

5	ANÁLISE DE RISCOS E PLANO DE EMERGÊNCIA	1
5.1	INTRODUÇÃO.....	1
5.2	INVENTÁRIO E CARACTERÍSTICAS DAS SUBSTÂNCIAS PERIGOSAS.....	4
5.3	IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS.....	14
5.3.1	<i>Análise Histórica de Acidentes- AHA</i>	15
5.3.1.1	Fábrica de Elemento Combustível	15
5.3.1.2	Insumos não Radioativos	23
5.3.2	<i>Relatório de Análise de Segurança – RAS / Análise de Acidentes</i>	28
5.3.2.1	Eventos Causados por Operações Anormais	28
5.3.2.2	Acidentes Postulados	40
5.3.3	<i>Análise Preliminar de Perigos</i>	43
5.3.4	<i>Conclusões</i>	52

5 ANÁLISE DE RISCOS E PLANO DE EMERGÊNCIA

5.1 INTRODUÇÃO

A segurança de instalações nucleares é regida por normas específicas da Comissão de Energia Nuclear – CNEN, órgão licenciador de atividades nucleares no Brasil. A certificação de que o projeto de uma instalação que lida com materiais nucleares garante a operação segura, é feita através da aprovação do Relatório de Análise de Segurança - RAS, que considera a segurança de processo frente a um espectro abrangente de eventos acidentais, denominados Acidentes Bases de Projeto (ABP).

A principal tarefa da Análise de Segurança é especificar e determinar a segurança do projeto de uma instalação nuclear. Para este propósito, os Acidentes de Base de Projeto são pré-determinados e investigados de tal forma que suas análises cubram seqüências e conseqüências de variada gama de eventos primários, inclusive outros acidentes. Por conta das condições limite especificadas para a investigação de acidentes, a Análise de Segurança é também conhecida como Análise Determinística de Segurança, parte integrante de uma Cultura de Segurança própria de setor nuclear e pioneira na adoção de métodos e práticas de vanguarda no campo de segurança de processo.

Esta técnica, formalmente utilizada e aceita para avaliação de segurança no licenciamento de instalações nucleares, não somente pela CNEN, como por organismos nacionais de países como EUA, Reino Unido, França, Japão, etc...e internacionais, como a Agência Internacional de Energia Atômica - AIEA, tem garantido o alto nível de segurança de instalações nucleares no mundo ocidental.

Em paralelo a esta metodologia, técnicas de análises probabilísticas, utilizadas inicialmente na otimização de projetos de sistemas de segurança individuais (análise de confiabilidade), começaram, a partir da década de 70, a serem utilizadas também para a avaliação de instalações nucleares. A principal diferença entre as Análises Probabilística e Determinística, é o uso do conceito de probabilidade na determinação da frequência de eventos acidentais ou falhas, suas conseqüências e o conceito de Riscos, definido internacionalmente como:

RISCO (magnitude/tempo) = FREQUÊNCIA X CONSEQÜÊNCIA,

onde magnitude é normalmente o número de fatalidades e a unidade de tempo é ano. Frequência é a probabilidade da ocorrência do evento em acidentes/ano e a conseqüência é dependente da vulnerabilidade das estruturas/pessoas expostas, expressa em número de fatalidades /acidente.

Todas as atividades humanas estão associadas a algum nível de risco. Risco e Segurança não são grandezas absolutas. Nenhum empreendimento humano é absolutamente seguro, sendo que todos podem ser perigosos em determinadas condições. Embora extremamente baixa, a probabilidade de ocorrência de sucessões de falhas e de eventos atípicos, não é nula, o que significa que tais acidentes podem ocorrer.

Em resposta às avaliações subjetivas de riscos pela sociedade, a indústria nuclear, com o apoio de governos, órgãos nacionais e internacionais de licenciamento, universidades e empresas de pesquisas ou consultorias, vem quantificando os riscos de fatalidades de instalações nucleares, comparando-os com os riscos de fatalidades por outras causas, como câncer, atropelamento, acidentes industriais em petroquímica, químicas, etc..., através das técnicas de Análise de Riscos, seguindo práticas hoje consagradas em outros setores industriais. Trata-se da desmistificação dos riscos nucleares, buscando-se evidenciar que estes são semelhantes ou inferiores aos riscos comuns que operários e indivíduos do público em geral estão expostos em qualquer sociedade contemporânea, bem como da busca por condições otimizadas de projeto, operação e manutenção das instalações.

Vale ressaltar inicialmente, que mesmo na ocorrência de um acidente em uma instalação nuclear, não necessariamente ocorrerá liberação para a atmosfera de material radioativo em quantidades que possam colocar em risco a saúde ou a vida da população circunvizinha a instalação.

Os eventos acidentais estão cobertos por sistemas de segurança redundantes, especialmente projetados para cada instalação. Por isto, riscos propriamente ditos para a população no entorno de uma instalação nuclear, só existem quando são consideradas falhas nos sistemas de segurança e nas medidas de administração de acidentes não, cumulativamente. Somente em tais casos uma liberação de substâncias radioativas para o ambiente será possível.

A Análise de Riscos do setor nuclear, desta maneira, trata, com destaque, seqüências de eventos de falhas dos sistemas de segurança e de ação emergencial. Com base no projeto das instalações, acidentes de projeto são investigados com respeito a freqüências de ocorrência e efeitos prejudiciais potenciais.

A Análise de Riscos complementa assim a Análise de Segurança, requerida para o licenciamento nuclear. A Análise de Segurança não lida com seqüências de acidentes nas quais uma ou mais falhas do sistema de segurança conduzem a cenários de acidentes graves, como também não trata qualquer informação sobre a freqüência de ocorrência de acidentes e a probabilidade de falhas dos sistemas de segurança.

Com sua especificação do projeto de segurança, a análise determinística é uma pré-condição necessária para investigação na Análise de Riscos. Com seus métodos probabilísticos, a Análise de Riscos pode ser utilizada para rever o projeto de segurança de uma instalação e para otimizar o sistema existente de segurança. Neste contexto, o benefício da análise probabilística é o fato de que a importância de acidentes bases-de-projeto pode ser avaliada de forma quantitativa com base na freqüência esperada. Desta forma, aspectos críticos da segurança do projeto podem ser identificados, com base em sua contribuição relativa na formação da freqüência de acidentes, e assim induzir modificações que aumentam a segurança das instalações.

A Análise de Riscos é recomendada também como forma de obtenção de uma avaliação qualitativa e/ou quantitativa dos riscos para o público interno, externo e para o meio ambiente, servindo de base para a preparação do Plano de Emergência - PE, de modo a mitigar as possíveis conseqüências de eventuais acidentes.

Assim, a Análise de Riscos para as Unidades de Produção de Pó e Pastilhas de UO_2 será desenvolvida com base nas seguintes etapas :

- ◆ Inventário e Principais Características das Substâncias Perigosas
- ◆ Identificação dos perigos e cenários acidentais potenciais (incêndios, explosões, vazamentos tóxicos), bem como as suas possíveis causas e conseqüências;
- ◆ Determinar as freqüências de ocorrências dos cenários acidentais identificados;
- ◆ Prever as conseqüências de cenários acidentais nas instalações industriais da empresa;
- ◆ Análise de vulnerabilidade, determinando a extensão dos danos causados aos trabalhadores, comunidade, instalações e meio ambiente expostos às conseqüências dos cenários acidentais;
- ◆ Calcular e avaliar os riscos inerentes às instalações.

É importante observar uma característica de projeto deste empreendimento que tem influência na avaliação qualitativa das conseqüências dos cenários acidentais, que são as pequenas vazões de soluções, da ordem de litros por hora e de gases em dezenas de m^3/h , (baixo valor para vazão gasosa), fazendo com que as conseqüências de danos físicos em cenários acidentais nas unidades de processo sejam limitadas, além das reduzidas dimensões físicas dos equipamentos. Por se tratar de uma fábrica com manuseio de material radioativo, mesmo de baixo teor de enriquecimento, média de 3,5% de U^{235} , os equipamentos são dimensionados para uma geometria segura ou anti-crítica, impedindo que ocorram fissões de átomos pelo choque com os neutrons liberados do material enriquecido.

A título de exemplo, o precipitador tem uma largura total de apenas 200 mm, os lavadores – absorvedores têm diâmetros de 200 mm, assim como o reator de redução de leito fluidizado, todos com alturas expressas em metros.

5.2 INVENTÁRIO E CARACTERÍSTICAS DAS SUBSTÂNCIAS PERIGOSAS

O inventário das principais substâncias perigosas presentes nas Unidades de Produção de Pó e Pastilhas de UO₂ está apresentado na Tabela 5.1 a seguir e as propriedades físico-químicas e características de sua toxicologia na Tabela 5.2 adiante.

Tabela 5.1 INVENTÁRIO DAS SUBSTÂNCIAS PERIGOSAS PRESENTES NA FEC-II

SUBSTÂNCIAS	LOCAL	QUANTIDADE	PERIGO
Gás Carbônico – (CO ₂) ^(a)	Área de Tancagem	14 t (1 tanque fixo)	Asfixia
Hidrogênio - (H ₂) ^(b)	Área de Tancagem	17 m ³ /carreta (200 bar) (4 carretas)	Tóxico/ Incêndio
Amônia - (NH ₃) ^(c)	Área de Tancagem	36 m ³ (2 tanques fixos) 1,9 m ³ (vaporizador)	Tóxico/ Incêndio
Metanol - (CH ₃ OH) ^(d)	Área de Tancagem	Puro: 10 m ³ Purificado: 4 m ³	Incêndio/ Tóxico
Hexafluoreto de Urânio (UF ₆)	Pátio de Estocagem de Cilindros de UF ₆	50 cilindros 30B (estado sólido)	Tóxico
	Sala de Estocagem Provisória	5 cilindros 30B (estado sólido)	
	Autoclave	1 cilindro 30B (estados sólido, líquido e/ou gasoso)	
Dióxido de Urânio (UO ₂) ^(e)	Unidade de Produção de Pó	-	Tóxico/ Incêndio
	Forno de Sinterização	156 kg	
Nitrogênio (N ₂) ^(f)	Prédio USH-01	12 m ³ (1 tanque fixo)	Asfixia
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) ^(g)	Área de Tancagem	17 m ³	Explosão/ Incêndio
Cloreto de Cálcio - (CaCl ₂) ^(h)	Área de Tancagem	20 m ³ (1 tanque fixo)	-
Peróxido de Hidrogênio (H ₂ O ₂)	Fábrica de Pó	70 l (1 tanque)	Incêndio/ Explosão

a) CO₂ é utilizado na precipitação de TCAU

b) O H₂ é utilizado no forno de leito fluidizado e no forno de sinterização de pastilhas.

c) A NH₃ é utilizada na precipitação de TCAU.

d) O metanol é utilizado nos filtros de TCAU.

e) O UO₂, já passivo, é enviado para a fábrica de pastilhas.

f) O N₂ é utilizado no forno de leito fluidizado e no forno de sinterização.

g) O GLP é utilizado no forno de sinterização de pastilhas, na caldeira e na secagem de cloreto de amônio.

h) O CaCl₂, é utilizado na transformação do NH₃ em NH₄Cl₂, gerando CaF₂.

Tabela 5.2 CARACTERÍSTICAS TOXICOLÓGICAS DAS SUBSTÂNCIAS DE PROCESSO DA FEC II

SUBSTÂNCIA	PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E CARACTERÍSTICAS DE PERICULOSIDADE
<p>HF Ácido Fluorídrico</p>	<p>Estado/cor: líquido incolor, volátil, fumegante (temp. amb.). Odor: odor penetrante e irritante. Solubilidade: solúvel em água. Reatividade: ataca vidros e outros materiais que contenham sílica. Em contato com o ar pode liberar fumos corrosivos irritantes. Decomposição térmica: não se decompõe, mas devido ao seu baixo ponto de ebulição, o calor aumenta consideravelmente a formação de gases. Obs.: soluções aquosas emitem vapor a partir de uma concentração de 48%. . Ponto de Fusão: - 83°C . Ponto de Ebulição: 19,7°C . Densidade (gás): 0,921 g/l (ar: 1,0) . Densidade (líquida): 1,15 g/l (água: 1,0) . Pressão de vapor: 400 mm de Hg a 2,5°C</p> <p>Toxicologia: a) Risco à pele: o HF é extremamente irritante e corrosivo para a pele e membranas mucosas. As queimaduras são de difícil cicatrização e podem variar grandemente, dependendo da concentração de HF. As concentrações inferiores a 21%, as queimaduras demoram várias horas para se manifestar. Em concentrações de 21% a 60%, sente-se mais rapidamente e acima de 60% ou anidro, a sensação é imediata. As queimaduras também podem ser causadas por contato prolongado com soluções diluídas de 1% ou menos. O contato prolongado com vapores a 30 ppm já provoca queimaduras. O gás anidro produz queimaduras que se manifestam imediatamente. A penetração do HF através da pele é rápida e profunda e a ação corrosiva se adiciona à esclerose óssea por fixação de cálcio pelo íon fluoreto. Conforme a concentração do ácido, estes efeitos podem tardar muito a se manifestar; b) Riscos por inalação: o odor do HF só é perceptível em concentrações acima de 5 ppm, mas o seu limite de tolerância é de 3 ppm. Age inicialmente como irritante intenso do sistema respiratório, causando lesões às mucosas dos pulmões. Concentrações de 50 a 250 ppm são extremamente prejudiciais, mesmo em exposições breves, pois destroem os tecidos afetados. O fluoreto residual, após neutralizado o ácido, pode causar ulcerações prolongadas, de cicatrização lenta e ainda pode produzir efeitos danosos sobre o fígado, rins e sistema ósseo; c) Risco à Visão: o HF ataca violentamente a membrana conjuntiva dos olhos e, quase sempre, conduz à cegueira; e d) Risco por ingestão: quanto há ingestão de soluções de HF, há irritação intensa sobre o aparelho respiratório. O mecanismo de ações é como descrito para a pele e para a inalação. TLV - TWA: 3,0 ppm no ar (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1989) TLV - STEL: 6,0 ppm no ar (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1989) IDLH: 30 ppm (NIOSHI, 1993) Perigo de incêndio: o HF, quer anidro ou em solução, não é inflamável, mas pode representar risco, pois libera hidrogênio quando em contato com determinados metais. Em ambientes sujeitos a incêndio, tanques e recipientes de HF devem ser mantidos frios com água, para evitar que a válvula de segurança dispare liberando o produto. Perigo de Explosão: o HF, sob qualquer forma, não apresenta risco à explosão. Contudo ataca as superfícies internas dos recipientes metálicos, tubulações, tanques, etc. com produção de H₂, que apresenta um alto nível de risco de incêndio e explosão. Perigo de desastre: perigoso; em caso de choque pode quebrar o container com força explosiva. Quando aquecido emite fumos de fluoretos altamente corrosivos: reage com a</p>



água e vapor produzindo fumos tóxicos.

Tabela 5.2 Continuação

Tabela 5.2. continuação

SUBSTÂNCIA	PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E CARACTERÍSTICAS DE PERICULOSIDADE
NH ₄ NO ₃ Nitrato de Amônio	<p>Estado/Cor: cristal incolor</p> <ul style="list-style-type: none"> . ponto de fusão: 169,6°C . ponto de ebulição: 210°C . densidade: 1,625 g/cm³ (25°C)
	<p>Toxicologia: existem registros de desmaios e queda de pressão sanguínea de trabalhadores expostos ao nitrato de amônio. Estes sintomas podem ser causados por nitratos presentes como impurezas.</p> <p>Perigo de incêndio: moderado, por reação química espontânea (praticamente todos os nitratos são poderosos agentes oxidantes). Há registros de incêndios em locais de armazenamento sem ocorrência de denotação.</p> <p>Perigo de explosão: pode explodir quando confinado, exposto a altas temperaturas ou submetido a choque mecânico. Há registros de explosões em porões de navio.</p>

Observações referentes à tabela 5.2:

- 1) As propriedades e características das substâncias foram retiradas de SAX (Dangerous Properties of Materials, 1965), exceto quando referenciadas na própria tabela.
- 2) O nitrato de uranila (UO₂[NO₃]₂) e o ácido nítrico (HNO₃) não são utilizados no processo atual, podendo ser usados no futuro.
- 3) Limite de Tolerância-Exposição Curta (TLV-STEL): Concentração na qual os trabalhadores podem estar expostos continuamente por um curto período de tempo sem sofrer irritações, danos crônicos ou irreversíveis aos tecidos, narcose em grau suficiente para aumentar a probabilidade de danos acidentais, prejudicar a segurança pessoal ou reduzir substancialmente a eficiência do trabalho, e desde que o TLV-TWA diário não seja excedido. Não é um limite de exposição independente, mas complementa o TLV-TWA que considera reconhecidos efeitos agudos causados por uma substância cujos efeitos tóxicos são principalmente de natureza crônica.
- 4) Limite de Tolerância-Média Ponderada pelo Tempo (TLV-TWA): Concentração média ponderada pelo tempo para uma jornada de trabalho normal de 8 horas diárias e de 40 horas semanais na qual praticamente todos os trabalhadores podem estar expostos continuamente, dia após dia, sem efeito adverso.
- 5) IDLH: “Immediately Dangerous to Life and Health Concentration”, após a exposição de 30 minutos.
- 6) As substâncias Ca(OH)₂ e NH₄NO₃ são listadas para efeito de informação de processo.

[1] (Americam Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1989)

5.3 IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS

O levantamento de perigos, suas possíveis causas e conseqüências será feito com base na Análise de Segurança de Acidentes elaborada pela INB para a CNEN através do capítulo 9 do “Relatório Preliminar de Análise de Segurança” (1997) e através de técnicas analíticas de caráter qualitativo, que sistematizam a identificação dos perigos, denominadas Análise Histórica de Acidentes (AHA) e a Análise Preliminar de Perigos (APP).

◆ Análise Histórica de Acidentes- AHA

Um histórico de acidentes e ocorrências anormais foi elaborado a partir de consultas a banco de dados internacionais e nacionais. A análise deste histórico resultará em estatísticas contendo o número de acidentes e o número de vítimas (fatais ou não) em instalações e unidades similares àquelas em estudo, a distribuição das ocorrências segundo suas causas iniciadoras e suas tipologias acidentais;

◆ Relatório de Análise de Segurança – Análise de Acidentes

Serão apresentados os eventos e análise de acidentes do capítulo 9 do Relatório de Análise de Segurança – RAS de março de 1996 e novembro de 1997 e que posteriormente serão utilizadas para a elaboração da Análise Preliminar de Perigo - APP

◆ Análise Preliminar de Perigos - APP

A Análise Preliminar de Perigos – **APP**, objetiva a identificação de elementos e situações perigosas deduzidos a partir da determinação prévia de eventos indesejáveis, avaliando suas possíveis causas e conseqüências.

A **APP**, é uma técnica qualitativa cujo objetivo consiste na identificação dos cenários de acidentes possíveis em uma dada instalação, classificando-os de acordo com categorias pré-estabelecidas de “frequência de ocorrência” e de “severidade das conseqüências”, possibilitando uma avaliação qualitativa de riscos.

Esta técnica desenvolvida e utilizada por militares em seus programas de sistemas de segurança (Department of Defense, 1984), tem sido adotada exaustivamente em indústrias químicas, com procedimentos semelhantes. Sendo também a técnica indicada pelo DOE - “Department of Energy do EUA, através do Guidance for Preparation of Technical Safety Requirements (**TSR**) e Nuclear Safety Reports (**SAR**) como base de avaliação de segurança. Esta técnica é descrita adiante, e tem como base, o “Guidelines for Hazard Evaluation Procedures”, The Center for Chemical Plant Safety of the AIChE.

A **APP** permite a classificação das probabilidades de ocorrência e severidade de conseqüências dos cenários acidentais. O cruzamento das categorias de probabilidade e severidade em uma Matriz de Riscos como a da Figura 5.1 adiante, auxilia na identificação de áreas críticas e priorização das ações a serem tomadas, portanto, é uma ferramenta útil na Gestão de Segurança e Meio Ambiente.

5.3.1 Análise Histórica de Acidentes- AHA

A Análise Histórica de Acidentes é apresentada a seguir dividida em 2 grupos, Fábrica de Elemento Combustível e Insumos não radioativos. No grupo Fábrica de Elemento Combustível encontram-se os acidentes com a matéria-prima UF_6 e de processo e no grupo Insumos não radioativos encontram-se os acidentes com substâncias e instalações de estocagem que são utilizadas no processo.

5.3.1.1 Fábrica de Elemento Combustível

A dificuldade de obtenção de informações tecnicamente adequadas sobre a ocorrência de acidentes nucleares é relativamente grande, principalmente face à multiplicidade de referências bibliográficas e as formas de recuperação da informação, já que são geradas em diferentes óticas nos artigos, revistas, periódicos, anais de seminários, relatórios de instituições, etc... Em função disto, a busca de informações para a elaboração da **AHA** de acidentes foi realizada através do Banco de Dados do sistema INIS, disponível no CIN (Centro de Informações Nucleares) da CNEN, através de elenco de palavras-chaves e compreendendo o período de 1960 a 1996.

Como resultado desta busca foram encontradas para Fábricas de Elemento Combustível as referências, “Environmental Survey of the Uranium Fuel Cycle”, identificado como **WASH-1284** (1974), da USAEC - United State Energy Commission - Fuels and Materials Directorate of Licensing; **BODEAU, D.J. et alii**, “ Data Base for Radiation Events in the Commercial Nuclear Fuel Cycle 1950-1978”, Argonne National Laboratory, 1981 (NUREG/CR-2429), e “**Nuclear Criticality Safety**” de RONAL ALLEN KNIEF, editado pela American Nuclear Society com apoio da U.S. Nuclear Regulatory Commission (1986).

O Relatório **WASH-1284** apresenta sumariamente os acidentes reportados pelas 10 Fábricas de Produção de Elementos Combustíveis existentes em 1974 nos EUA, informando que “acidentes do tipo vazamento em válvulas, tubulações, derramamentos de pó de UO_2 , ventilação insuficiente em recintos fechados, fugas de UF_6 e mesmo pequenos incêndios ocorreram e podem ocorrer durante a vida útil da Fábrica”. Entretanto, estes acidentes apesar das conseqüências indesejáveis, como aumento do grau de exposição dos funcionários à radiação, avarias de equipamentos e perda de produção, ficaram restritos à área da planta, não tendo impacto significativo para o meio ambiente ou o público externo. Esta mesma referência reporta também que até aquela data (1974) **nunca ocorreu** no Estados Unidos, acidente de Criticalidade em unidades de processamento de urânio com baixo teor de enriquecimento.

BODEAU, D.J. et alii em seu trabalho apresenta uma compilação de 1.634 eventos em plantas comerciais do ciclo de combustível nuclear, abrangendo o período de 1950 a 1978, que tiveram como consequência algum tipo de liberação radioativa, desde o processo de mineração até a fabricação dos elementos combustíveis, englobando também eventos ocorridos no reprocessamento de combustível irradiado, na reciclagem de produtos físseis e no tratamento de rejeitos radioativos.



A grande maioria dos eventos envolveu apenas liberações internas atribuídas a falhas nos equipamentos de ventilação e contenção. As liberações externas foram pequenas e envolveram, principalmente, os processos de mineração e moagem de minérios uraníferos. As equipes de registro de ocorrência reportaram qualquer tipo de ocorrência, por menor que fosse, daí a razão do número. Em outros tipos de indústria, tais ocorrências nem seriam consideradas para registro.

Do total de 1.634 eventos, 495, 30%, tinham relação com a fabricação de elementos combustíveis, que não representam, entretanto, o maior número em liberações externas. Dos eventos com causas identificadas, relacionados com a fabricação de elementos combustíveis, observa-se que 35% das causas são de erros humano, 28% erros de projetos, 26% de falhas de equipamentos e das instalações em geral, 9% a falhas de gerenciamento e 2% a outras causas.

Quanto às liberações nos 495 eventos, 16 levaram a liberações internas inferiores aos limites permissíveis, enquanto 144 levaram a liberações internas superiores a esses limites. Externamente houve 8 liberações abaixo do limite permissível e 7 acima desses limites.

No total dos 495 eventos ocorridos, houve um total de 1.090 pessoas envolvidas, das quais apenas uma morreu (não em planta específica de fabricação de elemento combustíveis e sim em plantas de processo, chamada de conversão, no ciclo do combustível, anteriores as plantas de fabricação de elementos combustíveis, mas no mesmo complexo), 2 foram hospitalizadas e 10 sofreram ferimentos leves. Uma outra observação importante extraída desta referência, é que não há registro de nenhum evento em partes não nucleares das instalações, que levaram a consequências radiológicas. Do ciclo do combustível, como um todo, desde a mineração, apenas 2 pessoas morreram, 6 foram hospitalizadas e 19 sofreram pequenos ferimentos. Os danos econômicos não foram significativos.

Neste período, pode-se dizer que a indústria do ciclo do combustível apresentou excelentes níveis de segurança quanto a mortes, danos físicos e danos materiais significativos, quando comparados com outros setores industriais

O livro “**Nuclear Criticality Safety**” (RONAL ALLEN KNIEF, 1986), confirma o reportado acima, quando informa que os acidentes de Criticalidade são relacionados com supercriticalidade em plantas de reprocessamento de combustíveis nucleares ou com urânio com alto teor de enriquecimento. Nenhum acidente foi associado com processamento mecânico, estocagem ou transporte. Todos ocorreram no período de 1958 a 1978, em soluções aquosas, cinco envolvendo urânio altamente enriquecido e três envolvendo plutônio. Um deles, (1970) ocorreu no Reino Unido. Em nenhum deles o público em geral foi atingido.

A Tabela 5.3 a seguir estão listados a data, o local, o número de fissões ocorridas, a quantidade de material físsil envolvido, a causa e a consequência.

A Análise Histórica envolvendo as substâncias UF_6 , UO_2 , UO_2F_2 e HF foi complementada com base nas referências listadas a seguir e um resumo dos eventos são apresentados na Tabela 5.4 – Acidentes Ocorridos com UF_6 , UO_2 , UO_2F_2 e HF.

- ◆ U.S. Nuclear Regulatory Commission – “Report to Congress on Abnormal Occurrences” , March 86-June 95 (NUREG –0090)
- ◆ U.S. Nuclear Regulatory Commission – “A Preliminary Evaluation of the Economic Risk for Cleanup of Nuclear Material Licensee Contamination Incidents”, 1987 (NUREG/CR – 4825)
- ◆ Nuclear Energy Agency “NEA Symposium on the Safety of the Nuclear Fuel Cycle“ (NEA-1993)
- ◆ U.S. Nuclear Regulatory Commission – “A Regulatory Analysis on Emergency Preparedness for Fuel Cycle and Other Radioactive Materials Licensees”, June 1989 (NUREG-1140)
- ◆ Oak Ridge National Laboratory – “Proceedings of the Second International Conference on Uranium Hexafluoride Handling” – U.S.Department of Energy (DOE, 1991)
- ◆ Oak Ridge Gaseous Difusion Plant – “Proceedings of the Conference on Uranium Hexafluoride – Safe Handling, Processing and Transportating”- U.S. Department of Energy (DOE, 1988).
- ◆ Instituto Brasileiro de Petróleo – “Manual de Ácido Fluorídrico” (IBP, 1978)

Tabela 5.3 ACIDENTES DE CRITICALIDADE EM PLANTAS DE PROCESSAMENTO DE COMBUSTÍVEIS

DATA	PLANTA	QUANT.MATERIAL ENVOLVIDO	TOTAL DE FISSÕES	CAUSA/CONSEQUÊNCIAS.
16/6/58	Y-12 - Oak Ridge, Tennessee-EUA	2,1 kg U ²³⁵ em 56 l de solução	1,3 E18 em 2,8 minutos	Descarregamento da solução em vaso sem geometria anticritica / 8 técnicos com exposição excessiva de radiação, sem danos a equip.
30/12/58	Los Alamos Scientific Lab. - New Mexico-EUA	3,3 kg Plutonio em 160 l de solução	1,5 E17 , instantâneo	Concentração de material em camada de solvente / 1 operador com exposição letal e 2 com dose excessiva. Não houve danos a equipamentos.
16/10/59	ICPP-Idaho Chem. Proc. Plant - Idaho Falls-EUA	34 kg U ²³⁵ em 200 l de solução	4,0 E19 , em 15 minutos	Mistura da solução em vaso com geometria não anti-crítica de 19 000 l com 600 l de água. Instalação protegida contra radiação. / 2 técnicos com baixa exposição gama. Sem danos a equipamentos.
25/01/61	ICPP-Idaho Chem. Proc. Plant - Idaho Falls-EUA	8 kg U ²³⁵ em 40 l de solução	6,0 E17 , instantaneo.	Desvio da solução para parte de equipamento com geometria não anti-crítica de 61 cm de diâmetro / sem consequência para os operadores e equipamentos.
07/4/62	Recuplex Plant, Handford Reserv. Washington- EUA	1,5 kg Plutonio em 46 litros de solução	8,2 E17, 20% na primeira ½ hora.	passagem da solução por “overflow” para vaso com geometria não anti-crítica / 3 operadores com exposição

				excessiva de radiação.
--	--	--	--	------------------------

Tabela 5.3 Continuação

DATA	PLANTA	QUANT.MATERIAL ENVOLVIDO	TOTAL DE FISSÕES	CAUSA/CONSEQUÊNCIAS.
24/7/64	Wood River Junction Plant, Rhode Island-EUA.	Garrafa de 11 l com solução concentrada de U ²³⁵ e 2 kg U ²³⁵ em 42 l de solução	1,0 E17 um pulso instantâneo e 1,3 E17 algumas horas	No primeiro acidente, despejo da solução da garrafa em um vaso de 45,7 cm de diâmetro com solução carbonatada com agitação funcionando / 1 operador recebeu dose letal, sem danos em equipamentos. O segundo acidente ocorreu em seguida, quando o agitador foi desligado, a geometria da solução em repouso no vaso, acarretou a supercriticalidade, com o alarme de radiação bloqueado pelo primeiro acidente / 2 operadores receberam dose excessiva de radiação. Não houve danos a equipamentos.
24/8/70	Windscale Works - United Kingdom Atomic Energy Authority - Inglaterra	40 l de solução com 55 g/l de plutônio	1,0 E15, curto tempo.	Mistura da solução em vaso sem geometria anti-crítica. Sem danos a operadores ou equipamentos
17/10/78	ICPP-Idaho Chem. Proc. Plant - Idaho Falls-EUA	solução com 22 g/l de U ²³⁵	3,0 E18, curto tempo.	Acumulo de solução no fundo da coluna / sem consequência para os operadores e equipamentos.

Tabela 5.4 - ACIDENTES COM UF₆, UO₂, UO₂F₂ e HF

DATA	LOCAL	RESUMO DO ACIDENTE	MORTOS/ FERIDOS
1944	Filadélfia EUA	Ruptura ou explosão de um cilindro com vazamento de 200 kg de UF ₆ conjuntamente com vapor vivo.	2/16
Anterior a 1949	EUA	Vazamento rápido de aproximadamente 13 kg de UF ₆ de um cilindro aquecido.	0/1
1960	Pensilvânia EUA	Vazamento em trocador de calor com liberação de UO ₂ F ₂ para um rio, com concentração 60 vezes acima do limite máximo permissível na descarga.	??/?
1960	Tennessee EUA	Ruptura de um cilindro de 10 t em uma planta de enriquecimento.	??/?
1963	Massachus. EUA	Incêndio em filtro com liberação de urânio enriquecido. Nenhuma contaminação.	0/0
1966	Ohio EUA	Operador removeu válvula acidentalmente de um cilindro de 10 t aquecido. Vazamento de 2.300 kg de UF ₆ em 1 hora, grande parte contida por borriço de água.	0/1
1967	Oklahoma EUA	Explosão em coluna de troca iônica. Contaminação mínima.	0/0
1967	Oklahoma EUA	Vazamento em planta de conversão de UF ₆ , de 45 kg em 15 a 20 minutos de uma junta devido a superaquecimento.	0/0
1968	Oklahoma EUA	Vazamento de 45 kg de urânio enriquecido em 15 a 20 minutos de uma válvula deixada acidentalmente aberta durante o aquecimento.	0/0
1968	Illinois EUA	Falha de válvula com vazamento de 43 kg em planta de conversão de UF ₆ .	0/0

Tabela 5.4 Continuação

DATA	LOCAL	RESUMO DO ACIDENTE	MORTOS/ FERIDOS
1971	Carolina do Norte EUA	Dois cilindros de UF ₆ não enriquecido caíram de onde estavam sendo transportados e um deles foi atingido por um trem. Houve pequeno vazamento de UF ₆ que se auto selou pela formação de UO ₂ F ₂ no ponto de vazamento.	0/0
1972	EUA	Incêndio rápido de vapores por contaminação orgânica nos dutos. Danos consideráveis. Contaminação de 15 vezes a concentração máxima permissível.	0/0
1973	Pensilvânia EUA	Deficiência na lavagem de gases devido à corrosão no injetor do lavador de gases levando à liberação de urânio enriquecido.	0/0
1973	Tennessee EUA	Operador quebrou válvula de um cilindro de 10 t com vazamento de 100 kg de UF ₆ em 20 minutos.	0/0
1973	Pensilvânia EUA	Ventilação inadequada do forno de calcinação permitindo escape de urânio pela exaustão. Necessidade de descontaminação externa.	0/0
1973	Ohio EUA	Penetração de óleo de linha de instrumentação na linha de UF ₆ , formando compostos sólidos de urânio nas tubulações.	0/0
1974	Carolina do Sul EUA	Vazamento em filtro levou à descarga de UO ₂ diretamente para o ar.	0/0
1975	EUA	Explosão e incêndio durante o processo de conversão de nitrato de urânio líquido em óxido de urânio sólido.	0/2
1975	Pensilvânia EUA	Falha do lavador de gases e do sistema de ventilação levou ao vazamento de urânio enriquecido.	0/0
1976	Washington EUA	Operador desconectou tubulação sem ter fechado válvula. Pequeno vazamento.	0/0
1977	Pierrelatte França	Manuseio errôneo de um cilindro aquecido a 95°C levou à ruptura de sua válvula com liberação de 7.106 kg em aproximadamente 11 minutos.	0/0
1978	Ohio EUA	Queda e ruptura de um cilindro aquecido de 14 t em planta de enriquecimento com vazamento de 9.500 kg de UF ₆ em 30 minutos a 1 hora.	0/0
1978	EUA	Válvula de bloqueio deixada em planta de fabricação de elementos combustíveis.	0/0
1978	Oklahoma EUA	Liberação acidental de 750 kg de urânio natural na forma de nitrato de urânio para um rio. Contaminação de 1,4 vezes a concentração máxima permissível, diluída pela água do rio.	0/0
1979	Tennessee EUA	Alívio acidental de um cilindro para a exaustão com vazamento inferior a 3 kg de UF ₆ em planta de fabricação de elementos combustíveis.	0/0
1980	EUA	Falha em flange de acoplamento com vazamento inferior a 1 kg de UF ₆ em planta de fabricação de elementos combustíveis.	0/0
1981	EUA	Vazamento inferior a 74 kg de UF ₆ através de uma junta em planta de fabricação de elementos combustíveis.	0/0
1981	Tennessee EUA	Erro na manutenção levou à falha de um compressor e fez com que o UF ₆ reagisse com o metal, formando compostos sólidos de urânio.	0/0
1981	Califórnia EUA	Explosão de solução com restos de urânio.	0/0
1981	Illinois EUA	Superaquecimento de um cilindro com 1.183 lb a mais do que o permissível. Nenhum dano na retirada do UF ₆ excedente.	0/0
1982	Washington EUA	Vazamento em válvula levou à hidrólise de 10 kg de UF ₆ em um lavador de gases de emergência.	0/0
1982	Connecticut EUA	Incêndio de pó de UO ₂ na cobertura de uma centrífuga de água de rejeitos durante a secagem por evaporação de material contaminado.	0/0

Tabela 5.4 Continuação

DATA	LOCAL	RESUMO DO ACIDENTE	MORTOS/ FERIDOS
1982	Tennessee EUA	Liberação de UF ₆ para atmosfera do prédio.	0/0
1982	EUA	Vazamento inferior a 25 kg de UF ₆ através de uma junta em planta de fabricação de elementos combustíveis.	0/0
1983	EUA	Incidente em glovebox causou extensa contaminação.	0/0
1983	Tennessee EUA	Contaminação do ar do prédio, após ocorrer retorno de hidrogênio na entrada de um forno. Não houve liberação para o meio ambiente.	0/0
1984	Illinois EUA	Superenchimento de um cilindro com 5.448 lb a mais do que o permitido. Cilindro sofreu deformações durante a retirada do UF ₆ excedente.	0/0
1985	Pirrelatte França	Vazamento de 400 kg de UF ₆ em poucos minutos, devido à falha na válvula do dessublimador.	0/1
1985	Illinois EUA	Superenchimento de um cilindro com 2.140 lb a mais do que o permitido. Nenhum dano na retirada do UF ₆ excedente.	0/0
1986	Oklahoma EUA	Aquecimento de um cilindro com superenchimento causando vazamento de 14.000 kg de UF ₆ em menos de 1 minuto.	1/muitos
1986	Oklahoma EUA	Superenchimento de um cilindro por falha na balança. Retirada de quase todo o excesso de UF ₆ antes da solidificação.	0/0
1986	Oklahoma EUA	Superenchimento de um cilindro com 1.367 lb a mais do que o permitido, pois o operador esqueceu de descontar o peso do cilindro vazio e errou no cálculo do tempo de enchimento. Nenhum dano ocorreu na retirada do UF ₆ excedente.	0/0
1987	Pierrelatte França	Vazamento de 1.200 kg de UF ₆ pela válvula de um cilindro, para a instalação e 1 kg de produtos contendo urânio e HF, para o meio ambiente.	0/0
1987	Hanau Alemanha	Válvula de um cilindro dentro da autoclave não fechou totalmente levando a um vazamento de 50 kg de UF ₆ durante o reparo da válvula principal da autoclave.	0/0
1989	Vasteras Suécia	Liberação de pó de urânio de um forno de conversão para o sistema de lavagem de gases.	0/0
1989	Montreal Canadá	Incorreto armazenamento de cilindros vazios de UF ₆ em um navio, levou à contaminação de outras cargas após um temporal que causou a ruptura e cisalhamento de suas válvulas e dos contêineres a bordo.	0/0
1990	Hanau Alemanha	Explosão de uma lavadora de gases no tratamento de rejeitos de fábrica de elementos combustíveis.	0/2
1990	Ohio EUA	Durante inspeção de cilindros estocados com produtos exauridos, dois cilindros foram encontrados abertos. Vazamento pequeno e sem consequências.	0/0
1991	Felixtowe Inglaterra	Carregamento de 14 cilindros cheios de UF ₆ estavam com amarras totalmente danificadas com potencial para um grave acidente, pelo incorreto armazenamento no navio.	0/0
1981 a 1985	Illinois EUA	Na instalação de Metrópolis - ocorreram 41 acidentes de superaquecimento de cilindros de UF ₆ dos quais três deles foram superiores a 1.000 lb.	0/0

Tabela 5.4 Continuação

DATA	LOCAL	RESUMO DO ACIDENTE	MORTOS/ FERIDOS
1973 a 1991	Ibaraki Japão	Esta fábrica, que lidera a produção de combustível nuclear no Japão, não registrou nenhum incidente ou acidente no período de 18 anos. Ocorreram apenas alguns problemas, a saber: indicação errônea em pressostatos por bloqueio de UF ₆ , vazão insuficiente e UF ₆ devido à solidificação por falta de aquecimento; obstrução com UO ₂ F ₂ dos injetores de UF ₆ levando à descontinuidade no processos de hidrólise; e alarme errôneo em detector de HF por manutenção e calibração deficientes.	0/0
-	Urenco Europa	Vazamento de alguns gramas de UF ₆ para o prédio de processo durante alívio errôneo de um dessublimador.	0/0
-	Urenco Europa	Vazamento de UF ₆ por quebra da porca da válvula de um cilindro para o prédio de processo, durante o processo de transferência.	0/2
-	Urenco Europa	Pequenas liberações de UF ₆ durante procedimentos para manutenção de bombas.	0/0
-	Urenco Europa	Alívio errôneo de um dessublimador para um dispositivo de bombeamento portátil que havia sido utilizado para limpar linhas de UF ₆ .	0/0

Dos eventos listados os maiores em termos de vazamento de UF₆ foram em Pierralatte na França em 1977, em Oklahoma (Sequóia) nos EUA em 1986 e os dois em Hanau na Alemanha em 1987 e 1990. Sendo que os da França e EUA foram em plantas de conversão (plantas de processo, no ciclo do combustível, anteriores às plantas de fabricação de elementos combustíveis). Os eventos da Alemanha, ocorrem em plantas de fabricação de elementos combustíveis como a FEC II.

Na Planta de Reconversão de Hanau, em 27 de abril de 1987, ocorreu um vazamento na vedação da válvula de UF₆ da autoclave e a válvula do cilindro de UF₆ de acionamento remoto não foi fechada totalmente permitindo vazamento pelo sistema de exaustão. Houve vazamento de 50 kg de UF₆ em 10 minutos, totalmente contido no prédio. Não houve vazamento para o ambiente externo e danos à saúde dos operadores.

Em 12 de dezembro de 1990 na Planta de Fabricação de Elementos Combustíveis de Hanau, ocorreu a explosão de um lavador de gases do sistema de tratamento de rejeitos líquidos e recuperação de urânio. Neste lavador, em condições normais estão presentes soluções nítricas amoniacais, fluoretos e compostos orgânicos. Devido a uma falha no controle de nível de líquido no lavador, a concentração de nitrato de amônio na parte líquida aumentou pela evaporação da água, precipitando-o com formação de borra ou cristais. Com o aquecimento da solução pelo bombeamento produzido pela bomba de recirculação do lavador, ocorreu a explosão por decomposição térmica do nitrato. O sistema de filtração de gases não foi afetado, não havendo vazamento de radioatividade para o meio ambiente. Dois operadores foram feridos, um deles gravemente.

Da análise histórica, pode-se observar que os eventos que envolveram grandes vazamentos de UF₆ aconteceram com ele no estado líquido. As liberações, na maioria, tiveram durações entre menos de um minuto a uma hora. As plumas, no ponto de maior concentração eram visíveis e causaram irritação imediata nos pulmões. Observou-se também que nos acidentes em plantas de Fabricação de Elementos Combustíveis, o público externo não foi atingido, não houve

mortes, somente 2 feridos e não existiu acidentes de criticalidade.

5.3.1.2 Insumos não Radioativos

A Análise Histórica de acidentes com Amônia, GLP, Hidrogênio e Metanol é apresentada adiante nas Tabelas 5.5, 5.6, 5.7 e 5.8 respectivamente e tendo como referência de dados as seguintes publicações:

- CARSON, P.A., MUMFORD, C.J. “An Analysis of Incidents Involving Major Hazards in the Chemical Industry”- Jornal of Hazardous Materials, 1979;
- LEWIS, D.J. “Unconfined Vapor-Cloud Explosions – “Historical Perspective and Predictive Method Based on Incident Records” The Energy Combustion Science, 1980;
- Risk Analysis of Six Potentially Hazardous Industrial Objects in the Rijnmond Area, a Pilot Study”. A Report to the Rijnmond Public Authority, D. Reidel Publishing Company, 1982.
- Instituto Brasileiro de Petróleo. “Manual de Amônia”, 1977
- Instituto Brasileiro de Petróleo. “Manual de Metanol”, 1978

A Tabela 5.5 apresenta os eventos ocorridos com amônia extraídos das referências citadas. As informações disponibilizadas não possibilitaram análises de causas e falhas, possibilitando apenas observar que alguns foram bastantes graves e, devido às características de toxicidade da amônia, implicaram na evacuação de um grande número de pessoas. Os eventos ocorridos em locais próximos a centro populacionais resultaram em mortes e ferimentos. No caso onde houve explosões, os danos materiais foram significativos.

O limite inferior de inflamabilidade para a amônia é da ordem de 15% sendo, portanto, superior ao limite do hidrogênio e de outros gases. Entretanto, as explosões e incêndios com a amônia são mais frequentes, pois ao ocorrer o vazamento, a amônia expande-se carregando partículas líquidas, formando aerossol mais denso que o ar, dispersando-se ao nível do solo, onde encontra um maior número de fonte de ignição.

Tabela 5.5 ACIDENTES OCORRIDOS COM AMÔNIA

DATA	LOCAL	RESUMO DO ACIDENTE	MORTOS/ FERIDOS
1962	Kentucky EUA	Tanque de óxido de etileno contaminado com amônia causou explosão.	1/9
1963	Liverpool Inglaterra	Caminhão-tanque ficou preso sob uma ponte, sofrendo perfurações. Liberação de 2 t de amônia.	0/20
1968	Cincinnati EUA	Explosão de tanques de amônia em uma fábrica.	??
1968	Iowa EUA	Trem de carga descarrilou, rompendo tanque de amônia. Evacuação dos residentes locais.	0/0
1968	Glasgow Escócia	Explosão em pátio de estocagem resfriado levou à liberação de amônia. Evacuação dos trabalhadores..	0/0
1968	Lievin França	Liberação de 15 t de amônia.	5/?
1969	Nebraska EUA	Trem de carga descarrilou, batendo em um vagão com 116m ³ de amônia anidra líquida.	8/35

Tabela 5.5 Continuação

DATA	LOCAL	RESUMO DO ACIDENTE	MORTOS/ FERIDOS
1969	Iowa EUA	Trabalhadores romperam tubulação enquanto tentavam ampliar a linha principal. Ventos favoráveis impediram que a nuvem de amônia atingisse as casas próximas.	??
1969	Indiana EUA	Trem com vagões de amônia descarrilou, sem rompimento destes.	0/0
1969	Iowa EUA	Vagão com 125 m ³ de amônia anidra explodiu dois dias após Ter sofrido danos em descarrilamento, tendo sido examinado e tido como seguro por peritos.	0/0
1969	Texas EUA	Gás de amônia anidra vazou de cinco vagões tombados. 200 pessoas foram removidas.	0/0
1969	Texas EUA	Caminhão carregando amônia anidra bateu em um prédio, forçando a evacuação dos moradores.	0/0
1970	W. Virginia EUA	Vazamento de gases de amônia de um caminhão-tanque.	0/9
1970	Iowa EUA	Danos maciços em incidente em uma planta de processamento de amônia	0/7
1970	Nebraska EUA	Liberação de 145 t de amônia de um tanque de estocagem.	0/?
1971	Missouri EUA	Explosão de vagão descarrilado contendo amônia líquida. Evacuação de residências.	0/0
1971	Londres Inglaterra	Explosão em pátio resfriado. Cilindros de amônia explodiram durante incêndio.	0/11
1971	Arkansas EUA	Vazamento de 570 t de amônia. Peixes e seres vivos mortos. 10.000 acres de floresta danificados.	0/?
1972	N. Carolina EUA	Formação de mistura explosiva pela concentração de amônia em ácido nítrico. Ignição explosiva pela reação com catalisador.	0/0
1973	Potchef- stroom África do Sul	Ruptura de extremidade de tanque de estocagem de amônia com liberação de 38 t, devido à fragilização pela falha no alívio de tensões no tanque após reparo.	18/65
1973	Kansas City EUA	Liberação de 210 t de amônia.	0/0
1974	Nebraska EUA	Super-enchimento de tanque levou amônia para compressores. Abertura de válvula de alívio seguida de explosão por ignição pelo aquecedor de água a gás. Danos estruturais maciços.	??
1974	Arklow Irlanda	Ruptura de tanque pressurizado a 30,4 bar. Pequenos danos ao resto da planta.	??
1975	Busan	Explosão de tanque de grandes dimensões de amônia gasosa em fábrica de peixe.	5/85
1976	Zuid- Limburg Holanda	Pequena explosão e incêndio na unidade de amônia de uma instalação. Ferimentos leves ao pessoal.	0/20
1976	Texas EUA	Ruptura e explosão do tanque de uma carreta, após sua colisão com uma coluna de sustentação de elevador. Danos maciços com a evacuação de edifícios próximos.	6/178

Tabela 5.5 Continuação

DATA	LOCAL	RESUMO DO ACIDENTE	MORTOS/ FERIDOS
1976	Cartagena Colômbia	Explosão em fábrica de fertilizantes produzindo fertilizantes de amônia anidra. A nuvem de gases de amônia espalhou-se bastante, alcançando a cidade vizinha.	30/22
1976	Illinois EUA	Descarrilamento e perfuração de um vagão com 78 t de amônia anidra. Evacuação de, no mínimo, 700 pessoas.	0/7
1977	Landskrona Suécia	Explosão de mangueira de um navio para um tanque em terra com formação de uma grande nuvem de gases de amônia.	2/2

O GLP, Gás Liquefeito de Petróleo, é uma mistura composta basicamente de propano e butano, razão pela qual buscou-se eventos acidentais com esses três nomes. Pela Tabela 5.6 pode-se observar que os acidentes com GLP, propano e butano envolveram o maior número de vítimas quando comparados aos demais acidentes ocorridos com as outras substâncias .

Estes acidentes atingiram, na maioria das vezes um raio de destruição significativo, acarretando prejuízos elevados e exigindo a evacuação de muitas pessoas. Grande parte dos vazamentos foram seguidos de explosões e incêndios, que duraram até o consumo total do combustível.

A razão para o grande número de acidentes com GLP reside no fato de que seu limite inferior de inflamabilidade é baixo, da ordem de 2,1%. Além disso o GLP é mais pesado que o ar, na ocorrência de vazamentos, a dispersão para o ambiente ocorre ao nível do solo, onde há maior número de fontes de ignição.

Tabela 5.6 ACIDENTES OCORRIDOS COM GLP, PROPANO E BUTANO

DATA	LOCAL	RESUMO DO ACIDENTE	MORTOS/ FERIDOS
1943	Califórnia EUA	Vazamento de butano seguida de explosão	5/?
1951	Illinois EUA	Vazamento de butano, porém, sem ignição.	0/?
1951	New Jersey EUA	Vazamento, incêndio e explosão de propano de uma tubulação rompida em áreas de estocagem. 70 tanques foram danificados ou destruídos.	0/11
1952	Newark EUA	Explosão não confinada de nuvem de propano.	?/?
1954	Oregon EUA	Vazamento de GLP de uma válvula de um caminhão-tanque.	?/?
1955	Califórnia EUA	Vazamento e explosão de butano no processamento de gasolina	?/?
1957	Quebec Canadá	Vazamento e explosão de esfera de estocagem de butano.	1/?
1958	Oklahoma EUA	Explosão de propano em uma refinaria	0/1

Tabela 5.6 Continuação

DATA	LOCAL	RESUMO DO ACIDENTE	MORTOS/ FERIDOS
1958	Michigan EUA	Ruptura de tanque de estocagem de butano, seguida da explosão de gases.	1/?
1959	Geórgia EUA	Incêndio e explosão de GLP.	23/?
1962	New York EUA	Vazamento e explosão de tanque de GLP.	10/17
1965	Louisiana EUA	Vazamento de propano no processamento de etileno.	0/12
1966	Feyzin França	Vazamento de propano de uma válvula que o operador não conseguiu fechar, seguido da explosão da esfera e de outras próximas.	21/52
1967	Argentina	Incêndio de propano com destruição de 400 casas.	0/100
1968	Alaska EUA	Explosão de GLP.	?/2
1969	Repesa Espanha	Vazamento e incêndio de GLP com duração de seis dias.	0/0
1970	Missouri EUA	Explosão de nuvem de propano equivalente a 45 t de TNT.	0/1
1970	Hull EUA	Incêndio de propano	2/?
1970	Surrey Inglaterra	Explosão de propano e butano com danos a propriedades residenciais.	?/?
1970	Illinois EUA	Descarrilamento de trem de carga com vazamento e explosão de vários vagões e destruição de parte da cidade	0/66
1972	Illinois EUA	Colisão e explosão de vagões de GLP.	0/230
1972	Rio de janeiro Brasil	Vazamento de GLP de uma válvula que o operador não conseguiu fechar, seguido da explosão da esfera.	38/75
1972	Montana EUA	Explosão de butano	1/1
1972	W. Virginia EUA	Incêndio de propano	21/20
1973	St. Amand França	Tombamento e ruptura de caminhão-tanque seguidos de explosão e incêndio de prédios vizinhos.	6/37
1973	New York EUA	Explosão de GLP.	40/?
1974	Flórida EUA	Explosão de propano.	0/0
1974	Mississippi EUA	Explosão de butano.	0/24
1975	Louisiana EUA	Vazamento de 270 t de propano, porém, sem explosão.	0/0
1977	Quatar	Explosão de GLP alcançando um grande raio, com danos a vilas distantes e até fechamento de um aeroporto.	7/muitos
1977	Cassino Itália	Explosão de propano e butano.	1/9
1977	Jacksonville EUA	Incidente com GLP com a evacuação de 2.000 pessoas.	?/?

A Tabela 5.7 apresenta os eventos com hidrogênio encontrados nas referências. Podendo-se observar que são poucos os acidentes. Alguns ocorreram devido a presença conjunta de hidrocarbonetos. A razão para que o número de acidentes envolvendo explosões e incêndios com Hidrogênio em áreas não confinadas seja pequeno, reside no fato de que o seu limite inferior de inflamabilidade é da ordem de 4,1 %. Sendo o hidrogênio um gás mais leve que o ar, uma vez ocorrido o vazamento ele sofre uma rápida expansão e se dispersa no ambiente externo, não atingindo este limite.

Tabela 5.7 ACIDENTES OCORRIDOS COM HIDROGÊNIO

DATA	LOCAL	RESUMO DO ACIDENTE	MORTOS/ FERIDOS
1921	Inglaterra	Ruptura de dirigível com liberação de H ₂ que explodiu quase imediatamente. Foram quebradas janelas num raio de 2 milhas, mesmo com o balão a 760 m de altura.	1/?
1937	EUA	Ruptura de dirigível com liberação de H ₂ seguida de explosão.	36/?
1964	Nevada EUA	Explosão de 71 kg de H ₂ equivalente a 27 kg de TNT, liberados durante a realização de um experimento.	0/0
1970	New Jersey EUA	Explosão de nuvem de H ₂ e hidrocarboneto exaurida de um reator.	0/40
1972	Holanda	Explosão de H ₂ .	4/4
1975	Califórnia EUA	Explosão de H ₂ .	0/2
1975	Alemanha	Explosão de H ₂ e nafta.	0/4
1977	Índia	Explosão de H ₂ .	0/20

A Tabela 5.8 apresenta os eventos acidentais envolvendo metanol, disponíveis na literatura. Não se encontrou registro de eventos envolvendo apenas Metanol e que tenham levado a consequências sérias. A maioria dos eventos não apresentou gravidade e envolveu reações de outros produtos químicos com o metanol. Esses eventos atingiram geralmente o operador em contato direto com a substância. O número total de vítima é muito reduzido quando comparado a acidentes com GLP ou amônia, provavelmente por ser menos volátil, com a temperatura de ebulição em torno de 65 °C, enquanto que o da amônia é de -33 °C e o do propano - 44 °C .

Tabela 5.8 ACIDENTES OCORRIDOS COM METANOL

DATA	LOCAL	RESUMO DO ACIDENTE	MORTOS/ FERIDOS
1973	New Jersey	Ignição de vapores de metanol na exaustão de um reator.	??/?
-	-	Explosão de um tambor contendo metanol e clorofórmio que havia sido carregado anteriormente com tetrahidrofurano e hidróxido de sódio.	0/0
-	-	Incêndio em um centrifugador de separação de sal de Nylon do metanol, por obstrução na passagem do gás inerte.	0/0
-	-	Incêndio durante o corte com maçarico de linha de metanol por falta de limpeza na mesma.	0/0
-	-	Ignição de mistura de metanol/água em retirada de amostra por eletricidade estática.	0/0
-	-	Ignição de mistura de metanol/água em um tanque por centelhamento estático na parede revestida de material sintético.	0/1

5.3.2 Relatório de Análise de Segurança – RAS / Análise de Acidentes

A seguir são apresentados os eventos acidentais descritos no Relatório de Análise de Segurança e que posteriormente servirão de base para a APP.

5.3.2.1 Eventos Causados por Operações Anormais

Os acidentes e conseqüências descritos a seguir, ocasionados por mal funcionamento de sistemas de controle ou erro operacional, foram separados e identificados segundo as Unidades de Produção de Pó e Pastilhas de UO₂ e seus sistemas de processamento, assim como as Unidades Auxiliares de Utilidades e de Estocagem

UNIDADE DE PRODUÇÃO DE PÓ DE UO₂

a. Sistema de Evaporação

a.1. Penetração de Umidade no Cilindro de UF₆

Durante a abertura da válvula do cilindro de UF₆, pode haver penetração de umidade, presente no ar ambiente, no seu interior, caso a pressão interna seja menor que a externa (esta condição de vácuo é gerada pela retirada de amostras de UF₆), provocando aumento do grau de moderação. Para evitar tal situação, o vácuo no interior do cilindro é quebrado com a introdução de CO₂ seco.

a.2. Vazamento de UF₆ no Interior do Vaso de Pressão (Autoclave)

Durante o aquecimento, pode haver vazamento de UF₆ no interior do vaso de pressão (autoclave), e a conseqüente reação deste com o vapor d'água existente no espaço entre o cilindro e o vaso de pressão (autoclave), podendo ser excedido o grau de moderação. A reação se processa da seguinte forma: $UF_6 + 2 H_2O \rightarrow 4 HF + UO_2F_2$

Para evitar um acidente de maiores proporções, o pH do condensado, que deixa o vaso de pressão (autoclave), é monitorado constantemente. Caso seja detectado valor de pH < 5, as válvulas de alimentação de vapor e de saída do condensado fecham automaticamente.

Apesar da atuação de bloqueio da saída do condensado ser instantânea, pode ocorrer contaminação do condensador de vapor por urânio, por este motivo ele é projetado em geometria segura para moderação de $UO_2F_2 + H_2O$ e $UF_6 + H_2O$, com taxa de enriquecimento máximo de 5,0%.

a.3. Pressão Excessiva no Vaso de Pressão (Autoclave)

Durante o aquecimento, pode haver elevação da pressão no interior da autoclave. Para evitar tal situação, este equipamento é guarnecido por válvulas de segurança, calibradas para atuação (abertura), quando a pressão alcançar 4 bar, sendo os gases de escape conduzidos para o lavador-aspersor para absorção.

Para maior segurança, a etapa de aquecimento do cilindro de UF_6 só tem início depois de assegurado o funcionamento do citado lavador.

a.4. Rompimento da Tubulação de UF_6

Durante o aquecimento, pode ocorrer falha no suprimento de vapor para o vaso de pressão (autoclave), com a conseqüente solidificação do UF_6 que estiver sendo retirado, devido à redução de temperatura, e o rompimento da tubulação que o contenha.

Para evitar tal situação, existe instalado na linha de alimentação de vapor, dispositivo pressostático que bloqueia a saída de UF_6 , tão logo a pressão do vapor venha a cair ($p \leq 1,3$ bar abs.). Além deste cuidado, para manter livre a tubulação de UF_6 , esta é lavada constantemente com CO_2 .

a.5. Penetração de UF_6 na Tubulação de CO_2

Durante a alimentação do precipitador, pode ocorrer falha no suprimento de CO_2 , que nesta fase funciona como gás de arraste do UF_6 - CO_2 e UF_6 são introduzidos no precipitador de forma conjunta através do mesmo injetor - com conseqüente penetração de UF_6 na tubulação de CO_2 .

Para evitar tal situação, existe instalado na linha de alimentação de CO_2 dispositivo pressostático que bloqueia a saída de UF_6 tão logo a pressão CO_2 venha a cair ($p \leq 4,5$ bar abs.). Como conseqüência, apenas a tubulação de CO_2 é contaminada.

b. Sistema de Abastecimento de Solução de Nitrato de Uranila (UN)

b.1. Concentração de Urânio Elevada

Poderá ocorrer abastecimento de uma solução de UN - utilizada para alimentação do precipitador quando houver reaproveitamento de rejeitos de pastilhas de UO_2 - com uma concentração em urânio superior à normal (faixa entre 250 a 500g U/l). Antes da alimentação de UN no precipitador, é efetuada análise da concentração de urânio no vaso dosador de UN. Além disso, o precipitador é geometricamente seguro para uma concentração máxima de urânio (1.260 g U/l). Portanto, não há, em princípio, perigo de Criticalidade.

b.2. Excesso de Enchimento do Vaso Dosador de Solução de UN

O vaso dosador de UN é provido de um indicador de nível e uma proteção contra excesso de enchimento, não havendo perigo de criticalidade.

c. Precipitação

c.1. Corrosão nas Paredes do Precipitador

Um processo de corrosão na parede do precipitador / manta de refrigeração, poderia evoluir para o rompimento da mesma. Como a pressão do precipitador é inferior à pressão da manta de refrigeração, não haveria fluxo da suspensão contendo urânio para a manta de refrigeração e muito menos para a torre de refrigeração. Além disso, o conjunto precipitador / manta de refrigeração é geometricamente seguro, numa moderação ótima e reflexão total de H₂O, para o TCAU e UN, e para o UO₂F₂ com moderação ótima e reflexão nominal. Portanto, para casos de corrosão, não ocorreria perigo de Criticalidade, em virtude das características do projeto do precipitador.

c.2. Deformação do Precipitador ou da Manta de Refrigeração

O precipitador é geometricamente seguro para a espessura de 200 mm, que constitui o precipitador propriamente dito, mais a manta de refrigeração. Caso ocorra uma deformação deste conjunto com a ultrapassagem do diâmetro seguro, o sistema ficará crítico.

Para evitar tal situação, o precipitador tem vários pinos de tração, dispostos internamente, para que seja assegurada a manutenção das suas dimensões. A manta de refrigeração, sem pino de tração, possui, entretanto, um vertedouro de água, de modo a evitar uma pressão alta na mesma, que causaria deformação.

c.3. Falha na Alimentação de CO₂

Este acidente já foi descrito no sistema de evaporação. Existe na tubulação de CO₂ uma válvula pressostática, a qual, na queda de pressão de CO₂ ($p \leq 4,5$ bar abs), aciona o fechamento da válvula de alimentação de UF₆. A quantidade de UF₆ remanescente na tubulação é insignificante.

c.4. Falha na Alimentação de NH₃

A válvula de alimentação de UF₆ não se abre enquanto a pressão de NH₃ estiver baixa ($p \leq 1,0$ bar abs). Isto acarretaria uma modificação do pH. A sonda medidora de pH acusa esta mudança, fechando automaticamente a válvula de alimentação de UF₆.

c.5. Pressão Excessiva no Precipitador

Durante a alimentação de NH₃, CO₂ ou ar, pode ocorrer ebulição intensa, (**aumentando a pressão**) e com eventual vazamento de UF₆, NH₃ ou CO₂. Nestes casos, pode-se desligar imediatamente toda a instalação de precipitação, mesmo à distância, através de um interruptor.

c.6. Queda do Ar de Insuflação

No fundo do precipitador é insuflado ar, através de um tubo provido de aberturas. No caso de falhar a alimentação de ar, a suspensão de TCAU poderia penetrar, através destas aberturas, na

tubulação de ar. Para evitar isto, as aberturas de insuflação são providas de válvulas de bico.

c.7. Enchimento do Precipitador

Em operação normal existem grandes volumes livres no precipitador, sendo, portanto, bastante improvável um excesso de enchimento. Mesmo assim, o precipitador é provido de proteção contra enchimento excessivo.

c.8. Parada da Bomba de Circulação

A suspensão é constantemente circulada no precipitador, por meio de uma bomba, para evitar a formação indesejada de grumos. No caso da parada da bomba, a alimentação de UF_6 é automaticamente fechada, paralisando o processo.

d. Sistema de Lavadores-Absorvedores da Precipitação

d.1. Penetração da Suspensão

No caso de penetração de suspensão de TCAU, UO_2 ou solução de UN nos lavadores-absorvedores, estes permanecem criticamente seguros, bem como o lavador-aspersor, em função dos diâmetros anti-críticos respectivos de 219, 508, 601 e 219 mm. O conteúdo destes lavadores é reutilizado como pré-carga da próxima precipitação.

d.2. Corrosão nos Lavadores

Uma corrosão na parede lavador-manta de refrigeração pode causar penetração de solução contendo urânio na água de refrigeração. Entretanto, a água de refrigeração possui uma pressão maior do que a pressão do lavador, sendo impossível a fuga da solução para a manta de refrigeração.

O lavador é geometricamente seguro, incluindo a manta de refrigeração, no caso de penetração de suspensão de TCAU ou solução de UN, para uma reatividade máxima.

d.3. Paralisação da Bomba de Circulação

Caso a bomba de circulação pare de funcionar, os gases não serão absorvidos na câmara de injeção, permanecendo no espaço livre do lavador. Para evitar esta perturbação, a precipitação só se realiza quando funcionarem a bomba de circulação e o lavador-aspersor, que aspira os gases livres do lavador-absorvedor.

d.4. Enchimento dos Lavadores-Absorvedores

É impossível um enchimento excessivo dos lavadores, visto que os mesmos são dotados de sondas de nível. Atingindo o nível, é feito o bloqueio da alimentação de água desmineralizada via válvulas existentes nestas linhas.

d.5. Entrada de UF_6 no Lavador-Aspersor

O lavador-aspersor recebe os gases de topo dos lavadores-absorvedores e os gases provenientes da autoclave. Durante o acoplamento e desacoplamento do cilindro de UF_6 na autoclave, uma pequena quantidade de UF_6 pode escapar para o lavador-aspersor.

Entretanto, mesmo para quantidades maiores de UF_6 , este lavador é geometricamente seguro, para uma moderação ótima e uma reflexão nominal.

e. Filtração

e.1. Dupla Alimentação em Filtro

Não há risco de Criticalidade devido às características de projeto do filtro (camada segura). Em caso de excesso de alimentação, a suspensão transbordaria sobre os rebordos laterais que limitam a altura de enchimento do filtro, espalhando-se sobre o piso do galpão em camadas finas, sem risco de criticalidade. A retirada da suspensão derramada se processa, com segurança quanto à criticalidade, por aspiração.

e.2. Ultrapassagem da Altura de Camada Segura

A alimentação da suspensão sobre o filtro só é possível quando o mesmo estiver girando. A alimentação é feita através de um tubo perfurado, assegurando assim um carregamento uniforme sobre o filtro. Além disso, um raspador, fixado em uma altura segura, garante que a espessura da torta não ultrapassará este limite. Caso falhem todas essas medidas, a suspensão transborda, derramando-se sobre o piso.

e.3. Paralisação da bomba de Sucção dos Filtrados

Essa bomba transporta os filtrados para os respectivos recipientes. No caso da bomba não funcionar, ocorrerá um enchimento da câmara de vácuo. Esta câmara é geometricamente segura, não apresentando, portanto, perigo de criticalidade.

e.4. Transbordamento da Câmara de Vácuo

A câmara de vácuo situa-se dentro de um fosso. No caso de seu superenchimento, o filtrado transborda, caindo no fosso. Não há perigo de criticalidade, em virtude do baixo teor de urânio no filtrado. Mesmo no caso de rompimento do filtro, deixando passar suspensão de TCAU ou solução de UN com concentração de 400 g U/l, não há perigo de criticalidade, já que a lâmina de líquido formada é inferior a 30 cm.

O transbordamento do filtrado para o fosso é imediatamente acusado por um dispositivo instalado no fosso, através de alarme específico.

e.5. Precipitação e Sedimentação de Cristais de TCAU no Tanque de Repouso, de Água Carbonatada e de Metanol.

Estes recipientes são geometricamente seguros contra a criticalidade, para uma concentração máxima de TCAU.

f. Redução

f.1. Perturbações no Forno de Leito Fluidizado

A queda do aquecimento ou uma rápida alimentação de TCAU, provocando queda da temperatura, causam aumento do grau de moderação. O forno é provido de termostatos, que acionam o bloqueio da alimentação de TCAU quando a temperatura cai para $520^{\circ}C$. Caso a temperatura continue a cair, ao atingir $320^{\circ}C$, a entrada de vapor é fechada.

Entretanto, mesmo para uma moderação ótima, o forno é criticamente seguro tanto pela sua geometria, quanto pela existência da vareta moderadora de B_4C - carbetto de boro.

f.2. Pressão Elevada

Alta pressão na alimentação de N_2 , vapor, H_2 , ar ou excesso de alimentação de H_2 . Nestes casos a instalação é desligada automaticamente. Uma válvula de segurança impede que se forme uma pressão superior a 3 bar, na câmara de reação. Esta válvula é disposta de tal modo que, no caso de pressão elevada, a alimentação é bloqueada.

f.3. Furo ou Fenda nas Válvulas do Sistema de Alimentação de TCAU

Havendo uma fenda na válvula inferior, fecha-se automaticamente a válvula esférica acoplada, isolando-se a câmara de alimentação do forno. No caso de ruptura da válvula superior, o pó de TCAU passa, da câmara de alimentação, para os ciclones e filtros, através da tubulação do ar de transporte.

Parte do TCAU retido nos filtros pode ser retornado, por contra-sopro, aos filtros rotativos. Não há perigo de criticalidade.

f.4. Queda da Vareta de B_4C

Golpes de pressão podem causar o rompimento do suporte da vareta, ocasionando a queda da mesma. Neste caso, a vareta cairá sobre o funil de descarga. Uma queda lateral da vareta é impedida pelas guias de suporte, soldadas lateralmente. Não há risco de criticalidade.

f.5. Corrosão da Manta de Refrigeração do Recipiente de Descarga

Corrosão na parede do recipiente de descarga-manta de refrigeração ocasiona moderação do pó de UO_2 . Não há perigo de criticalidade, pois o recipiente de descarga é criticamente seguro para uma moderação ótima e reflexão total.

f.6. Ruptura do Filtro de Vela do Recipiente de Descarga

No caso de ruptura desta vela, o pó de UO₂ irá, juntamente com os gases de vazamento, para o lavador-aspersor. Não há perigo de criticalidade, pois este lavador é geometricamente seguro.

f.7. Condução de Pó de UO₂ para o Lavador-Absorvedor da Redução

O ar de oxidação e os gases de topo do forno são conduzidos, depois de passar por filtros, para o lavador-absorvedor. Do mesmo modo, os gases do recipiente de descarga são conduzidos para o lavador-absorvedor. Caso haja rompimento do filtro ou abertura das válvulas de segurança, haverá condução de pó de UO₂ para os lavadores. No entanto, este lavador é geometricamente seguro para uma moderação ótima e reflexão total.

f.8. Paralisação das Bombas de Circulação

No caso de paralisação das bombas de circulação ou falha no abastecimento de água para lavadores, o pó de UO₂ não será absorvido. Para evitar esta falha, o forno só pode operar quando o lavador e a bomba estão funcionando em perfeitas condições.

f.9. Corrosão no Tubo de Refrigeração do Lavador-Absorvedor

Como a água de refrigeração está a uma pressão superior à da água do lavador ($p \cong 4,5$ bar abs.), não há perigo de contaminação do circuito de refrigeração.

UNIDADE DE PASTILHAS DE UO₂

a. Homogeneização

a.1. Alimentação com Pó de UO₂ com alto teor de umidade

Pó de UO₂ com maior umidade residual aumenta o grau de moderação nos homogeneizadores. Os homogeneizadores, revestidos com cádmio, são seguros contra a criticalidade, para uma moderação ótima.

a.2. Falha no Mecanismo de Descarga do Pó de UO₂

Uma falha na descarga pode causar transbordamento dos homogeneizadores. No entanto, o pó seco com UO₂ com um enriquecimento de 3,5% é permanentemente subcrítico ($K_{\infty} < 1$). Somente uma adição de água pode trazer perigo de criticalidade.

b. Prensagem

b.1. Obstrução da Peneira

No caso de obstrução da peneira situada acima da prensa, ocorrerá um enchimento da peneira.

O volume da peneira é de 66 litros. Admitindo-se um peso específico de UO₂ de 4 g/cm², resultaria uma quantidade de 264 kg UO₂. Esta quantidade é subcrítica, para uma relação de moderação inferior a 10.

b.2. Ultrapassagem das Quantidades

Um erro no processamento poderá prover recipientes e equipamentos com quantidades superiores às normais. Para prevenir acidentes de criticalidade, tais unidades são projetadas de modo a permanecerem subcríticas, mesmo para uma duplicação das quantidades prescritas.

b.3. Ultrapassagem do Grau de Moderação

O aumento do grau de moderação não conduz a um acidente crítico na área de peletização, por ser esta criticamente segura para uma moderação ótima. A parte inferior do grande depósito da prensa representa aqui uma exceção, visto que não é geometricamente segura. O aumento do grau de moderação poderá levar a um acidente de criticalidade. O aumento no grau de moderação neste depósito é evitado por medidas de segurança e por características especiais de projeto.

UNIDADE E SISTEMAS AUXILIARES

a) Estocagem e Manuseio de Gases Inflamáveis - H₂ e GLP

Um vazamento de H₂ e/ou de GLP pode ocorrer devido à manipulação inadequada nas respectivas instalações ou em avarias em tubulações e válvulas. Poderão ocorrer vazamentos quando nas eventuais trocas das “carretas” e cilindros, respectivamente.

Apesar das estações de gases estarem fora da área de produção, acidentes com incêndio/explosão podem ocorrer com danos potenciais ao homem e ao meio ambiente.

Dentro da FEC-II, por motivo de segurança, as partes mais altas do local de instalação conterão sistema de exaustão, a fim de evitar o acúmulo de gases e conseqüentemente formação de mistura explosiva. Será também instalado um detetor de gases o qual anunciará o aumento de concentração de hidrogênio no ar ambiente. Todo o sistema de ventilação será acionado em caráter emergencial, impedindo assim tanto danos pessoais, quanto materiais.

b) Circuito de Vapor

Será utilizado como gerador de vapor do circuito, uma caldeira flamo-tubular aquecida a óleo BPF, produzindo vapor saturado de 11,0 bar absoluto. A casa de caldeiras será construída, separada dos demais Prédios de Produção, obedecendo às prescrições da NR 13 (itens 13.1.9, 13.2.4, 13.3, 13.4, 13.6 e 13.7).

O máximo acidente postulado para este circuito é a explosão da caldeira devido a falha catastrófica do vaso, com a formação e propagação de ondas de choques (embora o equipamento a ser utilizado opere fora da faixa de alta energia, ou seja, pressão acima de 20,0 bar abs. e temperatura acima de 100°C). São então admitidos danos na casa das caldeiras e

danos mínimos em equipamentos nas circunvizinhanças, não sendo esperados danos nas paredes do prédio de produção; em função dos afastamentos prescritos na norma NR 13 e através do reforço da parede norte do Prédio de Produção (UFD 01) entre os eixos 10 e 13.

Como medidas mitigadoras deste potencial de risco, tanto o equipamento quanto as linhas de suprimento serão dotados de acessórios e instrumentação de ação automática e com monitoração remota, em nível adequado de redundâncias.

c) Circuito de óleo combustível BPF

Este circuito, composto basicamente de tanque de armazenamento, bacia de contenção e bombas de alimentação, destina-se ao suprimento de combustível para a caldeira. Possuindo o óleo BPF alto ponto de fulgor e baixa pressão de vapor, torna-se um produto de manuseio seguro, embora seja considerado como líquido inflamável.

É prevista a existência de rede de hidrantes e sistema automático de injeção de espuma nos tanques de armazenagem, para combate à incêndio. A seleção do local para a instalação foi baseada na norma NFPA 50-A, itens 1, 2, 3, 4 e 5, para a distância acima do maior valor especificado na norma (Tabela 2 - item 3), em relação ao circuito de maior potencial de risco (hidrogênio), NFPA 30 Capítulos 1, 2 (Tabelas 2.1 a 2.7), 3, 4 e 5 e NFPA 31, Capítulo 2, Tabelas 2.1 e 2.4.

Os acidentes considerados para este circuito são incêndio e grandes vazamentos. Entretanto, mesmo na sua ocorrência, estes ficariam restritos aos limites do dique de contenção, e acarretaria apenas a parada geral das Unidades, acompanhada ou não de abandono das áreas adjacentes ao evento, como previsto para situações de emergência.

d) Circuito de CO₂

Este circuito, composto basicamente de tanques de armazenamento, dispositivos de regulação de pressão e vaso de alimentação da rede de combate à incêndio, destina-se ao suprimento de CO₂ gás para a Unidade de Produção de Pó e para a rede interna de inertização e combate à incêndio. Este circuito está também situado abaixo da faixa de alta energia, pressão acima de 20,0 bar abs. e temperatura acima de 100°C.

O máximo acidente postulado é a falha catastrófica dos vasos de armazenagem, ocasionando a formação de ondas de choque com a expansão súbita do CO₂ liquefeito, armazenado a pressão de 20,0 bar abs. e temperatura de - 20,0 °C. Como o projeto atende às prescrições das normas NFPA 50-A, itens 1, 2, 3, 4 e 5, para a distância acima do maior valor especificado na norma (Tabela 2 - item 3), em relação ao circuito de maior potencial de risco (hidrogênio), NFPA 30 Capítulos 1, 2 (Tabelas 2.1 a 2.7), 3, 4 e 5 e NFPA 31, Capítulo 2, Tabelas 2.1 e 2.4 e NR13 (itens 13.1.9, 13.2.4, 13.3, 13.4, 13.6 e 13.7), são admitidos danos mínimos em equipamentos nas circunvizinhanças e não são esperados danos nas paredes do Prédio de Produção.

Estudos adicionais a respeito estão sendo realizados, e caso indiquem risco de maior monta, acarretarão alterações de projeto, prevendo reforços estruturais ou a relocação completa dos equipamentos.

e) Nitrogênio Líquido (LN₂) e Gasoso (GN₂), Água de Resfriamento, Água Desmineralizada e Ar Comprimido

Os equipamentos utilizados nestes circuitos operam fora da faixa de alta energia - pressão acima de 20,0 bar abs. e temperatura acima de 100°C. Em decorrência desse fato, os possíveis acidentes com estes circuitos, basicamente o rompimento de vasos ou tubulações, não acarretarão impacto algum nos circuitos circunvizinhos.

Sua ocorrência acarretaria apenas a parada geral das Unidades, acompanhada ou não de abandono das áreas adjacentes ao evento, como previsto para situações de emergência.

f) Circuito de Metanol

Este circuito, composto de tanque de armazenamento de teto fixo para metanol bruto, tanque de alimentação da destilação, bombas de alimentação e circulação, bacias de contenção e torre de destilação de metanol, tem como utilização principal a alimentação e a recuperação de metanol, que é utilizado no processo de secagem da torta de TCAU produzida na Fábrica de Pó.

A utilização do metanol nesta Unidade acarretou a inclusão de precauções adicionais de segurança no projeto, com relação à toxidez, armazenamento, isolamento de operações, ventilação e eliminação de fontes de ignição, fogo e explosão.

Por esta razão, a maioria dos equipamentos, vasos de processo e tanques serão situados ao ar livre, com exceção de vasos de pequeno volume (cerca de 250l) para recebimento de metanol puro a ser utilizado nos filtros rotativos de TCAU.

As distâncias mínimas especificadas pela NFPA 50-A, itens 1, 2, 3, 4 e 5, para a distância acima do maior valor especificado na norma (Tabela 2 - item 3), em relação ao circuito de maior potencial de risco (hidrogênio), NFPA 30 Capítulos 1, 2 (Tabelas 2.1 a 2.7), 3, 4 e 5 e NFPA 31, Capítulo 2, Tabelas 2.1 e 2.4, foram adotadas para todos os componentes do circuito.

Os acidentes postulados para o circuito na área externa ao Prédio de Produção são respectivamente incêndio, explosão ou vazamento e não deverão atingir circuitos ou prédios vizinhos em razão das distâncias existentes e dos dispositivos de combate a incêndio e de confinamento de vazamentos adotados. Sua ocorrência acarretaria a parada geral das Unidades, acompanhado ou não de abandono das áreas adjacentes ao evento, como previsto para situações de emergência.

g) Circuito de GLP

Este circuito, composto basicamente de 08 cilindros de GLP, com capacidade de 45 kg cada, estágio de redução de pressão e indicação de pressão / pressostato, destina-se à queima de H₂ quando da abertura de portas dos fornos de sinterização (alimentação da chama piloto e formação de cortina de chama).

No projeto da instalação foram consideradas as prescrições das normas NFPA 50-A, itens 1, 2, 3, 4 e 5, para a distância acima do maior valor especificado na norma (Tabela 2 - item 3), em relação ao circuito de maior potencial de risco (hidrogênio), NFPA 30 Capítulos 1, 2 (Tabelas 2.1 a 2.7), 3, 4 e 5 e NFPA 31, Capítulo 2, Tabelas 2.1 e 2.4, e ABNT P-NB-107 (na totalidade).

É prevista a existência de rede de hidrantes para combate a incêndio no lado externo do sistema, e no interior do Prédio de Produção, conjunto de extintores locais de CO₂ e uma rede de dutos de exaustão/insuflamento que assegurará a remoção de possíveis gases ainda existentes no ambiente, não permitindo a formação de mistura explosiva.

Os acidentes postulados para instalação: incêndio, explosão ou vazamentos, não acarretarão impactos nos demais sistemas/Unidades, permanecendo restritos ao seu local de armazenagem.

h) Circuito de Amônia

Este circuito, composto basicamente de tanque de armazenagem e vaso evaporador para transferência de amônia líquida, destina-se ao suprimento de amônia gás para a Unidade de Produção de Pó.

O máximo acidente postulado é a falha catastrófica do vaso de armazenagem, ocasionando a formação de onda de choque com a expansão súbita da amônia líquida, armazenada a pressão de 12,5 bar abs. e temperatura de 29,5 °C, com formação de nuvem gasosa. Estando o circuito fora da faixa de alta energia e tendo sido atendidas as prescrições das normas NFPA 50-A, itens 1, 2, 3, 4 e 5, para a distância acima do maior valor especificado na norma (Tabela 2 - item 3), em relação ao circuito de maior potencial de risco (hidrogênio), NFPA 30 Capítulos 1, 2 (Tabelas 2.1 a 2.7), 3, 4 e 5 e NFPA 31, Capítulo 2, Tabelas 2.1 e 2.4, e NR13, (itens 13.1.9, 13.2.4, 13.3, 13.4, 13.6 e 13.7), são então admitidos danos mínimos em equipamentos nas circunvizinhanças, sendo improvável a ocorrência de danos nas paredes do Prédio de Produção.

i) Circuito de Hidrogênio

Este circuito, composto basicamente de baias para o estacionamento de “carretas” e armazenagem de hidrogênio gás, estágio de redução de pressão e container *buffer* para revezamento de “carretas”, destina-se ao suprimento de hidrogênio gás para as Unidades de Produção de Pó e de Pastilhas.

Este circuito está situado na faixa de alta energia (pressão acima de 20,0 bar abs. e temperatura acima de 100°C), apresentando pressão de armazenagem de 200,0 bar abs. O máximo acidente postulado para este circuito é a explosão dos cilindros de armazenagem de uma “carreta”, seguida ou não de incêndio, ocasionando a formação de ondas de choque. Em atendimento às prescrições das normas NFPA 50-A, itens 1, 2, 3, 4 e 5, para a distância acima do maior valor especificado na norma (Tabela 2 - item 3), em relação ao circuito de maior potencial de risco (hidrogênio), NFPA 30 Capítulos 1, 2 (Tabelas 2.1 a 2.7), 3, 4 e 5 e NFPA

31, Capítulo 2, Tabelas 2.1 e 2.4, e NR13, (itens 13.1.9, 13.2.4, 13.3, 13.4, 13.6 e 13.7), são então admitidos danos mínimos em equipamentos nas circunvizinhanças, não sendo esperados danos nas paredes do Prédio de Produção.

j) Subestação 138 kV

O acidente máximo postulado neste sistema estaria restrito à queda da Subestação, por razões técnicas ou mesmo provenientes de forças da natureza, acarretando parada de produção.

As Unidades Fabris estão interligadas com o gerador de emergência, minimizando o tempo de parada. Este período de parada está condicionado à extensão da avaria.

A Subestação está protegida por gaiola de Faraday, e todos os sistemas e tubulações de insumos e utilidades já existentes, assim como todos aqueles que dependem do fornecimento de energia estão devidamente aterrados. Uma extensão desta malha de aterramento para atendimento dos novos Pátios será contemplada no projeto detalhado.

Tendo sido atendidas as prescrições das normas NFPA 50-A, itens 1, 2, 3, 4 e 5, para a distância acima do maior valor especificado na norma (Tabela 2 - item 3), em relação ao circuito de maior potencial de risco (hidrogênio), NFPA 30 Capítulos 1, 2 (Tabelas 2.1 a 2.7), 3, 4 e 5 e NFPA 31, Capítulo 2, Tabelas 2.1 e 2.4, e NR13, (itens 13.1.9, 13.2.4, 13.3, 13.4, 13.6 e 13.7), em relação aos circuitos instalados nas vizinhanças da subestação 138 kV, não são esperados danos a esta, em decorrência de ondas de choque, no caso da ocorrência dos acidentes máximos postulados nos circuitos mais próximos.

5.3.2.2 Acidentes Postulados

Acidentes dos mais variados graus podem ocorrer nas Unidades de Fabricação de Elementos Combustíveis. Entretanto, as características de operação e os controles empregados tornam extremamente improvável um impacto externo significativo como será demonstrado adiante. Esta segurança é confirmada pelas experiências anteriores neste tipo de indústria. Com base no Relatório WASH 1284 da USAEC, os acidentes ali postulados, são:

- Ruptura do cilindro quente de UF_6 , com liberação de UF_6 e urânio solúvel;
- Explosão no forno, com liberação de urânio na forma insolúvel;
- Acidente de criticalidade, com criação de radiação direta de nêutrons e gama, e liberação de produtos de fissão.

Ruptura do Cilindro de UF_6

Um vazamento de UF_6 pode ocorrer devido à manipulação inadequada do cilindro de UF_6 aquecido ou avarias em tubulações e válvulas.

Supõe-se que um cilindro de 2,5 ton de UF_6 rompe-se e que nenhuma ação corretiva seja tomada de imediato. Aproximadamente 700 kg de UF_6 são liberados na sala de evaporação, em 35 minutos, após o que o restante do conteúdo do cilindro esfria e solidifica-se. O material liberado para a sala deverá ser conduzido, através do sistema de exaustão, e por uma filtragem

constituída de pré-filtro (tipo F3) e filtro absoluto (A3), para a chaminé, sendo então liberado para o ambiente. Durante a liberação, o UF_6 hidrolisa-se por contato com vapor d'água no ar e no sistema de exaustão formando UO_2F_2 e HF.

Assume-se que, posteriormente, os filtros fiquem bloqueados com UF_6 hidrolisado, causando perda de carga e permitindo que gases de UF_6 , HF e aerossóis de UO_2F_2 alcancem o exterior do Prédio de Produção. Admite-se que esta fuga represente 1% do urânio e 10% do HF que escapam do cilindro, e que a liberação seja ao nível do solo.

Explosão do Forno

As pastilhas de UO_2 são sinterizadas em fornos com atmosfera redutora de hidrogênio. A operação é cuidadosamente controlada de modo a prevenir o desenvolvimento de uma atmosfera explosiva. Admite-se que estes controles falhem ocasionando a explosão do forno. A força da explosão não deve ser suficiente para destruir o forno, mas o urânio pode ser expelido pelas extremidades.

Acidente de Criticalidade

Segundo o **WASH-1284**, a segurança de anti-criticalidade nuclear em plantas de fabricação de elementos combustíveis é baseada na política de dupla contingência. Isto é, o projeto do equipamento, os parâmetros dos sistemas e procedimentos operacionais, são tais que, dois erros independentes têm que ocorrer para que haja um acidente de criticalidade. Conservadorismo nas suposições das condições das operações manuais aumentam ainda a margem de segurança. Na prática quando se trabalha com soluções, os equipamentos são dimensionados com geometria anti-crítica ou possuem elementos absorvedores de neutrons.

As conseqüências de uma hipotética criticalidade nuclear são estudadas de acordo com metodologias consagradas, como as sugeridas pela USNRC e IAEA, que recomendam para uma análise conservadora, a adoção da hipótese básica de uma excursão de potência com intensidade de $1,0 E19$ fissões. Uma análise do projeto da planta mostra que é muito improvável, se não impossível, a ocorrência de qualquer acidente de criticalidade, uma vez que as características de projeto atendem ao princípio da dupla contingência em todos os equipamentos e áreas e, quando necessário, há controles administrativos para impedir a criticalidade nuclear.

Na Unidade de Produção de pó, os equipamentos ou áreas de trabalho que exigem análise de segurança quanto à criticalidade nuclear, são a autoclave, a área de limpeza de containeres, o precipitador, o dosador de nitrato de urânio, o lavador absorvedor do precipitador, o filtro, o forno de leito fluidizado, o vaso de passivação, os lavadores de gases do forno de leito fluidizado, os recipientes de pó com ciclone e o Sistema de Efluentes. Todos estes equipamentos e sistemas são seguros quanto à criticalidade nuclear, além de atenderem ao princípio da dupla contingência.

Na Unidade de Produção de Pastilhas, os equipamentos ou áreas de trabalho que exigem análise de segurança quanto à criticalidade são os depósito de tambores de pó de UO_2 , o homogeneizador, a prensa, o forno de sinterização, a retificadora, o forno de oxidação, o centrifugador e a estufa. Todos estes equipamentos e sistemas são também seguros quanto a criticalidade nuclear e atendem ao princípio da dupla contingência.

Embora improvável, postulou-se, (NUREG 3.34 da USNRC), que na fábrica de pó ocorreria um acidente de criticalidade nuclear na autoclave ou no precipitador e na fábrica de pastilhas ocorreria um acidente no homogeneizador ou na prensa. A magnitude do acidente, excursão com 1,0 E19 fissões, independentemente das características de projeto da instalação e da quantidade de material envolvida, fornece resultados superestimados de dose para trabalhadores e indivíduos do público.

As conseqüências do acidente postulado de criticalidade são de caráter radiológico, com a liberação de produtos radioativos para o meio ambiente. Os caminhos de exposição considerados, pelos quais uma pessoa pode receber doses de radiação devido à um acidente de criticalidade, são:

- Exposição direta à radiação direta instantânea que ocorre durante a excursão de potência;
- Exposição devido à imersão na pluma formada pelos radionuclídeos gerados pela excursão de potência, e que foram liberados para o meio ambiente; e
- Exposição interna devido inalação dos radionuclídeos contidos na pluma radioativa.

5.3.3 Análise Preliminar de Perigos

A metodologia de APP adotada no presente trabalho compreende a execução das seguintes etapas:

- Avaliação dos resultados de: Análise Histórica, Análise de Segurança e características das substâncias perigosas envolvidas e dos processos;
- Realização da APP propriamente dita (preenchimento da planilha);
- Análise e conclusão dos resultados.

Os objetivos desta APP consistem na identificação dos perigos e no mapeamento das áreas perigosas com base nos cenários acidentais relativos aos processos, armazenamentos, instalações, transportes de produtos químicos e a outros sistemas inerentes a Unidade de Produção de Pó e Pastilhas de UO₂.

Para simplificar a realização da análise, as instalações estudadas foram divididas em “módulos de análise”, como Unidade de Produção de Pó, Unidade de Produção de Pastilhas, Utilidades e Tancagem e seus diversos subsistemas. A divisão das instalações foi feita com base em critérios de funcionalidade, complexidade e proximidade física.

A realização da análise propriamente dita foi feita através do preenchimento de uma planilha de APP para cada módulo de análise da instalação. A planilha utilizada nesta APP contém 7 colunas, como o exemplo abaixo, as quais foram preenchidas conforme a descrição apresentada adiante.

PERIGO <i>1^a</i>	CAUSA <i>2^a</i>	EFEITOS <i>3^a</i>	CAT. FREQUÊNCIA <i>4^a</i>	CAT. SEVERIDADE <i>5^a</i>	CAT. RISCOS <i>6^a</i>	ID. EVENTO <i>7^a</i>

Fonte: Natrontec

1^a Coluna: Perigo

Esta coluna deve conter os perigos identificados para o módulo de análise em estudo. De uma forma geral, os perigos são eventos acidentais que têm potencial para causar danos às instalações, aos operadores, ao público ou ao meio ambiente. Portanto, os perigos referem-se a eventos tais como: liberação de material tóxico, liberação de material inflamável, liberação de material radioativo, criticalidade, reação descontrolada e sobrepessão.

2^a Coluna: Causa

As causas básicas de cada perigo devem ser discriminadas nesta coluna. Estas causas podem envolver tanto falhas intrínsecas de equipamentos (rupturas, falhas de instrumentação, etc) como erros humanos de operação e manutenção.

3^a Coluna: Efeitos

Os possíveis efeitos danosos de cada perigo identificados devem ser listados nesta coluna. Os principais efeitos dos acidentes envolvendo substâncias radioativas, tóxicas e inflamáveis incluem entre outros:

- ... radiação excessiva (nuclear);
- ... formação de nuvem tóxica;
- ... incêndio;
- ... explosão;
- ... incêndio ou explosão em nuvem de vapor de produto inflamável;

4^a Coluna: Categoria de Frequência

No âmbito desta APP, um cenário de acidente é definido como o conjunto formado pelo perigo identificado, suas causas e cada um dos seus efeitos. De acordo com a metodologia de APP a ser adotada, os cenários de acidente devem ser classificados em categorias de frequência, as quais fornecem uma indicação qualitativa da frequência esperada de ocorrência para os cenários identificados. As categorias de frequência utilizadas no presente trabalho estão apresentadas abaixo na Tabela 5.9 e tiveram como base o **DOE-STD-3011-94, Guidance for Preparation of Technical Safety Requirements (TSR), Nuclear Safety Analysis Reports (SARs) and Implementation Plans (Ips)**.

Tabela 5.9 FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DO EVENTO

A- PROVÁVEL - Frequência maior que 1,0 E-02/ano
B- IMPROVÁVEL - Frequência < 1,0 E-02 /ano e > 1,0 E-04 /ano
C- REMOTA - Frequência < 1,0 E-04 /ano e > 1,0 E-06 /ano
D- EXTREMAMENTE REMOTA - < 1,0 E-06 /ano

5ª Coluna: categoria de Severidade

Também de acordo com a metodologia de APP adotada neste trabalho, os cenários de acidentes foram classificados em categorias de severidade, as quais fornecem uma indicação qualitativa do grau de severidade das conseqüências dos cenários identificados. As categorias de severidade utilizadas no presente trabalho estão reproduzidas na Tabela 5.10 a seguir e tiveram como base, na parte radiológica o **DOE-STD-3011-94**

Tabela 5.10 SEVERIDADE DAS CONSEQUÊNCIAS DO EVENTO

CATEG	NOME	CARACTERÍSTICAS
I	DESPREZÍVEL	. Ausência de lesões. Possibilidade apenas de casos de primeiros socorros ou tratamento médico menor; . Sem danos, ou danos não significativos à instalações e equipamentos; . Não comprometimento significativo do meio ambiente. . Doses : < 0,1 rem para o público e < 0,5 rem para os Técnicos da unidade
II	MARGINAL	. Lesões moderadas à trabalhadores; . Danos moderados às instalações e equipamentos; . Degradação do meio ambiente, porém passível de controle através de equipamentos e medidas operacionais adequadas. . Doses : Público - >0,1 rem <0,5 rem Técnicos - > 0,5 rem <5 rem
III	CRÍTICA	. Lesões severas ou impactantes, com possibilidade de ocorrência de vítimas fatais; . Danos severos às instalações e equipamentos; . Danos substanciais ao meio ambiente, necessitando medidas emergenciais. Doses : Público - > 0,5 rem <5 rem Técnicos - > 5 rem < 25 rem

IV	CATASTRÓFICA	<ul style="list-style-type: none"> . Morte ou lesões impactantes entre trabalhadores e/ou população; . Perda total de instalações e equipamentos; . Severa degradação ambiental, com alterações populacionais e/ou estruturais. <p>Doses : Público - >5 rem Técnicos - > 25 rem</p>
----	--------------	--

6ª Coluna: Categoria de Riscos

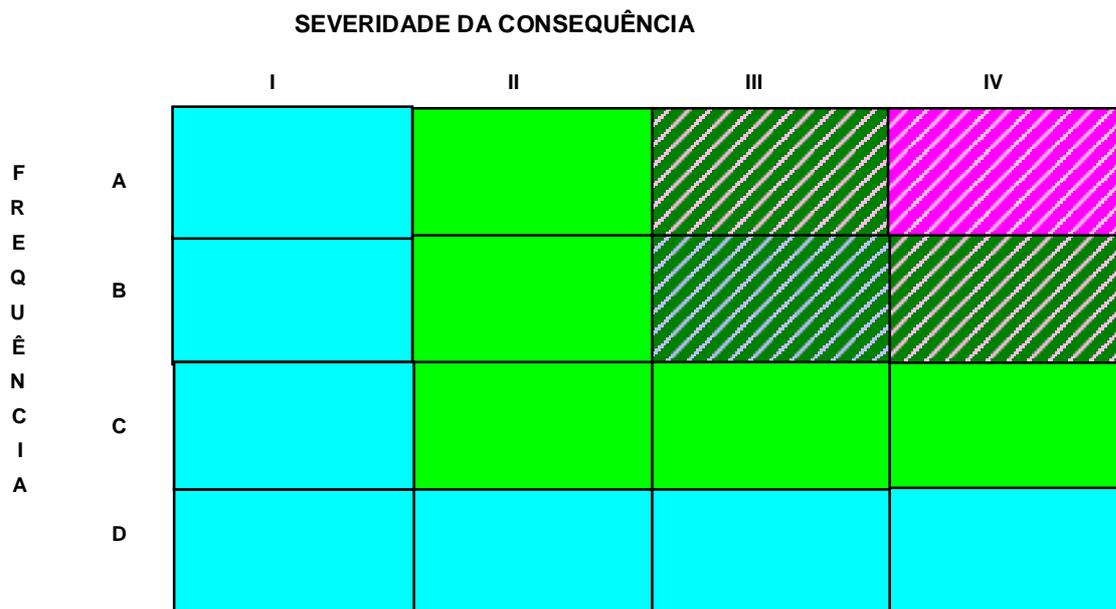
Combinando-se as categorias de frequência com as de severidade, obtém-se uma matriz de riscos, a qual fornece uma indicação qualitativa do nível de risco de cada perigo identificado na análise. A matriz de riscos utilizada neste trabalho está mostrada na Figura 5.1. adiante, com os campos de classificação identificados pelos números de 1 a 4 e suas cores correspondentes, conforme Tabela 5.11 apresentada abaixo.

Tabela 5.11 - CLASSIFICAÇÃO DOS RISCOS

1		DESPREZÍVEL
2		MODERADO
3		SÉRIO
4		CATASTRÓFICO

De acordo com critérios estabelecidos pela metodologia da NATRONTEC, os eventos classificados como de risco 3 ou 4 (Figura 5.1) devem ser objeto de análise de risco, com cálculos de vulnerabilidade. Nesta coluna (6ª) da planilha da APP é indicado o número correspondente a classificação do risco.

Figura 5.1 MATRIZ DE RISCOS



7ª Coluna: Identificador do Evento

Esta coluna deve conter uma identificação do evento. Deverá ser preenchida para facilitar a consulta a descritivos do perigo e cenários. Com base nas definições, nos eventos e análise de acidentes da Análise de Segurança apresentados, foram elaboradas as planilhas da APP apresentadas adiante.

Na execução da APP, a classificação da frequência e da categoria da severidade da consequência, teve como base, a Análise Histórica, a Análise de Segurança, as características do prédio de processo (construção do prédio e de subdivisões das áreas em concreto), o controle da pressão e renovação de ar individualmente por áreas, filtros de alta eficiência, vazões de processo com ordem de grandeza de litros/h para líquido (mudança na geometria segura) com baixo nível de urânio enriquecido, normalmente 3,5%, projeto 5% e o projeto de todos os vasos de processo com geometria anti-crítica.

Tabela 5.12 ANÁLISE PRELIMINAR DE PERIGOS (APP)

Unidade: Produção de Pó			Subsistema: Evaporação de UF ₆			
PERIGO	CAUSA	EFEITOS	CAT. FREQ	CAT. CONS	CAT. RISCO	ID
Penetração de Umidade	falha da instrumentação de injeção de CO ₂ para a quebra do vácuo. gerada pela retirada de amostras de UF ₆	Reação do UF ₆ com a umidade. A criticidade não é atingida	A	I	1	a.1
Vazamento de UF ₆ .	Ruptura ou trinca de tubulação, de UF ₆ interna a autoclave.	Vazamento de UF ₆ para interior da autoclave. Reação do UF ₆ com vapor d'água, contaminando o condensado. Os dispositivos do sistema de condensado tem geometria segura.	A	I	1	a.2
Vazamento de UF ₆	Falha no suprimento de vapor (Aumento de pressão e vazão) Superaquecimento da autoclave	Aumento de Pressão no interior da autoclave. 4 válvulas de segurança podem abrir quando a pressão atingir 4 bar. Os gases liberados são enviados para o lavador-absorvedor.	A	II	2	a.3
Vazamento de UF ₆	Falha (Redução) no suprimento de vapor de aquecimento na autoclave..	Ruptura de tubulação de UF ₆ dentro da autoclave por sua solidificação Contato do UF ₆ com condensado, formando UO ₂ F ₂ e HF. Os dispositivos de contenção do condensado contaminado, tem geometria segura	A	II	2	a.4
Vazamento de UF ₆	Falha no suprimento de vapor (Aumento de pressão e vazão) Superaquecimento do cilindro de UF ₆	Ruptura hidrostática de cilindro por expansão de UF ₆ durante o aquecimento na autoclave Radiação excessiva, pode atingir o ambiente externo	B	III	3	a.4.1
Vazamento	Falha da pesagem do cilindro.	Ruptura por sobreenchimento	B	III	3	a.4.2

de UF ₆	(excesso de massa de UF ₆)	quando do aquecimento				
Vazamento de UF ₆	ocorrência de incêndio no pátio de estocagem	Ruptura de cilindro de UF ₆ Radiação excessiva.	C	IV	2	a.4.3
Vazamento de UF ₆	Queda ou dano ao cilindro durante transporte interno	Ruptura de cilindro de UF ₆ Radiação excessiva	C	III	1	a.4.4
Vazamento de UF ₆	Falha no suprimento de CO ₂ , com penetração de UF ₆ no sistema de CO ₂ ..	Contaminação do Sistema de CO ₂ com UF ₆ podendo ocorrer geometria crítica.	A	II	2	a.5
Vazamento de UF ₆	Trinca ou ruptura na tubulação de alimentação do precipitador	Contaminação local. Exposição de pessoal interno a excesso de radiação.	A	III	3	a.6

Tabela 5.12 Continuação

Unidade: Produção de Pó		Subsistema: Abastecimento de Nitrato de Uranila (NU)				
PERIGO	CAUSA	EFEITO	CAT. FREQ	CAT. CONS	CAT. RISCO	ID
Concentração excessiva de Urânio	Falha humana. Alimentação de Solução de NU acima de 1260 g/l do vaso dosador para o precipitador, ultrapassando a geometria segura	A máxima concentração no está na faixa de 250 a 500 g/l .	A	II	2	b.1
Vazamento de solução com Urânio	Transbordamento do vaso dosador, por falha no controle de nível	Contaminação local	B	II	2	b.2

Unidade: Produção de Pó		Subsistema: Precipitação				
PERIGO	CAUSA	EFEITO	CAT. FREQ	CAT. CONS.	CAT. RISCO.	ID
Mudança no grau de moderação	Corrosão na Parede do Precipitador.	Vazamento de água de refrigeração para o interior o precipitador. O precipitador tem geometria segura	A	I	1	c.1
Mudança no grau de moderação.	Falha mecânica	Deformação do precipitador. Ocorrência de geometria não segura. O precipitador possui pinos internos que evitam a deformação física, além de válvula de segurança que evitam a sobre-pressão	B	II	2	c.2

Unidade: Produção de Pó		Subsistema: Lavadores-Absorvedores da Precipitação				
PERIGO	CAUSA	EFEITO	CAT. FREQ	CAT. CONS	CAT. RISCO	ID
Mudança no grau de moderação	Falha operacional. Desvio de solução de TCAU, UN do reator para o lavador	Radiação excessiva. O lavador tem geometria segura	A	II	2	d.1
Mudança no grau de	Falha mecânica. Corrosão na parede do lavador-manta,	mistura com a solução com urânio solúvel.				

moderação		Formação de geometria crítica. Radiação excessiva	D	III	1	d.2
Vazamento de Gases	Paralisação da Bomba de Circulação do lavador. Excesso de gás para o lavador - Aspersor. Vazamento de gases para o sistema de exaustão.	Radiação Nuclear excessiva	C	III	2	d..3
Vazamento de solução radioativa.	falha de medidor de nível.	Transbordamento de solução. Formação de geometria crítica. Radiação excessiva	C	III	2	d.4

Tabela 5.12 Continuação

Unidade: Produção de Pó			Subsistema: Filtração			
PERIGO	CAUSA	EFEITO	CAT. FREQ	CAT. CONS	CAT. RISCO.	ID
Vazamento de solução	Transbordamento da suspensão de TCAU para o piso.	Radiação excessiva	A	II	2	e.1
Vazamento de solução	Formação de altura não segura de precipitado no ponto de alimentação por parada da rotação do filtro	Radiação excessiva	A	II	2	e.2
Vazamento de solução	Paralisação da bomba de Sucção dos Filtrados, com o enchimento de líquido na câmara de vácuo	Radiação excessiva	A	II	2	e.3.1
Vazamento de solução	Paralisação da bomba de Sucção dos Filtrados. Transbordamento do filtrado da câmara de vácuo para o piso	Radiação excessiva	A	II	2	e.3.2
Vazamento de solução	Rompimento da tela do filtro com passagem de TCAU ou solução de NU com 400g/l para o filtrado na câmara de vácuo	Radiação excessiva	A	II	2	e.4
concentração explosiva	Falha no controle de concentração de Nitrato de Amônio no Absorvedor	Explosão	B	III	3	e 4.1
Vazamento de solução	Precipitação e sedimentação de TCAU no Tanque de Repouso de Água Carbonatada	Radiação excessiva	A	II	2	e.5.1
Vazamento de solução	Precipitação e sedimentação de TCAU no Tanque de Repouso de Metanol	Radiação excessiva	A	II	2	e.5.2
Vazamento de metanol	Falha de controle de nível. Sobreenchimento de metanol nos filtros rotativos	Incêndio	A	III	3	e.6

Tabela 5.12 Continuação

Unidade: Produção de Pó			Subsistema: Redução			
PERIGO	CAUSA	EFEITO	CAT. FREQ.	CAT. CONS.	CAT. RISCO.	ID
Reação não controlada	Falha na instrumentação. Excesso de alimentação de TCAU e Vapor	Aumento do Grau de Moderação Radiação excessiva	B	I	1	f.1
Reação não controlada	Reação explosiva de hidrogênio no reator. Explosão no forno, com liberação de urânio na forma insolúvel	Danos físicos e Radiação excessiva	B	III	3	f.2
Queda da Vareta de B ₄ C	falha mecânica causada por golpes de pressão	Queda no funil de descarga que suporta o choque	A	I	1	f.3
Vazamento de UO ₂	Falha no pré-filtro	passagem de pó de UO ₂ e gases para o lavador absorvedor. Tem geometria anti-crítica	A	1	1	f.5
Mistura de soluções radioativas	Corrosão no Tubo de Refrigeração do Lavador-Absorvedor, com contato de água de refrigeração com solução contendo urânio solúvel, modificando o grau de moderação.	Radiação Nuclear Excessiva interna	B	2	2	f.6
Vazamento de hidrogênio	Reação explosiva de hidrogênio em lavador de gases	Radiação Nuclear Excessiva interna	B	III	3	f.7
Vazamento de UO₂	Explosão / incêndio de pó de UO₂ no vaso de passivação	Radiação Nuclear Excessiva interna	B	III	3	f.8

Unidade: Produção de Pastilhas			Subsistema: Homogeneização			
PERIGO	CAUSA	EFEITO	CAT. FREQ.	CAT. CONS.	CAT. RISCO.	ID
Excesso de umidade	Falha mecânica ou humana. Alimentação com Pó de UO ₂ com alto teor de umidade	Radiação Nuclear Excessiva interna	A	I	1	g.1
Vazamento de pó	Falha no Mecanismo de descarga do Pó de UO ₂ com	Radiação Nuclear Excessiva interna	A	I	1	g.2

	transbordamento de pó para o piso					
--	-----------------------------------	--	--	--	--	--

Tabela 5.12 Continuação

Unidade: Produção de Pastilhas			Subsistema: Prensagem			
PERIGO	CAUSA	EFEITO	CAT. FREQ.	CAT. CONS.	CAT. RISCO.	ID
Vazamento de Pó	Falha mecânica. Obstrução de peneira, com crescimento da massa contida	Radiação nuclear Excessiva interna	B	I	1	h.1
Excesso de peso	Falha de instrumentação ou Humana	Ultrapassagem de quantidades em equipamentos e recipiente superiores as normais. Formação de geometria crítica. Criticalidade Radiação Excessiva interna	A	I	1	h.2
Excesso de peso	Falha mecânica. Formação de depósito na parte inferior da prensa.	Formação de geometria crítica no depósito inferior da prensa Radiação nuclear Excessiva interna	B	I	1	h.3

Unidade: Produção de Pastilhas			Subsistema: Sinterização			
PERIGO	CAUSA	EFEITO	CAT. FREQ.	CAT. CONS.	CAT. RISCO.	ID
Reação Descontrolada	Falha humana ou de instrumentação, acarretando excesso de H₂	Reação explosiva de hidrogênio no reator. Explosão no forno, com liberação de urânio na forma insolúvel	A	III	3	I

Unidade: Estocagem		Subsistema: Estocagem e Distribuição de Hidrogênio				
PERIGO	CAUSA	EFEITOS	CAT. FREQ.	CAT. CONS.	CAT. RISCO.	ID
Vazamento de Hidrogênio	Sobre-pressão no tanque	Explosão do tanque	D	III	1	m.1
Vazamento de Hidrogênio	falha em válvulas/ tubulação	Explosão em nuvem explosiva com ar	A	III	3	m.2
Vazamento interno de hidrogênio	Falhas em tubulação e válvulas	Baixa vazão. Nuvem sem concentração explosiva	A	I	1	m.3.1

Unidade: Estocagem		Subsistema: Estocagem e Distribuição de Amônia				
PERIGO	CAUSA	EFEITOS	CAT. FREQ.	CAT. CONS.	CAT. RISCO.	ID
Vazamento de Amônia	Sobre-pressão no tanque	toxidade ou explosão	D	III	1	n.1
Vazamento de Amônia	Falha em válvulas e tubulação	toxidade ou explosão	A	III	3	n.2
Vazamento de Amônia	Sobre-pressão com fonte externa de calor	Bola de Fogo	D	III	1	n.4
Vazamento interno de Amônia	Falha em tubulação	toxidade ou explosão	A	II	2	n..2

Tabela 5.12 Continuação

Unidade: Estocagem		Subsistema: Estocagem e Distribuição de Metanol				
PERIGO	CAUSA	EFEITOS	CAT. FREQ.	CAT. CONS.	CAT. RISCO.	ID
Vazamento de Metanol	Falha mecânica do tanque	toxidade ou incêndio ou explosão em nuvem	C	III	2	o.1
Vazamento de Metanol	Falha em tubulação/válvulas	toxidade ou incêndio ou explosão em nuvem	A	III	3	o.2

Unidade: Estocagem		Subsistema: Estocagem e Distribuição de GLP				
PERIGO	CAUSA	EFEITOS	CAT. FREQ.	CAT. CONS.	CAT. RISCO.	ID
Vazamento de GLP	Sobre-pressão no tanque	explosão	D	III	1	p.1
Vazamento de GLP	Falha mecânica no tanque	Toxidade /Explosão em nuvem não confinada	B	III	3	p.1.1
Vazamento de GLP	Sobre-pressão com fonte externa de calor	Bola de fogo	B	III	3	p.2
Vazamento de GLP	Falha em válvulas/tubulação.	toxidade ou explosão em nuvem	A	III	3	p.3

5.3.4 Conclusões

A identificação dos perigos baseada na Análise Histórica, Análise de Segurança e na metodologia de Análise Preliminar de Perigos selecionou, com base na Matriz de Riscos, os cenários listados na Tabela 5.13 adiante para a Análise de Riscos, que incluirá os cálculos de consequências e vulnerabilidade, conforme apresentado nos itens adiante. As análises de consequências, vulnerabilidade e riscos estão apoiadas no “capítulo 9 – Análise de Acidentes, do RAS – Relatório de Análise de Segurança” elaborado pela INB para o licenciamento nuclear do empreendimento pela CNEN.

Tabela 5.13 EVENTOS ACIDENTAIS

IDENTIFICAÇÃO DOS EVENTOS	EFEITO
1	Ruptura hidrostática de cilindro com sobreenchimento de UF ₆ durante o aquecimento na autoclave – acidente postulado – WASH 1284
2	Ruptura de cilindro de UF ₆ devido ao superaquecimento com vazamento de UF ₆ no interior da autoclave – acidente postulado – WASH 1284
3	Rompimento de tubulação da linha de alimentação de UF ₆
4	Incêndio de metanol nos filtros rotativos
5	Explosão de hidrogênio no forno de sinterização de pastilhas – acidente postulado – WASH 1284
6	Explosão de hidrogênio no forno de leito fluidizado
7	Explosão de hidrogênio em lavador de gases
8	Explosão de nitrato de amônio em lavador-aspersor de gases
9	Explosão / incêndio de pó de UO ₂ no vaso de passivação
10	Explosão em nuvem de GLP no prédio
11	Explosão em nuvem de amônia externamente
12	Explosão em nuvem de GLP externamente
13	Vazamento tóxico externo de amônia
14	Vazamento tóxico externo de GLP
15	Incêndio externo de amônia
16	Incêndio externo de GLP
17	Incêndio externo de hidrogênio
18	Incêndio externo de metanol
19	Acidentes de criticalidade