

ÍNDICE DE REVISÕES

REV	DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS			
0	Para comentários do cliente.			
1	Comentários gerais.			
2	Correções ortográficas. Formatação de tabelas, figuras e referências bibliográficas de acordo com padrão ABNT. Substituição de imagem de satélite por outra de maior definição.			
3	Correções ortográficas.			
0				
1				
2				
3				
4				
	REV.0	REV.1	REV.2	REV.3
DATA	16/10/2013	09/12/2013	17/04/2014	16/05/2014
PROJETO	04.104-AR/13	04.104-AR/13	04.104-AR/13	04.104-AR/13
EXECUÇÃO	Elifas Alves	Elifas Alves	Elifas Alves	Elifas Alves
VERIFICAÇÃO	Tiago Novo	Tiago Novo	Tiago Novo	Tiago Novo
APROVAÇÃO	Carmen Vazquez	Carmen Vazquez	Carmen Vazquez	Carmen Vazquez
AS INFORMAÇÕES DESTE DOCUMENTO SÃO PROPRIEDADES DA ITSEMAP DO BRASILE DA ELETRONUCLEAR.				

ÍNDICE GERAL

1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	3
2 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO E DA REGIÃO.....	5
2.1 Introdução.....	5
2.2 Caracterização Geral do Empreendimento.....	5
2.2.1 Contexto Atual.....	5
2.2.2 Objetivos do Empreendimento.....	8
2.2.3 Descrição do Empreendimento.....	9
2.3 Caracterização da Região.....	13
2.4 Características Populacionais.....	14
2.5 Características Climáticas e Meteorológicas.....	15
3 CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DOS PRODUTOS ENVOLVIDOS.....	16
3.1 Características Físicas, Químicas e Toxicológicas.....	17
3.2 Considerações Sobre as Substâncias Químicas.....	21
4 IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS.....	22
4.1 Introdução.....	22
4.2 Análise Preliminar de Riscos – APR.....	22
4.2.1 Metodologia.....	22
4.3 Perigos Identificados.....	26
4.4 Hipóteses Acidentais Seleccionadas para a AQR.....	27
5 ANÁLISE DE CONSEQUÊNCIAS E VULNERABILIDADE.....	28
5.1 Introdução.....	28
5.2 Fenômenos Estudados.....	28
5.2.1 Gás Inflamável.....	28
5.3 Dados de Entrada nos Modelos.....	30
5.3.1 Produto de Referência.....	30

5.3.2 Tamanho dos Furos	30
5.3.3 Dados Meteorológicos	30
5.3.4 Rugosidade da Região	31
5.3.5 Tipo de Superfície	31
5.3.6 Modelo Matemático para Determinação dos Níveis de Interesse	31
5.4 Dados dos Cenários e Alcances Obtidos nas Simulações	36
5.5 Análise de Vulnerabilidade	38
5.6 Efeito Dominó	38
6 ESTIMATIVA DAS FREQUÊNCIAS DE OCORRÊNCIA.....	42
6.1 Introdução.....	42
6.2 Metodologia.....	42
6.2.1 Quantificação das Hipóteses Acidentais.....	42
6.3 Árvore de Eventos	44
6.3.1 Gás Inflamável.....	44
7 ESTIMATIVA E AVALIAÇÃO DE RISCOS	48
7.1 Introdução	48
7.2 Risco Social	48
7.2.1 Conceito	48
7.2.2 Critério de Tolerabilidade.....	49
7.2.3 Malha	49
7.2.4 Identificação da População Vulnerável.....	50
7.2.5 Fontes de Ignição	50
7.2.6 Resultados do Risco Social.....	51
7.3 Risco Individual	52
7.3.1 Conceito	52
7.3.2 Critério de Tolerabilidade - Risco Individual	53



7.3.3 Resultados do Risco Individual	53
7.4 Resultados Obtidos nos Cálculos de Risco	54
8 CONCLUSÕES.....	55
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
10 EQUIPE TÉCNICA	58
11 GLOSSÁRIO.....	59
12 ANEXOS	64



1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O presente trabalho contempla o Estudo de Análise de Riscos (EAR) da Unidade de Armazenamento Complementar de Combustível Irrradiado – UFC da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto – CNAAA.

Esta Unidade será implantada na área de propriedade da Eletronuclear em Itaorna, Angra dos Reis, Rio de Janeiro, em 2 etapas de construção, com a capacidade de estocagem de 2.400 elementos combustíveis por etapa, em tanques de armazenamento úmido, similares às piscinas de estocagem de combustível irradiado das Usinas. Estes tanques conterão *racks* de estocagem com capacidade de armazenar elementos combustíveis com as dimensões típicas de Angra 1 e de Angra 2 e 3.

Este EAR teve como base as diretrizes definidas na Instrução Técnica 2104 do Instituto Estadual do Ambiente (INEA)– *Instrução Técnica para Elaboração de Estudo de Análise de Risco para Instalações Convencionais*, de janeiro de 2009.

O estudo tem por finalidade identificar, analisar e avaliar os eventuais riscos impostos as pessoas, instalações e meio ambiente, decorrentes das atividades operacionais envolvendo substâncias tóxicas ou inflamáveis. Foram avaliados os riscos ao público externo (entorno da área de abrangência das instalações da UFC, incluindo eventuais impactos ao meio ambiente).

Desta forma, o presente relatório contempla a estrutura apresentada na Quadro 1.1, que segue.

Quadro 1.1 – Estrutura do EAR

Capítulo	Conteúdo
1	Considerações Gerais
2	Caracterização do Empreendimento e da Região
3	Características e Propriedades dos Produtos Envolvidos
4	Identificação de Perigos
5	Análise de Consequências e de Vulnerabilidade
6	Estimativa das Frequências de Ocorrência
7	Estimativa e Avaliação de Riscos
8	Conclusões
9	Referências Bibliográficas
10	Equipe Técnica
11	Glossário
12	Anexos
Anexo I	Imagem de Satélite do Empreendimento
Anexo II	Layout do Empreendimento
Anexo III	FISPQs – Fichas de Informação de Segurança de Produtos Químicos
Anexo IV	Planilhas da APR – Análise Preliminar de Riscos
Anexo V	Relatórios das Simulações de Consequências
Anexo VI	Pontos de Liberação - PLs
Anexo VII	Mapeamento das Vulnerabilidades
Anexo VIII	Anotação de Responsabilidade Técnica - ART

Fonte: Itsemap.



2 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO E DA REGIÃO

2.1 Introdução

Na geração de energia elétrica, as usinas utilizam elementos combustíveis em seus reatores que, após a queima, são estocados em piscinas especialmente projetadas e construídas em áreas contíguas aos reatores de cada uma delas, com a função de possibilitar o arrefecimento e o decaimento desses elementos para futura destinação.

A capacidade de armazenamento de combustíveis irradiados nas piscinas, no entanto, é limitada, e de acordo com o projeto dessas usinas, os elementos estocados há mais tempo devem ser removidos para Unidades de armazenamento complementares, de modo a dar lugar para o armazenamento de elementos recém-retirados dos reatores, o que justifica o presente projeto de construção de uma Unidade de Armazenamento Complementar de Combustível Irrradiado da CNAAA – UFC.

O Anexo I apresenta a imagem de satélite da região com as áreas delimitadas.

2.2 Caracterização Geral do Empreendimento

A seguir estão apresentadas as descrições gerais das Unidades contempladas nas instalações de interesse para o presente estudo.

2.2.1 Contexto Atual

A Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto – CNAAA é composta de 3 usinas nucleares com a finalidade de geração de energia elétrica: a Usina Angra 1, cuja capacidade de geração é de 657 MWe; a Usina Angra 2, com capacidade de geração de 1.350 MWe; e a Usina Angra 3, com capacidade de geração de 1.405 MWe, atualmente em construção.

A Usina Angra 1, iniciou sua operação comercial em 1985, enquanto a Usina Angra 2 teve sua operação comercial iniciada em 2001. A Usina Angra 3 está com início de operação previsto para 2018.

As usinas nucleares utilizam elementos combustíveis para a geração de energia elétrica. Após a queima, estes elementos são armazenados por pelo menos 10 anos, em piscinas especialmente projetadas e construídas no interior das usinas, visando o arrefecimento e o decaimento desses elementos combustíveis. Mesmo depois de 10 anos estes elementos ainda possuem uma grande quantidade de materiais reaproveitáveis e calor

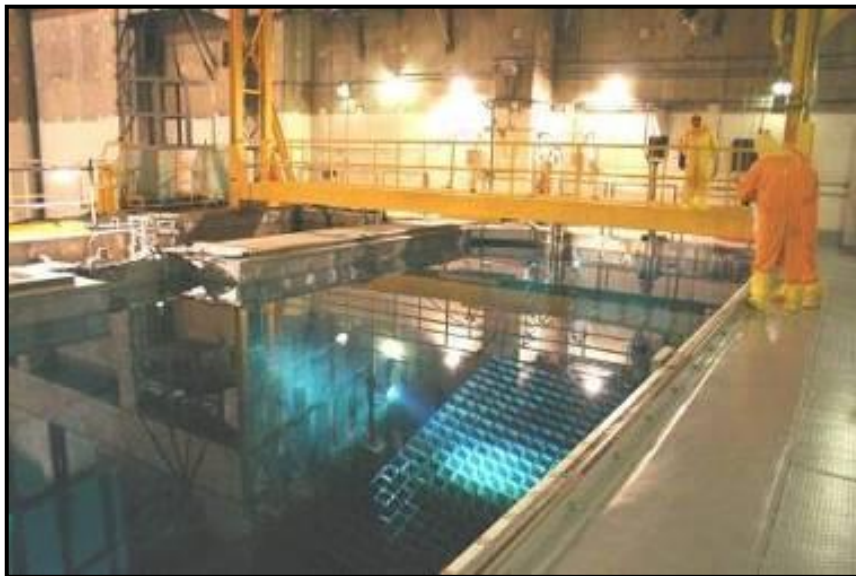


residual. Os elementos combustíveis irradiados podem ser reprocessados ou armazenados para possibilitar uma futura decisão sobre qual o melhor tratamento para estes materiais.

Atualmente a estratégia brasileira para o gerenciamento de combustíveis irradiados não prevê a execução de reprocessamento e reciclagem dos elementos gerados para a produção de energia elétrica, como realizado por alguns países. Os elementos combustíveis são inicialmente armazenados pela Eletronuclear (armazenamento de curto e médio prazo), sendo que, o armazenamento de longo prazo é de responsabilidade constitucional da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN.

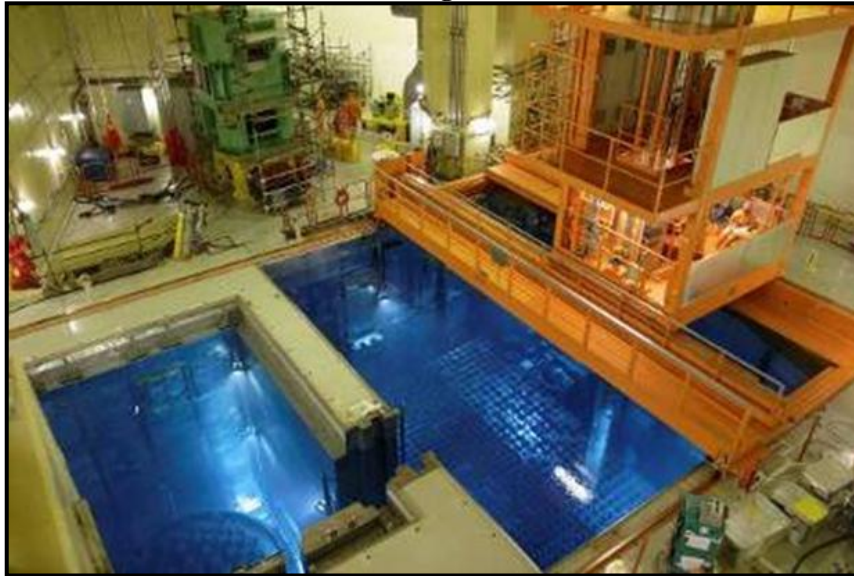
O armazenamento em Angra 1 e 2 é realizado em piscinas localizadas nas próprias Unidades. A Figura 2.1 e Figura 2.2, a seguir, apresentam as piscinas de armazenamento de elementos combustíveis de Angra 1 e Angra 2, respectivamente.

Figura 2.1 – Piscina de Armazenamento de Elementos Combustíveis de Angra 1



Fonte: Eletronuclear.

Figura 2.2– Piscina de Armazenamento de Elementos Combustíveis de Angra 2



Fonte: Eletronuclear.

A capacidade de armazenamento de combustíveis irradiados das piscinas é limitada, e de acordo com a concepção original do projeto dessas usinas os elementos combustíveis estocados há mais tempo devem ser removidos, de modo a dar lugar para o armazenamento de elementos combustíveis recentemente retirados dos núcleos dos reatores.

A Tabela 2.1 apresenta as capacidades de armazenamento inicial de cada uma das usinas e a quantidade de elementos combustíveis no núcleo dos reatores:

Tabela 2.1 – Quantidade de Elementos Combustíveis nas Piscinas e nos Núcleos dos Reatores

Plantas	Capacidade de armazenamento de elementos combustíveis nas piscinas internas	Quantidade de elementos combustíveis no núcleo do reator
Angra 1	1252	121
Angra 2	1084	193
Angra 3	1084	193

Fonte: Eletronuclear.

Na Tabela 2.2 são apresentadas as previsões de esgotamento da capacidade de estocagem dessas piscinas, com base no número de ciclos e na quantidade de elementos combustíveis novos, trocados nos núcleos dos reatores a cada ciclo:

Tabela 2.2–Previsão de esgotamento da capacidade de armazenamento de elementos combustíveis irradiados na CNAAA

Usina	Esgotamento Previsto da Capacidade de Armazenamento das PCUs (ano)
Angra 1	2020
Angra 2	2018

Fonte: Eletronuclear.

Considerando que o esgotamento da capacidade de estocagem das piscinas das Unidades de Angra 1 e 2 poderá paralisar a operação destas Unidades geradoras, a solução adotada pela Eletronuclear é a construção da Unidade de Armazenamento Complementar de Combustível Irrradiado da CNAAA – UFC.

De acordo com a Política de Rejeitos Nucleares e Radioativos definida pela Resolução da Diretoria Executiva Nº 795.001/06, de 16/08/2006:

A Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto será dotada de instalação específica externa às usinas para estocagem de elementos combustíveis em tanques de armazenamento que, associada às piscinas de estocagem interna às usinas, deverá ter a capacidade de armazenar os elementos combustíveis utilizados nos núcleos dos reatores das usinas Angra 1, Angra 2 e Angra 3, ao longo da vida útil destas Unidades, estimada em 60 anos para efeito de dimensionamento da instalação.

Esta Unidade deverá ser implantada na área de propriedade da Eletronuclear em Itaorna, Angra dos Reis, Rio de Janeiro, em 2 etapas de construção, com a capacidade de estocagem de 2.400 elementos combustíveis por etapa, em tanques de armazenamento úmido, similares às piscinas de estocagem de combustível irradiado das Usinas. Estes tanques conterão *racks* de estocagem com capacidade de armazenar elementos combustíveis com as dimensões típicas de Angra 1 e de Angra 2 e 3.

Quando for transferido para a Unidade UFC, o elemento combustível terá sua atividade cerca de 200 vezes menor em relação ao momento da retirada do reator para a piscina interna da usina.

A 1ª etapa de implantação da Unidade UFC deverá estar em operação a partir de 2018, sendo capaz de receber os primeiros elementos vindos de Angra 2 e Angra 1. O mesmo procedimento será aplicado posteriormente para os elementos de combustível irradiado de Angra 3. A Unidade UFC será construída e operada pela Eletronuclear. A construção da 2ª etapa de implantação dependerá da implementação das instalações de estocagem de longo prazo, sob a responsabilidade da CNEN.

2.2.2 Objetivos do Empreendimento

A Unidade de Armazenamento Complementar de Combustível Irradiado da CNAAA – UFC tem por objetivo promover o armazenamento de elementos combustíveis irradiados em tanques localizados no seu interior e que, associados às piscinas de estocagem interna das usinas Angra 1, 2 e 3, incrementem a capacidade de armazenar os elementos combustíveis

utilizados nos núcleos dos reatores destas usinas, cuja vida útil estimada é de 60 anos, para efeito de dimensionamento da instalação. O armazenamento complementar de combustível irradiado possibilitará a continuidade de operação da CNAAA.

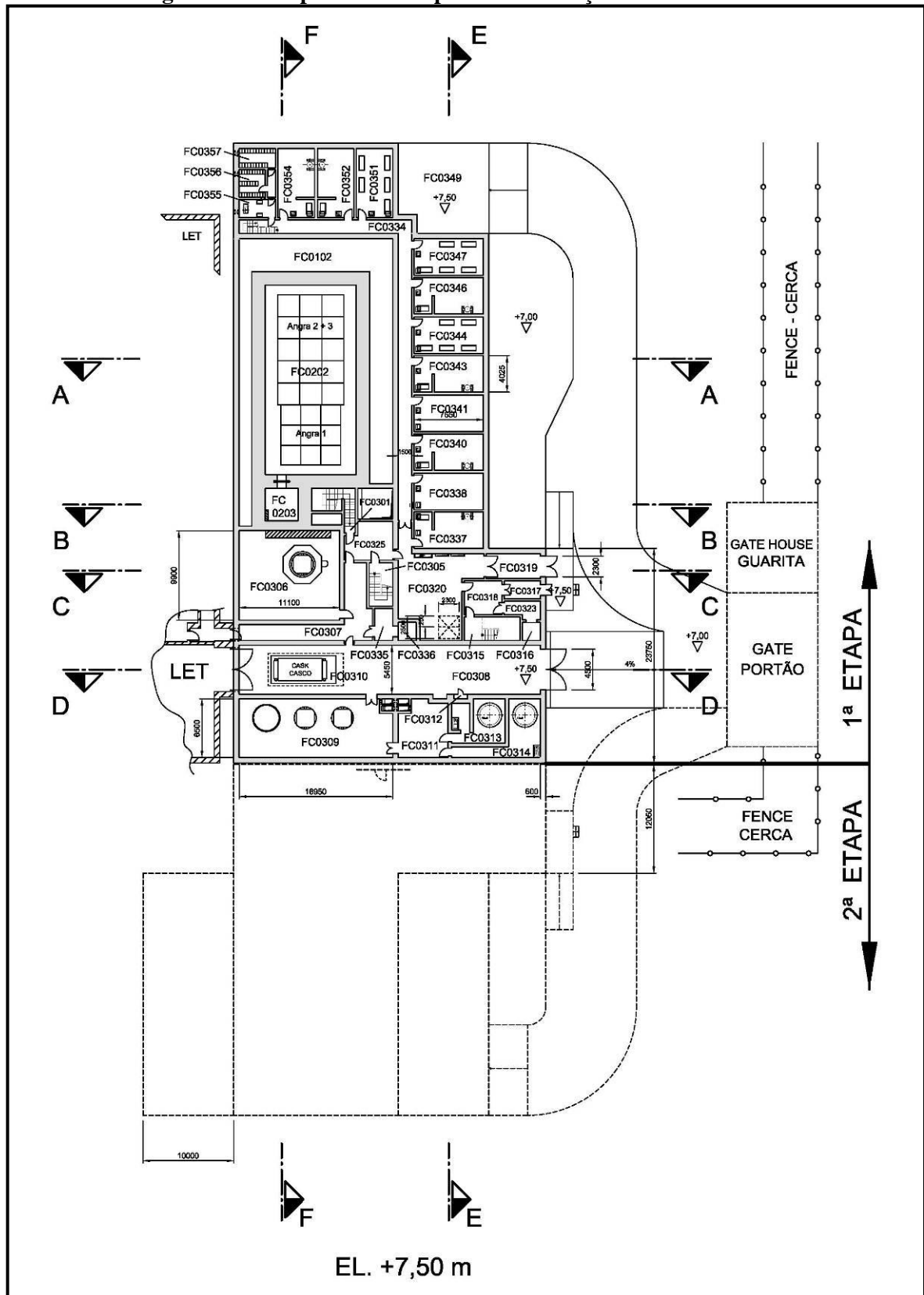
2.2.3 Descrição do Empreendimento

A Unidade de Armazenamento Complementar de Combustível Irrradiado da CNAAA será uma edificação concebida em concreto armado, assentada em rocha sã e terá a sua implementação em 2 etapas, sendo a primeira para 2.400 elementos combustíveis advindos das Usinas Angra 1, 2 e 3. Quanto à segunda etapa, projetada inicialmente para 2.400 elementos combustíveis, sua necessidade deverá ser confirmada e dependerá da disponibilidade do depósito de longa duração de combustível irradiado, denominado DICOMBUS, que está sob a responsabilidade da CNEN. O Anexo II apresenta o *layout* da Unidade de Armazenamento Complementar de Combustível Irrradiado da CNAAA-UFC.

A Figura 2.3 abaixo, apresenta um *layout* da Unidade com a demarcação prevista para as duas etapas de construção.



Figura 2.3 – Etapas Previstas para a Construção da Unidade UFC



Fonte: Eletronuclear.

A primeira etapa da Unidade terá dimensões de aproximadamente 38,6 m de altura, com comprimento de 68,6 m e 34,45 m de largura, totalizando cerca de 2.100m² e, caso a segunda etapa seja implementada, a Unidade completa terá dimensões de aproximadamente 38,6 m de altura, com comprimento de 107,6 m e 44,45 m de largura, totalizando 3.550 m².

A edificação da Unidade, cujos acessos estarão situados na elevação +7,50m CNG, será dividida em 2 setores, sendo um deles fora da área de manuseio e armazenagem dos elementos combustíveis usados (Área Livre/Supervisionada), e um segundo setor, ligado ao manuseio e armazenamento desses mesmos elementos combustíveis (Área Controlada).

Adicionalmente, a instalação será provida de galerias e prismas para inspeção, além do sistema de tubos embutidos nas paredes e lajes do tanque para monitoração de eventuais vazamentos, semelhante ao sistema usado nas piscinas de combustível irradiado das usinas.

As principais instalações do primeiro setor da Unidade estarão situadas basicamente acima do nível dos acessos a essa Unidade e abrigo:

- Sala de Baterias;
- Sala do Transformador;
- Painéis Elétricos;
- Sistema de Remoção de Calor Água/Ar, instalados em torres;
- Sala de Controle;
- Centro de Segurança;
- Ponto de Controle;
- Banheiros, Vestiários, Portais e Sala de Descontaminação;
- Sistema Convencional de Refrigeração e Ar Condicionado;
- Sistema de Insuflamento e Recirculação do Ar e correspondentes filtros;
- Sistemas de Pressurização das Escadas;
- Depósitos em Geral;
- Salas de Reunião, Trabalho e Treinamento.

A comunicação entre os diversos níveis será feita através de escadaria central e um elevador de carga/pessoal anexo à escada.



As instalações do segundo Setor, que estarão situadas tanto abaixo quanto acima do terreno, compreenderão:

- Área de Recepção, Expedição e Verticalização de Cascos;
- Área para Depósito de Cascos Vazios;
- Área para Depósito da Saia dos Cascos;
- Tanques de Estocagem de Elementos Combustíveis Irrradiados;
- Tanque para Cascos;
- Área de Secagem e Descontaminação e Preparo de Cascos;
- Sistema de Remoção de Calor Água/Água instalados nos Tanques;
- Sistema de Exaustão e Recirculação do Ar e correspondentes Filtros;
- Sistema de Coleta de Efluentes Líquidos;
- Tanques de Armazenagem de Água Desmineralizada;
- Área de Armazenagem de Rejeitos Radioativos Sólidos;
- Depósito de Ferramentas e Dispositivos de Manutenção;
- Estação de Transferência de Efluentes Líquidos;
- Ponte rolante com capacidade de 160 tf.

A comunicação entre os diversos níveis será feita através de escadaria central e um elevador de carga/pessoal.

O trânsito de pessoal entre os setores deverá ocorrer através da área de acesso controlado e monitoração de pessoal.

As paredes da Edificação serão dimensionadas, além do aspecto estrutural, com barreiras radiológicas conforme o conceito de ALARA (*As Low As Reasonably Achievable – Tão Baixo quanto Razoavelmente Exequível*).

Adicionalmente a Unidade deverá dispor das seguintes estruturas de apoio:

- Guarita;
- Cerca de proteção física;
- Acesso de veículos;

- Rede de suprimento e tratamento de água potável da CNAAA;
- Suprimento de água desmineralizada interligada ao da CNAAA;
- Rede de coleta e tratamento de esgoto sanitário interligada a da CNAAA;
- Infraestrutura de coleta e tratamento de rejeitos da CNAAA;
- Rede de suprimento de energia elétrica interligada a da CNAAA;
- Infraestrutura de comunicação interligada a da CNAAA;
- Rede viária interligada a da CNAAA.

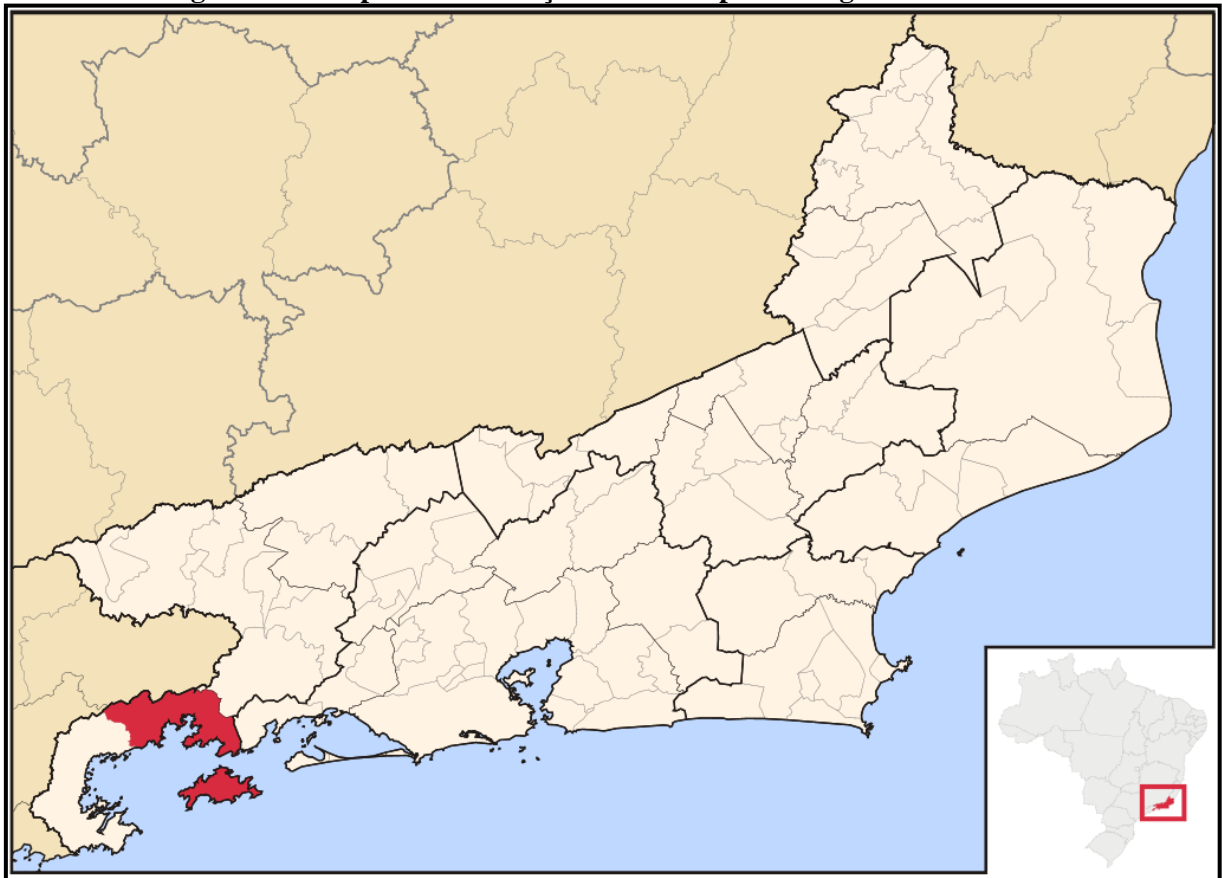
2.3 Caracterização da Região

Angra dos Reis é um município brasileiro situado no sul do Estado do Rio de Janeiro. Localiza-se a uma altitude média de seis metros e possui, em seu litoral, 365 ilhas. Possui uma área de 825,088 km². Os municípios limítrofes são Paraty, Rio Claro e Mangaratiba, no território fluminense e Bananal, São José do Barreiro e Cunha, no lado paulista. Sua população, aferida no Censo de 2010, era de 169 511 habitantes.

A Figura 2.4 mostra o mapa de localização do município de Angra dos Reis– RJ no Estado do Rio de Janeiro.



Figura 2.4 - Mapa de Localização do Município de Angra dos Reis - RJ



Fonte: Wikipedia (http://pt.wikipedia.org/wiki/Angra_dos_Reis).

2.4 Características Populacionais

Com o intuito de se realizar o levantamento populacional da população externa potencialmente vulnerável a sinistros que possam ocorrer devido às atividades desenvolvidas nas instalações da Unidade de Armazenamento Complementar de Combustível Irradiado – UFC, foi realizado um trabalho de campo no entorno da instalação com base no cenário de maior repercussão acidental. Desta forma foram identificados os seguintes pontos, apresentados na Tabela 2.3, conforme consta no Anexo I – Imagem de Satélite.

Tabela 2.3 – Distribuição Populacional Externo

Identificação na Respectiva Imagem de Satélite (Anexo I)	Empreendimento	População Dia	População Noite
1	Angra 1	*	*
2	Angra 2	*	*
3	Centro de Informações da CNAAA	*	*
4	Angra 3	*	*

* Os empreendimentos identificados não foram considerados como população vulnerável por não serem consideradas população externa.

Fonte: Itsemap.

2.5 Características Climáticas e Meteorológicas

Os dados meteorológicos referentes a Estação Meteorológica da CNAAA, foram obtidos no período de 2009 à 2011.

A Tabela 2.4 apresenta os dados meteorológicos médios, ou seja, as médias de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento.

Tabela 2.4 – Dados Meteorológicos Médios da CNAAA

Parâmetro Ambiental	Valor
Temperatura Média do Ar Período Diurno	23,28 °C
Temperatura Média do Ar Período Noturno	22,27 °C
Umidade Relativa do Ar – Período Diurno	80,71 %
Umidade Relativa do Ar – Período Noturno	85,34 %
Velocidade Média do Vento - Período Diurno	1,41 m/s
Velocidade Média do Vento - Período Noturno	1,47 m/s
Categoria de Estabilidade Atmosférica (Pasquill)	A-B (dia) / F (noite)

Fonte: Eletronuclear.

A Tabela 2.5 apresenta os dados da distribuição da frequência dos ventos.

Tabela 2.5 – Distribuição Percentual da Frequência da Direção do Vento (Torre A – 10 metros)

Direção	Frequência Média (%)	
	Período Diurno	Período Noturno
S→N	11,80	49,14
SSO→NNE	10,76	31,20
SW→NE	3,04	3,94
OSO→ENE	2,30	0,95
W→E	1,58	0,21
ONO→ESE	1,74	0,12
NW→SE	2,42	0,12
NNO→SSE	2,34	0,24
N→S	3,45	0,23
NNE→SSO	25,86	0,82
NE→SO	13,96	1,10
ENE→OSO	4,44	0,90
E→O	2,89	1,06
ESE→ONO	2,46	1,76
SE→NO	2,43	2,56
SSE→NNO	3,28	3,93
Calmaria	5,27	1,72

Fonte: Eletronuclear.

3 CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES DOS PRODUTOS ENVOLVIDOS

Os principais insumos a serem utilizados para a operação da Unidade UFC são:

- Água desmineralizada;
- Peróxido de hidrogênio (água oxigenada);
- Resinas de troca iônica;
- Cartuchos dos filtros mecânicos;
- Células filtrantes;
- Nitrogênio gasoso com pureza $\geq 99,9\%$ N₂;
- Mistura Gasosa Argônio/Metano com 90% de Argônio e 10% de Metano (em volume).

Na Unidade UFC serão utilizados apenas as seguintes substâncias químicas e produtos de consumo usuais para limpeza, no processo de armazenamento de combustíveis, atividade-fim da Unidade:

- Água potável;
- Lençóis de polietileno para embalagem e proteção gerais;
- Sacos de polietileno (diversos tamanhos) para embalagem e proteção gerais;
- Detergente neutro de uso geral para limpeza de superfícies;
- Agentes de descontaminação pessoal;
- Panos limpos de algodão e de poliéster;
- Peças de vestuário e equipamentos de proteção individual;
- Graxas e lubrificantes para equipamentos;
- Baterias.

De forma a nortear as etapas seguintes do Estudo de Análise de Riscos, são apresentados, neste capítulo, os critérios para classificação das substâncias quanto à toxicidade e inflamabilidade, de forma a possibilitar a identificação das substâncias de interesse, bem como as hipóteses para o cálculo do risco.

Serão utilizados os critérios de classificação das substâncias estabelecidos no Manual da FEEMA – “Manual de Orientação para Estudos de Análise de Risco” e diretrizes definidas na Instrução Técnica 2104 do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) – *Instrução Técnica para Elaboração de Estudo de Análise de Risco para Instalações Convencionais*, de janeiro de 2009.

A partir desta classificação, para as substâncias consideradas de interesse, será feita uma descrição das principais características das mesmas, extraídas das respectivas Fichas de Informação de Segurança de Produto Químico (FISPQs) e constantes no anexo III do presente documento.

As FISPQs destinam-se a fornecer informações sobre vários aspectos dos produtos químicos que estão presentes na indústria petroquímica, quanto à proteção à segurança, à saúde e ao meio ambiente, tendo por base uma composição média representativa para os produtos manuseados a nível nacional. As FISPQs fornecem, para esses aspectos, conhecimentos básicos sobre os produtos, recomendações sobre medidas de proteção e ações em situação de emergência.

Para critério de classificação de produtos para subsidiar a identificação dos perigos e consequentemente as simulações, foi definido:

- **Tóxicos:**

Pressão de Vapor igual ou maior que 10 mmHg a 30°C;

Concentração de IDLH igual ou menor que 2000 ppm.

- **Inflamáveis:**

Ponto de fulgor inferior a 37,8°C ou que se apresentem, em algum momento, a temperatura igual ou superior ao respectivo ponto de fulgor;

Ponto de fulgor igual ou superior a 37,8°C, porém inferior a 60°C e que haja a possibilidade de se formarem nuvens inflamáveis.

3.1 Características Físicas, Químicas e Toxicológicas

Nesta seção estão apresentadas as principais características das substâncias químicas de interesse de modo a possibilitar a classificação frente aos critérios apresentados anteriormente, substâncias essas capazes de gerarem danos aos colaboradores internos, danos a equipamentos e edificações, e potencialmente danos externos aos limites dos



empreendimentos, dependendo de seu grau de risco, inventário disponível e forma de armazenamento.

O Quadro 3.1 a seguir apresenta a relação dos insumos contendo suas características, quantidades e formas de acondicionamento e recebimento na Unidade UFC.



Quadro 3.1 – Principais Insumos a Serem Utilizados na Operação da Unidade UFC.

Produto	Local de utilização	Quantidade Estocada na Unidade	Acondicionamento	Estado Físico	Ponto de Fulgor (°C)	Pressão Vapor (mmHg)	IDLH (ppm)	Classificação⁽¹⁾
Água desmineralizada	Tanque de ECI's	Sistema de suprimento de água	-	Líquido	N/P	N/P	N/P	N/C
Peróxido de hidrogênio	Tanque de ECI's	4 bombonas de 30 L	Bombonas recicláveis	Líquido	Não Inflamável	5,22	75	-
Resinas iônicas	Filtro de leito misto	100 L (1 filtro)	Saco plástico/caixa de papelão	Sólido	N/P	N/P	N/P	N/C
Cartuchos filtrantes	Filtro	1 conjunto de 100 L	Saco plástico/caixa de papelão	Sólido	N/P	N/P	N/P	N/C
Nitrogênio gasoso (≥ 99,9 %)	Tanques de compensação do circuito de resfriamento do líquido do tanque	1 cilindro de 50 L (200 bar)	Cilindros de aço pressurizados	Gás	N/P	760 mmHg a -195,8 °C	N/P	-
Argônio/Metano	Equipamentos de monitoração de radiação	1 cilindro de 50 L (160 bar)	Cilindros de aço pressurizados	Gás	Inflamável	760 à -161,5°C	-	Inflamável
Lençóis de polietileno	Gerenciamento de rejeitos e limpeza da Unidade	10 kg	Polietileno	Sólido	N/P	N/P	N/P	N/C
Sacos de polietileno	Gerenciamento de rejeitos e limpeza da Unidade	2 kg	Polietileno	Sólido	N/P	N/P	N/P	N/C
Detergente Neutro (Limpeza de Superfícies)	Limpeza de itens e equipamentos e da Unidade	30 kg	Frascos de polietileno	Líquido	N/P	N/P	N/P	N/C

Quadro 3.1 – Principais Insumos a Serem Utilizados na Operação da Unidade UFC.

Produto	Local de utilização	Quantidade Estocada na Unidade	Acondicionamento	Estado Físico	Ponto de Fulgor (°C)	Pressão Vapor (mmHg)	IDLH (ppm)	Classificação⁽¹⁾
Agentes de descontaminação pessoal	Sala de descontaminação	2 kg	Frascos de polietileno	Líquido	N/P	N/P	N/P	N/C
Panos limpos de algodão e de poliéster	Limpeza de itens e equipamentos da Unidade	40 kg – Panos limpos de algodão 20 kg - Poliéster	Polietileno	Sólido	N/P	N/P	N/P	N/C
(*) Vestuário e EPI	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/P	N/C
Graxas e Lubrificantes	Equipamentos	-	Variável	Sólido / Líquido	N/P	N/P	N/P	N/C
Pano Malha Costurada (Trapo)	Limpeza em geral da Unidade UFC	300 kg	-	Sólido	N/P	N/P	N/P	N/C
Agentes filtrantes do sistema de ventilação	Sistema de Ventilação	-	Polietileno	Sólido	N/P	N/P	N/P	N/C

Fonte: Itsemap.

(1) Segundo critério de classificação da Instrução Técnica 2104 do INEA;

N/P – Não Pertinente.

N/C – Não Classificado.

3.2 Considerações Sobre as Substâncias Químicas

Conforme avaliações das características das substâncias movimentadas nas instalações em estudo foram obtidas as classificações observadas na Quadro 3.1 e com base nas informações obtidas no presente capítulo com relação à criticidade das substâncias envolvidas nos processos e formas de armazenamento serviram de base para a identificação e classificação dos perigos a serem abordados na etapa de levantamento de cenários acidentais e consequentemente na avaliação dos cenários mais críticos a serem contemplados na Análise Quantitativa de Riscos (AQR) do presente estudo.



4 IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS

4.1 Introdução

Este capítulo contempla a etapa de identificação dos perigos associados às atividades desenvolvidas nas instalações da Unidade de Armazenamento Complementar de Combustível Irrradiado – UFC da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto – CNAAA.

4.2 Análise Preliminar de Riscos – APR

4.2.1 Metodologia

A técnica Análise Preliminar de Riscos (APR), do inglês *Preliminary Hazard Analysis (PHA)*, foi desenvolvida pelo programa de segurança militar do Departamento de Defesa dos Estados Unidos (MILITARY-STANDARD-882B).

Trata-se de uma técnica estruturada que tem por objetivo identificar os perigos presentes numa instalação, ocasionados por eventos indesejáveis. Normalmente, a APR é utilizada na fase inicial de projeto, embora venha sendo também bastante aplicada em Unidades em operação, permitindo uma análise crítica dos sistemas de segurança existentes e a identificação das possíveis hipóteses de acidentes.

A APR focaliza os eventos perigosos cujas falhas têm origem na instalação em análise, contemplando tanto as falhas intrínsecas de equipamentos, de instrumentos e de materiais, como erros humanos.

Na APR são identificados os perigos, suas causas, os efeitos (consequências) e suas respectivas categorias de severidade, sendo apontadas eventuais observações e recomendações pertinentes aos perigos identificados.

Os resultados foram apresentados numa planilha, inserindo-se categorias de severidade e frequência, constituindo desta forma uma matriz de Riscos. Além disso, as consequências foram analisadas individualmente para Pessoal (Referente ao público externo), Instalações, Meio Ambiente e Imagem.

Os parâmetros de severidade e frequência estão apresentados no Quadro 4.2, bem como as definições dos níveis de risco utilizados neste trabalho estão apresentadas no Quadro 4.3.

A APR foi elaborada através do preenchimento de uma planilha específica, apresentada no Quadro 4.1, cuja explicação de seus campos está apresentada na sequência:

- **Cenário:** sequência acidental a ser estudada na análise quantitativa de risco;
- **Sistema:** trecho do processo sob análise;
- **Risco:** evento que define a hipótese acidental e está normalmente associado a uma ou mais condições com potencial de causar danos às pessoas, ao patrimônio ou ao meio ambiente;
- **Causas:** fatos geradores dos eventos acidentais descritos na coluna “Risco”, que geralmente estão associados à ocorrência de falhas intrínsecas em equipamentos ou com execução de procedimentos errados / inadequados (falhas operacionais / erros humanos);
- **Consequências:** possíveis efeitos associados a um determinado perigo;
- **Proteções Existentes:** meio ou instrumentos de detecção de vazamentos ou das tipologias acidentais provindas dos vazamentos;
- **Categoria de Frequência (Freq.):** graduação qualitativa da frequência de ocorrência do perigo, de acordo com a classificação apresentada no Quadro 4.2;
- **Categoria de Severidade:** graduação qualitativa do efeito associado ao cenário acidental, de acordo com a classificação apresentada no Quadro 4.2;
- **Matriz de Risco:** relação estabelecida entre os níveis definidos de frequência e consequência de um determinado risco, de acordo com a matriz de riscos apresentada no Quadro 4.3;
- **Observações (O)/Recomendações (R):** observações pertinentes ao risco e respectivos cenários acidentais, sistemas de segurança existentes ou recomendações para o gerenciamento dos riscos associados.



Quadro 4.1 – Modelo de Planilha de APR
Análise Preliminar de Riscos (APR)

Empresa:		Empreendimento:							Data:	
Sistema:		Referência:							Rev.:	
Cenário	Risco	Causas	Consequências	Proteções Existentes	Freq	Pessoas	Instalações	Meio Ambiente	Imagem	Observações (O)/ Recomendações (R)
						Severidade				
						Matriz de Risco				
						Severidade				
						Matriz de Risco				
						Severidade				
						Matriz de Risco				

Fonte: Itsemap.

Quadro 4.2 – Matriz de Risco para Hipóteses Acidentais

			Descrição / Características				Categorias de Frequência				
							A Extremamente Remota	B Remota	C Pouco Provável	D Possível	E Frequente
			Segurança Pessoal	Patrimônio	Meio Ambiente	Imagem	Conceitualmente possível, mas sem referências históricas	Não esperado ocorrer, apesar de haver referências em instalações similares	Pouco provável de ocorrer durante a vida útil de um conjunto de Unidades similares	Possível de ocorrer uma vez durante a vida útil da instalação	Possível de ocorrer muitas vezes durante a vida útil da instalação
Categorias de Severidade das Conseqüências	V	Catastrófica	Múltiplas fatalidades intramuros ou fatalidade extramuros	Danos catastróficos podendo levar à perda da instalação industrial	Danos severos em áreas sensíveis ou se estendendo para outros locais	Impacto internacional	M	M	NT	NT	NT
	IV	Crítica	Fatalidade intramuros ou lesões graves extramuros	Danos severos a sistemas da instalação industrial (reparação lenta)	Danos severos com efeito localizado	Impacto nacional	T	M	M	NT	NT
	III	Média	Lesões graves intramuros ou lesões leves extramuros	Danos moderados a sistemas	Danos moderados	Impacto regional	T	T	M	M	NT
	II	Marginal	Lesões leves em empregados e terceiros. Ausência de lesões extramuros	Danos leves a sistemas/equipamentos	Danos leves	Impacto local	T	T	T	M	M
	I	Desprezível	Sem lesões, ou no máximo casos de primeiros socorros, sem afastamento	Danos leves aos sistemas sem comprometimento da continuidade operacional da instalação industrial	Sem danos ou com danos insignificantes	Impacto insignificante	T	T	T	T	M

Fonte: Itsemap.

Quadro 4.3 – Classificação do Risco

Categoria de Risco	Descrição do Nível de Controle Necessário
Tolerável (T)	Não há necessidade de medidas adicionais. A monitoração é necessária para assegurar que os controles sejam mantidos
Moderado (M)	Controles adicionais devem ser avaliados com o objetivo de obter-se uma redução dos riscos e implementados àqueles considerados praticáveis (região ALARP).
Não Tolerável (NT)	Os controles existentes são insuficientes. Métodos alternativos devem ser considerados para reduzir a probabilidade de ocorrência e, adicionalmente, as consequências, de forma a trazer os riscos para as regiões de menor magnitude de riscos (regiões ALARP ou tolerável).




Fonte: Itsemap.

4.3 Perigos Identificados

As planilhas da APR preenchidas encontram-se no Anexo IV. Os eventos identificados na APR estão associados a diferentes tipos de liberação de produtos inflamáveis ou tóxicos, ou seja, ocorrência de vazamento relativo a recipientes utilizados para contenção de inventários (cilindros, tambores, bombonas e frascos), além de ocorrências associadas a incêndios prediais, problemas em equipamentos e acidentes gerais de trabalho relacionados às atividades específicas ou não desenvolvidas nas Unidades pertencentes ao empreendimento sob análise.

A Tabela 4.1 a seguir apresenta a contabilidade das classificações dos perigos quanto ao risco considerando as categorias pessoas, instalação, meio ambiente e imagem, para os perigos identificados para cada Unidade do empreendimento.

Tabela 4.1 – Contabilização das Classificações dos Riscos

Subsistema	Pessoas		Instalações		Meio Ambiente		Imagem	
Depósito Geral, Depósito de Ferramentas e Dispositivos de Manutenção.	5	13	9	9	13	5	9	9
Legenda								
	Risco Tolerável							
	Risco Moderado							
	Risco Não Tolerável							

Fonte: Itsemap.

O percentual relativo dos cenários acidentais apresenta-se distribuído em relação às classes de risco da seguinte forma:

- Risco Pessoal: 0% do total foram classificados na classe de risco não tolerável; 72,22% do total foram classificados com categoria de risco moderado e 27,78% foram classificados na classe risco tolerável;

- Risco às Instalações: 0% do total foram classificados na classe de risco não tolerável; 50% do total foram classificados com categoria de risco moderado e 50% foram classificados na classe risco tolerável;
- Risco Ambiental: 0% do total foram classificados na classe de risco não tolerável; 27,78% do total foram classificados com categoria de risco moderado e 72,22% foram classificados na classe risco tolerável;
- Risco à Imagem: 0% do total foram classificados na classe de risco não tolerável; 50% do total foram classificados com categoria de risco moderado e 50% foram classificados na classe risco tolerável.

4.4 Hipóteses Acidentais Seleccionadas para a AQR

Para a análise quantitativa de riscos foram seleccionadas as hipóteses acidentais cujas categorias de severidade dos eventos foram classificadas como médias (III), críticas (IV) ou catastróficas (V), relacionadas à segurança das pessoas, relativo a eventos com potencial de gerar lesões de grau relevante ou até mesmo fatalidades, proveniente de cenários envolvendo liberações de produtos inflamáveis ou tóxicos.

O Quadro 4.4 apresenta os cenários acidentais seleccionados para a Avaliação Quantitativa de Riscos.

Quadro 4.4 – Cenários Acidentais Seleccionados

Cenário	Risco	Localidade	Observação
3	Vazamento/ Explosão de cilindros de gás comprimido inflamável.	Unidade de Armazenamento Complementar de Combustível Irrradiado	Cilindros armazenados na área externa.
4	Vazamento/ Explosão de cilindros de gás comprimidos não inflamável.		Cilindros armazenados na área externa.

Fonte: Itsemap.

5 ANÁLISE DE CONSEQUÊNCIAS E VULNERABILIDADE

5.1 Introdução

Esse capítulo contempla a simulação das consequências (efeitos físicos) e a análise de vulnerabilidade para as hipóteses acidentais que estão relacionadas a vazamentos de produtos inflamáveis e tóxicos que eventualmente venham a ocorrer durante as operações das instalações da Unidade de Armazenamento Complementar de Combustível Irrradiado – UFC da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto – CNAAA.

As hipóteses acidentais selecionadas no Capítulo 4 geraram diferentes tipologias acidentais (cenários), de acordo com as características e o comportamento da substância analisada, quando liberada no meio ambiente.

Para as simulações das hipóteses acidentais consideradas no presente estudo, foi utilizado o software *PHAST*, versão 6.7, desenvolvido pela DNV-Technica.

As hipóteses estudadas foram caracterizadas considerando os seguintes aspectos:

- Características da liberação, como área do furo e tipo de liberação;
- Quantidade e fluxo mássico da liberação;
- Duração da liberação;
- Altura da fonte de escape;
- Características meteorológicas, como velocidade do vento, pressão atmosférica, temperatura ambiente e umidade relativa do ar;
- Fator de rugosidade do terreno.

5.2 Fenômenos Estudados

De acordo com as características físico-químicas das substâncias e presença de fontes de ignição, poderá haver um desencadeamento de situações acidentais. As tipologias acidentais descritas referem-se às características de gases inflamáveis e substâncias tóxicas, selecionado como de interesse no Capítulo 3 e evidenciado nos cenários selecionados no Capítulo 4.

5.2.1 Gás Inflamável

O vazamento de um gás ou vapor sob pressão a alta velocidade acarreta a formação de um jato que arrasta grande quantidade de ar devido a sua turbulência.



De um modo geral, sempre que a pressão do produto estiver, pelo menos, duas vezes acima da pressão ambiente, haverá a formação de um jato turbulento. A velocidade é máxima ao longo do eixo da saída do gás e diminui à medida que se afasta da fonte. Não há influência da velocidade do vento, uma vez que esta é bem inferior à velocidade do jato.

No entanto, há um ponto no topo do jato onde a sua velocidade é muito próxima à velocidade do vento e o jato começa a reclinar. Este é o ponto de transição, onde termina a dispersão devido à turbulência atmosférica.

Uma vez formado o jato de produto, se uma fonte de ignição estiver próxima e a concentração do produto estiver entre os limites de inflamabilidade haverá a formação de uma chama característica denominada *jato de fogo*.

Caso não ocorra a ignição imediata, a nuvem de produto em condições inflamáveis, ao encontrar uma fonte de ignição, poderá gerar dois fenômenos: *flashfire* e *VCE (Confined Vapour Cloud Explosion)*.

O *flashfire* é a ignição retardada de uma nuvem de gás sem efeitos de sobrepressão; porém, com efeitos térmicos; já o *VCE* é a ignição retardada da nuvem de vapor ocorrendo efeitos significativos de sobrepressão, podendo, portanto gerar danos às pessoas, aos equipamentos e às edificações.

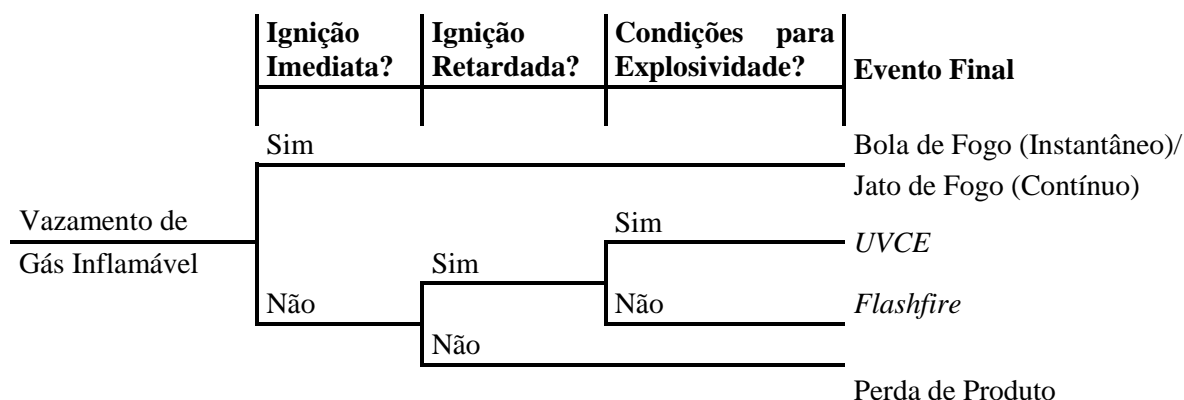
No *flashfire* ocorre a ignição da massa de gás sem uma considerável emissão de radiação térmica ao longo da distância. Portanto, a menos que haja um indivíduo dentro da área ocupada pela mistura inflamável, este evento não traz maiores consequências à população circunvizinha.

A ocorrência de uma explosão de nuvem na atmosfera está diretamente relacionada com a massa de produto existente entre os limites de inflamabilidade na nuvem de vapor e ao seu grau de confinamento.

Para os gases mais leves, como por exemplo gás natural e hidrogênio, a possibilidade de confinamento e os resultados provenientes da formação de ondas de sobrepressão são praticamente desprezíveis, em função da alta dispersão dos mesmos na atmosfera e consequentemente, da rápida diluição da nuvem inflamável.

A Figura 5.1 apresenta a árvore de eventos referente às liberações instantâneas (ruptura do vaso) e liberações contínuas (ruptura de linhas / abertura de válvulas), respectivamente de acordo com as situações descritas.

Figura 5.1 – Árvore de Eventos para Vazamento de Gás Inflamável



Fonte: Itsemap.

5.3 Dados de Entrada nos Modelos

Nesta seção são apresentadas algumas considerações acerca dos dados de entrada das simulações.

5.3.1 Produto de Referência

As simulações realizadas buscaram representar todos os produtos armazenados ou manipulados nas instalações pertinentes aos cenários de interesse para a AQR definidos no Capítulo 4. Para isso foram utilizadas substâncias de referência disponíveis no banco de dados do software PHAST.

5.3.2 Tamanho dos Furos

A magnitude de um vazamento está associada ao tamanho do furo. As hipóteses relacionadas com liberações de produtos em linhas, uma vez que as mesmas são todas de pequeno porte, foram simuladas considerando-se a secção total da linha como representativo para o cenário, sendo que para casos de vazamentos em linhas deste porte não são significativos para o cálculo de risco.

Para o caso dos cilindros foram considerados vazamentos pelas válvulas dos mesmos.

5.3.3 Dados Meteorológicos

Com relação às condições atmosféricas, foram utilizados os dados mostrados na Tabela 5.1, os quais foram objetos da caracterização da região já apresentados no Capítulo 2, Item 2.5.

Tabela 5.1 – Dados Meteorológicos Representativos da Região

Variável Ambiental	Período Diurno	Período Noturno
Temperatura média do ar	23,28 °C	22,27 °C
Umidade relativa do ar	80,71 %	85,34 %
Velocidade média do vento	1,41 m/s	1,47 m/s
Estabilidade Atmosférica	A-B	F

Fonte: Eletronuclear.

Foi assumido que a temperatura do solo durante o dia estará 5 °C acima da temperatura ambiente, ou seja, 28,28 °C, o que permitirá uma maior taxa de evaporação da poça durante o dia.

5.3.4 Rugosidade da Região

Para fins deste estudo, a região foi caracterizada como área industrial, ou seja, parâmetro de rugosidade igual a 1 m, equivalente a uma área com cobertura regular de obstáculos grandes.

5.3.5 Tipo de Superfície

Em função das características da instalação, adotou-se “concreto” como tipo de superfície para o espalhamento da poça, cujas características estão apresentadas na Tabela 5.2 a seguir.

Tabela 5.2 - Dados Relevantes do Concreto

Parâmetro	Valor
Fator de Rugosidade	1
Difusividade Térmica da Superfície (m²/s)	5,72E-07
Condutividade Térmica da Superfície (kJ/m.s.K)	1,21E-03

Fonte: Manual *PhastRisk* versão 6.7.

5.3.6 Modelo Matemático para Determinação dos Níveis de Interesse

Os níveis de interesse fornecidos ao programa PHAST para o cálculo das distâncias provindas dos cenários acidentais de incêndio foram obtidos através da aplicação dos modelos matemáticos para o cálculo da probabilidade de morte, denominados PROBIT (Pr).

O PROBIT estabelece uma relação entre o tempo de exposição e um determinado nível de radiação, sobrepressão ou concentração tóxica com a probabilidade de fatalidade.

A relação entre a probabilidade de morte e o PROBIT correspondente segue uma curva do tipo sigmoide. A Tabela 5.3 apresenta o valor de PROBIT em função da probabilidade de morte, em valores percentuais.



Tabela 5.3 - PROBIT e Probabilidade de Morte

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
%	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

Fonte: AICHE , TNOPurple Book, Tabela 5.1, página 5.2.

5.3.6.1 Radiações Térmicas

Os danos para o homem decorrentes de incêndios dependem da integral da radiação térmica incidente no tempo. A equação de Probit desenvolvida por *Eisenberg et al.*, constante no *TNO – Green Book* relativa à letalidade tem a seguinte forma:

$$Pr = - 14,9 + 2,56 \ln (t \times I^{4/3} \times 10^{-4}) \quad (1)$$

Onde:

- Pr é o PROBIT correspondente a probabilidade de morte;
- t é a duração da exposição em segundos;
- I é a intensidade da radiação térmica em W/m^2 .

No caso de incêndios estacionários (jato de fogo e incêndio em poça), a duração do fenômeno pode ser grande (minutos ou horas), mas é presumível que as pessoas nas circunvizinhanças distanciem-se da área perigosa até atingirem um local em que a radiação térmica seja suportável, sem dor. O tempo de exposição considerado foi de 30 segundos, conforme orientação do INEA.

Desta forma, foram considerados os seguintes níveis de radiação térmica, os quais estão de acordo com a instrução técnica emitida pelo INEA e utilizada como referência para elaboração do presente Estudo de Análise de Riscos.

- 5 kw/m²: Nível de radiação utilizado nas simulações como nível de interesse, visando subsidiar a futura elaboração do Plano de Ação de Emergência (PAE), porém ressalta-se que esse nível não gera fatalidades, pois o valor de PROBIT a partir da equação de radiações térmicas é inferior a 2,67. Conforme pode ser verificado através da Tabela 5.3, o percentual de fatalidade referente a este valor de PROBIT é inferior a 1%.
- 12,5 e 37,5 kw/m²: Níveis de radiação correspondentes a 1% e 50% de fatalidade, respectivamente, para o tempo de exposição de 30 segundos;
- Incêndio em Nuvem: Foi considerado o limite inferior de inflamabilidade, sendo atribuída uma vulnerabilidade de 100% de fatalidade para as pessoas localizadas no interior da região delimitada por esta concentração.



5.3.6.2 Sobrepressão

As consequências decorrentes de uma explosão podem ocorrer devido às ondas de pressão, projeção de fragmentos e impacto do corpo com obstáculos. Neste caso, é importante conhecer o valor máximo de sobrepressão.

As equações de PROBIT desenvolvida por *Eisenberget al.*, constante no *TNO – Green Book*, são as seguintes:

Efeitos sobre as estruturas:

$$\text{PROBIT} = -23,8 + 2,92 \ln P \quad (2)$$

Onde:

- P é a sobrepressão de pico em Pascal (Pa).

Efeitos sobre as pessoas fora das edificações ou estruturas:

$$\text{PROBIT} = -77,1 + 6,91 \ln P \quad (3)$$

Onde:

- P é a sobrepressão de pico em Pascal (Pa).

Ondas de sobrepressão superiores a 1 bar (1×10^5 Pa) são capazes de causar fatalidades devido a hemorragia pulmonar, por exemplo. Segundo a equação de Probit se obtém:

$$Pr = -77,1 + 6,91 \ln 1 \times 10^5$$

$$Pr = 2,45$$

Consultando-se a Tabela 5.3, pode ser observado que a probabilidade de morte para as pessoas não abrigadas é inferior a 1%. Pode-se concluir que o ser humano apresenta uma resistência maior a sobrepressões do que as estruturas. Isto ocorre devido ao fato do ser humano não se comportar como uma estrutura rígida, permitindo a absorção do impacto. Normalmente nas explosões, a grande maioria das vítimas é devida ao colapso de estruturas (edificações) ou projeções de fragmentos.

A Tabela 5.4 a seguir, extraído de *Lees, F. P. Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 2, London and Boston, 1996*, pág. 17/201, tabela 17.43, relaciona os valores de sobrepressão com os prejuízos e danos possíveis de ocorrer às instalações e pessoas.



Tabela 5.4 – Danos Esperados para Sobrepressão

Sobrepressão (bar)	Dano Esperado
0,0013	Estrondo alto (137 dB de frequência baixa, 10-15 Hz).
0,002	Quebra ocasional de janelas grandes, que já estão sob tensão.
0,0027	Estrondo muito alto (143 dB). Trinca dos vidros abaulados sônicos.
0,01	Quebra de janelas pequenas sob tensão. Pressão típica para trinca nos vidros.
0,02	Alguns danos nos tetos das casas. Quebra de 10% dos vidros das janelas. “Distância Segura” (probabilidade de 95% de não ter dano sério além desta área). Limite de estilhaços.
0,027	Limite inferior de dano estrutural.
0,03 – 0,06	As janelas normalmente são destruídas, e algumas dessas tem a armação danificada.
0,04	Pequenos danos nas estruturas de casas.
0,06	Danos parciais de casas, as quais ficarão inabitáveis. Destruição de asbesto corrugado.
0,06 – 0,13	Falhas nas amarras das chapas de aço ou painéis de alumínio, seguido de deformação. Destruição da amarração dos painéis (tábuas) de madeira das casas comuns.
0,06 – 0,5	Faixa onde os estilhaços podem causar ferimentos leves ou graves na pele.
0,09	Leve distorção da armação de aço dos edifícios fechados.
0,13	Colapso parcial das paredes e telhados das casas.
0,13 – 0,2	Destruição das paredes de concreto ou de blocos não-reforçadas.
0,15	Limite inferior de sérios danos na estrutura.
0,16 – 0,84	Faixa de 1 a 90% de ruptura dos tímpanos das populações expostas.
0,17	Destruição de 50% das casas de alvenaria.
0,20	Distorções das construções com armação de aço, que são movidas do fundamento. Pequenos danos em máquinas pesadas (1.400 kg), nos edifícios industriais.
0,20 – 0,27	Destruição das construções de painéis de aço sem armação. Ruptura de tanques de armazenagem de óleo.
0,27	Ruptura de construções industriais “leves” cobertas.
0,34	Destruição de áreas arborizadas. Leves danos em grandes prensas hidráulica (18.200 kg), no interior das construções.
0,34 – 0,48	Destruição quase total das casas.
0,48	Tombamento dos vagões de trens carregados.
0,48 – 0,55	Trinca nos tijolos não reforçados de 20-30 cm de espessura, por tensão de cisalhamento.
0,62	Demolição de vagões fechados de trem.
0,68	Provável destruição total de construções. Partes pesadas de máquinas (3.200 kg) se movem, e ficam muito danificadas. Partes muito pesadas de máquina (5.500 kg) resistem.
1,05 – 2,0	Faixa de 1 a 99% de fatalidades das populações expostas, devido ao efeito direto da explosão.
20,7	Limite de borda da cratera.

Fonte: Lees, F. P. *Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 2, London and Boston, 1996*, pág. 17/201, tabela 17.43.



Desta forma, foram considerados os seguintes níveis de sobrepressão, os quais estão de acordo com a instrução técnica emitida pelo INEA e utilizada como referência para elaboração do presente Estudo de Análise de Riscos:

- 0,069 bar: Nível de sobrepressão referente a danos parciais de casas. Nível estudado visando subsidiar a futura elaboração do Plano de Ação de Emergência (PAE), porém ressalta-se que esse valor não gera fatalidades;
- 0,1 bar: Nível de sobrepressão correspondente a 1% de fatalidade e referente ao colapso parcial das paredes e telhados das casas;
- 0,3 bar: Nível de sobrepressão correspondente a 50% de fatalidade, capaz de causar ruptura de construções industriais leves.

Para o cálculo das sobrepressões geradas a partir da explosão da nuvem inflamável (UVCE), foi utilizado o modelo TNT do Programa Phast 6.7, modelo este que considera conservativamente, uma explosão com grau de confinamento máximo (confinamento em todas as direções) e a equivalência de toda a massa do inventário utilizado em massa de TNT.

A explosão da nuvem foi considerada no centro da nuvem inflamável (*CloudCentroid*).

O relatório das simulações das consequências se encontram no Anexo V.

5.4 Dados dos Cenários e Alcances Obtidos nas Simulações

A caracterização dessas hipóteses acidentais, para fins de simulação, está apresentada no Quadro 5.5, e os resultados dos cálculos (Tabela 5.5) para os vários níveis de efeitos avaliados neste trabalho são apresentados em seguida.

Quadro 5.5 - Dados de Entrada Cenário Acidental 03

Parâmetro	Descrição
Vazamento/ Explosão de cilindros de gás comprimido inflamável.	
Cenário	3
Tipo de Instalação	Cilindros de metano
Produto	Argônio/Metano

Parâmetro	Descrição
Substância Representativa	Metano
Estado Físico	Gasoso
Inventário (L)	5
Tempo de Liberação	Instantâneo
Temperatura (°C)	Ambiente
Pressão (bar)	160
Altura do Vazamento (m)	0
Cenário	4
Tipo de Instalação	Cilindros de nitrogênio
Produto	Nitrogênio
Substância Representativa	Nitrogênio
Estado Físico	Gasoso
Inventário (L)	50
Tempo de Liberação	Instantâneo
Temperatura (°C)	Ambiente
Pressão (bar)	200
Altura do Vazamento (m)	0

Fonte: Itsemap.

Tabela 5.5 - Resultados (m)

Flash Dia	Flash Noite	Radiação Térmica (kW/m ²)						Sobrepessão (bar)						
		Dia			Noite			Dia			Noite			
		37,5	12,5	5	37,5	12,5	5	0,3	0,1	0,069	0,3	0,1	0,069	
H03	2,56	2,60	11,00	24,35	40,01	10,99	24,35	40,02	9,91	19,84	25,51	9,91	19,84	25,51
H04	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Fonte: Itsemap.

5.5 Análise de Vulnerabilidade

A análise de vulnerabilidade é realizada segundo procedimentos que envolvem a estimativa dos danos gerados sobre a população exposta, devido ao desencadeamento das sequências acidentais identificadas no estudo.

O limite da área de interesse das consequências físicas é expresso sob a forma de mapas, plotados a partir de pontos de liberações (Anexo VI). O mapeamento dos efeitos físicos estão apresentados no Anexo VII que mostram a plotagem das distâncias máximas atingidas pelas intensidades de radiação térmica ou sobrepressão, correspondente aos valores de referência estabelecidos pelo órgão ambiental.

5.6 Efeito Dominó

O efeito dominó é definido como uma sucessão de eventos desencadeados após a ocorrência de um evento inicial, provocando uma série de outras consequências em instalações da Unidade de Armazenamento Complementar de Combustível Irrradiado – UFC da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto – CNAAA.

Neste relatório avaliou-se a influência de um evento acidental ocorrido nas instalações que podem gerar consequências para outras instalações do próprio empreendimento, sejam elas equipamentos ou edificações, ou até consequências para edificações extramuros.

O efeito dominó ocorre se, pelo menos, um dos dois seguintes efeitos vier a ocorrer:

1) Sobrepressão: os valores de sobrepressão devem ser suficientes para causar danos em estruturas ou equipamentos circunvizinhos, e conseqüentemente causar um novo vazamento.

Resumidamente, diz-se que a “carga” de explosão age sobre uma estrutura ou obstáculo de quatro maneiras diferentes:

- A frente da onda não atinge o obstáculo;
- A frente da onda alcança o obstáculo, ocorre o fenômeno de reflexão e depois o decaimento da pressão;
- A explosão envolve a estrutura;
- A frente da onda passa pela estrutura.



Conforme apresentado anteriormente, o valor de sobrepressão de 0,3 bar representa danos catastróficos às edificações e, portanto, possibilidade de fatalidade das pessoas existentes em seu interior; já, a sobrepressão de 0,1 bar corresponde a danos reparáveis às estruturas (paredes, portas, telhados, etc.) e, portanto, perigo à saúde e, eventualmente, à vida.

Em função do enfoque desta análise ser o efeito sobre os outros equipamentos e edificações dentro ou fora da UFC, buscou-se estabelecer uma correlação entre a sobrepressão e seus danos produzidos, conforme mostra a Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Danos Devido a Sobrepressão

Sobrepressão (bar)	Danos
0,3	Danos catastróficos às edificações e, portanto, possibilidade de fatalidade das pessoas existentes em seu interior.
0,1	Danos reparáveis às estruturas (paredes, portas, telhados, etc.) e, portanto, perigo à saúde e, eventualmente, à vida.

Fonte: Itsemap.

Desta forma, conforme pode ser observado nos resultados dos cálculos das consequências, apresentados na Tabela 5.5, a hipótese de explosão de cilindros com metano apresenta os resultados mais críticos, podendo levar a danos à equipamentos, estruturas adjacentes e edificações mais próximas do ponto de liberação, estando sujeitos aos efeitos de escalonamento devido as ondas de sobrepressão.

Vale ressaltar que as simulações e as plotagens não levam em consideração as diferenças de cotas do relevo e nem o decaimento da sobrepressão devido a presença de obstáculos, apresentando um cenário bastante conservativo no que se refere ao efeito dominó causado por essa tipologia.

2) Radiação Térmica: para que o efeito dominó tenha início por radiação térmica, além da necessidade de elevados valores de radiação térmica, há a necessidade de um prolongado tempo de exposição para que possa causar o dano estimado.

A Tabela 5.7 apresenta valores de radiação críticos para materiais avaliados pelo TNO, válido para um tempo de exposição superior a 30 minutos. No caso estaremos avaliando para danos de nível 1, ou seja, possibilidades de danos estruturais significativos (colapso).



Tabela 5.7 – Valores de Radiação Críticos

Material	Intensidade de Radiação Crítica (kW/m ²)	
	Danos Nível 1	Danos Nível 2
Madeira	15	2
Material Sintético	15	2
Vidro	4	-
Aço	100	25

Fonte TNO “Green Book”, Chapter 1, p.47.

Os parâmetros para análise de danos materiais, decorrentes de radiações térmicas foram obtidos na referência *Purple-Book TNO* para instalações de superfície.

Os materiais críticos de análise são madeira, material sintético, vidro e aço. Os dois primeiros são combustíveis e podem levar a incêndios secundários. O vidro, apesar de não ser combustível, pode quebrar sob efeito de mudança de temperatura. O aço, não protegido para temperaturas elevadas, também não é combustível, mas a resistência e dureza reduzem quando a temperatura aumenta, podendo levar a uma falha estrutural.

Os danos materiais devido ao calor de radiação térmica podem ser diferenciados em dois níveis:

- Danos nível 1: ignição da superfície exposta e sua quebra ou outro tipo de falha estrutural (colapso);
- Danos nível 2: descoloração da superfície do material, descascamento da pintura e/ou deformação dos elementos estruturais.

A radiação térmica necessária para atingir o dano nível 1 é mais alta que a necessária para o dano nível 2.

No caso de instalações industriais, os equipamentos de processo, de armazenamento ou dutos de transporte de produtos perigosos são normalmente de aço, material de interesse para este estudo. A falha estrutural de um destes pode levar a acidentes secundários do acidente inicial (efeito dominó).

No caso de estruturas de aço, a relação entre a superfície do corpo exposto, a radiação e incidência da chama não tem um valor fixo, mas depende da geometria do elemento e de uma análise de transferência de calor e do tempo de exposição.

Assim, deve ocorrer uma série de eventos em cadeia, ou seja, após a ocorrência de um vazamento é necessário que ocorra a ignição do produto, a chama tem que estar direcionada



para a outra tubulação, não enterrada, ou outro equipamento por um período de tempo prolongado, esta tem que sofrer um colapso estrutural e o produto liberado tem que ser ignizado. Esta situação também não prevê a adoção dos procedimentos emergenciais.

Com o objetivo de se validar a hipótese de que a ocorrência de efeito dominó é extremamente remota, analisaram-se os resultados das simulações de consequência com base nos resultados já obtidos, apresentados na Tabela 5.5, de onde foi avaliado o cenário que apresentou maior criticidade para o efeito de radiação térmica e utilizado como parâmetro para verificação da possibilidade de ocorrência de efeito dominó por radiação térmica em alguma das Unidades estudadas no presente relatório.

De acordo com a definição de efeito dominó apresentada na página 5/14 do LEES - *Prevention in the Process Industries: hazard identification, assessment and control*, 1996, devem ser avaliados os efeitos de radiação proveniente de uma chama *impingement* (ou seja, colidindo contra obstáculos) sobre uma tubulação ou vaso.

De acordo com os resultados obtidos, apresentados na Tabela 5.5, conclui-se que a possibilidade de ocorrência de efeito dominó pode-se dar, significativamente, apenas na ocorrência de efeitos de sobrepressão, evento este, com uma frequência de ocorrência relativamente mais baixa que as demais tipologias acidentais. Por radiação térmica, o maior escalonamento esperado não chega a 3 metros de alcance, podendo atingir apenas equipamentos bem próximos ao ponto de liberação, e ainda, devendo ser ressaltado que é uma condição bastante remota devida a sequência de eventos em cadeia que devem ocorrer para a concretização deste cenário.

6 ESTIMATIVA DAS FREQUÊNCIAS DE OCORRÊNCIA

6.1 Introdução

As hipóteses acidentais selecionadas para serem contemplados no cálculo de risco, foram apresentadas anteriormente no Capítulo 4, Quadro 4.4.

Esses eventos estão relacionados a vazamentos de produtos inflamáveis com potencial de danos extramuros, ou seja, populações circunvizinhas às instalações da Unidade de Armazenamento Complementar de Combustível Irrradiado – UFC da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto – CNAAA.

A seguir é apresentada a metodologia para o cálculo da frequência de ocorrência destas hipóteses acidentais, bem como, das tipologias acidentais associadas aos mesmos.

6.2 Metodologia

Para a obtenção da frequência de ocorrência de cada hipótese acidental foram somadas as frequências das falhas dos componentes existentes no trecho da instalação, passíveis de sofrerem falhas, gerando liberação dos produtos. Esse procedimento é equivalente à construção de uma árvore de falhas, na qual o evento topo é um portão “ou” e cujas entradas são as causas relacionadas com as falhas de linhas, válvulas ou outros componentes associados ao trecho em questão.

A Tabela 6.1 apresenta as taxas de falha dos componentes consideradas no cálculo das frequências de ocorrência das hipóteses acidentais.

Tabela 6.1 – Taxas de Falhas dos Componentes

Componente	Tipo Falha	Taxa de Falha	Unidade	Fonte
Vaso Pressurizado	Ruptura Total	5,00E-07	oc.ano ⁻¹	TNO “Purple Book” pág. 3.3

Fonte: Itsemap.

6.2.1 Quantificação das Hipóteses Acidentais

Para os equipamentos e linhas estudados foi adotado o fator de 1, ou seja, 100%, considerando que linhas e equipamentos permanecerão sempre pressurizados ou preenchidos por produto, ou seja, constantemente em utilização.

A Tabela 6.2 a seguir apresenta as frequências de ocorrências para cada hipótese acidental e os respectivos valores obtidos.



Tabela 6.2 - Frequência das Hipóteses Acidentais

Hipótese	Operação	Componente	Nº de Elementos	Tipo de Falha	Taxa Unitária (oc/ano)	Fator de Utilização	Taxa de Falha (oc/ano)	Frequência Acumulada (oc/ano)
3	Vazamento/ Explosão de cilindros de gás comprimido inflamável.	Vaso Pressurizado	1	Vazamento Instantâneo	5,00E-07	1	5,00E-07	5,00E-07
4	Vazamento/ Explosão de cilindros de gás comprimido não inflamável.	Vaso Pressurizado	1	Vazamento Instantâneo	5,00E-07	1	5,00E-07	5,00E-07

Fonte: Itsemap.

Observação: O valor da frequência final da hipótese é obtido através da equação:

Frequência final da hipótese = \sum_n^1 Taxa de falha de todos os equipamentos da hipótese.

A taxa de falha dos equipamentos da hipótese é calculada considerando:

Nº de elementos (equipamento 1) * Taxa unitária (equipamento 1) * Fator de utilização da hipótese = Taxa de falha (equipamento 1);

Nº de elementos (equipamento n) * Taxa unitária (equipamento n) * Fator de utilização da hipótese = Taxa de falha (equipamento n).

6.3 Árvore de Eventos

A Árvore de Eventos descreve as sequências dos fatos que se desenvolvem para que um acidente ocorra, estabelecendo uma série de relações entre o evento inicial e os eventos subsequentes os quais, combinados, resultam nas possíveis consequências (efeitos físicos) do acidente. Essas relações são estabelecidas considerando interferências do homem (operador) com o sistema em estudo, com os sistemas de segurança previstos ou existentes; ou ainda, em situações que possam gerar diferentes tipos de danos, de acordo com a forma em que ocorra o evento, considerando as condições de projeto e operação das instalações, a periculosidade das substâncias, as circunstâncias ambientais e locais, bem como os dados provenientes das etapas do estudo já desenvolvidas.

6.3.1 Gás Inflamável

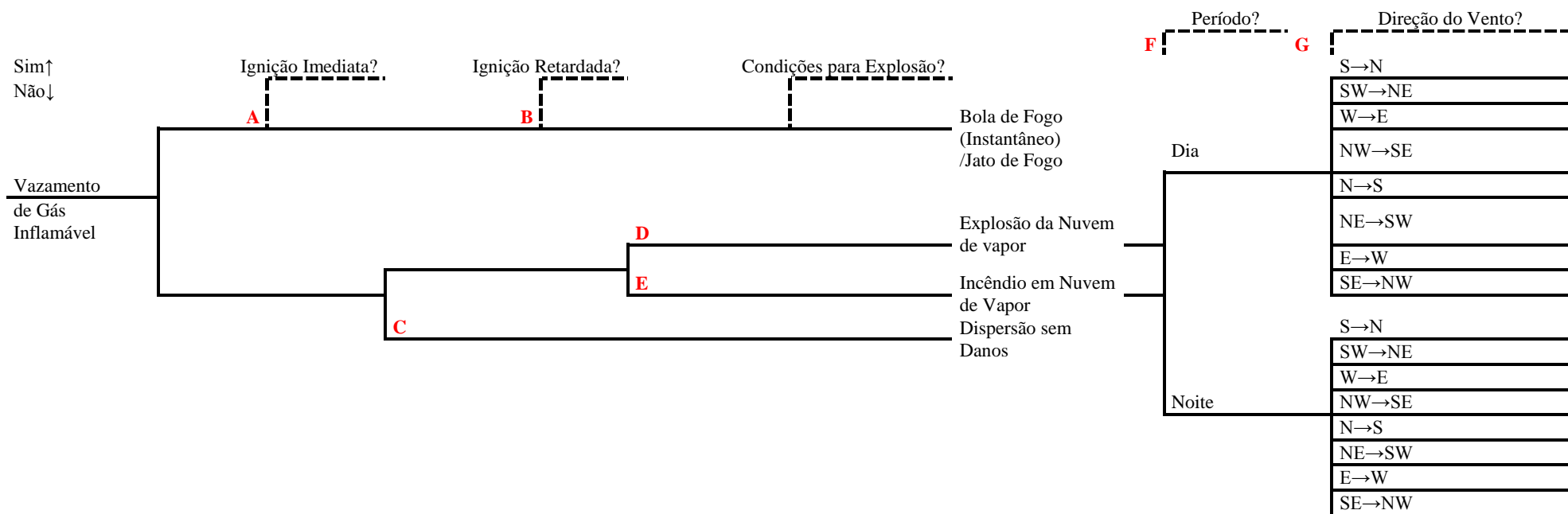
No presente estudo foram consideradas as seguintes tipologias acidentais, de acordo com as características do gás: *fireball* seguido de jato de fogo gerado por ruptura catastrófica de equipamentos (vasos de processo, por exemplo) e jato de fogo resultante da ignição imediata de vazamentos causados por rupturas totais ou parciais de linhas.

Caso não ocorra a ignição imediata haverá a formação de uma nuvem de vapor inflamável que poderá ignizar-se de forma retardada (caso se encontre dentro dos limites de inflamabilidade), podendo ainda provocar explosões se houverem áreas de confinamento ou obstrução.

Assim, a Árvore de Eventos teve por finalidade analisar as consequências possíveis dos vazamentos de gás inflamável, não tendo sido consideradas, conservativamente, neste estudo, as interferências dos sistemas de segurança existentes que eventualmente possam atuar quando da ocorrência do vazamento.

A Figura 6.1 apresenta a Árvore de Eventos para as situações relacionadas às rupturas de linhas e componentes ocasionando liberações de gases inflamáveis.

Figura 6.1 – Árvore de Eventos Quantitativa para Vazamento de Gás Inflamável



Fonte: Itsemap.

As probabilidades de ocorrência consideradas nos cálculos das árvores de eventos estão apresentadas na sequência:

A - Probabilidade de Ignição Imediata - extraída TNO *Purple Book* – página 4.13 e 4.14 depende da taxa de vazamento, massa liberada ou da reatividade do gás, como mostrado na Tabela 6.3 a seguir.

Tabela 6.3 – Probabilidade de Ignição Imediata

Vazamento		Substância		
Contínuo	Instantâneo	Líquido	Gás de Baixa Reatividade	Gás de Alta e Média Reatividade
< 10 kg/s	< 1.000 kg	0,065	0,02	0,2
10 – 100 kg/s	1.000 – 10.000 kg	0,065	0,04	0,5
> 100 kg/s	> 10.000 kg	0,065	0,09	0,7

Fonte: TNO - Purple Book, páginas 4.13.

Para a identificação da reatividade do gás, o TNO apresenta o seguinte quadro de referência, apresentado no Quadro 6.1.

Quadro 6.1 – Reatividade de Gases para Cálculo da Probabilidade de Ignição Imediata

Baixa Reatividade	Média Reatividade	Alta Reatividade
Amônia	1-Buteno	Benzeno
Metano	Propano	Acetileno
Cloroetano	Butano	Nafta, solvente
Dicloropropeno	Propeno	Formaldeído

Fonte: TNO – “Purple Book”, páginas 4.14.

Desta forma, serão utilizados os valores de 0,02, 0,04 ou 0,09 para o metano, visto que se trata de um produto de baixa reatividade.

B - Probabilidade de Ignição Retardada – probabilidade calculada considerando todas as fontes de ignição que se encontram dentro da nuvem de vapor, delimitada pelo Limite Inferior de Inflamabilidade (LII), num determinado ponto de liberação. Para determinação da localização das fontes de ignição define-se qual o alcance do LII na imagem de satélite, plotando-se em cada ponto de liberação definido a maior distância de *flashfire* obtida das simulações. Com a área definida, inserem-se probabilidades de ignição em cada ponto da grade.

No presente estudo, foram utilizados os valores das probabilidades de ignição retardada adotados por Lees – Volume 3 – Pág. A7/32 e que estão mostrados na Tabela 6.4. A probabilidade especificamente adotada será apresentada no Capítulo 7, referente a estimativa dos riscos.



Tabela 6.4 – Probabilidade de Ignição Retardada

Fontes de Ignição	Probabilidade
“Nenhuma”	0,1
Muitopoucas	0,2
Poucas	0,5
Muitas	0,9

Fonte: Lees, volume 3, 1996, página A7/32.

Estes valores foram adotados, considerando-se a efetividade das fontes de ignição igual a 100%, ou seja, a ignição ocorrerá apenas se ela estiver presente no local.

C - Probabilidade de Não Ignição Retardada - probabilidade de não ocorrendo a ignição retardada ocorrer a dispersão da nuvem, ou seja:

$$\text{Prob não ignição (C)} = 1 - \text{Prob ignição (B)}$$

D - Probabilidade de Explosão da Nuvem - relacionada à massa de vapor inflamável, que poderá explodir, baseada na Norma CETESB P4.261 que define a probabilidade igual a 0,4, independente da massa de vapor inflamável envolvida no cenário.

E - Probabilidade de Não Explosão – probabilidade de ocorrer apenas incêndio em nuvem (*flashfire*), em caso de ignição retardada não havendo explosão da nuvem, ou seja:

$$\text{Prob não explosão (E)} = 1 - \text{Prob explosão (D)}$$

F - Probabilidade do Período – Probabilidade do evento ocorrer nos períodos diurno e noturno. Considerou-se para a probabilidade 50% para cada um dos períodos;

G - Probabilidade de Direção do Vento - Probabilidade correspondente às direções de vento apresentadas na Tabela 2.5 do Capítulo 2. Neste caso foi considerada divisão uniforme em 16 direções do vento.

7 ESTIMATIVA E AVALIAÇÃO DE RISCOS

7.1 Introdução

Os resultados das estimativas dos riscos decorrentes das atividades realizadas nas instalações da Unidade de Armazenamento Complementar de Combustível Irrradiado – UFC da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto – CNAAA estão apresentados neste capítulo. Foram calculados os riscos social e individual, sendo o primeiro expresso por meio de curva F-N e o segundo sob a forma de curvas (contornos) de isorrisco.

A curva F-N caracteriza o risco para a comunidade exposta, fornecendo a frequência acumulada de ocorrência de acidentes com N ou mais vítimas (acidentes com múltiplas vítimas); por outro lado, os contornos de isorrisco individual fornecem uma visão da distribuição espacial dos níveis de risco nas regiões circunvizinhas a instalação analisada.

O Risco Individual representa o risco que um indivíduo situado num determinado local em relação às instalações em análise, venha a sofrer certo dano, em geral fatalidade, em decorrência de acidentes que eventualmente venham a ocorrer nessas instalações.

Os cálculos para a estimativa dos riscos foram realizados com o software *PHAST Risk* desenvolvido pela DNV Technica, integrando frequências e consequências para todos os cenários acidentais gerados a partir de cada uma das hipóteses acidentais selecionadas para a Análise Quantitativa de Riscos (AQR), considerando as distâncias atingidas pelos diferentes níveis de radiação e sobrepressão considerados.

7.2 Risco Social

7.2.1 Conceito

O risco social representa o risco para um grupo de pessoas constituído pela comunidade exposta aos efeitos dos acidentes passíveis de ocorrer nas instalações em análise. Assim, o risco social diz respeito à população presente na zona de alcance dos efeitos físicos gerados pelos diferentes cenários de acidentes.

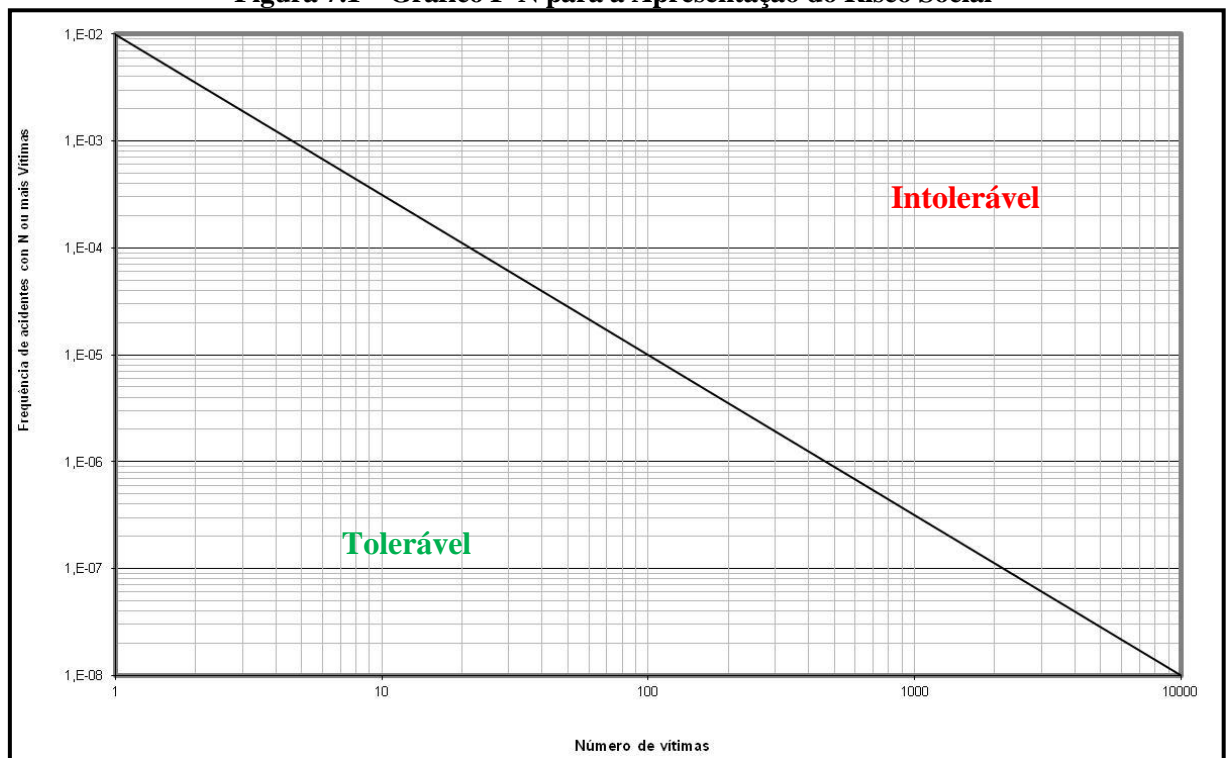
Normalmente, o risco social é expresso através das “curvas F-N”, as quais fornecem a frequência esperada de ocorrência de acidentes, em geral expressa em base anual, com um número de vítimas maior ou igual a um determinado valor. A vantagem dessas curvas é que elas mostram graficamente todo o espectro dos riscos associados às instalações de interesse, indicando o potencial associado a acidentes maiores.

No presente trabalho, a curva F-N da UFC foi calculada pelo software *PHAST Risk*, compilando os dados relativos aos cenários de acidentes que levaram a um determinado número de vítimas fatais maior ou igual a um determinado valor, de acordo com o número de pessoas presentes na área definida pelos maiores alcances, a qual foi dividida em células formando uma “grade de pontos” para o cálculo dos riscos.

7.2.2 Critério de Tolerabilidade

O critério de tolerabilidade utilizado foi o estabelecido na Instrução Técnica 2104 do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), baseado na curva F-N apresentada na Figura 7.1.

Figura 7.1 – Gráfico F-N para a Apresentação do Risco Social



Fonte: Instrução Técnica 2104 do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) de janeiro de 2009.

O risco social proporcionado pela instalação será considerado tolerável se a curva de distribuição acumulada complementar, desenhada sobre o gráfico F-N, ficar abaixo ou, no máximo, tangenciar a reta que determina a região de risco intolerável.

7.2.3 Malha

Após a simulação das consequências e identificação das maiores distâncias obtidas para cada Unidade (definidos no Capítulo 5) selecionadas, o *software* elabora automaticamente uma “grade” de pontos sobre a área atingida (área vulnerável).

A “grade”, ou malha permitirá um cálculo pontual sobre a população possivelmente afetada e possui espaçamento constante devendo ser de acordo com o entorno estudado e compatível com a maior distância calculada a ser definida. Para as instalações estudadas, foi fixado um tamanho de célula de 10 m x 10 m. O programa calcula automaticamente a partir das dimensões de célula definidas a quantidade máxima de células de acordo com os alcances das vulnerabilidades, podendo esse número variar de 40.000 à 1.000.000 de células.

7.2.4 Identificação da População Vulnerável

A população foi identificada em trabalhos de campo e através da imagem de satélite do local, com a população presente nas edificações vizinhas, apresentada no Item 2.4, Tabela 2.3 do Capítulo 2 e no Anexo I.

A configuração final da distribuição da população inserida no software para o cálculo do risco está rerepresentada na Tabela 7.1 a seguir.

Tabela 7.1 – Distribuição Populacional Externa

Identificação na Respectiva Imagem de Satélite (Anexo I)	Empreendimento	População Dia	População Noite
1	Angra 1	*	*
2	Angra 2	*	*
3	Centro de Informações da CNAAA	*	*
4	Angra 3	*	*

Fonte: Itsemap.

*Os empreendimentos identificados não foram considerados como população vulnerável por não serem consideradas população externa.

7.2.5 Fontes de Ignição

Utilizando como base as premissas apresentadas no Item 6.3, Tabela 6.4 do presente estudo, que faz menção às probabilidades de ignição retardada, foram identificadas e relacionadas às possíveis fontes de ignição presentes nas áreas próximas aos possíveis pontos de liberação de produtos. A Figura 7.2 apresenta os locais com potencial de causar ignições retardadas ao produto vazado.



Figura 7.2 – Fontes de Ignição



Legenda	
	Limite do Empreendimento
	Área com Possíveis Fontes de Ignição

Fonte: Itsemap.

Fonte da Imagem de Satélite: Eletronuclear.

Para os locais destacados em laranja foi adotada a probabilidade de ignição retardada igual a 0,9, equivalente a muitas fontes de ignição.

7.2.6 Resultados do Risco Social

Para cada uma das hipóteses acidentais o *software Phast Risk* versão 6.7 constrói automaticamente uma árvore de eventos a fim de avaliar as frequências de cada um dos cenários de acidente, como mencionado no Capítulo 6. Além disso, o programa associa a cada hipótese suas respectivas consequências (simulações) avaliando a quantidade de vítimas que cada cenário pode gerar.

Desta forma, não foi gerada curva F-N, visto que a maior distância obtida pelos resultados das simulações dos acidentes não atingiu população sensível.

7.3 Risco Individual

7.3.1 Conceito

O risco individual pode ser definido como sendo a frequência esperada, normalmente expressa em base anual, a que um indivíduo situado numa determinada posição em relação às instalações em análise, venha a sofrer certo dano, em geral fatalidade, em decorrência de acidentes que eventualmente venham a ocorrer nessas instalações.

Conforme mencionado anteriormente, o risco individual é, comumente, representado por meio dos contornos de isorrisco. Esses contornos ligam os pontos de mesmo nível de risco, fornecendo uma indicação gráfica dos níveis de risco nas circunvizinhanças das instalações em estudo.

No presente trabalho, os riscos individuais foram calculados pelo *software PHAST Risk* para cada um dos possíveis cenários de acidentes passíveis de ocorrer nas diferentes hipóteses acidentais identificadas e detalhadas na AQR (Avaliação Quantitativa de Riscos), com base no seguinte procedimento:

- O *software* define a área de interesse situada na circunvizinhança da UFC com base nos maiores alcances das simulações;
- Nessa área de interesse o *PHAST Risk* gera uma “grade” de pontos, com cada célula definida em 10 x 10 metros, para que o mesmo calcule o risco individual ao longo da malha;
- Dessa forma, o *software* determinou a frequência esperada para cada uma das sequências de acidentes (cenários), multiplicando a frequência de ocorrência da hipótese acidental pelas probabilidades associadas a uma determinada condição em que o acidente venha a ocorrer (condições meteorológicas, probabilidade do período, etc);
- O programa obteve então um valor de “f” (frequência esperada de ocorrência) para cada cenário acidental e um valor de “p” (probabilidade condicional de ocorrência de fatalidade) em cada célula da “grade”;
- O risco individual é calculado por meio do produto “f x p”; como “f” é função da hipótese acidental e das condições fenomenológicas, e “p” é função do tipo de

acidente e do local considerado (célula da “grade”), fazendo-se a somatória dos produtos “f x p” na célula, sobre todos cenários de acidentes para uma determinada hipótese acidental, obteve-se o risco individual, na célula, associado à hipótese em questão. Esse mesmo procedimento foi seguido automaticamente para todos os pontos da “grade” na área de interesse.

7.3.2 Critério de Tolerabilidade - Risco Individual

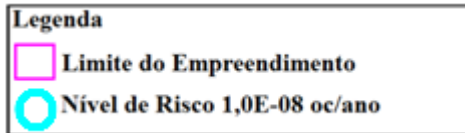
O INEA, órgão ambiental de referência deste estudo, conforme preconizado na Instrução Técnica 2104 de janeiro de 2009, utiliza como critério de tolerabilidade para Risco Individual de instalações existentes, o nível de $1,0E-05$ fatalidades por ano como risco máximo tolerável não devendo envolver, total ou parcialmente, localidades com ocupação sensível.

7.3.3 Resultados do Risco Individual

A Figura 7.3 apresenta os contornos de risco individual obtidos para as instalações da Unidade de Armazenamento Complementar de Combustível Irrradiado.

Figura 7.3 – Contornos de Risco Individual





Fonte: Itsemap.

Fonte da Imagem de Satélite: Eletronuclear.

A curva de isorrisco correspondente a $1,0E-05$ fatalidades/ano não foi gerada, apresentando apenas a curva correspondente a $1,0E-08$ fatalidades/ano.

7.4 Resultados Obtidos nos Cálculos de Risco

Tomando por base os resultados obtidos nas estimativas dos riscos associados às instalações da Unidade de Armazenamento Complementar de Combustível Irrradiado – UFC da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto – CNAAA, pode-se concluir que:

- A curva F-N que expressa Risco Social Cumulativo, não foi gerada, visto que a maior distância obtida pelos resultados das simulações dos acidentes não atingiu população sensível.
- Quanto ao risco individual, a curva de isorrisco referente ao nível correspondente a $1,0E-05$ /ano (máximo tolerável) não foi gerada, apresentando apenas a curva correspondente $1,0E-08$ fatalidades/ano.

Com base no anteriormente exposto pode-se considerar que os riscos associados às instalações da Unidade UFC, impostos às áreas circunvizinhas, são toleráveis, quando comparados aos critérios preconizados na Instrução Técnica 2104 do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) – *Instrução Técnica para Elaboração de Estudo de Análise de Risco para Instalações Convencionais*, de janeiro de 2009.

8 CONCLUSÕES

O presente Estudo de Análise de Riscos (EAR) referente às instalações da Unidade de Armazenamento Complementar de Combustível Irrradiado – UFC da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto – CNAAA foi elaborado a partir de premissas detalhadas e críticas, uma vez que as hipóteses acidentais contemplaram todas as possíveis situações de eventuais vazamentos a partir de rupturas de equipamentos como cilindros, além de atender integralmente os critérios estabelecidos Instrução Técnica 2104 do Instituto Estadual do Ambiente (INEA)– *Instrução Técnica para Elaboração de Estudo de Análise de Risco para Instalações Convencionais*, de janeiro de 2009. O Anexo VIII apresenta a Anotação de Responsabilidade Técnica – ART.

Outro aspecto a ser mencionado, diz respeito ao tempo de vazamento considerado nas simulações das liberações acidentais (10 minutos), que certamente é um tempo alto, uma vez que esse tempo é superior ao esperado para um evento real, dada a pronta intervenção dos operadores treinados presentes no local, além da presença de equipe de brigada, para auxílio no controle de eventualidades.

O risco individual calculado ficou enquadrado como “risco tolerável”. A curva de nível correspondente a $1,0E-05$ /ano não foi gerada, apresentando apenas a curva correspondente a $1,0E-08$ fatalidades/ano.

A curva F-N que expressa Risco Social Cumulativo, não foi gerada, visto que a maior distância obtida pelos resultados das simulações dos acidentes não atingiu população sensível.

Independentemente dos aspectos anteriormente mencionados, o Programa de Gerenciamento de Riscos – PGR e Plano de Ação de Emergência das instalações devem ser mantidos devidamente atualizados, agregando os cenários identificados nas planilhas de APR, os resultados obtidos nas simulações das hipóteses acidentais identificadas no presente estudo, bem como procedimentos de combate, evacuação e contingência de acidentes.

Ressalta-se que na atualização do programa de gerenciamento de riscos devem ser observados principalmente os aspectos relacionados à manutenção preventiva dos equipamentos e procedimentos operacionais, identificados como fundamentais para a plena manutenção e gerenciamento dos riscos relacionados às atividades do empreendimento.

Embora os riscos sejam toleráveis, algumas observações foram propostas de modo garantir o pleno gerenciamento das atividades. As observações propostas são as seguintes:

- Manter sistemas de combate a incêndios operacionais;

- Manter rotina de controle de validade de extintores;
- Manter programas de treinamento de combate a incêndio e simulados de evacuação;
- Manter áreas desobstruídas para circulação de colaboradores e movimentação de carga;
- Garantir integridade do isolamento térmico e sinalização de equipamentos em alta temperatura;
- Garantir integridade da malha de aterramento.



9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE – INEA. **Instrução Técnica 2014 para Elaboração de Estudo de Análise de Risco para Instalações Convencionais.** Instrução Técnica de janeiro de 2009.

2 WIKIPEDIA, enciclopédia livre. Dados do município de Angra dos Reis. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Angra_dos_Reis>. Acesso em: 14 out. 2013.

3 FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE – FEEMA. **Manual de Orientação para Estudos de Análise de Risco.** Manual de outubro de 1996.

4 DNV – Technica Ltd. **PHAST Risk – Process Hazard Analysis Software Tools. Version 6.7.** London, 2011.

5 TNO. **CPR 18 E: Guidelines for Quantitative Risk Assessment: “Purple Book”.** 1. ed. Committee for Prevention of Disasters, 1999.

6 LEES, FRANK P. **Loss Prevention in the Process Industries: Hazard Identification, Assessment and Control.** Second edition. London: Butterworths-Heinemann, 1996.

7 TNO. **CPR 16 E: Methods for the Determination of Possible Damage: “Green Book”.** 1. Ed. Committee for Prevention of Disasters, 1992.

8 Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado De São Paulo (CETESB). P.4.261 **Manual de Orientação para a Elaboração de Estudos de Análise de Riscos.** São Paulo, 2012.

10 EQUIPE TÉCNICA

Responsável Técnica

- **Eng^a. Carmen Lídia Vazquez** CREA 0601798051
Diretora de Gestão REG. IBAMA 214416

Coordenação Geral

- **Químico Ricardo Rodrigues Serpa** CRQ 4244537
Diretor Executivo REG. IBAMA 214691

Elaboração

- **Químico Elifas Moraes Alves Junior** CRQ: 4262252
Especialista de Análise de Riscos. REG. IBAMA 4265827
- **Eng^o Químico Tiago do Monte Correa Novo** CREA: 5062115462/D
Coordenador de Análise de Riscos. REG. IBAMA 662545



11 GLOSSÁRIO

Acidente

Evento específico não planejado e indesejado, ou uma sequência de eventos, que gera consequências indesejáveis.

Análise de Riscos

Estudo quantitativo de riscos numa instalação industrial, baseado em técnicas de identificação de perigos, estimativa de frequências e consequências, análise de vulnerabilidade e na estimativa do risco.

Análise de Vulnerabilidade

Estudo realizado por intermédio de modelos matemáticos para a previsão dos impactos danosos às pessoas, instalações e meio ambiente, baseado em limites de tolerância estabelecidos através do parâmetro *Probit* para os efeitos de sobrepressão decorrentes de explosões, radiações térmicas decorrentes de incêndios e efeitos tóxicos de emissões agudas de substâncias químicas na atmosfera.

Avaliação de Riscos

Processo pelo qual os resultados da análise de riscos são utilizados para a tomada de decisão, através de critérios comparativos de riscos, para definição da estratégia de gerenciamento dos riscos e aprovação do licenciamento ambiental de um empreendimento.

BLEVE

Do inglês *Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion*. É o fenômeno decorrente da explosão catastrófica de um reservatório com projeção de fragmentos e de expansão adiabática, quando um líquido nele contido atinge uma temperatura bem acima da sua temperatura de ebulição à pressão atmosférica.

Bola de Fogo (*Fireball*)

É o fenômeno que se verifica quando o volume de vapor inflamável, inicialmente comprimido num recipiente, escapa repentinamente para a atmosfera e, devido à despressurização, forma um volume esférico de gás, cuja superfície externa queima, enquanto a massa inteira se eleva por efeito da redução da densidade provocada pelo superaquecimento.



Dano

Efeito adverso com repercussões à integridade física de um indivíduo.

Dispersão Atmosférica

É a mistura de um gás ou vapor com o ar. Esta mistura é o resultado da troca de energia turbulenta, a qual é função da velocidade do vento e do perfil da temperatura ambiente.

Efeito Dominó

É um evento decorrente da sucessão de outros eventos parciais indesejáveis, cuja magnitude global é a somatória dos eventos individuais.

Empreendimento

É o conjunto de ações, procedimentos, técnicas e benfeitorias que permitem a construção de uma instalação.

Estabilidade Atmosférica

É a medida do grau de turbulência da atmosfera, normalmente definida em termos de gradiente vertical de temperatura. A atmosfera é classificada em seis categorias de estabilidade, A a F, sendo A a mais estável, F a mais instável e D a neutra. A classificação é realizada a partir da velocidade do vento, radiação solar e percentagem de cobertura de nuvem; a condição neutra corresponde a um gradiente vertical de temperatura da ordem de 1 °C para cada 100 m de altitude.

Estimativa de Consequências

É a estimativa do comportamento de uma substância química quando de sua liberação acidental no meio ambiente.

Explosão

É um processo onde ocorre uma rápida e violenta liberação de energia, associado a uma expansão de gases acarretando o aumento da pressão acima da pressão atmosférica.

Explosão de Nuvem de Vapor Não-Confinado (UVCE)

A explosão de nuvem de vapor não-confinado (UVCE-Unconfined Vapour Cloud Explosion) é a rápida combustão de uma nuvem de vapor inflamável no ar livre, seguida de uma grande perda de conteúdo, gerada a partir de uma fonte de ignição. Neste caso, somente uma parte da

energia total irá se desenvolver sobre a forma de ondas de pressão e a maior parte na forma de radiação térmica.

Flashfire

É o incêndio de uma nuvem de vapor onde a massa envolvida não é suficiente para atingir o estado de explosão. É um fogo extremamente rápido onde todas as pessoas que se encontram na nuvem recebem queimaduras letais.

Fluxograma de Processo

É a representação esquemática do fluxo seguido no manuseio ou na transformação de matérias-primas em produtos intermediários e acabados. É constituída de equipamentos de caldeiraria (tanques, torres, vasos, reatores, etc); máquinas (bombas, compressores, etc); tubulações, válvulas e instrumentos principais, onde devem ser apresentados dados de pressão, temperatura, vazões, balanços de massa e de energia e demais variáveis de processo.

Incêndio

É um tipo de reação química na qual os vapores de uma substância inflamável se combinam com o oxigênio do ar atmosférico e uma fonte de ignição, causando liberação de calor.

Instalação

É o conjunto de equipamentos e sistemas que permitem o processamento, armazenamento e/ou transporte de insumos, matérias-primas ou produtos. Para fins deste manual, o termo é definido como a materialização de um determinado empreendimento.

Jato de Fogo (*Jet Fire*)

É o fenômeno que ocorre quando um gás inflamável escoar a alta velocidade e encontra uma fonte de ignição próxima ao ponto de vazamento.

Limite Inferior de Inflamabilidade (LII)

É a mínima concentração de gás que, misturada ao ar atmosférico, é capaz de provocar a combustão do produto, a partir do contato com uma fonte de ignição. Concentrações de gás abaixo do LII não são combustíveis pois, nesta condição, tem-se excesso de oxigênio e pequena quantidade do produto para a queima. Esta condição é chamada de “mistura pobre”.

Limite Superior de Inflamabilidade (LSI)

É a máxima concentração de gás que misturada ao ar atmosférico é capaz de provocar a combustão do produto, a partir de uma fonte de ignição. Concentrações de gás acima do LSE não são combustíveis, pois nesta condição, tem-se excesso de produto e pequena quantidade de oxigênio para que a combustão ocorra, é a chamada “mistura rica”.

Perigo

Uma ou mais condições, físicas ou químicas, com potencial para causar danos às pessoas, à propriedade, ao meio ambiente ou a combinação desses.

Planta

É o conjunto de Unidades de processo e/ou armazenamento com finalidade comum.

Plano de Ação de Emergência (PAE)

Documento que define as responsabilidades, diretrizes e informações, visando a adoção de procedimentos, técnicos e administrativos, estruturados de forma a propiciar respostas rápidas e eficientes em situações emergenciais.

Ponto de Ebulição

É a temperatura na qual a pressão interna de um líquido iguala-se à pressão atmosférica ou à pressão à qual está submetido.

Ponto de Fulgor

É a menor temperatura na qual uma substância libera vapores em quantidades suficientes para que a mistura de vapor e ar logo acima de sua superfície propague uma chama, a partir do contato com uma fonte de ignição.

Ponto Notável

Elemento que pode interferir na integridade do empreendimento ou ser impactado pelos efeitos físicos decorrentes de eventual incidente, estando localizado nas suas proximidades.

População Fixa

Pessoa ou agrupamento de pessoas em residências ou estabelecimentos, industriais ou comerciais, presentes no entorno de um empreendimento. Vias com grande circulação de



veículos, como rodovias, grandes avenidas e ruas movimentadas, devem ser consideradas como “população fixa”.

Pressão de Vapor

É a pressão exercida pelos vapores acima do nível de um líquido. Representa a tendência de uma substância gerar vapores. É normalmente expressa em mmHg a uma dada temperatura.

Probabilidade

É a chance de um evento específico ocorrer ou de uma condição especial existir. A probabilidade é expressa numericamente na forma de fração ou de porcentagem.

Probit

Parâmetro que serve para relacionar a intensidade de fenômenos como radiação térmica, sobrepressão e concentração tóxica com os danos que eles podem causar. O *Probit* (Unidade de probabilidade) é uma variável randômica com média 5 e variância 1. O valor do *Probit* é relacionado a uma determinada porcentagem através de curvas ou tabelas.

Risco

Medida de danos à vida humana, resultante da combinação entre a frequência de ocorrência e a magnitude das perdas ou danos (consequências).

Rugosidade

É a medida da altura média dos obstáculos que causam turbulência na atmosfera, devido à ação do vento, influenciando na dispersão de uma nuvem de gás ou vapor.

Sistema

É um arranjo ordenado de componentes que estão interrelacionados e que atuam e interatuam com outros sistemas, para cumprir uma tarefa ou função num determinado ambiente.

Substância

Espécie da matéria que tem composição definida.

Unidade

É o conjunto de equipamentos com finalidade de armazenar (Unidade de armazenamento) ou de provocar uma transformação física e/ou química nas substâncias envolvidas (Unidade de processo).



12 ANEXOS

ANEXO I - Imagem de Satélite do Empreendimento.

ANEXO II - *Layout* do Empreendimento Fluxogramas das Unidades.

ANEXO III - FISPQs – Fichas de Informação de Segurança de Produtos Químicos.

ANEXO IV - Planilhas da APR – Análise Preliminar de Riscos.

ANEXO V - Relatórios das Simulações de Consequências.

ANEXO VI - Pontos de Liberação – PLs.

ANEXO VII - Mapeamentos das Vulnerabilidades.

ANEXO VIII - Anotação de Responsabilidade Técnica – ART.

