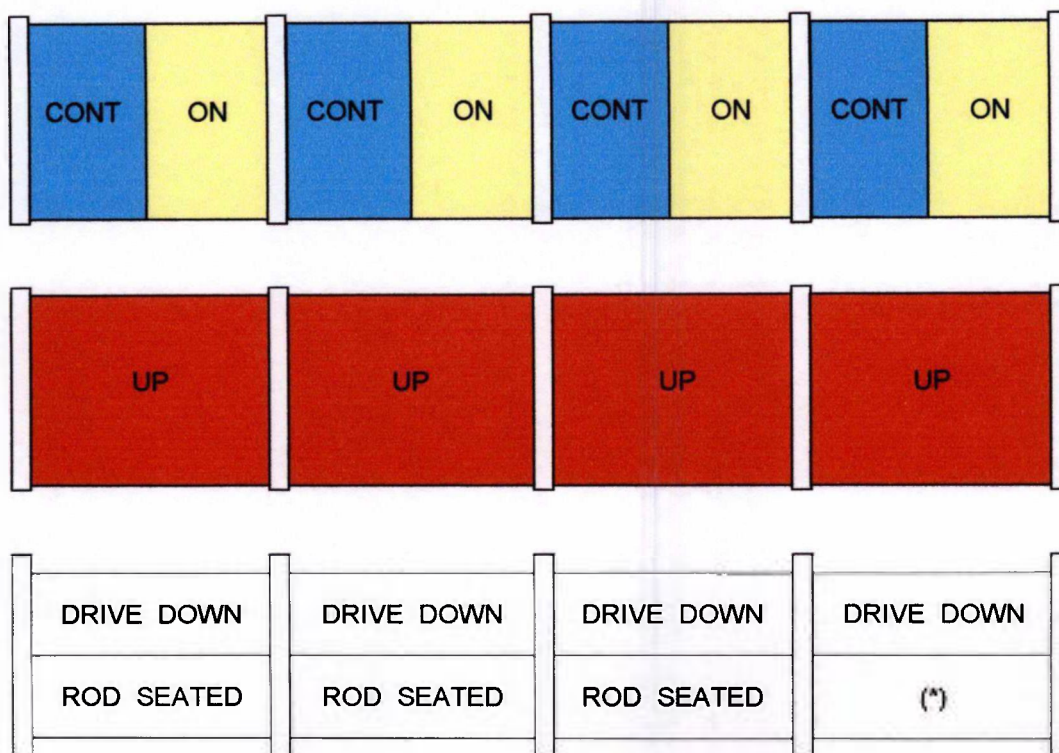
SAFETY	SAFETY
2	2
SCRAM	HV

SAFETY	SAFETY
2	3
10%	10%

SAFETY	SAFETY
3	3
SCRAM	HV

Anunciador de alarmes e *SCRAM* dos Canais de Segurança 2 e 3
(item 18 da Figura 3)

Figura 5 - Quadros de Sinalização e Alarme do Reator IEA-R1 (IPEN, 1996b)



Legenda:

CONT (=CONTACT) : quando acesa, indica contato entre o conjunto da armação da barra e o eletromagneto do mecanismo de acionamento correspondente.

ON : quando acesa, indica que o magneto do mecanismo de acionamento da barra está energizado. A chave **MAGNET POWER** (item 20, Figura 3) libera a passagem de corrente elétrica pelo magneto.

UP : quando acesa, indica que o mecanismo de acionamento da barra está no limite superior.

DRIVE DOWN: quando acesa, indica que o mecanismo de acionamento está no limite inferior (totalmente inserido).

ROD SEATED: quando acesa, indica que o mecanismo de acionamento está mecanicamente acoplado à barra de segurança.

(*) O mecanismo de acionamento da barra de controle, fabricado pela *General Atomic*, é o único que não possui a indicação luminosa **ROD SEATED**. Os mecanismos de acionamento das barras de segurança 1, 2 e 3 foram fabricados pela *American Machine & Foundry (AMF) Company*.

Figura 6 - Botoeiras do Mecanismo de Acionamento das Barras de Segurança e Controle do Reator IEA-R1 (GENERAL ELETRIC, 1975)

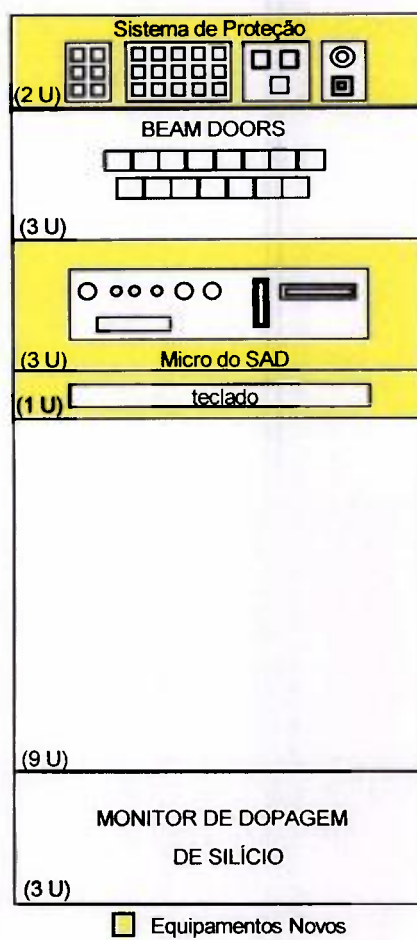


Figura 7 - Painel Auxiliar B (IPEN, 1996b)

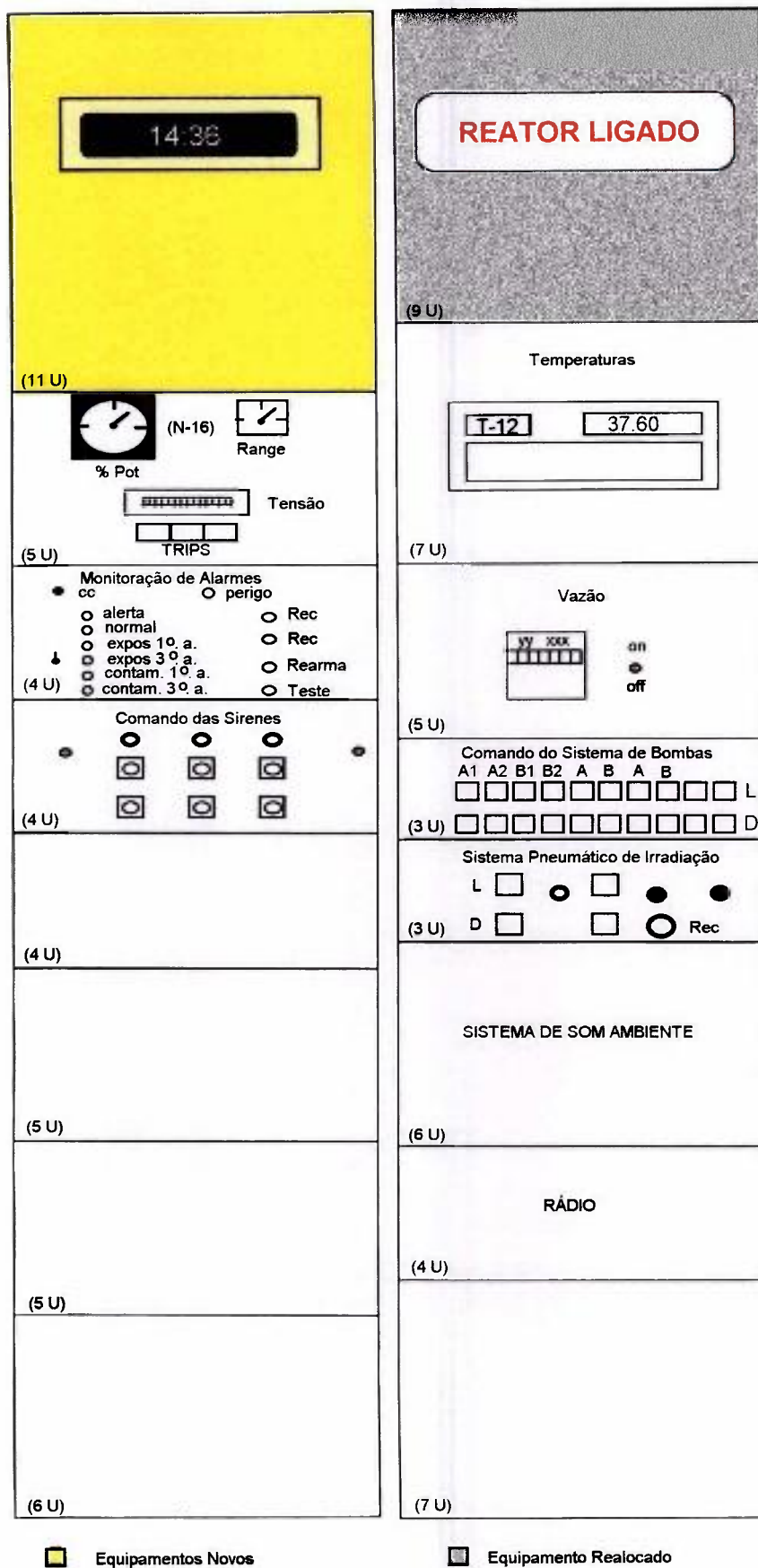


Figura 8 - Painéis Auxiliares C1 e C2 (IPEN, 1996b)

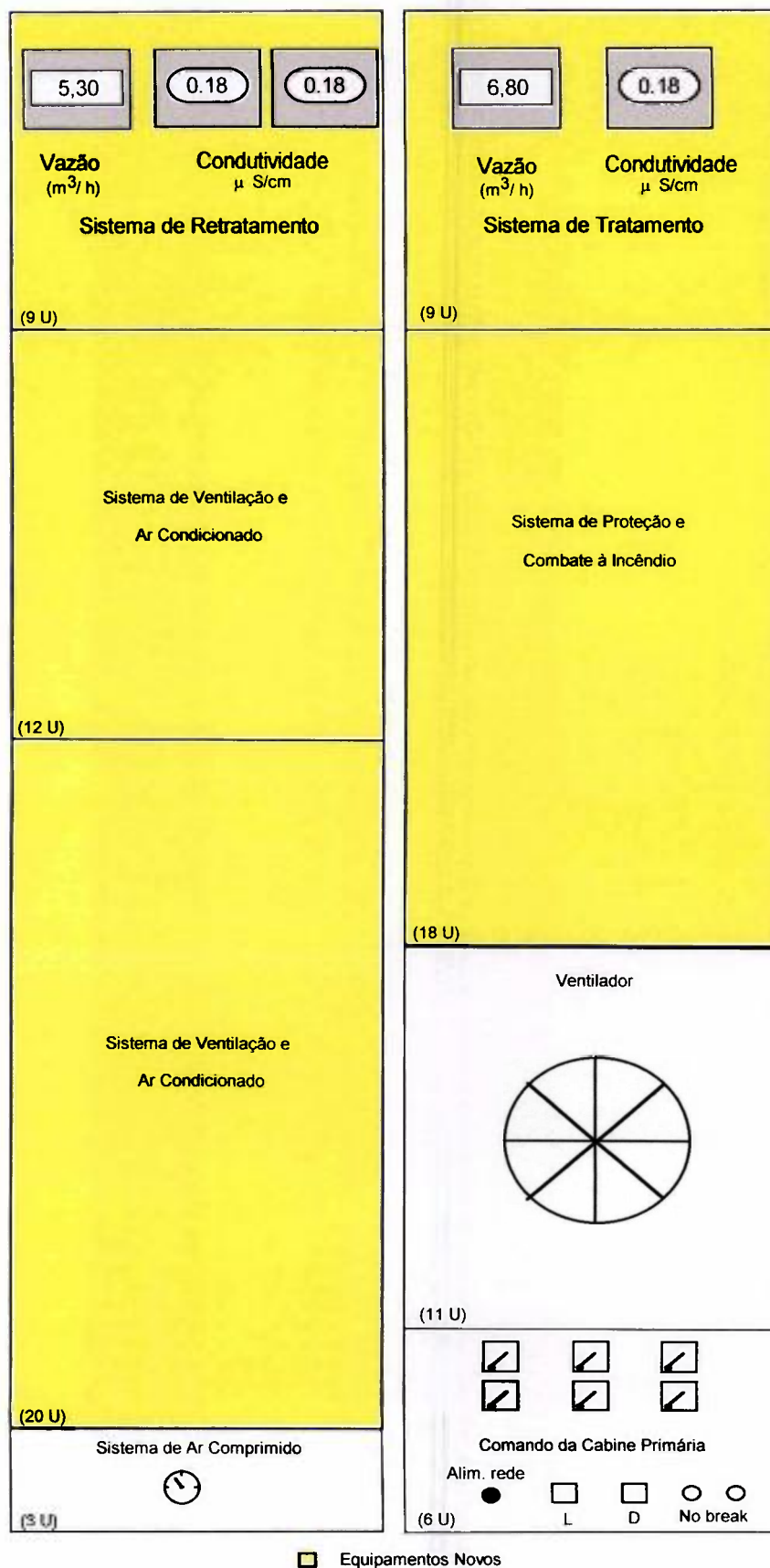


Figura 9 - Painéis Auxiliares D1 e D2 - folha 1/2 (IPEN,1996b)

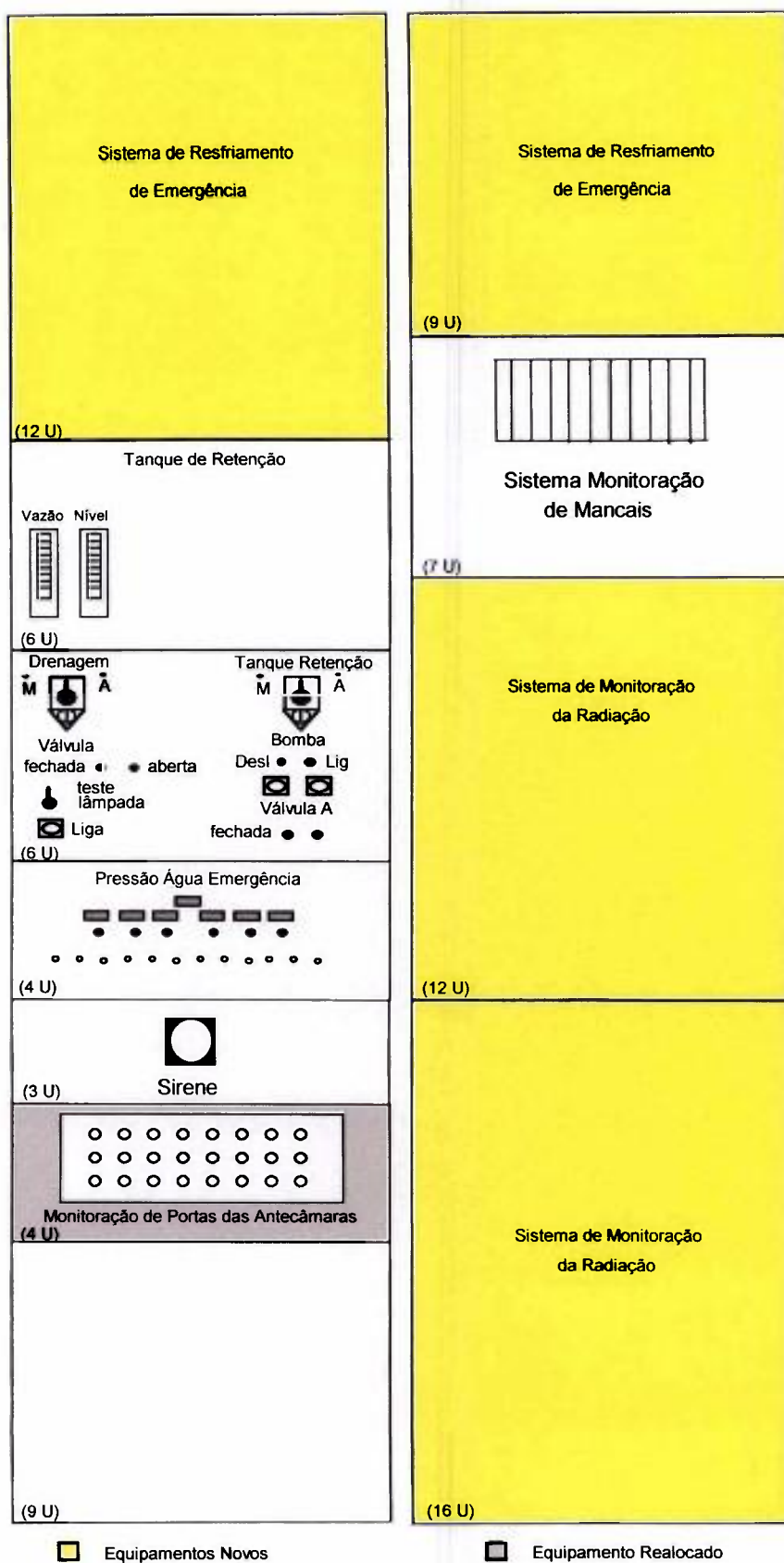


Figura 10 - Painéis Auxiliares D3 e D4 - folha 2/2 (IPEN,1996b)

3.2.1 Condições para a Aplicação das Rotinas de Partida do Reator IEA-R1

As instruções 1 e 2 da Lista de Verificação Inicial indicam que o Programa de Operação do Reator deve estar aprovado, respectivamente, pelos supervisores da Divisão de Operação do Reator IEA-R1 (ROI) e do Serviço de Proteção de Pessoal (SPP), antes de se iniciar a execução da rotina de partida propriamente dita (IPEN, 1991a). As instruções 1 a 29 aplicam-se tanto para a condição de partida do reator para operação à baixa potência, até 200 kW, quanto para operação a plena carga (2 MW). A partir deste ponto, a seqüência de etapas do procedimento a ser seguida pelo operador depende do nível de potência definido previamente para a operação do reator. Para operação do reator em potências superiores a 200 kW (IPEN, 1991b), o que exige a atuação do Sistema de Refrigeração do Reator, são executados, adicionalmente, os procedimentos 30 a 46, conforme indicado no quadro da Figura 2. Caso contrário, são implementadas as instruções 30 a 37 do quadro seguinte, que se aplicam a operações do reator até 200 kW de potência (IPEN, 1991c), que permitem que o Sistema de Refrigeração do Reator permaneça desligado.

A Seção de Operação do Reator é responsável pelo cumprimento da rotina de partida do reator, e a Equipe de Proteção Radiológica, pelos procedimentos de radioproteção da instalação. A equipe de proteção radiológica é composta, no mínimo, por um supervisor e por três técnicos especializados em radioproteção.

Para que processo de partida do reator possa ser iniciado, deverão estar disponíveis na Sala de Controle os seguintes itens (IPEN, 1991a):

- Lista de Verificação Inicial.
- Folha de Dados Operacionais do Reator IEA-R1, onde constam: a data e o número da operação do reator, os nomes dos operadores da equipe e o número do arranjo dos elementos combustíveis no núcleo para esta operação, a hora de início e término, bem como a duração da mesma. A partir do início da operação do reator até o seu desligamento, incluindo desligamentos ocasionais no intervalo de operação, cada evento e o instante correspondente são anotados neste formulário. Estes eventos são a elevação de barras e os respectivos valores do período e da potência do reator.
- Folhas de anotações de temperatura do núcleo do reator e de vazão nos circuitos primário e secundário.

- Folha de Permanência da equipe de operação na Sala de Controle do Reator (equipe de partida, de desligamento e equipes de operação que permaneceram na sala de controle, obedecendo uma escala semanal de permanência).
- Folha de previsão de criticalidade.

A rotina de partida para operação em potências superiores a 200 kW (IPEN, 1991b) só pode ser executada pela seção de operação do reator e exige a participação 1 (um) operador senior de reator (OSR) de 2 (dois) operadores de reator (OR1 e OR2), podendo um deles estar em treinamento. Durante a execução da rotina deverá estar presente na Sala de Controle 1 (um) supervisor de proteção radiológica ou 1 (um) técnico de proteção radiológica indicado pelo supervisor. A seqüência de procedimentos para levar o reator à potência desejada é executada pelo OR1, que é o operador encarregado de manusear os controles para ligar o reator, enquanto que as anotações de cada etapa desta seqüência são anotadas pelo OR2 no Formulário “Dados Operacionais do Reator IEA-R1” (IPEN, 1991a). O OSR fiscaliza a execução das tarefas e orienta o OR1 e OR2 durante todas as etapas do procedimento.

A rotina de partida para operação em potências até 200 kW (IPEN, 1991c) só pode ser executada pela seção de operação do reator e exige a participação de 1 (um) operador senior de reator (OSR) e de 1 (um) operador de reator (OR), devendo estar presente na Sala de Controle 1 (um) supervisor de proteção radiológica ou 1 (um) técnico de proteção radiológica indicado pelo supervisor. O OSR é responsável pelo acompanhamento de toda a operação a baixa potência.

3.2.2 Processo de Criticalização do Reator IEA-R1

A partida do reator IEA-R1 é realizada na mesa de controle, representada na Figura 3.

Antes de se iniciar o processo de partida do reator, o OSR fornece ao(s) operador(es) de reator (OR) a folha contendo a previsão da posição crítica das barras de controle e segurança (Figura 11) e informa ao(s) OR(s) a posição final da chave *Reactor Power*, localizada no painel da mesa de controle (item 6, Figura 3), para o nível de potência de operação prevista para o reator.

DEPARTAMENTO DE REATORES E CIRCUITOS EXPERIMENTAIS DIVISÃO DE REATORES E EXPERIMENTAÇÃO NUCLEAR			
REATOR NUCLEAR IEA-R1 PREVISÃO DE CRITICALIDADE			
Data: ____/____/____	Operação: _____	Arranjo: _____	
SEGURANÇA 1	SEGURANÇA 2	SEGURANÇA 3	CONTROLE
Supervisor de <i>Start-up</i>			

Figura 11 - Folha de Previsão de Criticalidade (IPEN, 1991b)

A chave *Reactor Power* é uma chave seletora usada para converter o sinal de corrente vinda do detector de nêutrons em uma voltagem proporcional a esta corrente de entrada, fornecendo um sinal para o controle automático do reator e também um sinal para o registrador de potência de pena dupla (item 7, Figura 3), localizado no painel central da mesa de controle. A demanda de potência do reator é selecionada na chave *% Demand*, na mesa de controle (item 8, Figura 3).

Quando o reator está desligado, todas as barras absorvedoras de nêutrons estão inseridas no núcleo.

A criticalidade do reator é alcançada com a retirada das barras absorvedoras do núcleo. A retirada de barras é conduzida de forma controlada pelo operador por meio dos mecanismos de movimentação associados a cada uma das barras. Para a retirada de barras do núcleo do reator, o valor mínimo de nível da fonte que deve ser satisfeito é cerca de 5 cps (contagens por segundo).

Os mecanismos de movimentação são acionados por meio de botões individuais localizados na parte central da mesa de controle (item 3, Figura 3 e Figura 6). Um sistema de intertravamento impede a retirada simultânea de mais de uma barra absorvedora de nêutrons do núcleo do reator. O mesmo não ocorre quando as barras estão sendo inseridas. Neste caso, todas as barras podem ser inseridas simultaneamente acionando-se a alavanca de desligamento rápido do reator, denominada alavanca de *scram* (item 2, Figura 3).

Durante a partida do reator, inicialmente é retirada a barra de controle, até que a mesma atinja a posição previamente calculada, indicada na Folha de Previsão de Criticalidade (Figura 11). A previsão de criticalidade consiste de números que representam os percentuais do curso total com que cada barra absorvedora de nêutrons deve ser retirada do núcleo para que se atinja a potência desejada. Todos os cálculos de posicionamento de barras são feitos levando-se em conta as curvas de reatividade das mesmas e a reatividade do núcleo, e sempre procurando-se manter as três barras de segurança numa mesma altura.

Depois da barra de controle, são retiradas as barras de segurança, em ordem decrescente de reatividade até que seja atingida a condição de criticalidade do reator. A partir deste instante, apenas a barra de controle é movimentada.

Quando a diferença entre a posição da barra de controle e a posição das demais barras ultrapassa 20% do curso total de movimentação, a barra de controle volta a ser inserida parcialmente no núcleo do reator, sendo a sua inserção compensada com a elevação controlada das barras de segurança, de modo que todas sejam mantidas alinhadas na mesma altura. Chaves de fim de curso são utilizadas para evitar que os motores continuem a ser acionados quando os mecanismos de movimentação chegam aos pontos extremos de inserção ou retirada.

Quanto mais próximo da criticalidade, maior é a tendência à estabilização do período do reator, que é o tempo necessário para que a potência se eleve de um fator “e”.

À medida que a taxa de contagem de nêutrons vai aumentando, o OR gira a chave *Audio Range* (item 19, Figura 3) na mesa de controle no sentido horário,

a fim de ajustar o sinal de saída das contagens de nêutrons no auto falante remoto em níveis que possam ser discriminados (contados) pelo operador.

A partir de 10^{-5} % do valor da potência máxima do reator, o canal linear multi-faixas começa a fornecer indicação visual por meio da pena vermelha do registrador Log/Linear de potência (item7, Figura 3). Portanto, à medida que a potência vai aumentando, o OR deve efetuar mudanças na escala desse canal (na chave seletora *Reactor Power*, item 6, Figura 3), para adequar o sinal de entrada a um nível tal que o sinal de saída gerado possa ser registrado continuamente dentro dos limites da escala do papel do registrador de pena dupla Log/Linear.

O OR eventualmente compensa o efeito de temperatura, responsável pelo alongamento do período, acionando em curtos toques as chaves de comando do mecanismo de acionamento da barra de controle (item3, Figura 3 e Figura 6).

Os canais lineares de potência (canais de segurança 1, 2 e 3), responsáveis pelo desligamento automático do reator, numa lógica 2 de 3, começam a operar em 1% da potência máxima.

O OR gira a botoeira *Reactor Power* até a escala final prevista para o nível de potência desejado.

O OR aguarda a indicação de potência do canal log (pena azul) e do canal linear multi-faixas (pena vermelha) (item 7, Figura 3) para as posições estabelecidas, observando as indicações dos canais de porcentagem de potência, *Safeties* (canais de segurança) 1, 2 e 3 (itens 12 e/ou 11, 15 e 16, respectivamente, da Figura 3) e inicia o processo de criticalização do reator.

Atinge-se a criticalidade a partir de um fator de multiplicação efetivo (Keff, que pode ser definido como a relação entre o número de nêutrons em uma geração pelo número de nêutrons da geração anterior) ligeiramente maior que a unidade, principalmente para compensar a absorção de nêutrons causada pela presença de Xenônio-135 no núcleo do reator. O operador vai inserindo a barra de controle, verificando o valor do período, que então vai se alongando até atingir o valor infinito no mostrador *Period Seconds* (item 10, Figura 3), indicando que o reator entrou em regime estacionário. Nesta condição, o reator está crítico na potência pré-estabelecida.

A operação do reator pode ser efetuada em modo manual ou em modo automático. No modo manual, a movimentação da barra de controle é totalmente dependente do comando do operador, que movimenta os mecanismos pelas chaves do tipo *push-button* localizadas no painel de controle (item 3, Figura 3 e Figura 6). No modo automático, a movimentação é comandada pelo Sistema de Controle Automático de Reatividade, que compara a informação recebida do canal linear de potência com o *set-point* estabelecido (na chave *Reactor Power*, item 6, Figura 3) e, de acordo com o erro, movimenta ou não a barra de controle.

O modo manual pode ser utilizado em toda a faixa de potência do reator, enquanto que o modo automático, apesar de estar sempre habilitado, só pode ser utilizado quando a potência atinge 0,3 Watts, nível em que o canal linear começa a detectar fluxo neutrônico. Apesar disso, o uso do controlador automático só é efetuado em potências acima de 100 Watts, região em que o sinal do canal linear é mais estável (IPEN, 1996b). Uma vez acionado pelo operador (na chave seletora *Flux Control*, item 5, Figura 3), o controlador automático deverá manter a potência do reator em um valor constante. A posição das barras de controle e segurança é indicada no painel central da mesa de controle (item 4, Figura 3)

Após o reator estar crítico, na condição de controle automático de potência, o OSR avisa, por intermédio de auto-falantes localizados nos 3 andares do prédio do reator, o instante em que o reator atingiu a potência de operação determinada e solicita respostas do Pessoal da Experimentação e da Proteção Radiológica de que estão cientes do aviso. Anota na folha de temperaturas e no registrador Log/Linear o instante da criticalidade final, bem como a potência do reator.

3.3 Preparação do Estudo de HazOp

O estudo de HazOp dos procedimentos de partida do reator IEA-R1 envolveu as atividades de:

1. Definição dos objetivos do estudo, que são:
 - Aplicar a técnica HazOp na análise dos procedimentos de partida do reator IEA-R1, visando a identificação de problemas operacionais ou perigos resultantes de possíveis desvios no processo de execução das rotinas previstas; e

- Avaliar a eficácia do estudo de HazOp na análise dos procedimentos de partida do reator IEA-R1.
2. Encaminhamento de uma proposta de trabalho para o Comitê de Revisão de Segurança do Reator IEA-R1, contendo os objetivos do trabalho, conforme anteriormente descritos, a definição do perfil técnico da equipe de analistas para o desenvolvimento do estudo, a previsão de homens-hora para a realização do HazOp (estimada em 30 horas para cada membro da equipe) e um cronograma de atividades.

Dentre os especialistas com a qualificação técnica necessária para realizar o estudo de HazOp, foram selecionados e liberados pelos chefes da Diretoria de Reatores aqueles que demonstraram interesse e disposição em realizar o trabalho. Assim, foi formada uma equipe de 6 especialistas, com a seguinte composição:

- 1 analista de segurança;
 - 1 supervisor de operação;
 - 1 especialista em eletrônica;
 - 1 especialista em manutenção;
 - 1 especialista em termo-hidráulica e análise de acidentes; e
 - 1 supervisor de proteção radiológica.
3. Familiarização com o processo de partida do reator, que envolveu a seleção e o estudo da documentação técnica disponível, entrevistas com os operadores do IEA-R1 e acompanhamento das atividades de partida do reator. Os principais documentos utilizados como referência durante o estudo de HazOp foram:
- Manual de Operação do Reator IEA-R1 - Preparação Geral para a Partida do Reator IEA-R1 (IPEN, 1991a).
 - Procedimento de Operação do Reator em Potências Superiores a 200 kW (IPEN, 1991b).
 - Procedimento de Operação do Reator em Potências Inferiores a 200 kW (IPEN, 1991c).

- *Instrumentation System - Operation and Maintenance Manual (General Atomic Company , 1975).*
- Relatório de Análise de Segurança (RAS) do reator IEA-R1, para informações referentes à Instrumentação e Controle do Reator (IPEN, 1996b), ao Sistema de Ventilação e Ar Condicionado do Prédio do Reator (IPEN, 1996c) e Sistema de Proteção e Combate a Incêndio (IPEN, 1996d).
- Especificações Técnicas do Reator IEA-R1 (IPEN, 1996e).

4. Preparação dos dados para a aplicação da técnica HazOp:

Nesta etapa, foram determinados os nós de estudo, definidas as intenções de projeto e estabelecido o formato da tabela de HazOp a ser utilizada durante as reuniões técnicas de análise para registrar os resultados obtidos. A Figura 12 mostra o formato padrão adotado.

Tabela: <identificação do processo>

Nó:

Descrição:

Palavra-Chave:

Intenção de Projeto:

Data:

Folha:

Revisão:

Palavra-Guia	Desvio	Consequências	Meios de Proteção ou Atenuação Existentes	Ações Sugeridas/ Responsável

Figura 12 - Formato Padrão da Folha de Estudo de HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1

5. Realização do estudo:

Consistiu da realização de reuniões, durante as quais foi feito o estudo dos procedimentos de partida do reator IEA-R1 seguindo-se a metodologia de HazOp.



6. Apresentação dos resultados:

Correspondeu à fase de análise dos resultados obtidos e à elaboração do documento técnico de apresentação do estudo realizado.

3.4 Aplicação da Técnica HazOp aos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1

O HazOp dos procedimentos de partida do reator IEA-R1 consistiu da revisão dos itens da Lista de Verificação Inicial (IPEN, 1991a) apresentada na Figura 2. Na análise, considerou-se a preparação para operação do reator em potências superiores e inferiores a 200 kW, a fim de abranger todos os itens da lista.

Na primeira reunião com a equipe de analistas, foram apresentados os objetivos do trabalho e a descrição do método. Esta primeira abordagem teve por objetivo dirimir dúvidas e, por conseguinte, melhorar o entendimento com relação à sua aplicação, pois, com exceção do líder da equipe, os demais membros desconheciam a técnica HazOp.

Os nós de estudo foram definidos como sendo cada instrução descrita na Lista de Verificação Inicial. Cada instrução foi dividida em palavras-chaves, as quais dizem respeito a ações do operador. Sendo assim, as palavras-chaves correspondem às variáveis de controle do processo, para as quais foram impostos os desvios hipotéticos a serem analisados neste trabalho.

Durante as reuniões, cada item da Lista de Verificação Inicial foi minuciosamente discutido, sendo analisados todos os possíveis desvios associados à sua execução, suas conseqüências e meios de proteção e/ou atenuação previstos em projeto. Quando necessário, foram tratadas outras formas de minimização dos perigos e problemas operacionais potenciais identificados.

O estudo seguiu a seqüência prevista de execução de cada item da lista, aplicando-se palavras-guias a cada palavra-chave, de forma a identificar os desvios e as causas a eles associadas. Quando surgia uma conseqüência de interesse, eram analisados os meios de proteção e/ou atenuação existentes, para determinar se os mesmos eram adequados e suficientes para conduzir ou manter

a instalação numa condição segura. Quando não eram, partia-se para o estudo de sugestões de modificações em projeto ou em procedimentos que, se implementadas, poderiam minimizar ou eliminar determinado perigo ou desvio operacional.

Esta reflexão foi executada passo a passo, de maneira sistemática, para minimizar a possibilidade de que algo fosse omitido. A técnica foi repetida até que cada item da lista tivesse sido analisado.

A seqüência de análise do processo de partida do reator IEA-R1 foi a seguinte:

1. Escolha do nó a ser analisado. Cada item da Lista de Verificação Inicial foi considerado um nó de estudo. Cada nó foi dividido em palavras-chaves, que indicam as ações que o operador deve executar e correspondem às variáveis de controle do processo de partida. Por exemplo: Procedimento = "Ligar a mesa de controle"; Palavra-chave = "Ligar". A escolha de cada nó obedeceu a seqüência de execução das ações do operador, conforme especificado na Lista de Verificação Inicial.
2. Definição do possível desvio da ação indicada no nó selecionado, com o auxílio de palavras-guias (por exemplo: "não", "outro" etc.). Os desvios considerados impossíveis foram eliminados da análise. A escolha de cada ação estabelecida em um mesmo nó obedeceu a seqüência de execução prescrita.
3. Análise das conseqüências do desvio.
4. Identificação dos meios existentes para eliminar problemas operacionais ou de segurança causados pelo desvio, para avaliar se os mesmos são adequados e suficientes para conduzir a instalação (reator) para uma condição segura.
5. Estabelecimento, quando necessário e possível, de medidas a serem tomadas para eliminar ou minimizar os riscos e/ou problemas operacionais, indicando o(s) responsável(is) pela implementação de tais medidas.
6. Repetição das etapas 2 a 5 até que todos os possíveis desvios tenham sido examinados.

7. Repetição das etapas 1 a 6 até que todos os procedimentos tenham sido analisados.

3.4.1 Considerações do Estudo de HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1

1. Constitui-se desvio de procedimento qualquer ação do operador diferente de qualquer atividade especificada nos procedimentos de partida do reator.
2. É considerado indesejável qualquer desvio no processo de partida do reator que possa contribuir para a ocorrência de:
 - Danos no núcleo do reator.
 - Atuação errônea - ou fora dos limites de segurança estabelecidos no projeto - dos sistemas de Proteção e Controle do reator.
 - Distúrbios na operação de outros sistemas e dispositivos auxiliares necessários ao funcionamento e/ou monitoração do reator.
 - Exposição indevida das pessoas à radiação, dentro ou fora do prédio do reator.
 - Liberação de radioatividade para o meio ambiente acima dos limites permitidos pela norma CNEN NE 3.01 (IPEN, 1996a).
3. Como a rotina de partida do reator só pode ser aplicada após o Programa de Operação do Reator ter sido aprovado pela Divisão de Operação do IEA-R1 (ROI) e pelo Serviço de Proteção Pessoal (SPP), respectivamente, a imposição de desvios aos itens 1 e 2 da Lista de Verificação Inicial não é aplicável. Assim, a análise foi iniciada a partir do item 3 desta lista.
4. A rotina de partida do reator só é executada com a participação de uma equipe de operação mínima, cujo número de participantes e respectivas atribuições são especificados no Manual de Operação do Reator IEA-R1, conforme descrito no item 3.2.1.
5. O estudo não inclui a investigação dos fatores que influenciam o desempenho do operador, produzindo os desvios de procedimentos analisados. O objetivo principal deste trabalho é a identificação de problemas gerados por desvios na

execução de partida do reator e da resposta dos sistemas de controle e segurança da planta a estas ocorrências.

3.4.2 Estudo de HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1

As tabelas contendo o HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1 de 2 MW de potência, foram subdivididas da seguinte maneira.

- Tabela 3: Apresenta o estudo dos procedimentos 3 à 29, que são aplicados tanto para a condição de partida do reator para operação a baixa potência (até 200 kW), quanto para operação à plena carga (2 MW).
- Tabela 4: Apresenta o estudo dos procedimentos 30 à 46, complementares aos da Tabela 3, que são executados para operações do reator em potências superiores a 200 kW, o que exige o funcionamento do Sistema de Refrigeração do Reator
- Tabela 5: Apresenta o estudo dos procedimentos 30 à 37, complementares aos da Tabela 3, que são realizados para operações do reator até 200 kW de potência, quando se permite que o Sistema de Refrigeração do Núcleo do Reator permaneça desligado.

Os itens mencionados nas Tabelas 3, 4 e 5, relacionados à mesa de controle do reator, e aos painéis auxiliares B, C e D são apresentados nas Figuras 3, 5, 6, 7, 8, 9 e 10.

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 3

Descrição: Ligar Chave CBI (*Circuit Breaker Interrupter*)

Palavra-chave: Ligar

Intenção de Projeto: Ligar a chave geral CBI da mesa de controle MC-1 do reator, passando o disjuntor localizado na parte de trás da mesa da posição *OFF* para a posição *ON*. Esta chave energiza os circuitos elétricos e os painéis de instrumentação da mesa de controle MC-1, ligando os canais de instrumentos.

Data: 16.07.2000

Folha: 1 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQÜÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não liga a chave CBI	Nenhuma , em termos de segurança. A mesa de controle MC-1 e os painéis de instrumentação não são energizados.	-	-
Outra	Liga outra chave ao invés da chave CBI: liga a chave <i>POWER ON</i> , sem ter ligado a Chave CBI.	Nenhuma, em termos de segurança. Não se consegue ligar o reator (vide procedimento 3).	-	-

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 4

Descrição: Ligar Chave *POWER ON*

Palavra-chave: Ligar

Intenção de Projeto: Colocar a chave *POWER OFF / OPERATE*, localizada no painel central da mesa de controle (Figura 3), na posição *OPERATE* (ligada) para ligar os circuitos de controle na mesa de controle MC-1 do reator, ou seja: canais de partida / segurança (*safeties*, período, cadeias de *scram*); registrador de potência log / linear e alarmes visuais e sonoros (Figuras 3 e 5) . Esta chave controla a corrente alternada para todos os circuitos de controle. Os canais de instrumentos continuam ligados, mesmo quando esta chave está desligada. Os canais de instrumentos são controlados pelo interruptor CBI (*Circuit Breaker Interrupter*) (ver etapa de procedimento 3).

Data: 16.07.2000

Folha: 2 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQÜÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não liga a chave <i>POWER ON</i>	Não são ligados: - os canais de partida / segurança (<i>safeties</i> , período, cadeia de <i>scram</i>); - registrador log / linear; e - alarmes visual e sonoro da mesa de controle MC-1 (Figuras 3 e 5).	-	-
Outra	Liga outra chave ao invés da chave <i>POWER ON</i> : Liga a chave <i>MAGNETIC POWER</i> , antes da <i>POWER ON</i>	Não se consegue ligar a chave <i>POWER ON</i> (isto é, não se consegue executar a instrução 4)	-	-

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 5

Descrição: Ligar Chave *MAGNET POWER*

Palavra-chave: Ligar

Intenção de Projeto: Pressionar a botoeira luminosa *MAGNET POWER*, localizada no painel central da mesa de controle (item 20, Figura 3), colocando-a na posição *ON*, para liberar a passagem de corrente elétrica pelos magnetos (eletroímãs) dos mecanismos de acionamento de barras e pelos motores registradores que indicam as posições de cada barra de controle / segurança do reator.

Data: 16.07.2000

Folha: 3 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não liga a chave <i>MAGNET POWER</i>	Não será possível a energização dos magnetos (eletroímã) das barras de controle / segurança.	-	-

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 6

Descrição: Ligar REGISTRADOR LOG / LINEAR

Palavra-chave: Ligar e anotar data, operação e horário

Intenção de Projeto: Acionar o botão "LIGA" do tipo tecla do registrador Log / Linear, localizado no painel da mesa de controle (Figura 3). Trata-se de um registrador de papel de pena dupla que mostra a potência de trabalho por intermédio da indicação do canal linear multi-faixa (que pode detectar fluxo de nêutrons a partir de aproximadamente 10⁻⁵% da potência do reator, cujo resultado é registrado pela pena vermelha) e do canal logaritmico (que mostra o nível do fluxo neutrônico desde os valores do nível da fonte até valores de 100% da potência, cujo sinal de saída é registrado pela pena azul). A data, operação e horário devem ser anotados para se saber a partir de onde a pena do registrador LOG começará a registrar a operação.

Data: 16.07.2000

Folha: 4 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não liga o REGISTRADOR LOG / LINEAR (são dois botões distintos do tipo liga / desliga)	Perda do registro de potência (log e linear)	Existem meios para detectar que o registrador log / linear não foi ligado: - durante a execução do procedimento 17, que se refere ao teste e à calibração dos canais de segurança. A potência é registrada por uma pena no registrador log / linear localizado no painel central da mesa de controle MC-1 (item 7, Figura 3): pode-se verificar que a pena não vibra. - por meio do medidor log, durante a execução do procedimento 23.	-

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 7 (folha 1/2)

Descrição: Ligar SISTEMA DE ALARME DE RADIAÇÃO

Palavra-chave: Ligar

Intenção de Projeto: (1) Ligar, no painel auxiliar C1 (Figura 8), a instrumentação do módulo de Monitoração de Alarmes (radiação de área), onde são instalados indicadores luminosos para os níveis de radiação normal, alerta e perigo, medidos em pontos específicos da instalação (Saguão de Experimentos e Saguão da Piscina do Reator). Para os níveis de alerta e perigo são sinalizados, ainda, no painel D, alarmes sonoros; e
(2) Ligar, no painel auxiliar D4 (Figura 10), a instrumentação do módulo do Sistema de Monitoração da Radiação, que indica os níveis de radiação medido nos dutos de ventilação / exaustão do SVAC.

Data: 16.07.2000

Folha: 5 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não (Parte de)	Não liga o Módulo de Monitoração de Alarmes no painel auxiliar C1	Permanecerão desligados os alarmes de níveis altos de radiação (alerta e perigo) no porão, no Saguão de Experimentos da Física Nuclear e no Saguão da Piscina, os quais são sinalizados na Sala de Controle.	Pode-se detectar que o Módulo de Monitoração de Alarmes encontra-se desligado pela ausência de indicação luminosa nas lâmpadas no painel auxiliar C1 (Figura 8), durante a execução do procedimento 27 adiante. Em caso de <i>scram</i> por nível alto de radiação (nível de perigo), existem outros alarmes visuais, ligados no procedimento 4, sinalizados por meio de lâmpadas na mesa de controle MC-1 (Figura 5), as quais indicam a origem do sinal para o desligamento do reator (RAD LVL BEAM ROOM e RAD LVL POOL)	1. Sugere-se a colocação de dispositivos de alarme visual e sonoro em todos os detetores de radiação de área não vinculados à cadeia de <i>scram</i> , com sinalização remota na Sala de Controle e de Emergência. 2. Reativar o Sistema de Sirenes Externas e adequar o Plano de Evacuação com o Sistema de Alarmes de Radiação.

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 7 (folha 2/2)

Data: 16.07.2000

Folha: 6 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não (Parte de)	Não liga o Sistema de Monitoração da Radiação no painel auxiliar D4	Não se terá indicação dos níveis de radiação medidos nos dutos de ventilação / exaustão do SVAC.	Pode-se detectar que o Sistema de Monitoração da Radiação encontra-se desligado pela ausência de indicação luminosa nas lâmpadas no painel auxiliar C1 (Figura 8) (Luz verde = <i>operate</i> , desligada), durante a execução do procedimento 27 adiante.	-
Nenhum	Não liga o Módulo de Monitoração de Alarmes no painel auxiliar C1 e nem o Sistema de Monitoração da Radiação no painel auxiliar D4	Não se terá indicação, na sala de controle, dos níveis de radiação medidos no Saguão de Experimentos, Saguão da Piscina e nem nos dutos de ventilação / exaustão do SVAC.	Pode-se detectar que o Módulo de Monitoração de Alarmes encontra-se desligado pela ausência de indicação luminosa nas lâmpadas no painel auxiliar C1 (Figura 8), durante a execução do procedimento 27 adiante. Em caso de <i>scram</i> por nível alto de radiação (nível de perigo), existem outros alarmes visuais, ligados no procedimento 4, sinalizados por meio de lâmpadas na mesa de controle MC-1 (Figura 5), as quais indicam a origem do sinal para o desligamento do reator (<i>RAD LVL BEAM ROOM</i> e <i>RAD LVL POOL</i>). Pode-se detectar que o Sistema de Monitoração da Radiação encontra-se desligado pela ausência de indicação luminosa nas lâmpadas no painel auxiliar C1 (Figura 8) (Luz verde = <i>operate</i>, desligada), durante a execução do procedimento 27 adiante.	-

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 8

Descrição: Ligar SISTEMA DE MONITORAÇÃO DE PORTAS

Palavra-chave: Ligar

Intenção de Projeto: Ligar o Sistema de Monitoração de Portas no painel auxiliar D3 (Figura 10).

Data: : 16.07.2000

Folha: 7 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
-	O SISTEMA DE MONITORAÇÃO DE PORTAS encontra-se atualmente inoperante.	Como o sistema encontra-se fora de operação, não há como monitorar a abertura simultânea indevida das duas portas da antecâmara. Esta ação compromete a depressão na área controlada, podendo comprometer também os filtros, forçando e sobrecarregando o Sistema de Ventilação e Ar Condicionado da Instalação.	Não existem.	Reativar o Sistema de Monitoração de Portas da Antecâmara de Acesso ao Prédio do Reator.

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 9

Descrição: Ligar MONITOR DE CIRCUITO INTERNO DE TV.

Palavra-chave: Ligar

Intenção de Projeto: Ligar o monitor do circuito interno de TV que se encontra sobre a mesa de controle do reator e ligar as câmeras deste sistema na Sala de Emergência.

Data: : 16.07.2000

Folha: 8 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não liga o MONITOR DO CIRCUITO INTERNO DE TV.	Comprometimento do controle de acesso de pessoas às seguintes áreas do prédio do reator: (a) à Sala de Emergência (entrada para o reator), cuja monitoração é feita na Sala de Controle; e (b) ao primeiro andar (sala de experimentos da física nuclear) e ao terceiro andar (saguão da piscina), cuja monitoração é feita na da Sala de Emergência.	Não existem.	Deixar as câmeras do Sistema de Circuito Interno de televisão na Sala de Emergência sempre ligadas, ou incluir instrução para que as mesmas sejam ligadas.

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 10

Descrição: Ligar AMPLIFICADOR DE SOM do Circuito de Auto-Falantes do Prédio.

Palavra-chave: Ligar

Intenção de Projeto: Ligar, no painel auxiliar C1 (Figura 8) na Sala de Controle, o amplificador de som do circuito de auto-falantes do Prédio do Reator IEA-R1. A verificação de que o sistema está ligado é feita via indicação luminosa neste painel e também pelo retorno de som da caixa acústica. O sistema de comunicação é utilizado para comunicar às pessoas a entrada em operação do reator e/ou anunciar situações de emergência.

Data : 16.07.2000

Folha: 9 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não liga o AMPLIFICADOR DE SOM.	Não há como comunicar as pessoas que o reator está entrando em operação. Não há como anunciar situações de emergência.	Não existem. A detecção do desvio pode ser percebido pelos operadores pela ausência do retorno de som, quando o sistema for utilizado.	Melhorar as formas de sinalização das condições do reator. Por exemplo, colocar um quadro com indicação luminosa na Sala de Emergência e outro no Saguão de Experimentos da Física Nuclear, mostrando situações como: "Em Manutenção", "Crítico a 2 MW", "Baixa Potência", "Desligado", "Em Partida".

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 11

Descrição: Testar LÂMPADAS DO PAINEL (*lamp test*)

Palavra-chave: Testar

Intenção de Projeto: Acionar a botoeira luminosa *lamp test* no quadro anunciador de alarmes (Figura 5) para verificar se todas as lâmpadas da mesa de controle acendem. Esta instrução refere-se ao teste das lâmpadas da mesa de controle MC-1.

Data: 16.07.2000

Folha: 10 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não testa LÂMPADAS DO PAINEL	Não detecção de alguma possível lâmpada queimada, o que pode levar à perda da monitoração de algum parâmetro que possua indicação luminosa no painel da mesa de controle MC-1, como por exemplo: (a) do alarme visual do Sistema de Alarme de Radiação (procedimento 7); (b) das lâmpadas da cadeia de <i>scram</i> ; (c) das lâmpadas dos magnetos das barras. Quando acesas, estas lâmpadas indicam que os magnetos das barras estão energizados. Se alguma lâmpada estiver queimada, não se tem magneto nas barras e, por conseguinte, não se consegue ligar o reator.	1. No caso de haver alguma lâmpada de magneto de barra de controle / segurança queimada, o Sistema de Proteção não habilita a partida do reator. 2. Para os outros casos, não existem.	Alterar a instrução para: "Testar as Lâmpadas do Painel da mesa de controle (<i>lamp test</i>)".

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 12

Descrição: Testar LÂMPADAS DOS *BEAM HOLES* (*lamp test*)

Palavra-chave: Testar

Intenção de Projeto: Acionar a botoeira *lamp test* no painel auxiliar B (Figura 7), para verificar se todas as lâmpadas de alarme visual dos *beam holes* acendem ⁽¹⁾.

Data: 16.07.2000

Folha: 11 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQÜÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não testa LÂMPADAS DOS <i>BEAM HOLES</i>	1. Nenhuma, para a segurança do reator. 2. Não detecção de alguma possível lâmpada queimada. Caso haja alguma lâmpada queimada, o não teste pode resultar na perda do alarme visual, em caso de algum desvio operacional, como por exemplo, BH aberto sem autorização ou indevidamente em <i>by-pass</i> (ver procedimentos 24 e 25).	Não existem.	-

Nota: ⁽¹⁾ As atuações dos alarmes sonoros de *scram* e os alarmes visuais são funcionalmente independentes. As lâmpadas dos BH's não estão ligadas em série com os magnetos das barras.

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 13

Descrição: Testar *MAGNET C.K.T TROUBLE*

Palavra-chave: Testar

Intenção de Projeto: Acionar a botoeira luminosa *Magnet C.K.T. Trouble* localizada no quadro anunciador de alarmes da mesa de controle (Figura 5), para verificar se o indicador de fuga de corrente na cadeia de contatos de *scram* está operando corretamente. O teste, realizado por meio desta botoeira, consiste em verificar se, enquanto a botoeira é mantida pressionada (simulando fuga de corrente elétrica), a sua lâmpada interna permanece acesa. Se, ou enquanto, não acender, não há liberação de corrente elétrica para energização dos magnetos das barras de controle / segurança.

Data: 16.07.2000

Folha: 12 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não testa a botoeira <i>MAGNET C.K.T TROUBLE</i>	Nenhuma para a segurança do reator. Enquanto os magnetos das barras não estiverem energizados, não se consegue efetuar a partida do reator.	-	-

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 14

Descrição: Testar *PERIOD LOG* em mais três segundos (teste realizado na chave *trip test* do *PERIOD / LOG*) **Palavra-chave:** Testar

Intenção de Projeto: Colocar a chave *PERIOD / LOG* (canal de faixa ampla) (item 13c, Figura 3) na posição *CAL (calibrate)*, ligando, assim, o medidor de período a um circuito que deverá gerar um sinal correspondente ao fundo de escala + 3 seg. do indicador *PERIOD SECONDS*. Este teste é para verificar se os circuitos eletrônicos responsáveis pela medição do período e da potência do reator estão operando corretamente (calibrados).

Data: 16.07.2000

Folha: 13 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não testa a chave <i>PERIOD LOG</i>	Problemas neste instrumento (se estiver descalibrado ou travado) pode conduzir o reator, durante a partida, a um aumento indevido da potência. Nesta condição, o reator não desligará por período (canal de período) ou por baixa contagem de nêutrons, até 10% da potência nominal. Caso a potência exceda 10% do valor nominal, então o reator poderá se desligado pelos canais de segurança.	Sistema de Proteção: 2 de 3 canais de segurança desligarão o reator. A detecção de falhas neste instrumento é feita durante a execução do procedimento de partida do reator: 1. sinal de audio (<i>audio-range</i>); 2. indicação do nível de potência no registrador log (item 7, Figura 3). Com estas duas verificações o operador pode evitar aumento indevido de potência.	-

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 15 (folha 1/3)

Descrição: Testar POTENCIÔMETROS *TRIPS* em 10% e 110% da potência

Palavra-chave: Testar

Intenção de Projeto: Testar os potenciômetros 1, 2 e 3, associados aos canais de segurança (*safeties*) 1, 2 e 3, respectivamente. Trata-se de um teste para verificar a calibração eletrônica da cadeia de *scram*, na da mesa de controle (ver itens 13, 13a e 13b da Figura 3). O teste é realizado para um canal de cada vez e o procedimento consiste no seguinte:

(a) Teste em 10% da potência (somente para o canal de segurança 1):

- colocar a chave *PERIOD / LOG* na posição *Cal*
- Girar a chave *TRIP TEST* do *PERIOD / LOG* no sentido horário, a partir da posição *OFF*, simulando, assim, o sinal do detetor nuclear (câmara de fissão). Verificar se a luz de *scram PERIOD SCRAM* acende quando o mostrador *PERCENT POWER* (do log) estiver indicando 10 (%).
- Retornar a chave *TRIP TEST* do *PERIOD / LOG* para a posição *OFF*.

(b) Teste em 110% da potência (para os canais de segurança 1, 2 e 3):

- colocar a chave *SAFETY CHANNEL 1/2/3* na posição *Cal*
- Girar a chave *TRIP TEST* do canal de segurança (*SAFETY CHANNEL*) correspondente (1, 2 ou 3) no sentido horário, a partir da posição *OFF*, verificando se a respectiva luz de *scram SAFETY SCRAM* acende quando o mostrador *PERCENT POWER* estiver indicando 110 (%).
- Retornar a chave *TRIP TEST* do *SAFETY CHANNEL* para a posição *OFF*.

Data: 16.07.2000

Folha: 14 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não testa POTENCIÔMETROS <i>TRIPS</i> 1, 2 e 3 ⁽¹⁾	Não detecção de possíveis falhas ou anomalias nos alarmes de trip dos canais de segurança. Por exemplo, se 2 de 3 canais de segurança estiverem descalibrados, pode ocorrer <i>scram</i> antes ou depois do nível de potência estabelecido.	1. Sistema de Proteção: 2 de 3 canais de segurança desligam o reator, caso a potência atinja o limite superior permitido, desde que os mesmos não estejam descalibrados. 2. Não existem salvaguardas para o caso de excursões de potência (potências acima de 110% da potência nominal), se 2 de 3 canais de segurança estejam descalibrados.	1. Alterar o texto da instrução para: "Testar os Potenciômetros de <i>Trip Test</i> dos canais de segurança 1, 2 e 3 em 10% e 110% da potência". 2. Como medida de compensação para este problema, sugere-se adicionar à cadeia de <i>scram</i> a condição de desligamento por período em potências superiores a 200 kW. O canal de período é atualmente utilizado para <i>scram</i> , apenas para níveis de potência inferiores aos dos canais de potência.

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 15 (folha 2/3)

Data: 16.07.2000

Folha: 15 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não testa POTENCIÔMETROS TRIPS 1, 2 e 3 ⁽¹⁾		3. Se pelo menos 1 canal de segurança estiver calibrado, ocorrerá alarme sonoro e luminoso na mesa de Controle MC-1, indicando o <i>scram</i> deste canal (<i>Safety Scram</i> , Figura 5). Nesta situação, o operador verifica que a potência pode estar subindo por meio de: (a) Leitura / Indicação do nitrogênio N-16 (painela auxiliar C1, Figura 8) no circuito primário de refrigeração (rotina informal de operação); e/ou (b) indicação do registrador LOG / LINEAR na mesa de controle (item 7, Figura 3); e/ou (c) Leitura do diferencial de temperatura do circuito primário (painel auxiliar C2, Figura 8).	O desligamento por período, que ocorre em níveis de potência menores, poderia limitar os possíveis danos causados ao núcleo, na eventualidade de ocorrência de transientes de inserção rápida de reatividade. 3. Formalizar a rotina para leitura do nitrogênio N-16, que é realizada para confirmação do nível de potência do reator
Parte de	Testa só a 10% (teste válido apenas para o <i>SAFETY CHANNEL 1</i> , que é o responsável pelo desligamento automático (<i>scram</i>) do reator por período, o que ocorre somente até 10% da potência nominal. Os relés de <i>scram</i> são normalmente energizados. Quando ocorre um alarme, os relés são desenergizados.	Idem ao anterior, caso os canais estejam descalibrados para 110%.	Idem 1,2 e 3 anteriores A monitoração de potência é feita verificando-se a quantidade do nitrogênio N-16, para o ajuste fino de potência. Se o nitrogênio N-16 atinge um nível indesejável, o operador abaixa a potência do reator.	Idem 1, 2 e 3 anteriores.

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 15 (folha 3/3)

Data: 16.07.2000

Folha: 16 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Parte de	Testa só a 110% (<i>SAFETY CHANNEL 1, 2 ou 3</i>)	Nenhuma para a segurança do reator.	1. Sistema de Proteção: 2 de 3 canais de segurança desligam o reator, caso a potência atinja o limite superior permitido, desde que os mesmos não estejam descalibrados (idem item 1 anterior).	Idem 1, 2 e 3 anteriores.

Nota: ⁽¹⁾ Refere-se à não execução do procedimento 15.

Cada chave de canal de segurança *SAFETY-CHANNEL-ZERO-OPERATE-CALIBRATE* fornece um sinal de nível zero e um sinal de final de escala para verificar os ajustes do circuito do canal de segurança correspondente. Quando a chave estiver na posição *OPERATE*, a potência do reator é mostrada no medidor de porcentagem de potência *PERCENT POWER*. Cada controle *TRIP TEST* fornece um sinal variável para inspecionar os ajustes do teste de desligamento do canal de segurança correspondente.

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 16 (folha 1/2)

Descrição: Testar *SAFETIES 1, 2 e 3* nas posições *ZERO* e *CALIBRATE*.

Palavra-chave: Testar

Intenção de Projeto: Colocar a chave *SAFETY CHANNEL* dos canais de segurança 1, 2 e 3 nas posições *ZERO* e *CALIBRATE* (itens 13a e 13b, Figura 3), e verificar se:

- na posição *ZERO* o ponteiro do mostrador *PERCENT POWER* está indicando zero.
 - Na posição *CALIBRATE* o ponteiro do mostrador *PERCENT POWER* está indicando 100 (%)
- O teste é realizado em um canal de segurança de cada vez.

Data: 16.07.2000

Folha: 17 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não testa <i>SAFETIES 1, 2 e 3</i>	Não detecção de possíveis anomalias ou falhas nos canais de segurança. Pode ocorrer desligamento do reator acima de 110% da potência nominal, se 2 dos 3 canais de segurança estiverem descalibrados. Observações: 1. Para compensar a reatividade negativa inserida pelo Xenônio-135, nos instantes iniciais da primeira partida semanal do reator, as barras de controle / segurança são colocadas numa posição tal que ao se atingir a potência de 2 MW, os canais de segurança estarão indicando 80% da potência nominal do reator, ao invés dos 100% reais correspondentes.	1. Leitura / Indicação do medidor do nitrogênio N-16 (painel auxiliar C1, Figura 8) no circuito primário de refrigeração (rotina informal de operação) 2. O nível de potência também pode ser verificado pela indicação do registrador LOG / LINEAR na mesa de controle (item 7, Figura 3). 3. Leitura do diferencial de temperatura do circuito primário (painel auxiliar C2, Figura 8).	1. Sugere-se adicionar à cadeia de <i>scram</i> a condição de desligamento por período em potências superiores a 200 kW. O canal de período é atualmente utilizado para <i>scram</i>, apenas para níveis de potência inferiores aos dos canais de potência. O desligamento por período, que ocorre em potências menores, poderia limitar os possíveis danos causados ao núcleo, na eventualidade de ocorrência de transientes de inserção rápida de reatividade. 2. Formalizar a rotina para leitura do nitrogênio N-16, que é realizada para confirmação do nível de potência do reator.

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 16 (folha 2/2)

Data: 16.07.2000

Folha: 18 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQÜÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
		Isto significa que qualquer transiente de inserção de reatividade positiva , durante esta etapa da partida, que resulte na atuação do Sistema de Proteção para efetuar o desligamento automático do reator em 110% da potência nominal, que é o limite superior estabelecido em projeto, poderá comprometer a integridade das placas combustíveis, uma vez que o desligamento se dará em potências superiores a 2,2 MW. 2. Se os canais de segurança estiverem descalibrados, a potência nominal do reator pode ser atingida com os canais de segurança numa porcentagem ainda maior e, numa condição em que se tivesse uma inserção rápida de reatividade, a atuação destes canais ocorreria em um nível de potência muito além do desejável, o que poderia comprometer a integridade do núcleo do reator.		

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 17

Descrição: Testar *REACTOR POWER* nas posições *ZERO* e *CALIBRATE* (a pena do canal linear varia de zero à 100%) e posicionar na escala adequada. **Palavra-chave:** Testar e Posicionar

Intenção de Projeto: Verificar se, quando a chave seletora *REACTOR POWER*⁽¹⁾ (picoamperímetro multifaixa linear) - item 6, Figura 3 - é colocada na posição *ZERO* (sinal de entrada), o sinal de saída indicado pela pena vermelha do registrador de pena dupla é também zero. Em seguida, verificar se, quando a chave seletora *REACTOR POWER* é colocada na posição *CALIBRATE*, o sinal de saída no registrador de pena vermelha fornece uma leitura de 100% da potência. Trata-se de um teste para verificar, no registrador Log / Linear, a calibração do instrumento. Depois, ajustar a chave seletora em uma das 15 posições *OPERATE*, para adequar o sinal de entrada para o amplificador a um nível tal que o sinal de saída gerado possa ser registrado dentro dos limites da escala do registrador de pena dupla .

Data: 16.07.2000

Folha: 19 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQÜÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não testa e não posiciona	Quando o reator for passado para a condição de controle automático, a potência pode subir ou descer, porque o operador pode tomar uma atitude incorreta: assume como referência a escala errada, isto é, coloca o nível de controle numa escala errada. Neste caso, o automático é que vai subir ou descer a barra erroneamente. Nesta situação, 2 de 3 canais de segurança desligarão o reator, se necessário.	Sistema de Proteção: 2 de 3 canais de segurança efetuarão o desligamento automático do reator, se a potência exceder o limite previsto para a operação normal.	Idem ao item 1 do procedimento 16, para o caso de uma operação na 2ª feira, prevendo-se falha nos canais de segurança (<i>safeties</i>), que estarão indicando 80%: Sugere-se adicionar à cadeia de <i>scram</i> a condição de desligamento por período em potências superiores a 200 kW. O canal de período é atualmente utilizado para <i>scram</i> , apenas para níveis de potência inferiores aos dos canais de potência. O desligamento por período, que ocorre em potências menores, poderia limitar os possíveis danos causados ao núcleo, na eventualidade de ocorrência de transientes de inserção rápida de reatividade.

Nota: ⁽¹⁾ O picoamperímetro de multifaixa linear (*REACTOR POWER*) é um instrumento de medida de corrente contínua, que converte a corrente vinda do detector de de nêutrons em uma voltagem que é proporcional a esta corrente de entrada. Este instrumento é constituído internamente de um amplificador linear de corrente com impedância de entrada zero, resistores, uma chave de escalas para selecionar a sensibilidade da corrente de entrada para o amplificador de saída. O picoamperímetro multifaixa fornece um sinal para o controle automático do reator e também fornece sinal de entrada para o registrador de pena dupla (pena vermelha). No modo estacionário, o amplificador linear pode estar em *ZERO*, *CALIBRATE*, ou em uma das posições *OPERATE*, cuja escala varia de 3 W a 30 MW.

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 18

Descrição: Verificar se o SISTEMA DE VENTILAÇÃO (SVAC) está em operação (áreas quente e fria)

Palavra-chave: Verificar

Intenção de Projeto: Verificar no painel auxiliar D1 (Figura 9), se existe indicação de depressão nas áreas quente e fria do prédio do reator.

Data: 16.07.2000

Folha: 20 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQÜÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não verifica	1. Nenhuma, para a segurança do reator. 2. Não detecção de possíveis falhas no SVAC: em caso de depressão baixa na área quente e/ou fria, ocorre escape do ar da área controlada para as áreas não controladas	Não existem. O SVAC está sendo modificado (IPEN, 1996c). Atualmente, a monitoração da depressão nas áreas quente e fria é feita por meio do painel auxiliar D1 (Figura 9) , onde estão instalados indicadores de depressão nas áreas quente e fria, respectivamente.	-

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 19

Descrição: Verificar se o SISTEMA DE ALARME DE INCÊNDIO está ligado

Palavra-chave: Verificar

Intenção de Projeto: Verificar, no módulo do Sistema de Proteção e Combate a Incêndio do painel auxiliar D2 (Figura 9), se a luz que indica que o sistema está ligado encontra-se acesa. Esta instrução consiste em inspecionar se o quadro sinótico do sistema, que se encontra na sala de controle, está alimentado eletricamente (*led* verde aceso) e também efetuar o teste dos demais *leds* do quadro.

Data: 16.07.2000

Folha: 21 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não verifica	Nenhuma para a segurança. Não detecção de possíveis lâmpadas queimadas no quadro sinótico que se encontra na Sala de Controle.	O Sistema de Proteção e Combate a Incêndio possui 2 quadros sinóticos independentes: um na Sala de Controle e outro na Sala de Emergência do Reator (IPEN, 1996d). O sistema fica permanentemente ligado e, normalmente, os módulos de monitoração são alimentados eletricamente pela rede externa. Em caso de interrupção de energia elétrica da rede externa, o suprimento de energia elétrica de emergência será feito por um conjunto de 2 baterias. As falhas nos módulos de monitoração possuem sinalização visual e sonora. O <i>led</i> amarelo indicará o local da falha, junto com um alarme sonoro. Apertando-se o botão "silencia" no painel, o som passará a ser emitido por um bip intermitente, até que a falha seja sanada.	Explicitar na Lista de Verificação o teste dos <i>leds</i> que é realizado.

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 20 (folha 1/2)

Descrição: Verificar se a CHAVE *MODE SELECTOR* está em manual e posicionar na porcentagem adequada de demanda de potência.

Palavra-chave: Verificar e Posicionar

Intenção de Projeto: O operador deve verificar se está acionada a tecla *MANUAL* da chave *FLUX CONTROL* (item 5, Figura 3), também chamada *MODE SELECTOR*. Depois, na chave % *DEMAND* (potenciômetro de ajuste de demanda de potência (IPEN, 1996b), selecionar o valor de referência para o controlador automático, conforme a potência de operação desejada para o reator. Verificar esta porcentagem de demanda de potência selecionada corresponde ao nível do sinal de potência real vinda do picoamperímetro (selecionada pela chave *REACTOR POWER* - ver procedimento 17).

Data: 16.07.2000

Folha: 22 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não verifica e não posiciona	1. Se a chave estiver em “automático”, não se consegue acioná-la manualmente. 2. A porcentagem é ajustada conforme a escala do canal linear (item 7, Figura 3). Esta porcentagem corresponde à escala da chave <i>REACTOR POWER</i> (item 6, Figura 3) (a regulagem desta chave é feita durante a operação, conforme o sinal do canal linear). Este ajuste só é feito quando a chave <i>MODE SELECTOR</i> está posicionada em “automático” (controle automático do reator). Uma inconsistência entre as escalas de porcentagem e a escala linear pode provocar, quando a chave está na posição de controle “automático”, subida ou descida indevida da barra de controle. Neste caso, o ajuste indevido é percebido e corrigido pelo operador.	1. Existe uma limitação eletrônica para a ação do controle automático. O circuito eletrônico de desligamento limita variações bruscas de tensão, evitando excursão de potência. 2. A velocidade de movimentação das barras de controle e segurança, tanto para remoção quanto para inserção, é limitada mecânica e eletronicamente.	-

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 20 (folha 2/2)

Data: 16.07.2000

Folha: 23 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQÜÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Outra	Posiciona na porcentagem errada (intermediária entre a máxima e a mínima)	Uma inconsistência entre as escalas de porcentagem e a escala LINEAR pode provocar, quando na posição "automático", subida ou descida indevida da barra de controle. Neste caso, o ajuste indevido é percebido e corrigido pelo operador	Idem 1 e 2 anteriores.	-
Menos	Posiciona em porcentagem menor	Idem ao anterior.	Idem 1 e 2 anteriores.	-
Mais	Posiciona em porcentagem maior	Idem ao anterior.	Idem 1 e 2 anteriores.	-

Nota: Apenas a barra de controle está ligada ao modo de controle "automático". O controlador automático é utilizado para manter a potência do reator em valor constante. Neste caso, o sinal de potência proveniente do canal linear é comparado com o sinal de demanda / referência selecionado pelo operador, gerando em sua saída um sinal de erro. O sinal de erro, por sua vez, é utilizado como entrada em um amplificador com saída limitada (bloco limitador), para evitar grandes variações de potência (GENERAL ATOMIC, 1975).

As barras de segurança (3 barras) estão conectadas apenas ao modo de controle "manual".

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 21

Descrição: Verificar se os MECANISMOS DAS BARRAS estão inseridos

Palavra-chave: Verificar

Intenção de Projeto: Esta ação é para verificar, para cada barra, se existe contato entre a barra e o respectivo magneto (botoeira *CONT*⁽¹⁾ acesa, Figura 6) e se o mecanismo de acionamento da barra está inserido (botoeira *ROD SEATED* acesa, Figura 6). O mostrador digital de posição de barras (item 4, Figura 3) indicando zero, também indica que o mecanismo de acionamento da barra encontra-se inserido.

Data: 16.07.2000

Folha: 24 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não verifica	Nenhuma para a segurança do reator.	Sistema de Proteção: a condição de <i>scram</i> permanecerá se qualquer barra de segurança / controle estiver inserida. Esta condição de <i>scram</i> é caracterizada pelas luzes azuis da alavanca de <i>scram</i> apagadas no painel central da mesa de controle.	-

Nota: ⁽¹⁾ Quando a chave dupla *CONT-ON* é pressionada, a corrente do magneto é interrompida e as lâmpadas *ON* são apagadas. Se, neste instante, houver uma barra acima do limite inferior, tal barra cairá e a lâmpada do *CONT* apagará, mantendo-se assim até que o contato e a armação seja refeito. A corrente de magneto é restaurada quando todos os mecanismos e barras estiverem unidos / acoplados.

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 22

Descrição: Verificar se o CANAL LOG (item 11, Figura 3) está indicando contagem

Palavra-chave: Verificar

Intenção de Projeto: Acionar o botão *AUDIO* ⁽¹⁾ para que o sinal que indica a contagem de nêutrons possa ser transmitida para um auto falante. O sinal é audível.

Data: 16.07.2000

Folha: 25 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não verifica	Para se ligar o reator, a contagem de nêutrons mínima deve ser de 5 contagens por segundo, cujo som provém do <i>AUDIO</i> , e o canal logaritimico deve indicar contagem mínima de nêutrons correspondente a 10^{-7} % da potência nominal. Se a contagem de nêutrons estiver abaixo de um destes dois valores, tem-se uma condição de <i>scram</i> e o reator não poderá ser ligado, pois os magnetos das barras não estarão energizados.	Sistema de Proteção: intertravamento não permite a partida do reator para contagens abaixo destes limites mínimos.	-

Nota : ⁽¹⁾ O botão *AUDIO* permite a divisão da saída *COUNT RATE* para um auto falante remoto de 10^0 a 10^{-3} vezes as contagens, sendo que quando atingir a máxima posição, esta poderá ser desligada. Para a retirada das barras, o valor mínimo do nível da fonte que deve ser satisfeito é cerca de 5 contagens por segundo. A partir de aproximadamente 10^{-5} % da potência, o canal linear multi-faixa consegue detectar fluxo de nêutrons e o resultado é indicado no registrador Log / Linear por intermédio da pena vermelha.

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 23

Descrição: Verificar as seis posições de calibração do MEDIDOR LOG (vide item 11, Figura 3)

Palavra-chave: Verificar

Intenção de Projeto: Colocar a chave *PERIOD / LOG* (item 13c, Figura 3) nas posições 1, 2, 3, 4, 5 e 6, para verificar se em cada posição os sinais de potência gerados (por simulação eletrônica) para o medidor de porcentagem de potência (*PERCENT POWER*) resultam em indicações correspondentes aos valores de potência previamente ajustados no processo de calibração.

Data: 16.07.2000

Folha: 26 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQÜÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não testa P1, P2, P3, P4, P5 e P6	Não detecção de possíveis defeitos ou falhas nestes medidores (descalibração, por exemplo)	Sistema de Proteção: Acima de 10% da potência nominal, atuam os canais de segurança, podendo chegar a ocorrer <i>scram</i> do reator por sobrepotência. Também poderá ocorrer desligamento automático do reator por temperatura alta da água do circuito primário. Se o seletor for deixado em alguma posição de teste, os magnetos permanecerão desenergizados, não se conseguindo, portanto, ligar o reator. Falhas nos medidores podem ser detectadas pelos operadores no transcorrer da operação do reator (por exemplo, por meio do registrador de potência).	-

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 24

Descrição: Verificar se os *BEAM HOLES FECHADOS* estão com as luzes verdes acesas sem *by-pass* **Palavra-chave:** Verificar

Intenção de Projeto: Verificar no módulo *Beam Doors* do painel auxiliar B (Figura 7), se as luzes indicativas de *Beam Holes* fechados (luzes verdes) estão acesas.

Data: 16.07.2000

Folha: 27 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQÜÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não verifica	Nenhuma para a segurança, pois se o BH estiver aberto sem autorização (sem <i>by-pass</i>), não se consegue partir o reator (detecção via anunciador <i>BEAM DOOR</i> no painel auxiliar B, Figura 7, com a luz vermelha acesa e o anunciador luminoso <i>BEAM DOOR</i> , Figura 5, na mesa de controle MC-1).	Sistema de Proteção : Qualquer BH aberto sem o devido bloqueio por parte do operador (acionamento do <i>by-pass</i>) bloqueia a partida do reator. A existência de qualquer BH aberto sem autorização / aberto sem <i>by-pass</i> é sinalizada com alarme visual e sonoro na mesa de controle (anunciador <i>BEAM DOOR</i> , Figura 5). O alarme dispara assim que a mesa de controle é ligada.	Sugere-se a colocação de dispositivos de alarme visual e sonoro em todos os detetores de radiação de área não vinculados à cadeia de <i>scram</i> , com sinalização remota na Sala de Controle e de Emergência (idem à sugestão 1 apresentada no procedimento 7 desta tabela). Nota: A eficácia do procedimento 24 depende da realização do procedimento 12 (teste das lâmpadas dos BH's).

Nota: O módulo *BEAM DOORS* no painel auxiliar B (Figura 7) apresenta as seguintes indicações:

Luz verde acesa-BH fechado

Luz laranja acesa-BH em *by-pass*, aberto com autorização

Luz vermelha acesa - BH aberto, sem autorização. Estas luzes estão na cadeia de *scram*. Se BH for aberto sem estar em *by-pass*, ocorrerá *scram* do reator.

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 25 (folha 1/2)

Descrição: Verificar se os *BEAM HOLES* ABERTOS estão em *by-pass* com o conhecimento do SPP

Palavra-chave: Verificar

Intenção de Projeto: Verificar, junto ao SPP, se existe autorização para estarem abertos os Beam Holes, conforme indicado no módulo *BEAM DOORS* do painel auxiliar B (Figura 7), onde estão acesas as luzes laranjas, cujo significado é "BH em *by-pass* aberto com autorização".

Data: 16.07.2000

Folha: 28 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQÜÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não verifica	Se existir algum BH aberto em <i>by-pass</i> sem o conhecimento da equipe de proteção radiológica. a. No caso do BH mais distante do núcleo (localizado na região da barreira térmica) em <i>by-pass</i> , sem blindagem, consegue-se partir o reator e aumentar a potência. A dose não é alta devido à barreira térmica e física (parede da piscina). A posição deste BH é desfavorável para a emissão de altas dosagens.	Não existem.	1. Sugere-se a colocação de dispositivos de alarme visual e sonoro em todos os detetores de radiação de área não vinculados à cadeia de <i>scram</i> , com sinalização remota na Sala de Controle e de Emergência (idem à sugestão 1 apresentada no procedimento 7 desta tabela). 2. Estabelecer o uso de dosímetro individual sonoro, em substituição aos atuais, para as pessoas que tenham acesso às áreas quentes do Prédio do Reator.

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 25 (folha 2/2)

Data: 16.07.2000

Folha: 29 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não verifica	b. No caso dos demais BH's, ocorre emissão de altas dosagens no Saguão de Experimentos da Física Nuclear, após a partida do reator.	1. Para nível alto de radiação, soará um alarme na Sala de Controle, com sinalização visual, via sinal do detector de radiação número 6 ligado à cadeia de <i>scram</i> do reator: alarme luminoso e sonoro para nível de alerta. A indicação do detector de área é sinalizada no painel auxiliar B, Figura 7. 2. Sistema de Proteção: <i>scram</i> do reator, se a radiação atingir nível de perigo (via detector de radiação número 6: anunciador luminoso e sonoro <i>RAD LVL BEAM ROOM</i> na mesa de controle (Figura 5) e alarme visual e sonoro no painel auxiliar B (Figura 7), caso algum destes BH's esteja em <i>by-pass</i> sem autorização).	Idem 1 e 2 anteriores.

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 26

Descrição: Verificar se os INDICADORES DE CONDUTIVIDADE estão ligados (operacionais)

Palavra-chave: Verificar

Intenção de Projeto: Verificar, no módulo do Sistema de Tratamento no painel auxiliar D2 (Figura 9), se há indicação da condutividade da água do circuito primário.

Data: 16.07.2000

Folha: 30 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQÜÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
-	O condutivímetro foi retirado do painel auxiliar D, em função da modernização da instrumentação da sala de controle, porém sem prévio aviso ao responsável pelo sistema de tratamento de água. Esta ação constitui-se um desvio de procedimento administrativo da instalação.	Esta ação infringe os procedimentos de partida do reator, podendo implicar na partida do mesmo com a condutividade da água fora das especificações técnicas ($\leq 2,0\mu\text{S}/\text{cm}$), o que não é permitido. Neste caso, haverá aumento do nível de radiação na superfície da piscina e aumento da taxa de corrosão dos componentes do circuito primário, devido à irradiação das impurezas na água.	Como o condutivímetro foi retirado, a monitoração da condutividade da água é feita, atualmente, por meio de análise diária de amostras da água do circuito primário, durante a operação do reator.	1. Repor o condutivímetro no Sistema de Tratamento de Água. 2. Recomenda-se que qualquer alteração de dispositivos, em equipamentos ou em sistemas da instalação seja prontamente documentada e comunicada aos responsáveis pela instalação e notificada, em circular, a todos os operadores, antes da partida do reator. A circular deverá ser assinada por todos os envolvidos.

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 27

Descrição: Verificar se os MONITORES DE AR E ÁREA ⁽¹⁾ estão ligados

Palavra-chave: Verificar

Intenção de Projeto: Ligados = Operacionais. Verificar se estão acesas as seguintes luzes: a luz verde (= *operate*) no módulo do Sistema de Ventilação e Ar Condicionado (que monitora a radiação no ar - dutos) no painel auxiliar D1 (Figura 9) está acesa; e a luz indicativa de nível normal de radiação no módulo de Monitoração de Alarmes (para a monitoração de radiação de área) no painel auxiliar C1 (Figura 8) está acesa.

Data: 16.07.2000

Folha: 31 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não verifica	Nenhuma para a segurança do reator. Se por algum motivo o monitor de área estiver fora de operação, não serão sinalizados alarmes, em caso de necessidade.	Não existem.	Sugere-se a interligação dos monitores de ar com o sistema de monitoração de alarmes de radiação.

Nota: ⁽¹⁾ Estes monitores são monitores dos monitores de radiação. Os monitores de área possuem alarme luminoso e sonoro. Os monitores de radiação no ar (dutos) possuem apenas alarme visual (Luz verde= *operate*).

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 28 (folha 1/2)

Descrição: Verificar o NÍVEL DE ÁGUA da Piscina

Palavra-chave: Verificar

Intenção de Projeto: Verificar se a botoeira *POOL LEVEL* no quadro anunciador de alarmes da mesa de controle MC-1 (Figura 5) está ligada. Para nível baixo de água na piscina, a sinalização é visual e sonora.

Data: 16.07.2000

Folha: 32 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQÜÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não verifica	Não detecção de eventual nível baixo de água da piscina. A câmera de televisão instalada na Sala de Emergência só permite inspeção visual do nível de água da piscina durante a semana. Nos finais de semana, as luzes do saguão da piscina permanecem desligadas, o que impossibilita a detecção da queda do nível de água, em caso de eventual vazamento. Além disso, existe o problema da falta de alarmes sonoro e visual na Sala de Emergência.	Se o nível de água da piscina estiver cerca de 10 a 15 cm abaixo do ladrão, soará alarme de nível baixo quando a mesa de controle for ligada (anunciador <i>POOL LEVEL</i>, Figura 5).	1. Instalar um sistema de monitoração contínua do nível de água da piscina, com alarme de nível alto de água, para evitar possível transbordamento, e de nível baixo, para a detecção de eventual vazamento, com sinalização na Sala de Emergência. Incluir a instalação de um sistema de iluminação na piscina do reator, com acionamento remoto pela Sala de Emergência, que possibilite a monitoração remota do nível da mesma, em caso de alarme. 2. Instalar um detetor de radiação de área no saguão da piscina com alarme visual e sonoro na Sala de Emergência. Com esta medida, evita-se deixar o sistema de alarme de radiação ligado, quando o reator estiver desligado.

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 28 (folha 2/2)

Data: 16.07.2000

Folha: 33 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não verifica			3. Prever instrução / rotina de verificação periódica do nível da piscina, da Sala de Emergência.

Tabela 3 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Etapas de Procedimento Aplicáveis ao Processo de Partida para Operação em Potências até 200 kW (10% da potência nominal) e a 2 MW (100% da potência nominal)

Nó: Etapa de Procedimento 29

Descrição: Inspeccionar o NÚCLEO DO REATOR

Palavra-chave: Inspeccionar

Intenção de Projeto: Inspeção visual local para verificar se os refletores e os elementos de irradiação estão nas posições corretas e/ou verificar se não existem objetos bloqueando os canais de refrigeração dos elementos combustíveis.

Data: 16.07.2000

Folha: 34 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQÜÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não inspeciona o NÚCLEO DO REATOR	Possível não detecção de eventuais: a. bloqueios de canais de refrigeração do núcleo; b.mau posicionamento de elementos de irradiação, elementos combustíveis ou refletores.	Existe um procedimento informal de verificação do núcleo realizado pelos operadores e pela proteção radiológica: quando o reator está com cerca de 50% da potência nominal, utiliza-se o Efeito Cherenkov para verificar se existe algum bloqueio de canal. Se for detectado algum problema, chama-se o supervisor.	1. Para potências superiores a 200 kW, formalizar o procedimento de inspeção do núcleo a 50% da potência nominal.

Tabela 4 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências Superiores a 200kW

Nó: Etapa de Procedimento 30

Descrição: Ligar o REGISTRADOR DE TEMPERATURA anotando: operação e horário

Palavra-chave: Ligar

Intenção de Projeto: Ligar o módulo Temperaturas, no painel auxiliar C2 (Figura 8), anotando o número da operação do reator e o horário.

Data: 16.07.2000

Folha: 35 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não liga	Não detecção de desvios anormais de temperatura.	Leitura da temperatura a cada 30 minutos (a 1ª leitura é feita 30 minutos após o reator atingir a criticalidade).	-

Tabela 4 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências Superiores a 200kW

Nó: Etapa de Procedimento 31

Descrição: : Ligar o REGISTRADOR DE VAZÃO, N-16, ΔP

Palavra-chave: Ligar

Intenção de Projeto: Ligar, no módulo Vazão (*FLOW METER*) do painel auxiliar C2 (Figura 8), o registrador de vazão do circuito primário. A mesma chave que liga o registrador de vazão, liga também o registrador digital do nitrogênio N-16 e o registrador do ΔP (diferencial de pressão no circuito primário). Um canal nuclear adicional para o nitrogênio N-16 permite uma monitoração indireta do nível da potência térmica do reator, e sua medida é utilizada como referência para calibração dos demais canais nucleares (IPEN, 1996b).

Data: 16.07.2000

Folha: 36 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQÜÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não liga o registrador de vazão, N-16, ΔP	Não se tem indicação da vazão e da pressão diferencial do circuito primário (painel auxiliar C2, Figura 8), nem a indicação digital do nitrogênio N-16.	Como não se tem medida de vazão nem do ΔP , o Sistema de Proteção não habilitará a partida do reator. Esta condição de <i>scram</i> é caracterizada na mesa de controle MC-1 pelos anunciadores ΔP CORE e PRIMARY FLOW A/B, que permanecerão com as luzes acesas (vide Figura 5).	-

Tabela 4 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências Superiores a 200kW

Nó: Etapa de Procedimento 32

Descrição: Ligar a CHAVE DO N-16

Palavra-chave: Ligar

Intenção de Projeto: O painel auxiliar C1 (Figura 8) é ligado diretamente na tomada, pois a chave “liga-desliga” foi retirada. Esta instrução liga o indicador analógico do nitrogênio N-16.

Data: 16.07.2000

Folha: 37 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQÜÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não liga a chave do N-16	Não se tem indicação analógica do nitrogênio N-16.	Detecta-se que o indicador do nitrogênio N-16 não foi ligado (via painel auxiliar C1, Figura 8) durante o aumento da potência do reator, já que N-16 é utilizado como referência para se verificar o nível de potência do reator. Outra maneira de se verificar o nível ou qualquer aumento excessivo de potência é pela indicação dos canais de segurança (<i>safeties</i>). A cada 30 minutos também é feita a leitura dos parâmetros da planta.	-

Tabela 4 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências Superiores a 200kW

Nó: Etapa de Procedimento 33 (folha 1/2)

Descrição: Verificar se o ALARME DE NÍVEL DE ÁGUA DAS TORRES DE REFRIGERAÇÃO não está acionado.

Palavra-chave: Verificar

Intenção de Projeto: Verificar no quadro anunciador de alarmes da mesa de controle do reator se o anunciador *TOWER LEVEL A/B* (*) (Figura 5) está com a luz apagada (indicando que o nível não está baixo).

Data: 16.07.2000

Folha: 38 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQÜÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não verifica	1. Nenhuma, se o nível de água das torres estiver dentro dos limites estabelecidos para a operação das mesmas. 2. Se a bóia estiver com problema (por ex. travada) não há, da Sala de Controle, como detectar nível baixo das torres. Nesta condição, após a partida do reator, ocorrerá aumento da temperatura do circuito primário. 3. Caso a bóia esteja funcionando e o nível da torre baixo, assim que a mesa de controle for ligada, soará o alarme (anunciador <i>TOWER LEVEL A/B</i>, Figura 5) na mesa de controle MC-1.	Para a conseqüência 2, ocorrerá desligamento automático do reator (<i>scram</i>), caso a temperatura do circuito primário atinja 40°C, que é o limite previsto para a atuação do Sistema de Proteção. Neste caso, a remoção de calor residual do núcleo do reator dar-se-á por convecção natural.	Incluir procedimento na Lista de Verificação Inicial para inspeção local do nível de água e do alinhamento das torres de refrigeração.

Tabela 4 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências Superiores a 200kW

Nó: Etapa de Procedimento 33 (folha 2/2)

Data: 16.07.2000

Folha: 39 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQÜÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Outra	Verifica errado (ex.: verifica o alarme da torre A ao invés do alarme da torre B)	1. Nenhuma, se o nível de água da torre que estiver alinhada com o circuito secundário estiver dentro dos limites estabelecidos para a operação da mesma. 2. Idem comentário (2) do desvio anterior, para a torre que não foi verificada, isto é, para aquela que está alinhada com o sistema: Se a bóia estiver com problema (por ex. travada) não há, da Sala de Controle, como detectar nível baixo das torres. Nesta condição, após a partida do reator, ocorrerá aumento da temperatura do circuito primário.	Idem ao anterior, para a conseqüência 2: Ocorrerá desligamento automático do reator (<i>scram</i>), caso a temperatura do circuito primário atinja 40°C, que é o limite previsto para a atuação do Sistema de Proteção. Neste caso, a remoção de calor residual do núcleo do reator dar-se-á por convecção natural.	Idem à anterior.

Nota: Existe um alarme para cada torre (A e B), os quais não pertencem à cadeia de *scram*.

Tabela 4 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências Superiores a 200kW

Nó: Etapa de Procedimento 34

Descrição: Verificar se existe PRESSÃO NO COMPRESSOR DE AR COMPRIMIDO

Palavra-chave: Verificar

Intenção de Projeto: Verificar no módulo do Sistema de Ar Comprimido (painel auxiliar D1, Figura 9) se o compressor indica uma pressão de 7 kgf/m². O ar comprimido é utilizado para levantar e manter o *Header* (válvula de convecção do reator) acoplado ao núcleo do reator durante a partida, até que a pressão do sistema seja suficiente para sustentá-lo nesta condição. O manômetro na sala de controle está desativado e a atuação do sistema de ar comprimido é verificada com a subida da haste do *Header*, quando o botão de subida é acionado.

Data: 16.07.2000

Folha: 40 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não verifica	Nenhuma para a segurança, pois se não houver ar comprimido, o <i>Header</i> não será acoplado e não será possível efetuar a partida do reator.	Sistema de Proteção: circuito de intertravamento que impede a partida do reator se o <i>Header</i> não estiver acoplado. A luz no painel anunciador de alarme na mesa de controle MC-1 (<i>UP</i> , Figura 5) permanecerá acesa, indicando que o <i>Header</i> está desacoplado.	-

Tabela 4 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências Superiores a 200kW

Nó: Etapa de Procedimento 35

Descrição: Manter em condições de operar os VENTILADORES DA TORRE DE REFRIGERAÇÃO

Palavra-chave: Manter em condições de operar

Intenção de Projeto: Verificar, no painel auxiliar D2 (Figura 9), se os ventiladores da torre de refrigeração estão ligados (luz vermelha acesa) ou desligados (luz verde acesa). Caso estejam desligados, ligá-los por meio da botoeira instalada neste painel.

Data: 16.07.2000

Folha: 41 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não mantém em condições de operar	Aumento da temperatura do circuito primário, se o ventilador estiver fora de operação.	Nenhuma. Além disso, não há como detectar da sala de controle se os ventiladores estão funcionando ou não. É possível a detecção de alguma anomalia pelos operadores, em função do aumento da temperatura do refrigerante do primário. Quando a temperatura atinge cerca de 33°C (monitoração via painel auxiliar C2, Figura 8), os operadores verificam as condições dos sistemas para identificar as causas de eventuais problemas. Desligamento automático do reator (<i>scram</i>), caso a temperatura do circuito primário atinja 40°C, que é o limite previsto para a atuação do Sistema de Proteção. Neste caso, a remoção de calor residual do núcleo do reator dar-se-á por convecção natural.	1. Substituir o texto da instrução por: "Ligar os Ventiladores da Torre de Refrigeração e Verificar se os mesmos estão Operativos (luz vermelha acesa). 2. Acrescentar um dispositivo mecânico para monitorar o funcionamento dos ventiladores. Outra alternativa seria a realização de inspeção local para verificar se os ventiladores estão operativos.

Nota: A luz vermelha acesa indica que existe alimentação elétrica para os motores dos ventiladores, o que não significa que os mesmos estejam funcionando.

Tabela 4 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências Superiores a 200kW

Nó: Etapa de Procedimento 36

Descrição: Manter em condições de operar o SISTEMA PNEUMÁTICO DE IRRADIAÇÕES

Palavra-chave: Manter em condições de operar

Intenção de Projeto: Esta instrução significa que o operador deve verificar se o sistema está ligado ou desligado, pela indicação luminosa no painel auxiliar C2 (Figura 8). O motor do compressor é ligado na botoeira instalada no painel auxiliar C2. A luz vermelha acesa indica que o sistema está funcionando.

Data: 16.07.2000

Folha: 42 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não mantém em condições de operar o Sistema Pneumático de irradiações.	Nenhuma para a segurança do reator. Este sistema não tem influência na partida ou na operação do reator. Se o sistema não estiver operativo, não será possível efetuar a irradiação de amostras no Sistema Pneumático de Irradiações.	Nenhuma. Não há como saber, na Sala de Controle, se o sistema está operativo ou não.	Substituir a instrução por : "Ligar o Sistema Pneumático de Irradiações e Verificar se o mesmo está Operativo".

Tabela 4 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências Superiores a 200kW

Nó: Etapa de Procedimento 37

Descrição: Conferir o posicionamento dos ELEMENTOS DE IRRADIAÇÃO

Palavra-chave: Conferir

Intenção de Projeto: Verificar se os elementos de irradiação estão adequadamente posicionados no núcleo do reator.

Data: 16.07.2000

Folha: 43 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQÜÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não confere	Não detecção de eventual posicionamento inadequado de algum elemento de irradiação.	Não existem.	Para potências superiores a 200 kW, formalizar o procedimento de inspeção do núcleo a 50% da potência nominal (Idem à do procedimento 29, Tabela 3).

Tabela 4 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências Superiores a 200kW

Nó: Etapa de Procedimento 38 (folha 1/2)

Descrição: Abrir a válvula VP-1 e VP-9 na sala de máquinas

Palavra-chave: Abrir

Intenção de Projeto: Abrir as válvulas VP-1 e VP-9 instaladas na linha de circulação de refrigerante do primário. Esta atividade é realizada no porão do prédio do reator. A válvula VP-1 deve ser totalmente aberta. A válvula VP-9 é aberta até que a altura da haste de acionamento seja igual à de um padrão que é utilizado pelo operador, para garantir o ajuste do fluxo de água que circula no primário.

Data: 16.07.2000

Folha: 44 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQÜÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não abre	Nenhuma para a segurança do reator. Falta de vazão no circuito primário. Superaquecimento da bomba do primário.	Sistema de Proteção: se a vazão no circuito primário for inferior a 90% do valor nominal, a condição de <i>scram</i> do reator não é eliminada (intertravamento). O operador pode detectar a ausência de vazão, verificando o indicador de vazão instalado no painel auxiliar C2 (Figura 8) da Sala de Controle, durante a partida do circuito primário.	Incluir na Lista de Verificação Inicial instrução para conferir o alinhamento de todos os componentes do circuito primário e secundário antes da partida das bombas destes sistemas. Verificar também o ajuste da válvula VP-9 do circuito primário.

Tabela 4 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências Superiores a 200kW

Nó: Etapa de Procedimento 38 (folha 2/2)

Data: 16.07.2000

Folha: 45 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Menos	Abre menos	Nenhuma para a segurança do reator. Vazão menor do que a requerida para a operação do reator.	Sistema de Proteção: se a vazão no circuito primário for inferior a 90% do valor nominal, não se consegue eliminar a condição de <i>scram</i> do reator (intertravamento). O operador pode detectar vazão baixa, verificando o indicador de vazão instalado no painel auxiliar C2 (Figura 8) da Sala de Controle, durante a partida do circuito primário.	Idem à anterior.
Mais	Abre mais	Se o desvio não for detectado antes da partida do reator, a vazão no circuito primário será maior do que a nominal, podendo conduzir a um resfriamento excessivo do núcleo do reator. Neste caso, a potência nominal do reator será alcançada com as barras mais inseridas do que previsto.	O operador pode detectar vazão excessiva, verificando o indicador de vazão instalado no painel auxiliar C2 (Figura 8) da Sala de Controle, durante a partida do circuito primário. Neste caso, o acerto de vazão é feito pelo operador, que fará o ajuste local da válvula VP-9.	Idem à anterior.

Tabela 4 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências Superiores a 200kW

Nó: Etapa de Procedimento 39

Descrição: Drenar *BEAM HOLES*

Palavra-chave: Drenar

Intenção de Projeto: Drenar a água dos *Beam Holes* (tubos de irradiação) para retirar bolhas de ar presentes na mesma. As bolhas de ar impedem a blindagem adequada dos BH's pela água.

Data: 16.07.2000

Folha: 46 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQÜÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não drena	Comprometimento da blindagem dos BH's, devido à presença de bolhas de ar na água. Isto pode resultar em uma exposição à radiação maior do que os limites normais estabelecidos para os pesquisadores e operadores que possam estar no Saguão de Experimentos do reator. Nenhuma consequência para a segurança do reator.	Não existem. O problema pode ser detectado durante a operação do reator, com a monitoração periódica (2 vezes ao dia, no primeiro andar) dos níveis de radiação no local, a qual é realizada pelo pessoal da proteção radiológica.	1. Sugere-se a colocação de dispositivos de alarme visual e sonoro em todos os detetores de radiação de área não vinculados à cadeia de <i>scram</i> , com sinalização remota na Sala de Controle e de Emergência (idem à sugestão 1 do procedimento 7, Tabela 3). 2. Estabelecer o uso de dosímetro individual sonoro, em substituição aos atuais, para as pessoas que tenham acesso às áreas quentes do Prédio do Reator (idem sugestão 2 do procedimento 25, Tabela 3).
Parcialmente	Drena parcialmente	Idem às anteriores.	Idem ao anterior.	Idem 1 e 2 anteriores.

Tabela 4 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências Superiores a 200kW

Nó: Etapa de Procedimento 40 (folha 1/2)

Descrição: Levantar *HEADER* e ligar a(s) BOMBA(s) DO CIRCUITO PRIMÁRIO

Palavra-chave: Levantar e Ligar

Intenção de Projeto: Acionar o botão do pistão pneumático via Sala de Controle e, em seguida, ligar a bomba do circuito primário no módulo Comando do Sistema de Bombas, no painel auxiliar C2 (Figura 8). O botão para acoplamento do *header* é mantido acionado até que as bombas do circuito primário sejam ligadas e a vazão esteja estabelecida, de modo que a pressão do sistema seja suficiente para manter o header acoplado ao núcleo do reator.

Data: 16.07.2000

Folha: 47 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não levanta o <i>Header</i>	Nenhuma para a segurança do reator. <i>Header</i> não é acoplado à base do núcleo do reator. Não é possível partir as bombas do circuito primário (intertravamento).	Sistema de Proteção: se o header não estiver acoplado, a condição de <i>scram</i> do reator não é eliminada (intertravamento). A luz do anunciador <i>HEADER UP</i> na mesa de controle (Figura 5) permanecerá acesa. Enquanto existir alguma condição de <i>scram</i> , não haverá corrente nos magnetos das barras de controle e segurança. Portanto, não é possível efetuar a partida do reator.	1. Incluir na Lista de Verificação Inicial instrução para conferir o alinhamento de todos os componentes do circuito primário e secundário antes da partida das bombas destes sistemas. Verificar também o ajuste da válvula VP-9 do circuito primário. 2. Incluir instrução para verificar a vazão do circuito primário.
	Não liga a bomba do circuito primário	Nenhuma para a segurança do reator. A pressão no sistema primário requerida para manter o <i>Header</i> acoplado à base do núcleo do reator não será atingida.	Idem ao anterior.	Idem 1 e 2 anteriores.

Tabela 4 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências Superiores a 200kW

Nó: Etapa de Procedimento 40 (folha 2/2)

Data: 16.07.2000

Folha: 48 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Antes	Solta o botão de acoplamento do <i>Header</i> antes do tempo (diferencial de pressão no núcleo insuficiente para manter o <i>Header</i> acoplado)	Nenhuma para a segurança do reator. Possível desacoplamento do <i>Header</i> .	Idem ao anterior.	Idem 1 e 2 anteriores.

Tabela 4 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências Superiores a 200kW

Nó: Etapa de Procedimento 41

Descrição: Ligar a(s) BOMBA(s) DO CIRCUITO SECUNDÁRIO

Palavra-chave: Ligar

Intenção de Projeto: Ligar a bomba do circuito secundário no módulo Comando do Sistema de Bombas, no painel auxiliar C2 (Figura 8).

Data: 16.07.2000

Folha: 49 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não liga	A temperatura do circuito primário aumenta.	Pode ocorrer <i>scram</i> do reator, caso a temperatura do circuito primário atinja 40°C, que é o limite para a atuação do Sistema de Proteção. A ausência de vazão no secundário e a temperatura alta no primário podem ser verificadas pelo operador nos indicadores de vazão e de temperatura instalados no painel auxiliar C2 (Figura 8) da Sala de Controle.	Incluir na Lista de Verificação Inicial instrução para conferir o alinhamento de todos os componentes do circuito primário e secundário antes da partida das bombas destes sistemas (ver sugestão no procedimento 38 da Tabela 4). Incluir instrução para verificar a vazão do circuito secundário.
Outra	Liga outra	A temperatura do circuito primário aumenta.	Idem aos anteriores.	Idem às anteriores.

Tabela 4 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências Superiores a 200kW

Nó: Etapa de Procedimento 42

Descrição: Corrigir as CONDIÇÕES DE SCRAM

Palavra-chave: Corrigir

Intenção de Projeto: Acionar a chave *MAN RESET* na mesa de controle, Figura 5, para eliminar quaisquer condições de *scram* que estejam sendo sinalizadas no painel da mesa de controle (por exemplo, *By-pass* do circuito primário (*PRIMARY FLOW A BY-PASS* ou *PRIMARY FLOW B BY-PASS*, *by-pass* do *header* (*HEADER UP*) e o ΔP *CORE*, cujas indicações não desaparecem, isto é, as luzes não apagam, mesmo quando a condição de *scram* está desabilitada).

Data: 16.07.2000

Folha: 50 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não corrige	Nenhuma para a segurança do reator.	Enquanto as luzes estiverem acesas não se consegue efetuar a partida do reator, pois não existe a passagem de corrente elétrica nos magnetos das barras de controle e segurança (sinalização no quadro anunciador de <i>scram</i> da mesa de controle, Figura 5).	-

Tabela 4 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências Superiores a 200kW

Nó: Etapa de Procedimento 43

Descrição: Subir as BARRAS DE SEGURANÇA e de CONTROLE 50 divisões

Palavra-chave: Subir

Intenção de Projeto: Subir cada uma das quatro barras, 3 de segurança e 1 de controle, acionando as respectivas chaves *UP* no painel central da mesa de controle (Figura 6), para verificar se existe corrente elétrica suficiente nos magnetos para movimentar as barras ou se existe algum problema mecânico impedindo a movimentação das mesmas, como por exemplo, emperramento mecânico.

Data: 16.07.2000

Folha: 51 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não sobe as barras de segurança e de controle	Nenhuma para a segurança do reator. Não detecção de eventuais problemas elétricos e/ou mecânicos no mecanismo de acionamento de barras.	1. Em caso de um emperramento mecânico, não se conseguirá movimentar a barra correspondente. 2. Sistema de Proteção: se qualquer barra de segurança / controle estiver desacoplada de seu respectivo mecanismo de acionamento, a partida do reator não é habilitada, pois não haverá alimentação elétrica para os magnetos. O acoplamento entre cada barra e os seus respectivos magnetos é indicado no mostrador digital de posição de barras no painel central da mesa de controle MC-1. Quando a luz da botoeira azul <i>CONTACT ON</i> , Figura 6, acende, indica que existe acoplamento entre o magneto e a barra correspondentes.	-

Tabela 4 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências Superiores a 200kW

Nó: Etapa de Procedimento 44

Descrição: SIMULAR e em seguida CORRIGIR um tipo qualquer de SCRAM

Palavra-chave: Subir

Intenção de Projeto: O objetivo desta instrução é testar o Sistema de Proteção, simulando qualquer condição de *scram*, para verificar se as barras caem. Após a simulação, deve-se recompor as condições de *scram*, acionando-se a chave *MAN RESET* (Figura 5), para permitir o reacoplamento dos magnetos às barras.

Data: 16.07.2000

Folha: 52 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQÜÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não simula	Não detecção de eventuais problemas no Sistema de Proteção.	Não existem.	-
	Não corrige	Nenhuma para a segurança.	Não será possível partir o reator, pois os magnetos das barras não serão energizados até que todas as condições de <i>scram</i> sejam corrigidas (intertravamento).	-

Tabela 4 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências Superiores a 200kW

Nó: Etapa de Procedimento 45

Descrição: Fazer PREVISÕES DAS POSIÇÕES DAS BARRAS para criticalidade ⁽¹⁾

Palavra-chave: Fazer

Intenção de Projeto: A partir da folha contendo a previsão de criticalidade das barras, fornecida pelo OSR, o operador de reator deverá: Retirar, primeiro, a barra de controle, até que a mesma atinja uma posição previamente calculada ⁽²⁾. Depois retirar cada uma das barras de segurança, em ordem decrescente de reatividade, até que seja atingida a condição de criticalidade do reator ⁽³⁾. A partir deste ponto, o operador passa o reator para a condição de controle automático da potência, acionando a tecla *AUTOMATIC* da chave *FLUX CONTROL* (item 5, Figura 3), também chamada *MODE SELECTOR*). A retirada de cada barra é efetuada acionando-se a chave *UP* correspondente, no painel central da mesa de controle ⁽⁴⁾.

Data: 16.07.2000

Folha: 53 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQÜÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não faz previsão	Nenhuma para a segurança do reator.	Qualquer desvio poderá ser corrigido pelo operador durante o aumento de potência do reator.	-
Outra	Faz previsão errada	Nenhuma, para a segurança. do reator.	Idem ao anterior.	-

Nota:

⁽¹⁾ Previsão de criticalidade é o número que determina o percentual com que cada barra absorvedora de nêutrons deve ser retirada do núcleo do reator para que se atinja a potência desejada.

⁽²⁾ Todos os cálculos de posicionamento de barras são feitos, antes de se iniciar o processo de partida do reator, levando-se em conta as curvas de reatividade das mesmas e a reatividade do núcleo e sempre procurando-se manter as três barras de segurança numa mesma posição.

⁽³⁾ Uma vez atingida a condição de criticalidade, apenas a barra de controle é movimentada, proporcionando o controle automático da potência.

⁽⁴⁾ Chaves de fim de curso são utilizadas para evitar que os motores continuem a ser acionados quando os mecanismos de movimentação chegam aos pontos extremos de inserção ou remoção. A fiação ligando os botões de acionamento aos respectivos motores é feita de tal forma que, quando uma barra estiver sendo retirada, as demais são impedidas de serem movimentadas. O mesmo não ocorre quando as barras estão sendo inseridas. Neste caso, as barras podem ser inseridas simultaneamente acionando-se a alavanca de *scram* (item 2, Figura 3).

Tabela 4 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências Superiores a 200kW

Nó: Etapa de Procedimento 46

Descrição: Trancar a PORTA DA SALA DE MÁQUINAS e levar a CHAVE para a sala de controle

Palavra-chave: Subir

Intenção de Projeto: O operador deve trancar a porta da Sala de Máquinas (porão), que dá acesso aos equipamentos dos circuitos de resfriamento primário e secundário e ao sistema de tratamento e retratamento de água da piscina do reator IEA-R1. Esta medida tem por objetivo evitar a entrada de pessoas não autorizadas na Sala de Máquinas durante a operação do reator.

Data: 16.07.2000

Folha: 54 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não tranca	Existe a possibilidade de entrar alguma pessoa no local e tomar doses altas de radiação durante a operação do reator ou efetuar algum ato de sabotagem.	Somente se a porta estiver ou for aberta, pois a condição "porta aberta" possui indicação luminosa e sonora na mesa de controle (anunciador <i>MACHINE ROOM OPEN</i> , Figura 5).	-

Tabela 4 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências Superiores a 200kW

Nó: Obs.: Esta etapa de procedimento não consta na Lista de Verificação Inicial, apenas no Manual de Operação do reator IEA-R1 (IPEN, 1991b).

Descrição: Avisar que o reator está operando em 2 MW

Palavra-chave: Avisar

Intenção de Projeto: O operador deve avisar por meio de auto-falantes que o reator está operando a 2MW de potência e solicitar resposta do pessoal da experimentação (PE) e da proteção radiológica (PR), se estes estão cientes do aviso.

Data: 16.07.2000

Folha: 55 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQÜÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não avisa	Nenhuma para a segurança do reator.	Não existem.	Melhorar as formas de sinalização das condições do reator. Por exemplo, colocar um quadro com indicação luminosa na Sala de Emergência e outro no Saguão de Experimentos da Física Nuclear, mostrando situações como: "Em Manutenção", "Crítico a 2 MW", "Baixa Potência", "Desligado", "Em Partida".

Nota: PE = pesquisadores localizados no prédio do reator e que utilizam o reator para a realização de experimentos.
PR = pessoal da proteção radiológica.

Tabela 5 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências até 200kW

Nó: Etapa de Procedimento 30

Descrição: Acionar *BY-PASS DO CIRCUITO PRIMÁRIO*

Palavra-chave: Acionar

Intenção de Projeto: Acionar a botoeira luminosa *PRIMARY FLOW A BY PASS* (ou *PRIMARY FLOW B BY PASS*) no quadro de sinalização e alarme da mesa de controle do reator (Figura 5), para eliminar a ação do Sistema de Proteção que impede a partida do reator (lógica 1/1) quando a vazão no circuito primário é inferior a 90% do valor nominal estabelecido. Isso habilita a partida do reator para operação em potências até 200 kW sem a operação das bombas do circuito primário.

Data: 16.07.2000

Folha: 56 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não aciona o <i>by-pass</i> do circuito primário	O Sistema de Proteção não habilitará a partida do reator, caso a condição de <i>scram</i> por baixa vazão no primário não seja desabilitada pelo operador. Notar que este procedimento deixa o reator numa condição insegura, posto que a eventualidade de um aumento indevido da potência do reator, nesta condição operacional (abaixo de 200kW), pode comprometer a integridade do núcleo pela impossibilidade de resfriamento.	Não existem.	Implementar um intertravamento que bloqueie a operação do reator em potências superiores a 200 kW, sem a refrigeração do núcleo, conforme está sendo previsto no projeto de elevação de potência do reator IEA-R1 para 5 MW (IPEN, 1996b).

Tabela 5 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências até 200kW

Nó: Etapa de Procedimento 31

Descrição: Acionar *BY-PASS* do ΔP

Palavra-chave: Acionar

Intenção de Projeto: Acionar a botoeira luminosa ΔP CORE no quadro de sinalização e alarme da mesa de controle do reator (Figura 5), para eliminar a ação do Sistema de Proteção que impede a partida do reator (lógica 1/1) quando a perda de carga ao longo do núcleo do reator está abaixo de um valor de referência pré-estabelecido ⁽¹⁾. Isso habilita a partida do reator para operação em potências até 200 kW sem a operação das bombas do circuito primário.

Data: 16.07.2000

Folha: 57 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não aciona o <i>by-pass</i> do ΔP	O Sistema de Proteção não habilitará a partida do reator, caso a condição de <i>scram</i> por baixo valor de ΔP no núcleo do reator não seja desabilitada pelo operador. Este procedimento deixa o reator numa condição insegura, posto que a eventualidade de um aumento indevido da potência do reator, nesta condição operacional (abaixo de 200kW), pode comprometer a integridade do núcleo pela impossibilidade de resfriamento.	Não existem.	Implementar um intertravamento que bloqueie a operação do reator em potências superiores a 200 kW, sem a refrigeração do núcleo, conforme está sendo previsto no projeto de elevação de potência do reator IEA-R1 para 5 MW (IPEN, 1996b).

Nota: ⁽¹⁾ A medida de queda de pressão ao longo do núcleo do reator fornece, indiretamente, a indicação de vazão no circuito de resfriamento do mesmo, ou seja, uma diminuição de ΔP representa uma perda de vazão. Um transmissor de pressão converte a diferença de pressão num sinal elétrico, que é comparado com um valor de referência no mesmo registrador utilizado para registro da vazão no circuito primário. O valor de ΔP será reajustado a cada mudança de configuração do núcleo, de forma a promover o pronto desligamento do reator sempre que a vazão cair a 90% do valor nominal.

Tabela 5 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências até 200kW

Nó: Etapa de Procedimento 32

Descrição: Acionar *BY-PASS* do *HEADER*

Palavra-chave: Acionar

Intenção de Projeto: Acionar a botoeira luminosa *HEADER UP* no quadro de sinalização e alarme da mesa de controle do reator (Figura 5), para eliminar a ação do Sistema de Proteção que impede a partida do reator (lógica 1/1) quando a válvula de convecção (*Header*)⁽¹⁾ não está acoplada à base do núcleo do reator.

Data: 16.07.2000

Folha: 58 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não aciona o <i>by-pass</i> do <i>header</i>	O Sistema de Proteção não habilitará a partida do reator, até que a condição de <i>scram</i> por válvula de convecção (<i>Header</i>) não acoplada à base do núcleo do reator seja desabilitada pelo operador. Este procedimento deixa o reator numa condição insegura, posto que a eventualidade de um aumento indevido da potência do reator, nesta condição operacional (abaixo de 200kW), pode comprometer a integridade do núcleo pela impossibilidade de resfriamento.	Não existem.	Implementar um intertravamento que bloqueie a operação do reator em potências superiores a 200 kW, sem a refrigeração do núcleo, conforme está sendo previsto no projeto de elevação de potência do reator IEA-R1 para 5 MW (IPEN, 1996b).

Nota: ⁽¹⁾ O acoplamento da válvula de convecção ao núcleo do reator faz com que a água succionada pela bomba do circuito primário passe pelo núcleo do reator no sentido descendente, antes de sair da piscina do reator.

Tabela 5 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências até 200kW

Nó: Etapa de Procedimento 33

Descrição: Corrigir as CONDIÇÕES de SCRAM

Palavra-chave: Corrigir

Intenção de Projeto: Acionar a chave *MAN RESET* na mesa de controle, Figura 5, para eliminar quaisquer condições de *scram* que estejam sendo sinalizadas no painel da mesa de controle (por exemplo, *by-pass* do circuito primário (*PRIMARY FLOW A BY-PASS* ou *PRIMARY FLOW B BY-PASS*, *by-pass* do *Header* (*HEADER UP*) e o ΔP *CORE*, cujas indicações não desaparecem, isto é, as luzes não apagam, mesmo quando a condição de *scram* está desabilitada).

Data: 16.07.2000

Folha: 59 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não corrige	Enquanto as luzes estiverem acesas não se consegue efetuar a partida do reator, pois não existe a passagem de corrente elétrica nos magnetos do mecanismo de acionamento das barras de segurança / controle do reator.	-	-

Tabela 5 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências até 200kW

Nó: Etapa de Procedimento 34

Descrição: Subir a BARRA DE CONTROLE 50 divisões

Palavra-chave: Subir

Intenção de Projeto: Subir a barra de controle do reator, acionando a respectiva chave *UP* no painel central da mesa de controle (Figura 6), para verificar se existe corrente elétrica suficiente no magneto para movimentar a barra ou se existe algum problema mecânico impedindo a movimentação da mesma, como por exemplo, emperramento mecânico.

Data: 16.07.2000

Folha: 60 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não sobe a barras de controle	Nenhuma para a segurança do reator. Não detecção de eventuais problemas elétricos e/ou mecânicos no mecanismo de acionamento da barra.	1. Em caso de um emperramento mecânico, não se conseguirá movimentar a barra de controle. 2. Sistema de Proteção: se qualquer barra de segurança / controle estiver desacoplada de seu respectivo mecanismo de acionamento, a partida do reator não é habilitada, pois não haverá alimentação elétrica para os magnetos. O acoplamento entre cada barra e os seus respectivos magnetos é indicado no mostrador digital de posição de barras no painel central da mesa de controle MC-1. Quando a luz da botoeira azul <i>CONTACT ON</i> , Figura 6, acende, indica que existe acoplamento entre o magneto e a barra correspondentes.	-

Tabela 5 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências até 200kW

Nó: Etapa de Procedimento 35

Descrição: Subir as BARRAS DE SEGURANÇA 50 divisões

Palavra-chave: Subir

Intenção de Projeto: Subir cada uma das 3 barras de segurança, acionando as respectivas chaves *UP* no painel central da mesa de controle (Figura 6), para verificar se existe corrente elétrica suficiente nos magnetos para movimentar as barras ou se existe algum problema mecânico impedindo a movimentação das mesmas, como por exemplo, emperramento mecânico.

Data: 16.07.2000

Folha: 61 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não sobe as barras de segurança	Nenhuma para a segurança do reator. Não detecção de eventuais problemas elétricos e/ou mecânicos no mecanismo de acionamento de barras.	1. Em caso de um emperramento mecânico, não se conseguirá movimentar a barra correspondente. 2. Sistema de Proteção: se qualquer barra de segurança / controle estiver desacoplada de seu respectivo mecanismo de acionamento, a partida do reator não é habilitada, pois não haverá alimentação elétrica para os magnetos. O acoplamento entre cada barra e os seus respectivos magnetos é indicado no mostrador digital de posição de barras no painel central da mesa de controle MC-1. Quando a luz da botoeira azul <i>CONTACT ON</i> , Figura 6, acende, indica que existe acoplamento entre o magneto e a barra correspondentes.	-

Tabela 5 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências até 200kW

Nó: Etapa de Procedimento 36

Descrição: SIMULAR e em seguida CORRIGIR um tipo qualquer de *SCRAM*

Palavra-chave: Simular e Corrigir

Intenção de Projeto: Idêntica à do procedimento 44 da Tabela 4: O objetivo desta instrução é testar o Sistema de Proteção, simulando qualquer condição de *scram*, para verificar se as barras caem. Após a simulação, deve-se recompor as condições de *scram*, acionando-se a chave *MAN RESET* (Figura 5), para permitir o reacoplamento dos magnetos às barras.

Data: 16.07.2000

Folha: 62 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não simula	Não detecção de eventuais problemas no Sistema de Proteção.	Não existem.	-
	Não corrige	Nenhuma para a segurança.	Não será possível partir o reator, pois os magnetos das barras não serão energizados até que todas as condições de <i>scram</i> sejam corrigidas (intertravamento).	-

Tabela 5 - HazOp dos Procedimentos de Partida do Reator IEA-R1: Procedimentos de Partida para Operação em Potências até 200kW

Nó: Etapa de Procedimento 37

Descrição: Fazer PREVISÕES DAS POSIÇÕES DAS BARRAS para criticalidade

Palavra-chave: Fazer

Intenção de Projeto: Idêntica à do procedimento 45 da Tabela 4: A partir da folha contendo a previsão de criticalidade das barras, fornecida pelo OSR, o operador de reator deverá: Retirar, primeiro, a barra de controle, até que a mesma atinja uma posição previamente calculada ⁽²⁾. Depois retirar cada uma das barras de segurança, em ordem decrescente de reatividade, até que seja atingida a condição de criticalidade do reator ⁽³⁾. A partir deste ponto, o operador passa o reator para a condição de controle automático da potência, acionando a tecla *AUTOMATIC* da chave *FLUX CONTROL* (item 5, Figura 3), também chamada *MODE SELECTOR*. A retirada de cada barra é efetuada acionando-se a chave *UP* correspondente, no painel central da mesa de controle ⁽⁴⁾.

Data: 16.07.2000

Folha: 63 de 63

Revisão: 0

PALAVRA-GUIA	DESVIO	CONSEQUÊNCIAS	MEIOS DE PROTEÇÃO OU ATENUAÇÃO EXISTENTES	AÇÕES SUGERIDAS/ RESPONSÁVEL
Não	Não faz previsão	Nenhuma para a segurança do reator.	Qualquer desvio poderá ser corrigido pelo operador durante o aumento de potência do reator.	-
Outra	Faz previsão errada	Nenhuma, para a segurança do reator.	Idem ao anterior.	-

Nota:

⁽¹⁾ Previsão de criticalidade é o número que determina o percentual com que cada barra absorvedora de nêutrons deve ser retirada do núcleo do reator para que se atinja a potência desejada.

⁽²⁾ Todos os cálculos de posicionamento de barras são feitos, antes de se iniciar o processo de partida do reator, levando-se em conta as curvas de reatividade das mesmas e a reatividade do núcleo e sempre procurando-se manter as três barras de segurança numa mesma posição.

⁽³⁾ Uma vez atingida a condição de criticalidade, apenas a barra de controle é movimentada, proporcionando o controle automático da potência.

⁽⁴⁾ Chaves de fim de curso são utilizadas para evitar que os motores continuem a ser acionados quando os mecanismos de movimentação chegam aos pontos extremos de inserção ou remoção. A fiação ligando os botões de acionamento aos respectivos motores é feita de tal forma que, quando uma barra estiver sendo retirada, as demais são impedidas de serem movimentadas. O mesmo não ocorre quando as barras estão sendo inseridas. Neste caso, as barras podem ser inseridas simultaneamente acionando-se a alavanca de *scram* (item 2, Figura 3).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O HazOp abrangeu a revisão de 53 instruções de partida do Reator IEA-R1, para as quais foram gerados e analisados 74 desvios de procedimentos.

A análise foi realizada em 13 reuniões e consumiu 26 horas de cada participante da equipe, ou seja, um total de 156 horas. Para a revisão dos resultados do estudo foram utilizadas mais 16 horas, enquanto que o tempo dispendido na elaboração, desenvolvimento e edição do relatório do estudo de HazOp, até o seu estágio final, foi de 80 horas.

O estudo dos desvios no processo de partida do reator produziu 25 recomendações de mudanças relativas a procedimentos e sistemas da instalação. Estas sugestões foram agrupadas em 3 níveis de importância, de acordo com os benefícios para a instalação que podem ser obtidos com a sua implementação.

As prioridades de implementação adotadas, em ordem decrescente de importância, são as seguintes:

Prioridade 1: Mudanças para reduzir o potencial (qualitativo) de efeitos indesejáveis na segurança da instalação, estando diretamente relacionadas com a proteção da integridade do núcleo do reator e/ou com a atuação dos seus sistemas de controle e segurança. Pertencem a esta categoria as seguintes recomendações:

1. Inclusão de intertravamento que impeça a operação do reator em potências superiores a 200 kW com o circuito primário de resfriamento do núcleo desligado. Esta medida elimina a influência do procedimento previsto na rotina de partida para operações do reator até 200 kW de potência ("acionamento do *by-pass* do circuito primário", procedimento 30, Tabela 5), que inibe a condição de *scram* (desligamento automático) do reator por baixa vazão no circuito primário e que deixa o núcleo vulnerável a elevações indevidas (acidentais) de potência (acima de 200 kW), que poderiam comprometer a integridade deste, por falta de refrigeração.
2. Introdução do sinal de período na cadeia de *scram* do reator, para operação em potências superiores a 200 kW. Esta sugestão tem como objetivo

compensar desvios de procedimentos (“não teste dos potênciômetros de *trip test*” e “não teste dos canais de segurança”, procedimentos 15 e 16, respectivamente, Tabela 4) que podem habilitar a atuação dos canais de segurança além do limite máximo de potência estabelecido em projeto, isto é, acima de 110% da potência nominal.

3. Instalação de um sistema de monitoração contínua do nível de água da piscina, independente do que existe atualmente, dotado de um sistema de alarme de nível baixo, para quando o reator estiver desligado. Para esta condição, esta medida poupa a utilização do Sistema de Alarme de Radiação e oferece um meio de proteção ao pessoal de operação que efetua a primeira partida semanal do reator, evitando a exposição à radiação causada pela possível ocorrência de vazamentos da água da piscina do reator, que excedam o limite máximo de 1,5 m³ diários, conforme estabelecido nas especificações técnicas do IEA-R1 (IPEN, 1996e). Também a instalação de um detetor de radiação de área no saguão da piscina, com alarme visual e sonoro na sala de emergência, poderia ser útil nesta função, posto que um nível alto de radiação pode ser um indicativo de perdas de água da piscina. Adicionalmente, pode-se prever instrução para verificação periódica do nível de água da piscina.
4. Modernização ou substituição da mesa de controle, a qual apresenta problemas como interferência eletrônica e baixa confiabilidade em seus dispositivos. Estes problemas podem afetar o desempenho dos circuitos eletro-eletrônicos de controle e proteção do reator. Esta sugestão, embora não tenha surgido da análise de um desvio de procedimento específico, foi incorporada ao estudo pela relação direta existente entre a confiabilidade de todos os dispositivos e circuitos instalados na mesa de controle e o processo de partida e a operação do reator.

Prioridade 2: Medidas que podem contribuir para a melhoria das atividades de monitoração do processo de partida e de gerenciamento da operação do reator. As recomendações incluídas nesta categoria são:

1. Formalizar a rotina de leitura do nitrogênio N-16, que é realizada para confirmação do nível de potência do reator (ver procedimentos 15 e 16, Tabela 3).
2. Formalizar o procedimento de inspeção do núcleo do reator a 50% da potência nominal, durante a elevação de potência para operação do reator acima de 200 kW. Nesta condição, o Efeito Cherenkov é suficiente para se visualizar se os canais de refrigeração dos elementos combustíveis não estão obstruídos e se os refletores e elementos de irradiação estão adequadamente posicionados (ver procedimentos 29 e 37, Tabelas 3 e 4, respectivamente).
3. Explicitar, na Lista de Verificação Inicial, o teste das lâmpadas (*leds*) do quadro sinótico do Sistema de Detecção e Combate a Incêndio na Sala de Controle, que é realizado na etapa de procedimento 19 (ver Tabela 3).
4. Verificar a vazão do circuito primário durante a normalização das condições operacionais deste sistema (ver procedimento 40, Tabela 4).
5. Verificar a vazão do circuito secundário durante a normalização das condições operacionais deste sistema (ver procedimento 41, Tabela 4).
6. Estabelecer procedimento para efetuar inspeção local do nível de água e alinhamento das Torres de Refrigeração (ver procedimento 33, Tabela 4).
7. Definir procedimento para conferir o alinhamento dos componentes do circuito primário e do circuito secundário, antes do acionamento das bombas destes sistemas. Deve-se, ainda, prever a verificação do ajuste da válvula VP-9 (para o ajuste de vazão) do circuito primário (ver procedimento 38, Tabela 4).
8. Estabelecer o uso de dosímetro individual sonoro, em substituição aos atuais, para as pessoas que têm acesso às áreas quentes do reator (procedimento 25, Tabela 3).
9. Adotar uma norma interna estabelecendo que toda e qualquer alteração de dispositivos, em equipamentos ou em sistemas do reator IEA-R1 deve ser prontamente documentada e comunicada ao(s) responsável(is) pela instalação e notificada, em circular, a todos os operadores, antes da partida

do reator. A circular deve ser assinada por todos os envolvidos (ver procedimento 26, Tabela 3).

10. Reativar o sistema de sirenes externas, que atualmente encontra-se desligado, e adequar o Plano de Evacuação ao Sistema de Monitoração de Alarmes de Radiação (ver procedimento 7, Tabela 3).
11. Adicionar dispositivos de alarme visual e sonoro em todos os detetores de radiação associados aos monitores de área não vinculados à cadeia de *scram*, instalados no Saguão de Experimentos da Física Nuclear, com sinalização remota na Sala de Controle e na Sala de Emergência. Esta medida permite que as pessoas presentes nesta área, na eventualidade de um desvio operacional que resulte em elevação indevida dos níveis de radiação, sejam alertadas (ver procedimento 7, Tabela 3).
12. Reativar o Sistema de Monitoração de Portas da Antecâmara de Acesso ao Prédio do Reator, o qual se destina à detecção da abertura simultânea das duas portas. Esta medida permite detectar essa ação indevida, alertando para a consequência de possíveis desvios na pressão ambiente da área controlada (ver procedimento 8, Tabela 3).
13. Manter as câmeras do Circuito Interno de Televisão na Sala de Emergência ligadas (ver procedimento 9, Tabela 3).
14. Melhorar as formas de sinalização das condições do reator, como por exemplo, colocar um quadro com indicação luminosa na Sala de Emergência e outro no Saguão de Experimentos da Física Nuclear, mostrando situações como "Em Manutenção", "Crítico a 2 MW", "Baixa Potência", "Em Partida" (ver procedimento 10 da Tabela 3 e o último nó da Tabela 4).
15. Interligar os monitores de ar (dutos) com o Sistema de Alarmes de Radiação (ver procedimento 27, Tabela 3).
16. Repor o condutivímetro do Sistema de Retratamento de Água (ver procedimento 26, Tabela 3).
17. Acrescentar um dispositivo mecânico para monitorar o funcionamento dos ventiladores, o que atualmente não é possível da Sala de Controle do Reator.

Outra alternativa de monitoração seria por meio da realização de inspeção local para verificar se os ventiladores estão operando (ver procedimento 35, Tabela 4).

Prioridade 3: Ajustes de itens existentes não relacionados diretamente com a segurança da instalação. Especificamente, esta categoria trata da reformulação dos procedimentos da Lista de Verificação Inicial seguintes:

1. Substituir "Testar as lâmpadas (*lamp test*)" (procedimento 11, Tabela 3) por "Testar as lâmpadas do painel da mesa de controle (*lamp test*) e do painel auxiliar B".
2. Substituir "Testar os potenciômetros *trips* em 10% e 110% da potência" (procedimento 15, Tabela 3) por "Efetuar o teste de *trip* dos canais de segurança 1, 2 e 3 em 10% e 110% da potência".
3. Substituir "Manter em condições de operar os ventiladores da torre de refrigeração" (procedimento 35, para operação que exija o funcionamento do sistema de refrigeração do reator, Tabela 4) por "Ligar os ventiladores da torre de refrigeração e verificar se os mesmos estão operativos no local".
4. Substituir "Manter em condições de operar o sistema pneumático de irradiações" (procedimento 36, para operação que exija o funcionamento do sistema de refrigeração do reator, Tabela 4) por "Ligar o sistema pneumático de irradiações e verificar se o mesmo está operativo".

O estudo de HazOp foi formalmente documentado e, em seguida, enviado às áreas de projeto e gerencial do reator IEA-R1 para a avaliação da viabilidade técnica e econômica de se adotar as sugestões apresentadas. A resposta a este documento foi a aceitação de 23 mudanças propostas, sendo que, até o momento (julho de 2000), 11 itens foram implementados, dos quais:

- 1 pertence à categoria de prioridade 1 (item 1);
- 6 pertencem à categoria de prioridade 2 (itens 6, 12, 13, 15, 16 e 17). Para o caso específico da monitoração do funcionamento das torres de refrigeração

(item 17 nesta categoria), optou-se pela adoção da alternativa de se realizar inspeção local para verificar se os mesmos estão operando.

- 4 pertencem à categoria 3 (itens 1 a 4).

A colocação de quadros com indicação luminosa na Sala de Emergência e no Saguão de Experimentos, respectivamente, (item 14, prioridade 2) foi descartada pela gerência do reator, por se considerar o benefício pequeno em relação aos custos de implementação.

Para a reativação do Sistema de Sirenes Externas e a adequação do Plano de Evacuação ao Sistema de Monitoração de Alarmes (item 10, prioridade 2), a Divisão de Operação do Reator (ROI) irá solicitar a realização de estudos específicos envolvendo a Revisão do Plano de Emergência da instalação, para que seja possível definir uma estratégia de implementação.

A modernização/substituição da mesa de controle do reator, a instalação de um sistema de monitoração contínua do nível da piscina do reator (itens 3 e 4, prioridade 1), assim como a substituição dos dosímetros individuais atuais (item 8, prioridade 2) serão realizadas quando houver disponibilidade dos recursos financeiros necessários.

A equipe de projeto da instrumentação considerou tecnicamente viável a introdução do sinal de período na cadeia de *scram*, para operação do reator em potências superiores a 200 kW (item 2, prioridade 1). A ROI se incumbiu de elaborar um cronograma de trabalho para a implantação desta medida e de outras 7 restantes, isto é, 1, 2, 4, 5, 7, 9 e 11, pertencentes à categoria de prioridade 2.

A alteração de instrução sugerida no procedimento 19 (item 3, prioridade 2), incorporada ao estudo posteriormente, deverá ser ainda encaminhada e discutida com a gerência do reator IEA-R1.

Como pode ser observado, as categorias de prioridade indiretamente fonecem um indicativo do grau de exigência, seja técnica ou financeira, relacionado à implementação das recomendações de mudanças apresentadas. Assim, itens com baixa prioridade tendem a ser menos complexos e menos

dispendiosos, facilitando a tomada de decisão quanto à escolha e tornando mais fácil a implantação.

4. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

4.1 Conclusão

A utilização da metodologia HazOp na análise dos procedimentos do reator IEA-R1 comprovou a capacidade da técnica de antever problemas de segurança e/ou de operação, mostrando-se também uma excelente ferramenta de auxílio na visualização de alternativas e soluções simples que podem contribuir para a melhoria da qualidade operacional da instalação, a despeito do reator vir historicamente operando dentro dos limites de segurança estabelecidos no projeto.

Os efeitos concretos dos benefícios do trabalho realizado foram a implementação imediata de 11 das 25 recomendações resultantes do estudo, que incluem itens de projeto, operação e segurança do reator, assim como o interesse demonstrado pelas áreas técnica e gerencial do reator IEA-R1 em aplicar o método HazOp aos demais sistemas da instalação.

A abordagem do processo por uma equipe multidisciplinar forneceu a oportunidade de compartilhamento de experiências técnicas entre as áreas de operação, projeto e análise de sistemas, proporcionando a todos os integrantes do grupo de estudo melhor entendimento do processo de partida do reator e dos riscos globais associados. O estudo produziu para a instalação o primeiro documento de análise de procedimentos, que pode ser utilizado fonte de referência para consulta no dia-a-dia, podendo ser de grande utilidade como fonte de informações na formação de novos operadores do reator.

Assim, os dois objetivos específicos esperados como o desenvolvimento deste trabalho foram alcançados, devendo-se ressaltar que o apoio dos responsáveis pela operação do reator, o interesse e empenho dos integrantes da equipe de analistas, assim como de profissionais de outras áreas que forneceram dados complementares para a análise foram fundamentais para a realização deste estudo.

4.2 Recomendações para Continuidade do Trabalho

O aumento da potência de operação do reator IEA-R1 para 5MW acarretou algumas mudanças na rotina de partida. Portanto, é fundamental atualizar o estudo de HazOp apresentado, como um meio de verificar se tais alterações não introduziram atividades cujo desvio possa representar perigo ou problema que possa comprometer o bom desempenho do operador, a operação de sistemas e/ou segurança da instalação.

4.3 Recomendações para Trabalhos Futuros

Para o futuro, seria importante que todos os sistemas e atividades relacionadas à operação do reator IEA-R1 fossem submetidos ao estudo de HazOp, uma vez que o conhecimento dos perigos é essencial para a melhoria das estratégias formais de gerenciamento dos riscos globais da instalação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS. **Guidelines for Hazard Evaluation Procedures**. New York, N.Y.: AIChE, 1985.

BOTT, TERRY F. ; SASSER, M. KENT. **A Hazard and Probabilistic Safety Analysis of a High-Level Waste Transfer Process**. Washington, D.C.: U.S. DOE, 1996. 14 p. (LA-UR-96-1562). (Submitted to ASME Third International Mechanical Engineering Congress and Exposition. Atlanta, GA, 1996).

CARLING, N. *HazOp Study of BAPCO's FCCU Complex*. **American Petroleum Institute Committee on Safety and Fire Protection Spring Meeting**, Denver, Colorado, Apr. 8-11, 1986 apud KLETZ, Trevor A. **HazOp and HazAn - Identifying and Assessing Process Industry Hazards**, 3. ed. London: Institution of Chemical Engineers, 1992.

CHUDLEIGH, M.F. *Hazard Analysis of a Computer Based Medical Diagnostic System (Abstract)*. **Comput. Methods Programs Biomed.**, v. 44, n. 11, p. 45-54, 1994.

CLEMSON, P.D. ; SUNMAN, C.R.J. *Achieving Quality in Criticality Safety Assessments for Plant Design and Operation*. **Nucl. Energy**, v. 31, n. 2, p.131-134, Apr. 1992.

FINK, R. *Safety Assessment of Data Management in a Clinical Laboratory (Abstract)*. **Comput. Methods Programs Biomed.**, v. 44, n. 11, p. 37-43, 1994.

FULLWOOD, R.; KROEGER, P.; HIGGINS, J.; YOUNGBLOOD, R.; CHENG, H.; MARTINEZ-GURIDI, G.; VAN TUYLE, G.; SHIER, W.; MORANTE, R.; SOO, P. **Integrated Systems Analysis of the PIUS Reactor**. Washington, D.C.: U.S. NRC, Nov. 1993. (NUREG/CR-6111, BNL-NUREG-52393, rev. 1).

GARCIA, J.M.; IACOVINO, J.; MENDIRATTA, O. *Use of the HazOp Technique for Compliance to DOE Order 5480.21, Unreviewed Safety Questions. In: WASTE MANAGEMENT '94: WORKING TOWARDS A CLEANER ENVIRONMENT, Feb. 27- Mar. 3, 1994, Tucson, AZ. Technology and Programs for Radioactive Waste Management and Environmental Restoration. Tucson, AZ: Laser Options, 1994. v. 1, p. 601-604.*

GENERAL ATOMIC. **Instrumentation System - Operation and Maintenance Manual.** [s.l.]: General Atomic, Mar. 1975. (Prepared for Instituto de Energia Atômica, Cidade Universitária, Brasil).

GERSTNER, D.M.; CLAYTON, S.G.; FARRELL, R.F.; McCORMICK, J.A; ORTIZ, O.; STANDIFORD, D.L. **Hazard and Consequence Analysis for Waste Emplacement at the Waste Isolation Pilot Plant.** Washington, D.C.: U.S. DOE, 1996. 2 p. (DOE/WIPP-96-2175).

HEBBRON, BARRY D. ; FENELON, PETER. *The Application of Hazard and Operability Studies to Real Time Structured Requirements Models. Reliab. Eng. Syst. Saf., v. 55, p. 311-325, 1997.*

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES (IPEN). Preparação Geral para a Partida do Reator IEA-R1: rev. 1. **Manual de Operação do Reator IEA-R1**, São Paulo, S.P.: maio 1991a. v. 2. (Relatório interno).

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES (IPEN). Rotina de Operação do Reator IEA-R1 em Potências Superiores a 200 kW: rev. 1. **Manual de Operação do Reator IEA-R1**, São Paulo, S.P.: maio 1991b. v. 2. (Relatório Interno)

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES (IPEN). Rotina de Operação do Reator IEA-R1 em Potências Inferiores a 200 kW: rev. 1. **Manual de Operação do Reator IEA-R1**, São Paulo, S.P.: maio 1991c. v. 2. (Relatório interno)

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES (IPEN). Introdução e Descrição Geral da Instalação: rev. 0. **Relatório de Análise de Segurança do Reator IEA-R1**, São Paulo, S.P.: set. 1996a. v. 1. (Relatório interno)

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES (IPEN). Instrumentação e Controle: rev. 0. **Relatório de Análise de Segurança do Reator IEA-R1**, São Paulo, S.P.: set. 1996b. v. 2. (Relatório interno)

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES (IPEN). Sistema de Ventilação e Ar Condicionado do Prédio do Reator IEA-R1m: rev. 0. **Relatório de Análise de Segurança do Reator IEA-R1**, São Paulo, S.P.: set. 1996c. v. 2. (Relatório interno)

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES (IPEN). Sistema de Proteção e Combate a Incêndio: rev. 0. **Relatório de Análise de Segurança do Reator IEA-R1**, São Paulo, S.P.: set. 1996d. v. 2. (Relatório interno)

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES (IPEN). **Especificações Técnicas para o Reator IEA-R1 em Operação Contínua a 2 MW de Potência**. São Paulo, S.P.: ago. 1996e. (Relatório interno)

KENNEDY, R. ; KIRWAN, B. *Development of a Hazard and Operability-Based Method for Identifying Safety Management Vulnerabilities in High Risk Systems*. **Saf. Sci.**, v. 30, p. 249-274, 1998.

KLETZ, Trevor A. **HazOp and HazAn - Identifying and Assessing Process Industry Hazards**. 3. ed., London: Institution of Chemical Engineers, 1992.

KNOWLTON, E. *Hazard and Operability Studies and Gas Processing*. In: GAS PROCESSORS ASSOCIATION (GPA) ANNUAL CONVENTION, 71., Mar. 16-18, 1992, Anaheim, CA. **Proceedings...** Tulsa, OK: Gas Processors Association, 1992. p. 188-196.

LAWRENCE, J.D. ; GALLAGHER, J.M. *A Proposal for Performing Software Safety Hazard Analysis. Reliab. Eng. Syst. Saf.*, v. 55, p. 267-282, 1997.

MCGUIGAN, J.E. ; RICHARDS, J.M. *A Simplified Approach to Hazard Assessment and Hazard Identification Techniques of AEA Technology, Harwell Laboratory. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON OCCUPATIONAL RADIATION PROTECTION, Apr. 29 - May 3, 1991, Guernsey. Proceedings...* London: British Nuclear Energy Society, 1991. p. 51-55.

MCDERMID, J.A.; NICHOLSON, M., PUMFREY, D.J.; FENELON, P. *Experience with the Application of HazOp to Computer-Based Systems. Computer Assurance (Compass)*, p. 37-48, 1995 apud LAWRENCE, J.D. ; GALLAGHER, J.M. *A Proposal for Performing Software Safety Hazard Analysis. Reliab. Eng. Syst. Saf.*, v. 55, p. 267-282, 1997.

MULVIHILL, R.J. *Design-Safety Enhancement Through the Use of Hazard and Risk Analysis. IEEE Trans. Reliab.*, v. 37, n. 2, p. 149-158, Jun. 1988.

NAYAK, S.K. ; KHILNANEY, V.K. *Hazard and Operability Study of Heavy Water Plant, Manuguru. In: ADVANCES IN CHEMICAL ENGINEERING IN NUCLEAR AND PROCESS INDUSTRIES, Jun. 9-11, 1994, Mumbai. [Proceedings...], Mumbai: Bhabha Atomic Research Centre, 1994. p. 33-43.*

NOLAN, Dennis P. *Application of HazOp and What-if Safety Reviews to the Petroleum, Petrochemical and Chemical Industries.* New Jersey, N.J.: Noyes, 1994.

PARRY, S.T. *A Review of Hazard Identification Techniques and their Application to Major Accident Hazards.* Culcheth: UKAEA, Safety and Reliability Directorate, Mar. 1986. p.16-19. (SRD R 379)

REDMILL, F. ; CHUDLEIGH, M.F.; CATMUR, J.R. *Principles Underlying a Guideline for Applying HazOp to Programmable Electronic Systems. Reliab. Eng. Syst. Saf.*, v. 55, p. 283-293, 1997.

RIMINGTON, J.D. *Safety Approaches in Hazardous Non-Nuclear Industries and their Relation to Nuclear Safety*. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON NUCLEAR POWER PERFORMANCE AND SAFETY*, v. 3, Sept. 28 - Oct. 2, 1987, Vienna. **Proceedings...** Vienna: IAEA, 1987. p. 229-248.

SCHLECHTER, W.P.G. *Facility Risk Review as a Means to Addressing Existing Risks During the Life Cycle of Process Unit, Operation or Facility*. **Int. J. Press. Vessels Piping**, v.66, p.387-402, 1996.

SHAFAGHI, A. ; COOK, F.B. *Application of a Hazard & Operability Study to Hazard Evaluation of an Absorption Heat Pump*. **IEEE Trans. Reliab.**, v. 37, n. 2, p.159-166, Jun. 1988.

SPENCER, A. B. ; GRESSEL, M.G. *A Hazard and Operability Study of Anhydrous Ammonia Application in Agriculture (Abstract)*. **Am. Ind. Hyg. Assoc. J.**, v. 54, n. 11, p. 671-677, 1993.

SRINIVASAN, R. *Petri Net-Digraph Models for Automating HazOp Analysis of Batch Process Plants [online]*. Purdue, IND.: Purdue University , Dec. 1996. [cited 1997-12-03] available from Internet
<<http://lips.ecn.purdue.edu/~lips/hazop/pub/escape96b/escape96b.html>>

STRICKLAND, G.C. **Preliminary Hazards Analysis of K-Basin Fuel Encapsulation and Storage**. Washington, D.C.: U.S. DOE, Jul. 1994. (WHC-SD-SNF-PHA-001, rev. 0)

SUTTON, IAN S. *The Use of PC-Based Risk Management Software in the Process Industries*. **Reliab. Eng. Syst. Saf.**, v. 30, p. 467-475, 1990.

SWEENEY, JOSEPH C. *ARCO Chemical's Hazop Experience*. **Process Saf. Progr.**, v. 12, n. 2, p.83-91, Apr. 1993.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (U.S. DOE). **DOE Handbook – Chemical Process Hazards Analysis**. Washington, D.C.: Feb. 1996. (DOE-HDBK-1100-96).



U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. ***Risk Management Program Guidance for Offsite Consequence Analysis***. Washington, D.C.: U.S. EPA, Apr. 15, 1999. (EPA 550-B-99-009)

VAIDHYANATHAN, R.; VENKATASUBRAMANIAN, V.; DYKE, F.T. *HazOpExpert: An Expert System for Automating HazOp Analysis*. ***Process Saf. Progr.***, v. 15, n. 2, p. 80-88, 1996.



instituto de pesquisas energéticas e nucleares

**Travessa "R", nº 400 - Cidade Universitária - Butantã
São Paulo - CEP.: 05508-900
Tel: (011) 816-9000 - Fax: (011) 212-3546
<http://www.ipen.br>**

O ipen é uma autarquia vinculada à Secretaria de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico do Estado de São Paulo, gerida técnica, administrativa e financeiramente pela Comissão Nacional de Energia Nuclear e associada à Universidade de São Paulo, para fins de ensino de Pós-Graduação.